



TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI

10. ULAŞTIRMA KONGRESİ



Bütünleşik Ulaştırma Sistemleri

25-26-27 Eylül 2013
Tepekule Kongre Merkezi
İZMİR



Düzenleyen:

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi



TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI

10. ULAŞTIRMA KONGRESİ
BİLDİRİLER KİTABI

Eylül 2013
İZMİR



TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
İZMİR ŞUBESİ

Anadolu Cad. Tepekule İş Merkezi No: 40

Kat: 1 Bayraklı/İZMİR

Tel : (232) 462 56 55

Faks : (232) 462 11 67

E-mail : imoizmir@imo.org.tr

Web : izmir.imo.org.tr

ISBN 978-605-01-0507-0

İMO Yayın No E/13/04

Baskı Tarihi Eylül 2013

Editörler

Hüseyin Ceylan

Özgür Başkan

Cenk Ozan

Erkan Kara

Yayına Hazırlayan

İMO İzmir Şubesi

Baskı

Altındağ Grafik Matbaacılık

2839 Sokak No: 28 1. Sanayi Sitesi / İZMİR

Tel: 0 232 457 58 33 - Fax: 0 232 457 89 99

10. ULAŖTIRMA KONGRESİ

Düzenleme Kurulu

Galip Kılınç	Yalçın Alver	Gürkan Erdoğan	Mustafa Karaova
Tansel Önal	Halim Ceylan	A. Fuat Günak	Rezan Bulut
Ergun Gedizlioğlu	Hülya Altun	Jale Alel	Eylem Ulutaş
Serhan Tanyel	Erhan Arslan	Aydın Nogay	

Bilim Kurulu

Emine Ađar	Yavuz Duvarcı	Kemal Selçuk Öğüt
Perviz Ahmedzade	Adem Eren	Turgut Özdemir
Hüseyin Akbulut	Gökmen Ergun	Rıdvan Özel
Ali Payidar Akgüngör	Güngör Evren	Mustafa Özuysal
Atakan Aksoy	Ergun Gedizlioğlu	Mehmet Saltan
Adnan Akyarlı	Haluk Gerçek	Meltem Saplıoğlu
Yalçın Alver	Banihan Günay	İsmail Şahin
Cumhur Aydın	Soner Haldenbilen	Burak Şengöz
Özgür Başkan	Mustafa Ilıcalı	Serhan Tanyel
S. Pelin Calıřkanelli	Mustafa Karaşahin	Serkan Tapkın
Ilgaz Candemir	Hakkı Kişi	Serdal Terzi
Güldem Cerit	Baha Vural Kök	Ali Topal
Halim Ceylan	Necati Kuloğlu	Hediye Tüydeş Yaman
Hüseyin Ceylan	Gülay Malkoç	Nadir Yayla
Osman Nuri Çelik	Yetiř Şazi Murat	Mehmet Yılmaz
Murat Çelik	Gökdeniz Neşer	Yusuf Zorba
Hilmi Berk Çelikođlu	Yıldırım Oral	
Mert Çubukçu	Cenk Ozan	

Danışma Kurulu

Taner Yüzgeç	İnşaat Mühendisleri Odası
Ayhan Emekli	İMO İzmir Şubesi
Cemal Gökçe	İMO İstanbul Şubesi
Selim Tulumtaş	İMO Ankara Şubesi
Salih Gümgüm	Ulaştırma Bak. Altyapı Yatırımları Gen. Md.lüğü
Ş. Ülya Lekili	Ulaştırma Bak. Altyapı Yatırımları Gen. Md.lüğü
Cemal Yıldız	İzmir Büyükşehir Belediyesi
Osman Berk	Ulaştırma Bakanlığı İzmir Böl. Md.lüğü
Zühtü Düzen	TCK 2. Bölge Müdürlüğü
Anday Akdemir	TCDD 3. Bölge Müdürlüğü
Sabahattin Eriş	İZBAN Genel Müdürlüğü
Alper Deri	ESHOT Genel Müdürlüğü
Semih Kök	İzmir İl Emn. Md. Trafik Denetleme Şb. Md.
Akın Kazançođlu	İzmir Ticaret Odası
Geza Dologh	Deniz Ticaret Odası İzmir Şubesi
Muammer Zenginer	İstanbul-İzmir Otoyolu Proje Müdürü

İMO 43. DÖNEM YÖNETİM KURULU

Taner YÜZGEÇ	(Başkan)
Şükrü ERDEM	(İkinci Başkan)
Levent DARI	(Sekreter Üye)
Nevzat ERSAN	(Sayman Üye)
Galip KILINÇ	(Üye)
Cihaz MAZMANOĞLU	(Üye)
Tansel ÖNAL	(Üye)

İMO İZMİR ŞUBESİ 43. DÖNEM YÖNETİM KURULU

Ayhan EMEKLİ	(Başkan)
Hülya ALTUN	(Sekreter Üye)
Erhan ARSLAN	(Sayman Üye)
H. Şahin TÜZEN	(Üye)
Gürkan ERDOĞAN	(Üye)
Erkin ÖZER	(Üye)
Vedat YORULMAZEL	(Üye)

SPONSORLAR



TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU

10. Ulaştırma Kongresi TÜBİTAK tarafından “Yurt İçi Bilimsel Etkinlikleri Destekleme Programı” kapsamında desteklenmiştir.

RESMİ SPONSORLAR



DANIŞ YAPI
Madencilik Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.



KOLİN İNŞAAT
İnşaat Turizm Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.



KAVUKLAR
Akaryakıt Oto İnş. San. Tic. A.Ş.



ERMİT
Mühendislik İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti.

DESTEKLEYEN KURULUŞLAR



Çeşmeli Özbek
Tic. Ltd. Şti.

SPONSOR KURULUŞLARA KATKILARINDAN DOLAYI TEŞEKKÜR EDERİZ

İÇİNDEKİLER

Önsöz	IX
Sunuş	XI
İZBAN: Kentiçi Raylı Sistemlerde Bir Model	
Sabahattin Eriş	1
Belediye Otobüs İşletmeciliği Açısından İzmir’de ESHOT Genel Müdürlüğü’nün Gelişimi, Dünü, Bugünü	
Alper Deri	11
Akıllı Kart Verileri Kullanılarak Toplu Ulaşım Başlangıç-Varış Matrisinin Oluşturulması	
Alper Deri, Mustafa Özuysal, Serhan Tanyel, Aylin Kalpakçı	33
Toplu Taşımada Otobüs Şeridi Uygulamalarına Genel Bakış ve İstanbul’daki Uygulamaların Durumu	
İlgin Gökaşar, Erhan Emir	43
İzmir Kentiçi Toplu Ulaşımının Makroskopik Simülasyon ile Değerlendirilmesi	
Utku Cihan, Murat Ergün, Nilgün Camkesen	53
Konya Kentiçi Toplu Taşıma Sisteminin Kullanıcılar Tarafından Değerlendirilmesi	
Mehmet Ali Lorasokkay, Osman Nuri Çelik, Neslihan Atasagun	67
İzmir Banliyö Sistemi (İZBAN) Öncesi & Sonrası Çalışması	
Samet Şen, Yalçın Alver	83
Elektron Işıması ile Yüzey Aktivasyonu Yapılan Geri Dönüştürülmüş Düşük Yoğunluklu Polietilen Modifiye Bitümlerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi	
Perviz Ahmedzade, Taylan Günay, Baurzhan Kultayev, Alexander Fainleib, Olga Grigoryeva, Olga Starostenko, Tacettin Geçkil	97
Kentiçi Yolların Yüzeysel Drenajı ve Yağmursuyu Giriş Yeri Hesabı ve Erzurum Örneği	
Volkan Gezder, Mahir Gökdağ	109
Organik Ilık Karışım Asfalt Katkı Maddesinin Bitümlü Karışımların Yaşlanma Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi	
Peyman Aghazadeh Dokandari, Jülide Oylumluoğlu, Ali Topal, Burak Şengöz	119
Modifiye Bitümlü Sıcak Karışımların Arazi Performansının Değerlendirilmesi	
Necati Kuloğlu, A. Sertaç Karakaş, Baha Vural Kök, Mehmet Yılmaz	131
Şamandıra Tesisleri Dönüşüm Projesi: Samsun Kirazlık Körfezi Uygulaması	
Selçuk Nas	141

Sinyalize Arterlerde Taşıt Takip Aralığının İncelenmesi: Denizli Örneği Cenk Ozan, Halim Ceylan, Soner Haldenbilen	151
Sinyalize Kavşaklardaki Başlangıç Tepki Süresinin İncelenmesi S. Pelin Çalışkanelli, Mustafa Özuysal, Figen Coşkun, Serhan Tanyel	167
Sinyalize Arterlerde Araç Takip Aralıklarının Mesafeye Bağlı Değişimi Figen Coşkun, Kübra Çelik, S. Pelin Çalışkanelli, Serhan Tanyel	179
İzmir Metro İnşaatındaki Altyapı Sistemlerinin Yenilenmesi, Düzenlenme Aşamaları ve Çalışma Maliyetlerinin Sosyoekonomik ve Yatırım Aracı Olarak Değerlendirilmesi Gürhan Özsamancı	191
Yüksek Hızlı Tren Hatlarında Balast Kalınlık Değişiminin Hat Üzerinde Oluşan Dinamik Kuvvetler Üzerindeki Etkileri N. Özgür Bezgin, Mustafa Karaşahin	201
Yüksek Hızlı Tren Hatlarında Kullanılan Beton Traverslerin Zamana Bağlı Boyut Değişimlerinin Travers Ölçülerine Etkisi N. Özgür Bezgin	211
Yüksek Hızlı Tren Hatları için Tasarlanan Beton Traverslerin Modellenmesi ve Tetkik Aşamaları N. Özgür Bezgin, Mustafa Karaşahin	221
Yeni Tasarlanacak Kentiçi Raylı Sistemlerde Gürültü ve Vibrasyonun En Azlanması İçin Temel Çözüm Yöntemleri Ilgaz Candemir	231
İstanbul'da Işıklı Yaya Geçitlerinde Yaya Hızlarının İrdelenmesi S. Şeyma Kuşakcı, Fulya Özsan, Kemal Selçuk Öğüt	243
Dinamik Sinyalize Kavşak Kontrol Sisteminin Performans Analizi Halim Ceylan, Soner Haldenbilen, Cenk Ozan, Doğan Şenel	253
Yurtiçi Hava Taşımacılığı Talebinin Modellenmesi ve Senaryolar Altında Değerlendirilmesi Cenk Ozan, Özgür Başkan, Soner Haldenbilen, Halim Ceylan	265
Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Çerçevesinde İzmir Yerel Gündem 21 Birlikteliğinde "İzmir'de Ulaşım" H. Ergün Günan	277
Ulaşım Talebinin Belirlenmesinde Erişebilirlik ve Arazi Kullanım Modellerinden Yararlanılması Görkem Gülhan, Halim Ceylan, Yıldırım Oral	289
Birleştirilmiş Ulaşım Ağ Tasarım Probleminin Diferansiyel Gelişim Algoritması ile Çözümü Özgür Başkan	301
Kentiçi Karayolu Ağlarında Yol Kenarı Park Yerlerinin Diferansiyel Gelişim Algoritması Kullanılarak Belirlenmesi Hüseyin Ceylan	313

Şehiriçi Yol Ağlarında Bir Kalite Göstergesi Olarak Güzergah Rasyonellik Skalaları Kadir Akgöl, Banihan Günay	323
Duble Yollarda Drenaj Kanalı Kenarına Yerleştirilecek Otokorkulukların Yeterliğinin İncelenmesi Ayhan Öner Yücel, Ali Osman Atahan, Turan Arslan, Umur Korkut Sevim	347
Dünya Sağlık Örgütü Tarafından Yürütülen Afyonkarahisar RS10 Güvenli Trafik Projesi Hüseyin Akbulut, Serap Şener	357
Türkiye’de İllerin Ulaşım Güvenliğinin Veri Zarflama Yöntemi ile İncelenmesi Emine Çoruh, Miraç Eren, Ahmet Tortum	369
Genç Sürücülerin Trafik Kural İhalalleri ve Sosyo-Ekonomik Yapıları Arasındaki İlişkiler: Aydın ve Malatya Örnekleri Mehmet Metin Mutlu, Yalçın Alver	389
Kısa Süreli, Yoğun Kontrollerin Emniyet Kemer ve Kask Kullanımına Etkilerinin Araştırılması: Isparta Örneği Buket Çapalı, Meltem Saplıoğlu, Serdal Terzi, Mehmet Saltan	403
Çok Şeritli Yollarda Yol Yüzey Bozukluklarının Sürücü Davranışı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi Metin Mutlu Aydın, Ali Topal, Serhan Tanyel	413
Bitümlü Sıcak Karışım Tasarım Yöntemlerinin Değerlendirilmesi Mehmet Yılmaz, Baha Vural Kök, M. Ertuğrul Çeloğlu, Erkut Yalçın	427
SBS+Sasobit Modifiyeli Bitümün Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi Baha Vural Kök, Mehmet Yılmaz, Mustafa Akpolat	439
Kolemanit Atıklarının Asfalt Beton Karışımlarda Filler Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi Serdal Terzi, Nihat Morova, Nefiye Çolak, Sercan Serin, Mehmet Saltan	449
Karayolu Darboğaz Yönetimi için Değişken Hız Yönetimi Uygulamaları Ali Sercan Kesten	459
POSTER BİLDİRİLER	
Esnek Yol Üstyapı Kaplamaları için Alternatif Bağlayıcılar Cahit Gürer	473
Sürdürülebilir Ulaşım İçin Bütünleşmiş Toplu Taşıma Sistemi Ahmet Atalay, Ahmet Tortum	485
Havaalanı Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması Murat Aziz Özdemir, Necati Kuloğlu, Baha Vural Kök, Mehmet Yılmaz	493
Tozlu Agregaların Bitümlü Sıcak Karışım Performansına Etkileri Hüseyin Akbulut, Cahit Gürer, Sedat Çetin, Hasan Doğan	503
Bisikletin Toplu Taşıma ile Entegre Edilmesi Üzerine Anket Çalışması Meltem Saplıoğlu, Emel Yüzer	515

ÖNSÖZ

İnşaat Mühendisleri Odası olarak, 1974 yılından başlayarak Ulaştırma Kongresi'nin 10.sunu gerçekleştirdiğimiz 25-27 Eylül 2013 tarihine kadar geldiğimiz süreçte gelenek-selleşen kongrelerimizin her birinin sonuçları hiç kuşkusuzdur ki Ulaştırma planlamaları ve yatırımlarının bilimsel ve teknik yönüyle olduğu kadar Ulaştırma politikalarına dair değerlendirmeleriyle de önemli belge niteliği taşımaktadır. Ülkemizde gerek kentiçi gerekse de şehirlerarası yolcu ve yük taşımacılığında ülkemiz özelinde Cumhuriyetin ilk yıllarındaki demiryolu ağırlıklı ulaştırma yatırımlarına gereken önem verilmiş iken sonraki yıllarda karayolu ağırlıklı bir politikaya dönülmüş, Demiryolları başta olmak üzere Denizyolu ve Havayolu ulaştırma yatırımları geri planda kalmıştır. Son 50 yılı aşkın süredir Türkiye'nin dışa bağımlılığını ve dış borcunu arttıran karayolu taşımacılığının toplam taşımacılık içinde aldığı pay yolcu taşımacılığında %95, yük taşımacılığında ise %90 oranlarına ulaşmıştır.

Geçtiğimiz yüzyılın ortalarında gelişmiş ülkelerde kentsel ulaşım planlaması; köprü ya da kavşaklardaki tıkanmalar gibi özel sorunları çözmek olarak görülmekteydi. Dünyanın çeşitli ülkelerinde Nazım planlarıyla kentlerin gelişimine ait yerleşim alanlarının arazi kullanım kararları ile ulaşım yapısı arasındaki etkileşimini ve uyumunu analiz eden kapsamlı kentsel ulaşım planları 1950'li yıllardan bu yana hazırlanmış ve uygulanmıştır. Kentsel ulaşım planlaması; hızlı nüfus artışı, gelir artışına bağlı artan otomobil sayısı ve kentlerde banliyölerin oluşması sonucu 1950'li yılların sonrasında inşaat mühendisleri tarafından maliyet verimliliğine dayalı gerçekleştirilen ve nazım planları geliştirmek için geleceğe yönelik kararların rasyonel olarak alındığı bir süreç olarak tanımlanmıştır.

Toplumsal değişimlerle birlikte 1970'lerin sonlarında yeni yaklaşımlar gündeme gelmiş ve kentsel planlama, teknik ve politik bakış açılarını aynı anda irdeleyen ve sadece tek en iyi çözüm sonucuna ulaşmayan bir süreç olarak görülmeye başlanmıştır.

Sonraki yıllarda ise kentsel alanlarda tüm kentlilere mal ve hizmetlerin verimli şekilde erişimini sağlayan; çevre, kültürel miras ve ekosistemleri koruyan ve doğal çevreyle kültürel mirası günümüzdeki refah düzeyine sahip olma imkânları ile birlikte geleceğe aktaran "sürdürülebilirlik" kavramı, planlamanın diğer boyutlarıyla birlikte ulaşım planlamasında yer almaya başlamıştır.

Ülkemiz kentlerinde şehirlerarası ulaştırma, kentiçi trafik ve ulaşım sistemlerinin parçacıl ya da bütüncül olarak planlanması amacıyla geçtiğimiz 50 yıl içinde başta İstanbul, Ankara ve İzmir olmak üzere ulaşım etüdü, ulaşım planı, ulaşım ana planı veya ulaşım master planı gibi isimler altında bilimsel temelli etüt çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ne yazık ki bu çalışmalar uygulamada çok az karşılığını bulmuş, kentiçi ulaşımındaki tıkanıklıkları çözüme iddiasıyla sunulan ve ulaştırma planlaması, sürdürülebilir ulaşım ve bütünleşik ulaştırma sistemleri kavramlarına uygun olmayan köprü, tünel, kavşak düzenlemesi ve battıçtıktı tabir edilen parçacıl yatırımlarla sorun daha da içinden çıkılmaz boyuta taşınmış, ülke kaynakları kötü yönetilmiştir. İstanbul'da inşaatına başlanan 3. Köprü ve yeni havalimanı, yapılacağı açıklanan Kanalistanbul projeleriyle doğal çevreye, kente geri döndürülemez zararlar verilecek, yeni yerleşimlerle kent nüfusunun hızla artmasına yol açılacak ve bu projeler belirli çevrelere arazi rantı sağlanmasında araç olarak kullanılmış olacaktır. İzmir'de Ulaştırma ana planında, nazım planda yer almayan, etütleri, projeleri

ve doğal sit ve arkeolojik alanlara ait koruma kurul onayları olmaksızın kent merkezinde yapımına başlanan Konak tünelleri otomobil kullanımını teşvik ederek kent merkezinin trafik yoğunluğunu ve mevcut otopark sorununu artıracaktır. Yapımı planlanan, fizibil olduğu tartışmalı ve Kent ulaşım ana planında yer almayan İzmir Körfezi Köprü-Batırmatüp projesiyle yine kent içinde otomobil kullanımını teşvik edilecek, körfezin kullanımı sınırlandırılacak, deniz akıntılarının etkilenmesiyle sığlaşma hızlanacak, Çiğli batısındaki doğal sulak alanlardaki kuş cenneti olumsuz etkilenecektir. Üniversitelere ve kamu kurumlarına ait arazilere yapılan ulaşım ana planlarında yer almayan yol, köprü vb. yapılar çözüm yerine zarar vermektedir.

Ülkemiz kentiçi ve şehirlerarası ulaşımına yönelik olarak önceki yıllarda yapılmış, atıl durumda ya da düşük kapasitelerde kullanılan kentiçi demiryolu, tramvay hatları gibi önemli sayıda ulaştırma yapıları ve ulaşım ağlarının yenilenmesi, iyileştirilmesi ve mevcut ulaştırma sistemleri ile bütünleştirilmesiyle sürdürülebilir ulaşım adına da verimli kullanılabilmesi mümkün olacaktır.

Kongremizin ana teması olarak belirlediğimiz “Bütünleşik ulaştırma sistemleri” sürdürülebilir ulaştırma kavramına uygun olarak ulaşım politikalarında kökten değişimi öngörmektedir. Bütünleşik Ulaştırma Sistemleri; özel araç kullanım yoğunluğunun azaltılması gerekliliği, yaşanabilir bir kent oluşturmaya yönelik düzenlenen ve toplu taşıma sistemlerinin daha çok pay aldığı değişik ulaşım türlerinin kullanımı, sokakların sosyal yaşamın gereği halkın kullanıma açık olmasının önündeki sınırlandırmaların kaldırılması ve ulaşım konusunda sürekli bir eğitimin sağlanması ilkelerini öne çıkarmaktadır.

10. Ulaştırma Kongresi'nin gerçekleştirilmesinde emeği geçen Düzenleme Kurulumuzun sayın üyeleri başta olmak üzere; özverili çalışmalarıyla katkıda bulunan bilim kurulu üyelerine, kongremizi bildirileriyle zenginleştiren değerli katılımcılara, ayrıca; maddi ve manevi destekte bulunan tüm kurum, kuruluş ve kişilere en içten teşekkürlerimizi sunuyoruz.

Ayhan Emekli
TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası
İzmir Şube Başkanı

SUNUŞ

Kökeni 1974 yılında gerçekleştirilmiş olan İstanbul Kentiçi Ulaştırma Kongresi'ne dayanan Ulaştırma Kongreleri 1992 yılından günümüze, ülkemizdeki ulaşım yatırım ve politikalarının tartışıldığı; çözüm önerilerinin geliştirildiği ve geleceğe ait ulaşım politikalarının şekillendiği birer ulusal platform niteliği taşımaktadırlar. Ayrıca Ulaştırma Kongreleri, akademisyene mesleki ve bilimsel alanda kendilerini geliştirme ve ifade edebilme olanağını da sunmuştur. Bu bağlamda 10. Ulaştırma Kongresi'ni İzmir'de düzenlemekten büyük mutluluk ve gurur duyuyoruz.

10. Ulaştırma Kongresi kapsamında 38 adet bildiri sözlü olarak sunulacaktır. Ayrıca 5 adet poster bildiri de Kongre süresince sergilenecektir. Kongrenin son günü ise ana temamıza uygun olarak bütünleşik ulaşım sistemlerini ele alan bir panel düzenlenerek bölgemizde yapımı sürmekte veya planlanmakta olan ulaşım yatırımlarının etkinliklerinin ve olası sonuçlarının tartışılması hedeflenmektedir.

Kongrenin hazırlanmasında birçok kişi özveriyle çalışmıştır. Verdikleri destekten dolayı 43. Dönem TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yönetim Kurulu'na, Kongrenin hazırlanmasında emek veren Kongre Düzenleme Kurulu Üyelerine en içten teşekkürlerimi sunarım. Danışma Kurulu ve Bilim Kurulu Üyelerine, katkılarını esirgemeyen tüm katılımcılara ayrıca teşekkürü bir borç bilirim.

İMO Ulaştırma Kongrelerinin ilki kabul ettiğimiz yukarıda anılan kongrenin düzenleyicisi Atilla Alpöge'ye, bugüne kadar yapılmış olan tüm Ulaştırma Kongrelerinde tartışılmaz emekleri olan saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Güngör EVREN ile Prof. Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU'na da şükranlarımı sunarım. Onların özverili çalışmaları olmasaydı Ulaştırma Kongrelerinin geleneksel hale gelmesi de büyük olasılıkla mümkün olamazdı.

10. Ulaştırma Kongresi'nin başarılı geçmesi dileğiyle,

Doç. Dr. Serhan Tanyel
10. Ulaştırma Kongresi
Düzenleme Kurulu Başkanı

İZBAN

Kent İçi Raylı Sistemlerde Bir Model

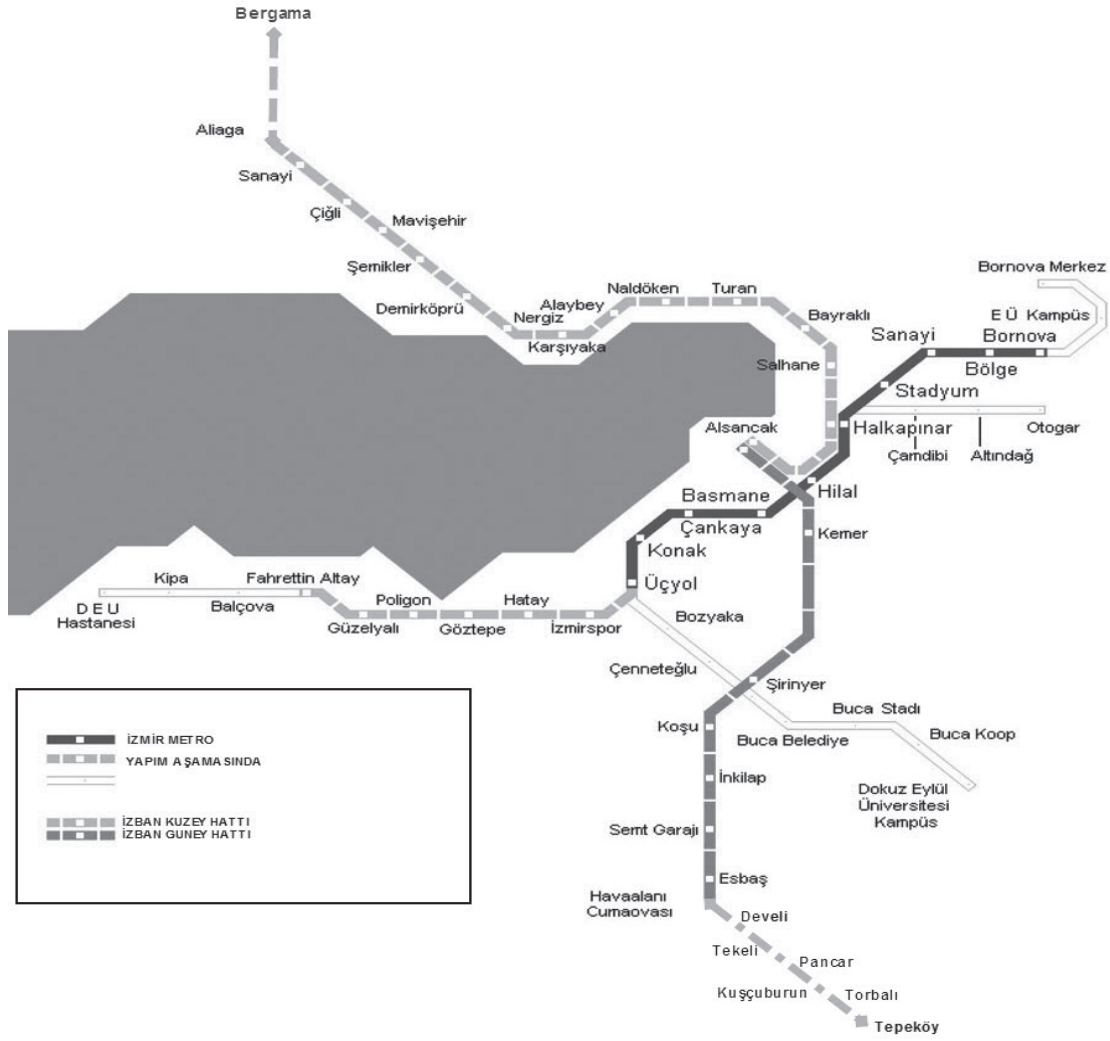
Sabahattin ERİŞ
İZBAN A.Ş. Genel Müdürü

Ülkemiz sınırları içinde ilk demiryolu yapım işletmeciliği İzmir’de başlamıştır. Dolayısıyla bu kent, raylı sistem taşımacılığında bir ilki temsil eder. (1860 – 1866) Keza İZBAN’la ilk defa Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demir yolları hatları üzerinde bir şirket, kendi araç ve personeli ile taşımacılık yapmaktadır. (2010) En önemlisi Türkiye’de ulaştırma sektöründe merkezi idare ile yerel yönetimin iş birliği ile oluşturulmuş bu toplu taşın modeli de bir ilktir. Böylelikle hem İzmir, hem de İzmir Banliyö Sistemleri A.Ş. (İZBAN) kent içi raylı sistemlerde önemli bir şehir, önemli bir model olma özelliğine sahiptir. Nitekim projenin bütün Ege Bölgesine yayılması için EGERAY, aynı modelle Gaziantep’te GAZİRAY, İstanbul’da asrın projesi olarak tanımlanan MARMARAY, Ankara’da BAŞKENTRAY bu anlayışlarla hayata geçirilme safhasındadır. Böylelikle uzun yıllar ihmal edilmiş raylı sistemler, metropol illere yayılma şansını elde etmektedir.

Halen İZBAN tek bir güzergahta Türkiye’nin en uzun kent içi raylı sistemi olma rekorunu elinde bulunduruyor. Her ne kadar Marmaray’ın devreye girmesiyle 2. sıraya gerileyecekse de yapımı sürmekte olan Cumaovası - Torbalı hattının 2014 yılında devreye alınacak olması ve ihale hazırlığı devam eden, kamulaştırma problemi olmayan Torbalı - Selçuk hattı ile birlikte önümüzdeki 2 – 3 yıl içinde 140 km.lik uzunluğu ile sadece ülkemizde değil, Dünya’da bile hatırı sayılır bölgesel banliyö işletmeciliğine kavuşacaktır. Projenin nihai hedefi 51 km’lik Aliğa – Bergama hattının devreye alınmasıyla iki önemli kültürel merkezin birleştirilmesini sağlamaktır. (Total uzunluk 191 km.)

Tablo 1 Banliyö İşletmeciliği Standartları ve İZBAN

Banliyö İşletmeciliği		İZBAN
Ortalama Yol Uzunluğu	30-80 Km	İZBAN 79,5 Km ile Banliyö İşletmeciliğini maksimum sınırdaki yapmaktadır.
Maksimum Hız	130 Km/h	İZBAN’da bu hız max. 120 Km/h olarak belirlenmiştir.
Ortalama Ticari Hız	50-60 Km /h	İZBAN 55 Km/h yapmaktadır.
Minimum sefer aralığı	30-60 dk	İZBAN, Metro Standartlarında toplu taşım yaptığı için Menemen-Cumaovası Pik saatlerde 10 dk. diğer saatlerde 12 dk. , Menemen –Aliğa arasında ise 24 dk. da bir sefer yapmaktadır.



Şekil 1 İZBAN – İzmir Metro Güzergah ve İstasyon Krokisi

Tablo 1'de görüldüğü gibi İZBAN dünya standartlarında bir işletmeciliği metro kalitesinde sürdürmektedir. Bütün istasyonlarda yürüyen merdivenler ve engelli asansörleri vardır. Hatlar da karma işletmecilik yapılmasına rağmen (Banliyö, Anahat, Bölgesel tren, Yük treni gibi) önemli bir konfor sorunu yoktur. Pek yakında bölgede halen dizel işletmecilik şeklinde sürdürülen demiryolu işletmeciliği de tıpkı İZBAN gibi elektrikli sisteme dönüşeceğinden tünel içi peronlarda daha iyi konforun sağlanması gündemdedir.



Resim 1 Karşıyaka İstasyon (Eski Hali)

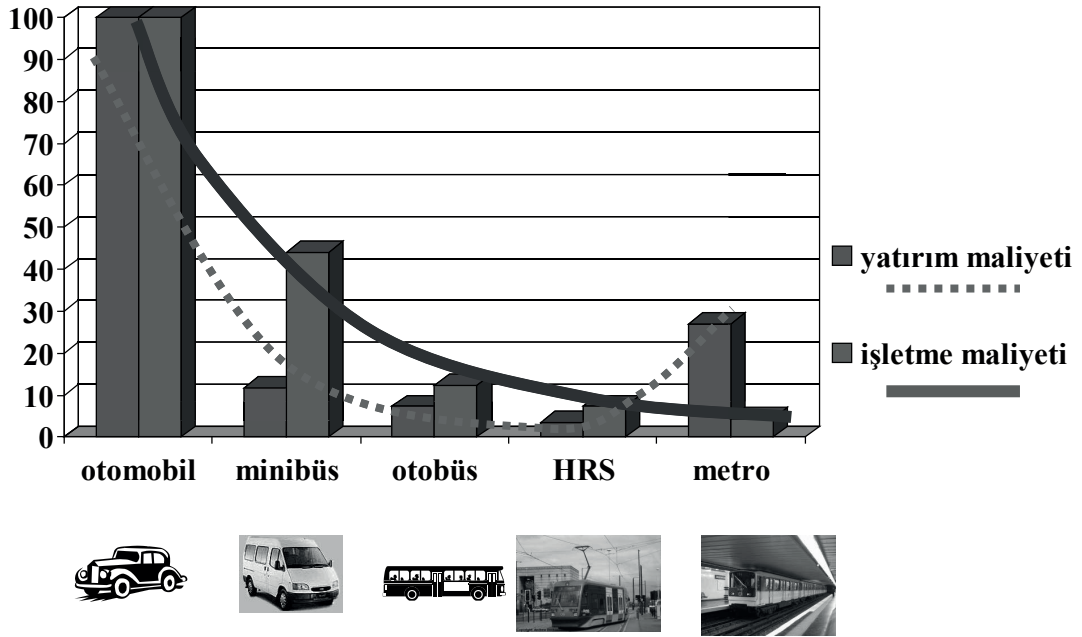


Resim 2 Karşıyaka İstasyon (Bugünkü Durumu)



Resim 3 Karşıyaka İstasyon (Tünel İçi Görünüm)

Modern kentlerde, şehir işletme masraflarının %40'ının ulaşım harcama ve yatırımlarına ayrıldığı göz önünde bulundurulursa, kentlerde ulaşım modlarının seçimi ve birbiri ile senkronizasyonu önem arz eder. Ulaştırma yapıları pahalı ve büyük yatırımlardır. Yanlış veriler veya politik kararlarla inşa edilmiş ulaşım yapılarını, kısa zamanda değiştirmek çok zordur. Yıllarca trafik altında kalırlar ve fonksiyonel olmadıkları için ekonomik açıdan kan kaybına sebep olurlar. Bu bakımdan şehirlerde bin bir güçlükte inşa edilen ulaşım yapıları, hem şehir hem de ülke ekonomisini negatif yönde direkt etkiler. Petrol ve türevlerini dövizle dayalı kaynaklarla temin eden ülkelerde, yüksek enflasyon ve cari açığın nedenlerinden biri olmaya adaydır.



Şekil 2 Toplu ulaşım sistemlerinin yatırım ve işletme maliyetlerinin karşılaştırılması

Şekil 2'deki grafik İZBAN'ın akılcı yatırım olduğunu göstermektedir. Her şeyden önce mevcut hatların üzerinde işletmecilik yapılmaktadır. Projenin hayata geçirilmesinin de kamulaştırma yapılmadığı için fizibilite durumdadır. Aslında ekonomisi gelişmiş ülkelerin metropollerinde daha önceden yapılmış ve şehirlerin merkezinde kalmış eski demiryollarının modernize ve rehabilite edilerek, kent yaşamına fonksiyonel şekilde sunulması, geçtiğimiz yarım yüzyılda başarıyla denenmiştir. Esas itibarıyla İZBAN bu anlayış ve dinamiğin üzerine oturmuştur.

Menemen - Aliağa arasındaki 26 km'lik kesim hariç, güzergâh ve alt yapıları yabancı şirketlerce düzenlenen tek hatlı demiryolu, kamulaştırma koridorunun elverişliliği nedeniyle zaman içerisinde çift hatta çıkarılmış ve üst yapısı yenilenmiştir. Demiryolcuların büyük ve ısrarlı çabaları sonucu bu çok önemli arter muhafaza edilmiş, üzerinden geçen İzmir – Aydın, İzmir- Çanakkale otoyol köprüleri ile demiryolunun altından geçen 2*2400 mm'lik İzmir büyük kanal geçişleri 4 hatta göre projelendirilmiş ve ilgili kurumlarında anlaşmaları sonucunda inşa edilmişlerdir. Halen bu güzergâh Karşıyaka ve Şirinyer tünelleri hariç 3. Hat yapımına imkan vermekte ve esasen yapılması da gerekmektedir.

Mevcut güzergahın en büyük handikabı, çarpık şekilde yapılaşmadan doğan hemzemin geçitlerdir. (54 km'lik hatta 66 hemzemin geçit) Bugün hemzemin geçit yok denecek düzeye indirgenmiştir.



Resim 4 Güzergah üzerindeki hemzemin geçit



Resim 5 Güzergah üzerindeki hemzemin geçit

İZBAN hayata geçmeden önce bu kesimde Devlet Demiryollarınca 30 dk. ile 60 dk. bir dizel banliyö işletmeciliği yapılmaktaydı. Taşıt filosunun demode oluşu, istasyonların fonksiyonel olmaması, sinyal ve elektrifikasyon tesislerinin bulunmayışı nedeniyle doğal olarak hantal bir banliyö işletmeciliği söz konusuydu. Uzun yıllar günlük banliyö yolcu portföyü 10 bin kişi düzeyinde kalmıştır. 1996 yılından başlamak üzere İzmir Büyükşehir Belediye Başkanlığı ile TCDD Genel Müdürlüğü arasında bu hatlarda aktif bir banliyö işletmeciliği konusunda müteaddit protokoller yapılmışsa da 06.06.2005 tarihine kadar ciddi bir gelişme yaşanmamıştır.



Resim 6 İZBAN Protokol Töreni

Resimde görülen protokolün imza ve Yüksek Planlama Kurulunca onaylanmasından sonra, gerek TCDD gerekse İBŞB Başkanlığı, anılan hatta metro standardında bir işletmecilik için düğmeye basmışlardır. Yaklaşık 4,5 yıl süren inşa ve hazırlık safhasında taraflar, protokole göre aşağıdaki yatırımları gerçekleştirmişlerdir.

“a-) Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryollarına ait Aliğa'dan başlayarak Menemen, Çiğli, Karşıyaka, Alsancak, Adnan Menderes Havaalanı ve Cumaovası'na kadar olan yaklaşık 80 km.lik çift hatta 31 adet istasyon, 14 adet aktarma merkezi, 2 adet tren deposu ve toplam uzunluğu 5,2 km. olan tünellerin, inşası ve alt üst geçitlerin yapımı, İzmir Büyükşehir Belediyesi Başkanlığınca gerçekleştirilmiştir.

“b-) Hatlar, makaslar, sinyalizasyon ve elektrifikasyon tesisleri TCDD tarafından yapılmıştır,

“c-) Sistemde çalışacak tren dizileri İZBAN A.Ş. tarafından temin edilmiş ve edilecektir,

“d-) İşletmecilik; TCDD ve İzmir Büyükşehir Belediyesinin % 50'şer ortaklıkla kurduğu İZBAN A.Ş. tarafından yürütülmektedir.”

30.08.2010 tarihinde Başbakanın ve Ana Muhalefet Genel Başkanının birlikte resmi açılışını yaptığı İZBAN, 33 tren setiyle başladığı işletmeciliğinde kısa sürede yolcu talep patlamasıyla karşılaşınca, 18.08.2011 tarihten itibaren Ulaştırma Bakanının talimatıyla 10 tren seti kiralamış ve toplamda 43 set ile işletmeciliğini sürdürmektedir. Güney Kore'de 180 milyon avroluk bir yatırımla yapımı devam eden 40 tren seti henüz imalat safhasında olduğundan, pik saatlerde set sıkıntısı çekilmektedir. 2014 yılı ilk çeyreğinde yeni tren setleri belli periyotlarla filoya katılacağından, bugün 200 bin olan günlük yolcu sayısının süratle artması beklenmektedir.

İZBAN'ın işletmeye alınması ile sadece kent içi ulaşımında değil, sosyal yaşamında da önemli değişiklikler olmuştur. En belirgin özellik birbirine yolcu transfer eden İZBAN ile İzmir Metro A.Ş. nin birlikte taşıdığı yolcu sayısı, toplam yolcu taşımının % 27 sine çıkmış olmasıdır. Aşağıdaki tablonun incelenmesinden İzmir kent içi toplu ulaşımının dün, bugün ve geleceği görülebilir.

Tablo 2 İzmir'de Ulaşımında Bütünleşme

Ulaşım Türü	1999	2004	2012	2015 (Hedef)
Karayolu (Otobüs)	% 99 (ESHOT + İZULAŞ)	% 85 (ESHOT + İZULAŞ)	% 67 (ESHOT + İZULAŞ)	% 50
Denizyolu	% 0,5 (TDİ)	% 4,9 (İZDENİZ)	% 6	% 10
Raylı Sistem + Demiryolu	% 0,5 TCDD	% 10 İZMİR METRO % 0,1 TCDD	% 27 (İZBAN + İZMİR METRO)	% 40 (İZBAN + İZMİR METRO)

2013 İzmir günlük yolcu sayısı brüt 1,5 milyondur. İZBAN + İZMİR METRO = 400.000 yolcu

Ege Üniversitesinde yapılan bir araştırmaya göre, İZBAN yolcularının %10'u özel araçlarını ya kullanmamakta ya da kent içine getirmemektedirler. Bu nedenle Aliğa, Ulukent, Sarnıç, Mavişehir, Cumaovası istasyonlarının çevresi, otopark halini almıştır. Kent içine girmeyen araç sayısı 15 – 20 bin arasında değişim göstermekte olup, egzoz emisyonu ve gürültü kirliliğinde İZBAN'ın kente pozitif katkı yaptığı görülmektedir.



Resim 7 Aliğa İstasyon ve Çevresi



Resim 8 Mavişehir İstasyon ve Çevresi

Artan yolcu talebi ve devreye girecek yeni hatlar sebebiyle taşıt filosunun geliştirilmesi zaruri olduğundan 180 milyon avroya mal olacak ve İzmir halkının oyları ile seçerek belirlediği 40 adet Hyundai Rotem elektrikli tren setlerinin ilk partisinin 2014 yılının şubat ayında Türkiye de olması beklenmektedir.



Resim 9 İzmir halkının oylarıyla ile seçilerek 2014 yılında hizmete girecek olan “Körfez Yunusu” adlı tren setleri

Merkezi Cenevre de bulunan 92 ülke ve 3400 kurumsal üyesi bulunan dünyanın en büyük kuruluşu Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği (UITP) 60. Kongresinde, 240 proje içerisinde En İyi İşbirliği kategorisinde İZBAN’na birincilik ödülü verilmesi projenin dünyada da sempati gördüğünün ve izlendiğinin kanıtıdır.



Resim 10 60. UITP Cenevre Kongresi ödül töreni

Belediye Otobüs İşletmeciliği Açısından İzmir’de ESHOT Genel Müdürlüğü’nün Gelişimi, Dünü, Bugünü

Alper DERİ

ESHOT Genel Müdürlüğü
Ulaşım Planlama Dairesi Başkanlığı
Ulaşım Planlama Şube Müdürlüğü
Gazeteci Yazar İsmail Sivri Bulv. No:500
35380, Buca-İzmir
Tel: (232) 493 50 00-5542
E-Posta: aderi@eshot.gov.tr

Öz

Bir kentte kesintisiz, güvenilir ve sürekli toplu ulaşım hizmetinin sağlanması için toplu ulaşım işletmecilerinin yeterli fiziki alana sahip alt yapı tesislerine ihtiyaçları olduğu kadar yoğun kent nüfusuna hizmet verebilen ve yolcu konforunu sağlayabilen bir araç filosuna da sahip olmaları gerekmektedir. Ayrıca gelişen teknolojiyi takip eden bir yönetim anlayışının benimsenmesi yolcu memnuniyetini arttıracak, işletim ve bakım maliyetlerini minimize ederek büyük filoların yönetim ve takibinin yapılmasını oldukça kolaylaştıracaktır. Hatların bütüncül bir yaklaşım ile; yolculuk taleplerini, işletim verimlilik esaslarını dikkate alan ve kent içinde hizmet veren diğer toplu ulaşım türleriyle entegrasyonu sağlayan en uygun hat ve toplu ulaşım ağı yapısının oluşturulmasının da hayati önemi bulunmaktadır.

Yapılan çalışmada, İzmir kentinde, 70 yıldan beri yolcu memnuniyeti odaklı, ekonomik, emniyetli, konforlu, sürekli ve güvenilir toplu taşımacılık hizmetini gerçekleştirmeyi misyon edinmiş İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü’nün yıllar içerisindeki gelişimi, mevcut altyapı olanakları ve son yıllarda gelişen teknolojiyle kurumda kullanılmaya başlanan “Akıllı Ulaşım Sistemleri” genel olarak anlatılmıştır. Ayrıca ilk kez 2000 yılında otobüs, vapur sistemi ve metro sistemi arasında uygulanmaya başlanan ve 2011 yılında da İzmir Banliyö Hattı'nın ulaşım sistemine dahil olmasıyla son aşamasına gelen, aktarmaya dayalı ve işletme verimliliğini esas alan "Bütünleşik Ulaşım Sistemi" projesi ve sağladığı yararlar kapsamlı olarak ele alınmıştır.

Anahtar sözcükler: Akıllı ulaşım sistemleri, Otobüs işletmeciliği, Bütünleşik ulaşım sistemleri.

Giriş

Her geçen gün artan kent nüfusları ve kentsel gelişimin kent çeperlerine dayanması, toplu ulaşım kapasitenin verimli kullanılmamasına, toplu ulaşımındaki hizmet seviyesinin düşmesine neden olmaktadır. Kentteki toplu ulaşımın yetersiz kalması ise özel taşıt kullanımını arttıran bir faktör olmaktadır. Hâlbuki bir kentteki trafikten

kaynaklanan problemlerin giderilmesinin en düşük maliyetli yolu, ulaşım sistemi kullanıcılarının toplu ulaşımına olan eğiliminin artırılmasıdır. Bunun için de toplu ulaşımında hizmet düzeyinin yüksek tutulması, özellikle lastik tekerlekli ulaşımında yolcuların sistem tutarlılığına olan güveninin sağlanması gerekmektedir. Lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemleri, hat planlaması, işletmesi ve revizyonunda büyük esneklikler sağlanmasına rağmen, yoğunlukla diğer taşıt trafiğinin içinde işletildiklerinden, performansları mevcut trafik koşullarından doğrudan etkilenmektedir. Sistemin kendi içinde ve diğer toplu ulaşım sistemi ile entegrasyonun sağlanması ve gün içerisindeki farklı taleplere uygun sefer sıklığının belirlenmesi verimli bir işletmecilik için hayati önem taşımaktadır. Ayrıca gelişen teknolojiyi takip eden bir yönetim anlayışının benimsenmesi yolcu memnuniyetini arttıracak, işletim ve bakım maliyetlerinin minimize ederek büyük filoların yönetim ve takibinin yapılmasını oldukça kolaylaştıracaktır.

ESHOT Genel Müdürlüğü, Elektrik, Su, Havagazı ve Toplu Ulaşım gibi geniş bir yelpazede, İzmir kentine hizmet vermek üzere kurulmuş, İzmir Büyükşehir Belediyesine bağlı, müstakil bütçeli, bünyesindeki elektrik bölümünü TEK'e devretmiş ve İZSU gibi bir kurum çıkarmış, deneyimli, bilgi birikimli, köklü bir kuruluştur. Büyükşehir Belediye Kanunu'nun ilgili maddesi ve fıkrasına dayanarak; karayoluyla ulaşım hizmetinden otobüslerle toplu ulaşım hizmetini; planlamak, bilet ücret ve tarifelerini, zaman ve güzergahlarını belirlemek, durak yerlerini tespit etmek görevlerini yerine getirmektedir (ESHOT, 2013). İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları dâhilinde ESHOT Genel Müdürlüğü İZULAŞ A.Ş. ile birlikte, Aliağa, Balçova, Bayındır, Bayraklı, Buca, Bornova, Çiğli, Foça, Gazıemir, Güzelbahçe, Karabağlar, Karşıyaka, Kemalpaşa, Konak, Menderes, Menemen, Narlıdere, Seferihisar, Selçuk, Torbalı ve Urla olmak üzere 21 ilçeye 333 hat ile 1238 solo, 465 körüklü ve 202 midibüs olmak üzere toplam 1905 araçlık otobüs filosu (Eylül 2013 tarihine göre) ile toplu taşıma hizmetini sunmakta ve günlük ortalama 1.130.000 yolculuk ile kent içi toplu ulaşım yolculuk talebinin yaklaşık % 75'ini karşılamaktadır.

Bugün, mevcut filosu ve yeni otobüs alımları ile de, nitelik olarak çevreci, yeni, gençleşmiş ve nicelik olarak sayısı artırılmış bir otobüs filosu ile İzmir metropolünün toplu ulaşım ağındaki etkin rolünü ve görevini, hedeflenen çağdaş ölçülere ulaştırmak için çalışmalarını sürdürmektedir. Ayrıca dünyada hızla gelişen teknolojiye paralel olarak ulaşım ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler kurum tarafından yakından takip edilmektedir. Toplu ulaşım hizmeti veren kurum, yılların birikimini ve güncel teknolojiyi birleştirerek kentlimizin yaşamını kolaylaştıracak birçok fark yaratan projeyi hayata geçirmiş ve yeni uygulamalar için de AR-GE faaliyetlerini sürekli devam ettirmektedir.

Kurumun tarihçesi

Cumhuriyetin ilk yıllarında İzmir'de toplu ulaşım atlı ve elektrikli tramvaylarla sağlanmıştır. Cumhuriyet döneminde İzmir'in kentsel gelişiminin ve nüfusunun artmasıyla tramvaylar kent içi ulaşımında artık yetersiz kalmış olup, bir yandan atlı tramvayların elektrikleştirilmesi, bir yandan da tramvay yerine otobüs işletmesinin İzmir'in ulaşım sorunlarını çözebileceği yönünde görüşler öne sürülmüştür. Elektrikli tramvaylarla birlikte, İzmir kent içi ulaşımın yapısını değiştirecek olan otobüsler ilk defa 1930'lu yılların başlarında hizmet sağlamaya başlamıştır. Otobüsler bir toplu ulaşım aracı olarak daha modern ve kullanışlı olması sebebiyle öncelikle Kule-Konak,

Cumhuriyet Bulvarı-Stadyum ve Halkapınar arasında işletilmiştir (ESHOT, 2011a). Bu gelişmelerle birlikte İzmir Belediyesi, 1936 yılında açılan ihaleyle 12 otobüs satın almış ve İzmir Belediyesi Otobüsleri (İBO) adıyla kent içinde birçok noktaya hizmet vermeye başlamıştır (Şekil 1). Ayrıca trambüs adı verilen körüklü otobüs modelleri kent içi ulaşımında ilk kez kullanılmaya başlamıştır (ESHOT, 2011a).



Şekil 1 İzmir Belediyesi Otobüsleri (İBO).

İzmir Belediyesi kent içinde birbirinden ayrı olarak faaliyet gösteren otobüs, tramvay, elektrik su ve hava gazı işletmelerini birleştirerek üniter bir yapı oluşturmak istemiştir. Bu amaçla, İzmir Tramvay ve Elektrik Türk Şirketi 27 Temmuz 1943 tarihinde 4483 sayılı yasayla katma değer bütçeli bir idare şeklinde yönetilmek üzere İzmir Belediyesi'ne bağlı bir işletme olarak kurulmuştur. 1945 yılından itibaren ise daha önce Belediyeye devredilen, Tramvay ve Elektrik İşletmesi, İzmir Suları İşletmesi ve Havagazı İşletmesini kapsayan Belediyeye bağlı mülhak bütçeli bir Umum Müdürlük (ESHOT Genel Müdürlüğü [ESHOT]) kurulmuştur (ESHOT, 2011a; ESHOT, 2009). Sürekli artan talepler karşısında kurumca ulaşım araçlarının yenilenmesine devam edilerek, eskiyen araçların yerine zaman içinde yeni otobüsler alınıp hizmete sunulmuştur (ESHOT, 2009; ESHOT, 2011a) (Şekil 2).



Şekil 2 ESHOT Otobüsleri.

1952 yılında, İzmir Belediye Meclisinde yapılan toplantıda ESHOT mühendislerinin yaptığı araştırmalar neticesinde trolleybüslerin elektrikli tramvay ve otobüslerden daha yararlı olacağını ortaya konmuştur (ESHOT, 2011a). Elektrik enerjisiyle çalışmaları için çevre dostu olan ve sessiz bir şekilde kent sokaklarında seyahat eden trolleybüsler petrole bağlı bir araç olmadıklarından maliyeti çok ucuz bulunur olması nedeniyle başta İzmir olmak üzere Ankara ve İstanbul'da belediyeleri tarafından toplu taşımacılıkta uzun bir süre kullanılmışlardır. ESHOT, Türkiye'de bir ilki başararak; 1964 yılında kendi markasını verdiği otobüsleri, 1966'da ilk defa yerli trolleybüsleri kendi atölyelerinde üretmiştir. Kurum, 1964 yılından 1968 yılına kadar 19 otobüs, 12 trolleybüs imal ederek servise çıkarmıştır (ESHOT, 2011a). Ayrıca Kuruma ait Güzelyalı Atölyesi'nde MAN motoru ve şasesi kullanılarak körüklü otobüs imalatına

başlanmış ve 1990 yılı sonuna kadar 40 adet körüklü otobüs imalatı yapılmıştır (ESHOT, 2011a; ESHOT, 2009).

1990 yılında ESHOT Genel Müdürlüğü ile birlikte kent içi toplu ulaşım destek olması amacıyla İzmir Büyükşehir Belediyesi İZULAŞ A.Ş., sermaye payı olarak devredilen ESHOT' a ait 29 adet otobüs ile toplu taşımada faaliyeti göstermeye başlamasıyla birlikte her geçen yıl her iki kurumun filosuna da birçok otobüs eklenmiştir.

1992 yılına kadar kent içinde toplu ulaşım hizmeti sağlayan trolleybüsler, teknolojisinin eskimesi, yedek parçalarının temin edilememesi, şehrin trafik akışını olumsuz yönde etkilemesi, işletme maliyetinin artması ve ekonomik ömrünü tamamlaması gibi nedenler ile hizmet dışı bırakılmıştır. Bu tarihten itibaren ESHOT Genel Müdürlüğü İzmir kent içi toplu ulaşımını otobüs odaklı olarak sağlamaya başlamıştır (ESHOT, 2009).

ESHOT Genel Müdürlüğü, sürdürülebilir toplu taşımacılık hizmeti için toplu taşımacılık sektöründe 1885 yılında kurulan ve dünyadaki en büyük sivil toplum kuruluşu olan ULUSLARARASI TOPLU TAŞIMACILAR BİRLİĞİ (UITP)'ne 17 Şubat 2011 tarihinde katılmıştır (ESHOT, 2012).

Fiziki Altyapı ve Sayısal Bilgiler

Bir kentte kesintisiz, güvenilir ve sürekli toplu ulaşım hizmetinin sağlanması için toplu ulaşım işletmecilerinin yeterli fiziki alana sahip alt yapı tesislerine ihtiyaçları olduğu kadar yoğun kent nüfusuna hizmet verebilen ve yolcu konforunu sağlayabilen bir araç filosuna da sahip olmaları da gerekmektedir. Ayrıca gelişen teknolojiyi takip eden bir yönetim anlayışının benimsenmesi yolcu memnuniyetini arttıracak, işletim ve bakım maliyetlerini minimize ederek büyük filoların yönetim ve takibinin yapılmasını oldukça kolaylaştıracaktır. Hatların bütüncül bir yaklaşım ile; yolculuk taleplerini, işletim verimlilik esaslarını dikkate alan ve kent içinde hizmet veren diğer toplu ulaşım türleriyle entegrasyonu sağlayan en uygun hat ve toplu ulaşım ağ yapısının oluşturulmasının da hayati önemi bulunmaktadır.

Garajlar ve Atölyeler

İşletmedeki atölyelerin fiziki ve teknolojik alt yapı durumu filodaki otobüslerin servis dışı kalma sürelerini etkilemekte, filonun etkin kullanılmasını ve güvenilir işletmeciliğin yürütülmesini sağlamaktadır. Garajların mümkün olduğu kadar son durak alanlarına yakın mesafede teşkil edilmesi garajları ile son durak alanları arasındaki mesafeden dolayı oluşan ölü kilometreyi en aza indirecektir.

ESHOT Genel Müdürlüğü; İnciraltı Atölye, Karşıyaka Atölye, Gediz Atölye (Şekil 3) ve Mersinli Atölye olmak üzere 35.800 m² 'si kapalı alan, toplam 169.974 m² alana sahip 4 adet atölyede, İZULAŞ A.Ş. ise Belkahve ve Stad Atölyelerinde araçların bakım-onarım çalışmalarını, yakıt ikmallerini ve periyodik temizlik işlemlerini gerçekleştirmektedir. Ayrıca kurum bünyesinde seferini tamamlayan otobüslerin kapatıldığı Çiğli, Küçük Çiğli, Adatepe, Torbalı, Urla, Menderes ve Sarnıç garajları bulunmaktadır.



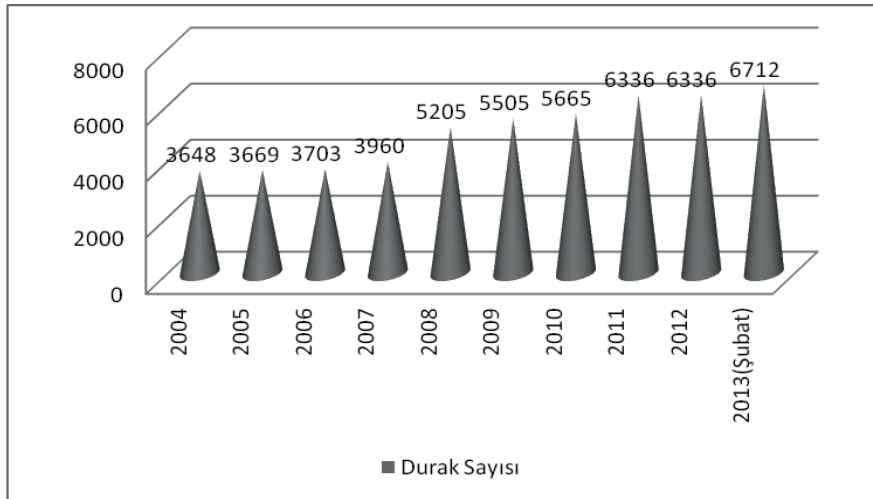
Şekil 3 ESHOT Genel Müdürlüğü-Gediz Garajı ve Atölyesi.

Duraklar, Aktarma Merkezleri ve Son Durak Alanları

Duraklar, otobüslerin yolcuları indirip bindirdiği, bir ya da daha fazla bindirme alanından oluşan, toplu ulaşım sisteminin erişim noktaları olarak tanımlanabilir. Bu bağlamda durakların trafik akımı içerisindeki konumu (kavşaklardan önce, kavşaklardan sonra, iki kavşak arasında), diğer trafik şeritleriyle ilişkisi (şerit üzerinde, cep içerisinde), birbirlerine olan mesafesi, niteliği, bindirme alanlarının sayısı gibi faktörler duraklardaki gecikmeyi buna bağlı olarak işletme performansını doğrudan etkilemektedir. Otobüs duraklarının konumlarının yolcuların yürüme mesafelerini en aza indirecek erişilebilirliği yüksek bir şekilde belirlenmesinin yanı sıra, trafik akımını ve işletme performansını olumsuz yönde etkilemeyecek biçimde belirlenmesi gerekmektedir. İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü yukarıda bahsedilen tüm etkileri ve Türk Standart Enstitüsünün 11783 No'lu "Şehir İçi Yollar Otobüs Durakları Yer Seçim Kuralları"nda yer alan ilkeleri dikkate alarak durak yerlerini tasarlamakta ve periyodik olarak bakım ve yenileme çalışmalarını yaparak kentlilerimize en iyi bekleme ortamının sunulmasını amaçlamaktadır (Şekil 4). Şekil 5'den görüldüğü üzere hizmet sınırlarımızın genişlemesine paralel bir şekilde durak sayısında da her yıl artış yaşanmakta olup durak sayımız 2004 yılında 3648 iken 2013 yılı Şubat ayı itibarıyla 4.607' i açık 2.105' i kapalı nitelikte olmak üzere toplam 6.712 adete ulaşmıştır.



Şekil 4 Açık ve kapalı nitelikteki otobüs durakları.



Şekil 5 Yıllara göre durak sayılarının değişimi.

Aktarma merkezleri yolcuların farklı veya aynı toplu ulaşım türlerinin kullanarak yolculuklarına devam edebilmelerini sağlayan alanlardır. Aktarma merkezlerinin türler arasında geçen yürüme süresini minimize edecek ve erişimi kolaylaştıracak şekilde tasarlanması gerekmektedir. İlk kez 2000 yılında vapur ve metro bağlantılı aktarma merkezleri oluşturulmaya başlamıştır (Şekil 6).

Toplu ulaşım sisteminin omurgasını oluşturan Aliğa – Menderes Banliyö sisteminin hizmete girmesiyle birlikte ise, yeni bir dönem başlatan İzmir Büyükşehir Belediyesi banliyö hattı üzerinde istasyonlar ile ilişkilendirilen 16 adet yeni aktarma merkezi oluşturmuş ve aktarma merkezi bağlantılı yeni bir hat planlaması yapmıştır.



Şekil 6 Konak-Bahribaba Aktarma Merkezi(solda) ve Bostanlı İskele Aktarma Merkezi(sağda).

Günümüzde, kentte toplamda 26 adet aktarma merkezi (Tablo 1) bulunmakta olup, aktarma merkezlerinde ihtiyaca yönelik yenileme çalışmaları devam etmektedir (Şekil 6). Diğer toplu ulaşım türleri yatırımlarının devam etmesi ile birlikte ve hat optimizasyon çalışmalarına bağlı biçimde ileriki yıllarda aktarma merkezleri sayısında artış olması durumu kaçınılmazdır.

Tablo 1 Aktarma merkezleri ve aktarma yapılabilecek toplu ulaşım türleri.

No	Aktarma Merkezi Adı	Toplu Ulaşım Türleri			
		OTOBÜS	İZBAN	METRO	VAPUR
1	Biçerova	X	X		
2	Hatundere	X	X		
3	Menemen	X	X		
4	Ulukent	X	X		
5	Egekent	X	X		
6	Çiğli	X	X		
7	Mavişehir	X	X		
8	Bostanlı İskele	X			X
9	Karşıyaka İskele	X			X
10	Halkapınar	X	X	X	
11	Bornova Metro	X		X	
12	Kemer	X	X		
13	Şirinyer	X	X		
14	Tınaztepe	X			
15	Gaziemir Semt Garajı	X	X		
16	Esbaş	X	X		
17	Sarnıç	X	X		
18	Cumaovası	X	X		
19	Üçyol	X		X	
20	Fahrettin Altay	X			
21	Üçkuyular İskele	X			X
22	Gümrük	X			
23	Konak	X		X	X
24	Evka 3 Metro	X		X	
25	Salhane	X	X		
26	Hilal		X	X	

Ayrıca kurum, toplu taşıma faaliyetleri kapsamında vatandaşlarımızın, servis araçlarının ve şoför personelin mekansal ihtiyaçlarını karşılamaya dönük olarak, yeni son durak alanlarının projelendirmesi ve mevcut son durak alanlarının iyileştirilmesi yönünde faaliyetlerini sürdürmektedir (Şekil 7).



Şekil 7 Son durak alanlarındaki çalışmalar.

Bu bağlamda birçok son durak alanında peron sistemleri oluşturulmuş, hareket memurlukları ve kantinler konumlandırılmıştır. Aktarma merkezlerinde ve son durak alanlarında yapılan iyileştirmeler sonucunda vatandaşlarımıza daha temiz, daha düzenli ve daha çağdaş bir bekleme ortamı sunulması amaçlanmaktadır (ESHOT, 2012).

Araç Filosu

Bilindiği gibi gün içerisinde farklı saat dilimlerinde, farklı yolculuk talepleri oluşmaktadır. Ayrıca otobüs hatları, hizmet verdikleri bölgenin arazi kullanım özellikleri, nüfus yoğunlukları gibi faktörlere bağlı olarak birbirinden farklı yolculuk taleplerinde işletilmektedir. Araç seçiminin farklı yolculuk taleplerine hizmet verebilecek şekilde yapılması, verimli bir işletmeciliğin yürütülmesini sağlamaktadır. Eğer otobüslerin kapasitesi mevcut talebi karşılayamaz ise yolculukların durakta bekleme süreleri ve duraklarda bekleyen yolcu sayıları artacaktır. Ayrıca otobüslerin sefer başına taşıdıkları yolcu sayısı da yükselecek ve taşıt kapasitelerini zorlayarak hizmet düzeyini düşürecektir. Kapasitenin talepten yüksek olması ise ulaşım ağının çoğu kesiminde işletme karlılığını azaltıcı atıl kapasitelerin oluşmasına neden olacaktır.

Filodaki araçların yaş ortalaması ve yeterli teknolojik donanıma sahip olması bakım, onarım ve yakıt masraflarını minimize edecek, arızalardan dolayı araçların servis dışı kalma olasılığını azaltarak, güvenilirliği yüksek, konforlu, yolcu memnuniyetini sağlayabilen bir toplu ulaşım hizmeti verilmesini sağlayacaktır. Çevre dostu bir yaklaşımla emülsiyon salınımı düşük araçların filoda yer alması ise çevre kirliliğini önleyecektir.

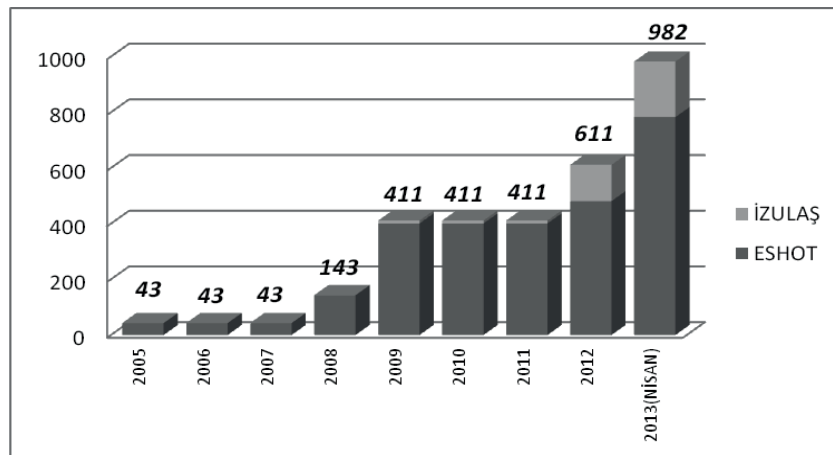
2005 yılında kent içi toplu ulaşımında ilk kez klimalı otobüslere yer vererek yeni bir devir başlatan İzmir Büyükşehir Belediyesi, ESHOT Genel Müdürlüğü, o tarihten itibaren tüm otobüs alımlarında klimalı olması şartını getirmiştir. Kurumun iyi hizmet sunumuna yönelik bakış açısını ifade eden kalite için yenilenen filonun olmazsa olmazları günümüz ihtiyaçları dikkate alınarak belirlenmektedir. Bu noktada klimalı, çevreye zarar vermeyen, yüksek performanslı, uzun ömürlü, ekonomik, tam alçak tabanlı otobüsleriyle toplu taşımada engelli, hamile, çocuklu yolcular ve yaşlılar dahil olmak üzere bütün yolcular için daha rahat iniş - binış olanağı sunulmasına, seyahat

kolaylığı sağlamanın haricinde durakta bekleme sürelerinin azaltılmasıyla da işletme maliyetlerindeki önemli kayıpların önlenmesine özen gösterilmektedir. Daha iyi bir toplu ulaşım hizmeti için mevcutta iyileştirmeler yapan kurum, yeni alınan araçlarında da gelişen teknolojinin yansımalarını sunmaya devam etmektedir (Şekil 8) (ESHOT, 2012).

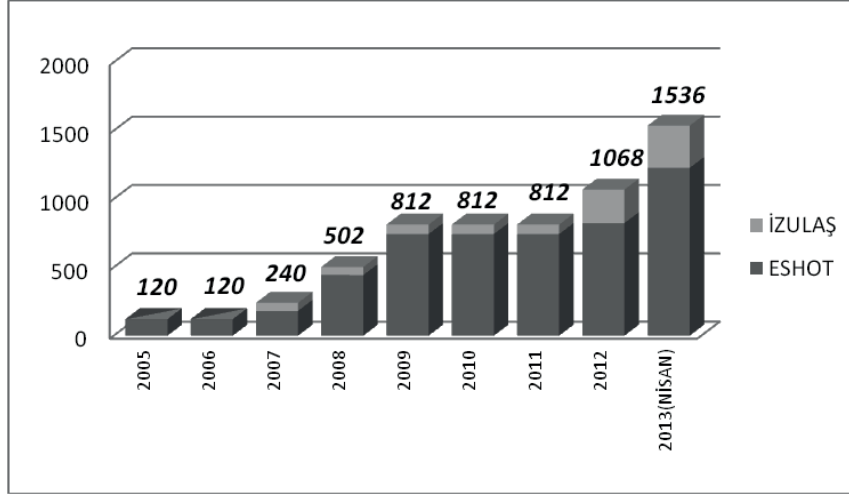
Yeni otobüs alımlarıyla da iyi hizmet sunumu her geçen gün artırılarak toplu ulaşımın keyifli bir seyahat haline dönüştürülmesi hedeflenmektedir (Şekil 9 ve 10). Bu doğrultuda filonun yüzde 95 civarında yenilenmesi amaçlanmaktadır. 2013 yılı Eylül ayı itibariyle İZULAŞ A.Ş ile birlikte 1238 solo, 465 Körüklü, 202 Midibüs olmak üzere toplam 1905 otobüs ile hizmet verilmesi planlanmaktadır. Yine 2013 yılı Eylül ayı itibariyle filoda 1536 adet klimalı (toplam filonun % 80'i) , 982 adet engelli kullanımına uygun otobüs (Filonun %52' si) mevcut olması planlanmış olup, otobüsler modern teknoloji ile üretilmiş çevre dostu motora sahiptir. Yeni otobüslerimizin filoya katılmasıyla beraber otobüslerin filo yaşı Avrupa Birliği standartlarında ortalama altı olarak kabul edilen ideal filo yaşının altına düşecektir. Yolcu taşıma ömrünü tamamlayan otobüsler ise istekli belediyelere sosyal projelerde kullanılmak üzere kurum tarafından ilgili yasa kapsamında ücretsiz olarak verilmektedir.



Şekil 8 Kurumun araç filusunda yer alan otobüslere ait örnekler.



Şekil 9 Engelli uyumlu araç sayısının yıllara bağlı olarak değişimi.



Şekil 10 Klimalı araç sayısının yıllara bağlı olarak değişimi.

Teknolojik Altyapı

Günümüzde teknolojideki hızlı gelişme toplu ulaşım sektörünü de etkilemiş, toplu ulaşım sistemlerinin performansını ve hizmet kalitesini artıran "Akıllı Ulaşım Sistemleri (ITS)" olarak adlandırılan gelişmiş teknolojiye sahip sistemler işletmeciler tarafından kullanılmaya başlamıştır. Bu sistemler kullanılarak daha az maliyetle daha efektif çözümler üretilebilmektedir. Fakat bu sistemlerin başarılı olabilmesi için kurumların bu sistemleri sürekli kullanması ve teknolojik gelişmelerini takip etmesi gerekmektedir. Zhang ve diğ. (2007), akıllı ulaşım sistemlerini, şehirlerdeki trafik tıkanıkları problemini çözebilmek için uygulanabilecek en önemli ve en düşük maliyet-etkinlik oranına sahip çözüm olarak açıklamaktadır. ITS, genel olarak trafikte gecikmeleri azaltmak, güvenli ve etkin bir ulaşım yönetimi sağlamak, mevcut trafik koşullarını görüntülemek (trafik hacmi, kazalar, acil durumlar, inşaat çalışmaları), trafik akımını kontrol etmek, kullanıcılara bilgi sağlamak, kurumların ve işletmelerin ulaşım sistemleri üzerindeki yönetim kabiliyetlerini arttırmak, ücret toplamak gibi amaçlar için kullanılmaktadır.

İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü 1999 yılında toplu ulaşımında; kâğıt biletlerin yerine kullanılmak üzere Kart Kredi İptal, Değerlendirme ve Otomasyon Sistemi Projesi ile akıllı kartla ücret toplama sistemi (Kentkart Sistemi) uygulamasına başlamıştır (Şekil 11). Akıllı kartların taşınmasından ve kullanımının kolay olmasından dolayı yolcular tarafından çoğunlukla tercih edilmekte bu da toplu ulaşım sistemine olan cazibeyi arttıran bir unsur olarak ön plana çıkmaktadır. Yolcuların otobüslere binişleri akıllı kart sistemiyle hızlandığından duraklardaki gecikmeler de azalmaktadır. Ayrıca kâğıt bilet uygulamasındaki bilet basım maliyetleri önlenmiş, binişlerdeki kayıplar ve sahte bilet basımının önüne geçilmiştir. Bu sistemin toplum tarafından kolayca benimsenebilmesi için ilk aşamada belirli bir miktarın üzerinde kredi yüklemelerinde indirimli tarife uygulaması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 11 İzmir Akıllı kartla ücret toplama sistemi.

Akıllı kart bilgileriyle günlük hâsılat, toplam biniş sayısı, binişlerin hatlara dağılımı, aktarma durumu, yolcu davranışı gibi bilgiler elde edilmekte böylece duraklardaki yolcu yoğunlukları ve gün içindeki saatlere göre değişimleri elde edilebilmektedir. Ayrıca Kart (ID) bazında biniş bilgisi içerisinde, kartın biniş yaptığı durak, kullandığı hat numarası ve hattın yönü, saat, aktarma durumu ve kart tipi (tam, öğrenci) gibi veriler içerdiğinden ulaşım planlamasında kullanılabilir birçok veriye erişim mümkün olmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2 Akıllı Kart Sistemi Veri Grubu.

KART_ID	BINIS_ZAMANI	BINDIGI_DURAK	HAT_NO	AKTARMA_TIPI	SERVIS_YON	UCRET_TIPI	TARİH
0061100001506437	20110510172638	10147	20081	1	0	1	10.05.2011
0061100001504794	20110510142226	10322	20081	1	0	1	10.05.2011
0061100001505885	20110510130349	10416	20081	2	0	1	10.05.2011
0061100001451032	20110510222758	10102	20081	2	0	1	10.05.2011
0061100001728129	20110510080515	10322	20081	1	0	1	10.05.2011
0061100001728129	20110510080518	10322	20081	0	0	1	10.05.2011
0061100001480292	20110510150151	10328	20081	1	0	1	10.05.2011

Sonraki adımda ise ulaşımda denetimin sağlanması için 2008 Yılında, Ulaşım Takip, Kontrol ve Yönetim Sistemi Merkezi, filodaki otobüslerin GPS – GPRS uydu takip sistemi ve bilgisayar bağlantısı ile takibini yapabilmek amacıyla hizmete açılmıştır (Şekil 12). Hizmette açılan Ulaşım Takip, Kontrol ve Yönetim Merkezi sayesinde; filonun tamamının İzmir haritası üzerinde gerçek zamanlı veya girilen bir zaman aralığında takibi, tüm hatlar için trafik yoğunluğu ve yolcu yoğunluğu raporlarının çıkartılması, otobüslerin seferlerine zamanında çıkıp çıkmadıkları kontrolü, araçlardaki mevcut acil çağrı butonu sayesinde olağan dışı bir durumda (arıza, kaza vb.) acil müdahale edilmesi için ilgili yerlere haber verilmesi, sürücülere mesaj yollayarak sürücülerin çeşitli konularda bilgilendirilmesi, şikayetlerin sistem ve araç takip üzerinde değerlendirilmesi, günlük olarak araç tekmillerinin çıkartılması, hız ihlallerinin raporlanması, kilometre bilgilerinin günlük ve aylık olarak raporlanması sağlanmaktadır.



Şekil 12 Ulaşım Takip, Kontrol ve Yönetim Sistemi Merkezi.

7 gün 24 saat çalışma esasına göre faaliyet gösteren Ulaşım Kontrol Merkezi ile ayrıca tüm otobüs filosu hareketleri gerçek zamanlı ve geçmişe dönük izlenebilmektedir. Görüntülenen araçların sayısal dökümleri alınıp, sefere başladıkları andan itibaren hız limitleri, duraklarda bekleme süreleri merkez tarafından denetlenebilmektedir (ESHOT, 2012).

Ulaşım Bilgi Sistemi ise kurumun, araç, sürücü, hat, sefer, hat yön, sefer sıklığı gibi verilerinin tutulduğu, bu veriler ile günlük ulaşım seferlerinin planlandığı, iş tevzi raporlarının ve çeşitli istatistik raporlarının hazırlandığı uygulamadır (ESHOT, 2012). Uygulama mevcutta hazır bulunan araç, sürücü ve hat bilgilerine göre sürücülerin çalışacağı hatları ve saatleri belirlemekte, araç değişim yerlerini atamakta, hangi aracın hangi hatta ne süreler ile çalışacağını tespit etmektedir. haftalık izin ve yıllık izin günleri dikkate alınmakta ve atamalar bunlara göre yapılmaktadır. Atamalarda arıza veya kaza yapan araçlar düşülerek yerine yeni araçlar atanmakta veya eldeki mevcut araçlar ile sefer planlaması yapılmaktadır. Her gün bir sonraki günün seferlerini, belirlenen kurallar doğrultusunda oluşturmakta, dönemsel, aylık ve günlük farklı programlar uygulayabilmektedir. Burada oluşan verilerden çeşitli istatistik raporları da hazırlanabilmektedir. Meydana gelen kazalar ve işlenen disiplin suçlarının sisteme girişi yapılmakta ve takip edilmektedir (ESHOT, 2011b).

Daha konforlu ulaşım hizmeti sunma amacımızı gerçekleştirmeye yönelik olarak sürekli teknoloji takibi yapılmakta ve yeni sistemler kurumun işleyişine entegre edilmektedir. Bu sistemlerden biri olan Akıllı ulaşım sistemleri içerisinde yer alan Gerçek zamanlı yolcu bilgilendirme Sistemi 'Akıllı Durak Sistemi' için öncelikle Alsancak Şair Eşref Bulvarı'nda Hocasade Camii önündeki ve karşısındaki otobüs durağı seçilip sistem test edilmiş ve ilk etapta sistemin kentteki önemli duraklara monte edilmesi kararlaştırılmıştır (ESHOT, 2010). Sistem kurulumunda öncelikle otobüs duraklarının koordinatları, sistem veri tabanına girilmiş, belirlenen sayıdaki aracın eş zamanlı takibinin filo yönetimi sisteme eklenerek, yolcuların hat numaraları, istikametler ve yaklaşan otobüslerin kaç durak sonra geleceği hakkında bilgi edinmesi sağlanmıştır (Şekil 13).



Şekil 13 Gerçek zamanlı yolcu bilgilendirme sistemi ekranları.

Otobüs durağına yerleştirilen LED panellerde, durağa gelen yolculara yaklaşmakta olan otobüsler hakkında bilgiler vermekte ve dakikada bir, Ulaşım Kontrol Merkezi tarafından söz konusu veriler güncellenmektedir. Panelde; otobüsün hat numarası, gidiş yönü, son durağın ismi ile kalan durak sayısı olmak üzere üç çeşit bilgi bulunmaktadır. Mevcutta kentin çeşitli noktalarında kurulan 110 Adet LED Panel (Akıllı Durak) hizmet sunumunda kullanılmaktadır.

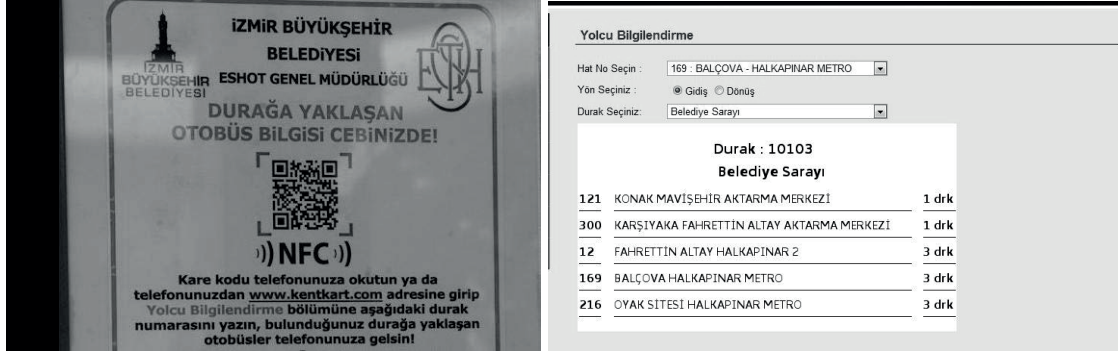
Araç içi bilgilendirme sistemi belirli araçlarda uygulamaya konularak deneme süreci tamamlanmasından sonra 300 araçta kullanıma sunulmuştur. Sistem; şimdiki durak, sonraki durak, tarih, saat, güzergah, hava durumu, günlük haberler, otobüsün hızı ve aracın konumu olmak üzere güncel bilgilerin sunumu özelliklerine sahip olup yolcular sesli anonslarla yaklaşmakta olan durak bilgisini takip edebilmektedirler (Şekil 14).

İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü, hayata geçirdiği yeni uygulamasıyla, tüm otobüs duraklarını “akıllı duraklara” dönüştürmüştür (Şekil 15). Duraklara yerleştirilen QR kodlar akıllı telefon ve tabletlere okutulduğunda, durakla ilgili bilgiler ile duraktan geçen otobüs hattı numaralarını listelenmekte ve hat numaralarının karşısında ise 15 saniyelik güncellemelerle otobüsün kaç durak uzakta olduğu belirtilmektedir.



Şekil 14 Araç içi yolcu bilgilendirme sistemi.

Ayrıca kuruma ait www.eshot.gov.tr internet adresinde yer alan “Yolcu Bilgilendirme” başlığında yer alan sorgulama ekranı ile hat numarası ve durak bilgisi seçilerek otobüsün kaç durak uzakta olduğu ve duraktan geçen otobüs hatlarına ait bilgilere erişilebilmektedir (Şekil 15).

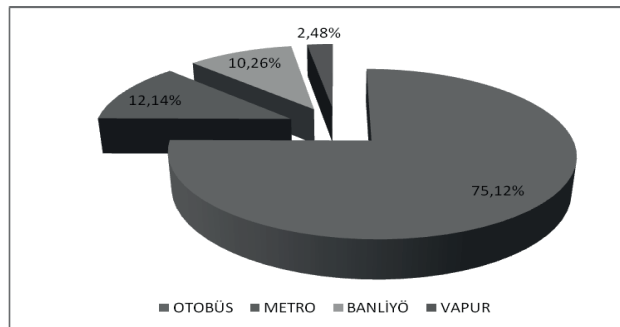


Şekil 15 Otobüs duraklarında yer alan QR kodlar (solda) ve internet adresindeki yolcu bilgilendirme başlığı (sağda)

Gelişen teknolojiye ayak uydurmak, kağıt israfına son vermek, daha modern bir altyapıya ulaşıp diğer ulaşım hizmeti veren kurum ve kuruluşlara örnek olmak, vatandaşlara ve çalışan personele güncel değişimleri anında duyurmak için İş Yazım Ekibi tarafından kullanılan Ulaşım Bilgi Sistemleri (UBS) programı ile paralel uydu bağlantılı TABLET PC uygulamaları projesi analiz aşamasındadır. Bu uygulama ile birlikte TABLET PC'lere yüklenecek olan Araç Takip Yazılım Programı sayesinde hareket memurlarının hatlarda görev yapan otobüslerimizi anlık bilgilerle takip ederek daha hızlı ve kesin sonuçlara vararak hizmet vermesi planlanmaktadır (ESHOT, 2012). Ayrıca aktarma merkezlerine otobüs hareket saatlerini gösterecek gerçek zamanlı yolcu bilgilendirme sisteminin kurulması çalışması da test aşamasındadır.

Hat Yapısı

ESHOT Genel Müdürlüğü, Aliğa, Balçova, Bayındır, Bayraklı, Buca, Bornova, Çiğli, Foça, Gazimир, Güzelbahçe, Karabağlar, Karşıyaka, Kemalpaşa, Konak, Menderes, Menemen, Narlıdere, Seferihisar, Selçuk, Torbalı ve Urla olmak üzere 21 ilçeye toplam 10.043 kilometre uzunluğundaki 333 hatta 1238 solo, 465 körüklü ve 202 midibüs olmak üzere toplam 1905 araçlık otobüs filosu (Eylül 2013 tarihine göre) ile İZULAŞ A.Ş ile birlikte toplu taşıma hizmetini sunmakta ve günlük ortalama 1.130.000 biniş ile kent içi toplu ulaşım yolculuk talebinin yaklaşık %75' ini karşılamaktadır (Şekil 16).



Şekil 16 Yolcu Binişlerinin dağılımı.

Hatlarımız, 5216 sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu ile belirlenen sınırlar içerisinde işletme açısından Teleferik, Buca, Merkez, Karşıyaka, Bornova olmak üzere 5 bölge Müdürlüğüne ayrılmıştır. Bölge müdürlükleri tarafından hat ve güzergah denetimleri

sürekli yapılmaktadır. Ayrıca engelli vatandaşlarımıza 184 farklı hatta, 701 adet engellilerin kullanımına uygun otobüs ile hizmet verilmektedir (Mart 2013). Hatlarımıza ait bazı istatistikî bilgiler Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3 İşletmeye ait bazı istatistikî bilgiler.

Tanım	Hafta İçi	Cumartesi	Pazar
Sefere Çıkan Otobüs Sayısı	1465	1221	847
Günlük Ortalama Sefer Sayısı	12.963	11.841	10.204
Günlük Ortalama yapılan kilometre	317.539	294.390	252.800
Günlük Taşınan yolcu Sayısı	1.133.848	916.133	670.845

*Tabloda verilen değerler Mart 2013 ayına aittir.

Havalimanı Hatları

Tüm İzmirliilerin rahatça ulaşabileceği üç farklı merkezden başlayan üç adet otobüs hattıyla havalimanı ulaşımını konforlu, ekonomik ve rahat bir şekle dönüştüren uygulama 2007 yılında başlamış ve halen devam etmektedir.

Gece Hizmet Sağlayan Hatlar (Baykuş Hatları)

İzmir halkının gece ulaşımını sağlamak amacı ile baykuş adını verdiğimiz otobüslerimiz 24:00-06:00 saatleri arasında Kent Merkezinden (Konak) yolcu yoğunluğunun fazla olduğu Gaziemir, Karşıyaka, Bornova, Balçova ve Buca istikametlerine çalışmaktadır.

Orman Köylerine Hizmet Sağlayan Hatlar

Toplu ulaşım, sadece kar esasına dayanan değil sosyal sorumlulukların da yerine getirilmesini hedefleyen bir hizmet sektörüdür. “Artık köyler uzak değil!” sloganıyla 19 Eylül 2011 tarihinde 60 orman köyüne birden otobüs seferi ile başlatılan orman köylerine ulaşım projesi etaplar halinde devam ettirilmektedir (Şekil 17). Kurum personeline uzun bir inceleme ve tespit süreci sonunda “Orman Köyleri Ulaşım Planı” hazırlanmış, kurum üst yönetiminin köy muhtarlarıyla bir araya geldiği toplantıda muhtarlar kendi bölgelerini kapsayan hat planlamalarına ilişkin güzergah ve hareket saati önerilerini belirtmiştir. Toplantı sonucu netleşen bilgiler ile ilk aşama uygulamaya konulmuştur. Bu çalışmalar kapsamında İlçe ve kent merkezlerine ulaşım sıkıntısı çeken 60 orman köyüne birden otobüs seferi başlatılmıştır. İlçe merkezine herhangi bir ulaşımı bulunmayan orman köylerindeki öğrencilerin okullarına rahatlıkla ulaşabilmeleri sağlanmıştır. 20.02.2013 tarihinde 2. aşama planlamasının da hizmete girmesi ile 164 orman köyünden 130’una toplu ulaşım hizmeti sağlanmış durumdadır.



Şekil 17 Orman köylerine ulaşım projesi.

Toplu Ulaşımında Entegrasyon Çalışmaları

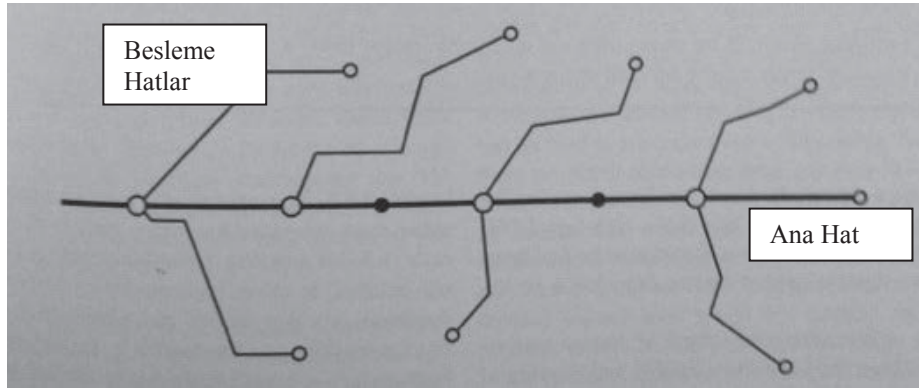
Ekonomik kaynakları sınırlı olan ülkelerde ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle toplu ulaşımın büyük bir oranı raylı sistemler yerine lastik tekerlekli toplu ulaşım araçlarıyla sağlanması yoluna başvurulmaktadır. Fakat lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemleri, hat planlaması, işletmesi ve revizyonunda büyük esneklikler sağlanmasına rağmen, yoğunlukla diğer taşıt trafiğinin içinde işletildiklerinden, performansları mevcut trafik koşullarından doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenlerden dolayı lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemlerinin doğru entegrasyonu hayati önem kazanmaktadır (Deri ve Kalpakçı, 2013).

Yolculukların toplu ulaşımına çekilmesinde işletmenin iyileştirilmesi en önemli politikalarından biridir (Elker, 2004). İşletme performansının artırıcı hat düzenlemeleri ile sistemin işletme hızı artacak ve daha verimli hatlarla, daha düşük filo hacmi ile güvenilir bir toplu ulaşım hizmet sunulması sağlanacaktır. Böylece toplu ulaşımın cazibesi artacak ve ulaşım planlamasında ulaşılmak istenen temel hedeflerden biri olan "yolculukların toplu ulaşımına yönlendirilmesi" ilkesi gerçekleştirilmiş olacaktır.

Otobüs hatlarının güzergâhlarının tasarımında yolcu taleplerinin yanı sıra işletme verimliliğinin de esas alınması gerekmektedir. Kent içinde yer alan tüm yerleşimlerden doğrudan ulaşım talepleri gelmekte ancak büyüyen şehir ve nüfus yoğunluğu içerisinde tüm bu ulaşım talepleri karşılanamamaktadır. Bu nedenden dolayı otobüs hatları, hatların işletme verimliliği ile yolcu talebi arasında denge kuran, ana arterler ve şehir merkezindeki trafiğin rahatlatılmasını, hatların verimliliğinin artırılmasını, daha kısa mesafeli hatlarla daha sık servis sayısı ile yolculuk ve duraklardaki bekleme sürelerinin azaltılmasını amaçlayan ulaşım sistemi hedeflenerek projelendirilmelidir. Yukarıda

bahsedilen tüm işletim problemlerinin çözümü için aktarmalı ulaşım sistemleri uygulamaları gerçekleştirilmeye başlanmıştır.

Aktarmasız sistemler kent merkezi ile çeper yerleşimler arasında doğrudan bağlantıyı kurarak aktarmalardaki zaman kayıpları olmadan yolculara ulaşım imkanı sağlamaktadır. Ancak bir çok güzergahın uzun olması otobüs işletmelerinde yüksek maliyetli ve verimliliği düşük hatların işletilmesine neden olmaktadır. Ayrıca filo büyüklüğü kısıtlı olan otobüs işletmelerinin bu gibi durumlarda düşük servis sıklıkları ile toplu ulaşım hizmeti verdiği görülmektedir (Deri ve Kalpakçı, 2013). Aktarmalı ulaşım sistemlerinde ise her hat kesimi kullanılan ulaşım türüne, araç tipine ve sefer çizelgelemeye göre optimize edilebilmektedir (Vuchic, 2005). Böylece işletmede yolcu potansiyelinin artması ve filo boyutunun küçülmesi işletme maliyetlerini azaltıcı faktörler olacaktır. Bu işletim sisteminde kent merkezlerindeki otobüs yolları üzerinde bulunan durakların farklı hatlar tarafından kullanılmasından kaynaklanan katarlanma, uzun bekleme süreleri, duraklardaki yolcu kapasitesinin aşılması gibi problemlerin engellenmesi için ana ve besleyici hatlar oluşturulmaktadır. Bu sistemde değişik konut alanlarına hizmet veren hatlardan gelen yolcular bir aktarma terminalinde ana hat otobüsüne alınmaktadır (Şekil 18).



Şekil 18 Toplu ulaşımında aktarma sistemi (Vuchic, 2005).

Farklı servisler arasında zaman, mekân ve ücretlendirmede eşgüdümü sağlamak aktarma sistemlerin verimli bir şekilde işletilebilmesinin temel unsurlarıdır. Bu şekilde yolculuk talebi aktarma merkezlerine yönlendirilecek ve yolcu mağduriyeti önlenerek daha verimli bir toplu ulaşım sistemi oluşturulması sağlanacaktır. İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü 2000 yılında Bütünleşik Ulaşım Sistemi çalışmaları kapsamında ulaşım modlarında (otobüs-metro-vapur) entegrasyon sağlayan bir hat planlanmasını uygulamaya geçirmiş (Şekil 19) vapur ve metro sistemi bağlantısını sağlamak amacıyla oluşturulan aktarma merkezlerinden metro ve vapur bağlantılı hatlar hizmete açılmış, verimsiz hatlar iptal edilmiştir. Ayrıca akıllı kart sistemi vapur ve metro sisteminde de geçerli hale getirilmiştir. Bu kapsamda metro ve vapur bağlantılı hatların sefer planlamalarında eşgüdüm sağlanmış, mesafe ve aktarmaya bağlı kademeli ücret tarifesi uygulaması yapılmıştır. Bu uygulama ülkemizdeki ilk bütünleşik toplu ulaşım uygulaması özelliğindedir.

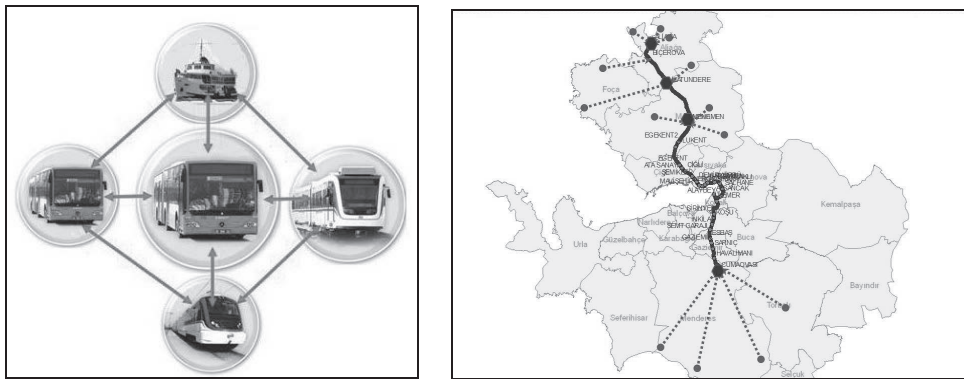
Yolcuların aktarmaya teşvik edilmesini ve ücretlendirmede eşgüdümü sağlamak amacıyla 12 Şubat 2007 tarihinde tüm metro istasyonlarında, vapur iskelelerinde ve 52 otobüs hattında (100 otobüs) 60 dakika içinde ikinci binışler %50 indirimli pilot uygulama olarak başlamış, 21 Ocak 2008 tarihinde otobüs- vapur- metroda 90 dakika

içinde 2. binişler %50 indirimli, 11 Ağustos 2008 tarihinden itibaren ise otobüs- vapur-metroda 90 dakika içinde 2. ve sonraki binişlerin ücretsiz olduğu tarife uygulamasına geçilmiştir (ESHOT, 2009). Bu süreçle ulaşılan nokta ve tam entegrasyon uygulamasına geçilmiş olması kentiçi yolculuklarda aktarmalı yolculuk sayısını hızla arttırmıştır. Artan biniş sayısı ve gelirin yanı sıra yeni uygulamanın getirdiği diğer faydalar şu şekilde sıralanabilmektedir.

- Aktarma noktalarının kurulmasıyla şehir içi otobüs trafiği azalmıştır.
- Duraklardaki bekleme süreleri büyük oranda azalmıştır.
- Vatandaşlara ekonomik bir rahatlama sağlanmıştır.
- Daha ucuz bir toplu taşımacılık sistemi ile birçok vatandaş özel araçlarını evde bırakarak toplu taşımacılık sistemini kullanmaya başlamıştır.
 - Artan yolcu sayısı ile birlikte Belediye 2008 yılında %10'luk ve 2009 yılında ise %21'lik gelir artışı elde etmiştir.
 - Yolcular duraklarda bir durağa bağımlı kalarak uzun süre beklemek yerine, aktarma yaparak büyük zaman tasarrufu sağlamıştır.

İzmir Banliyö sisteminin de hizmete başlaması ile Türkiye'nin üçüncü büyük metropoliten şehri olan İzmir'de kent içi otobüs işletmeciliğini yürüten İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü mevcut otobüs işletme sisteminin kendi içinde ve diğer toplu ulaşım türleri arasında (metro, vapur ve banliyö sistemleri) entegrasyonunu sağlayacak yeni bir aktarmalı ulaşım sistemi planlaması yapmış ve uygulamasına 13.02.2011 tarihinde başlamıştır. Çalışma kapsamında türler arasında entegrasyonun sağlanması için raylı sistemlere paralel değil dikey çalışan hatlar planlanmış, kent merkezli hatlar bölge bazlı hatlara dönüştürülmüş, aktarma merkezleri ile yerleşim bölgeleri arasında hizmet veren besleme hatları oluşturulmuştur. "Ulaşımında dört dörtlük entegrasyon" adıyla duyurulan uygulamada özellikle İzmir Metropol sınırları içerisinde yer alan kuzey ve güney yerleşimlerinin entegrasyonu önemli bir yer tutmaktadır (Şekil 19).

Entegrasyon çalışması kapsamında 30 yeni hat açılmış, 45 hat iptal edilmiş, 41 hattın güzergahı değiştirilmiş 220 hat ise aynen korunmuştur (ESHOT, 2011c). Sefere verilen otobüs sayısında ise özellikle öğle ve akşam saatlerinde belirgin bir azalma yaşanmıştır. Ayrıca servise verilen otobüs sayısının azalmasına karşın günlük toplam servis sayısında artış olması filonun daha etkin kullanımının sağlanarak yolcuların bekleme sürelerinin azaltıldığını göstermektedir.

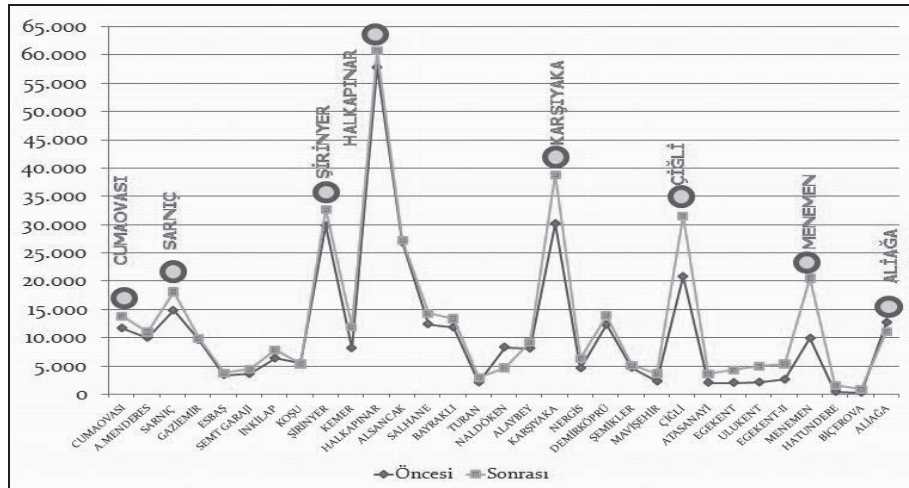


Şekil 19 13.02.2011 Tarihinde uygulamaya geçilen toplu ulaşımında tam entegrasyon çalışması

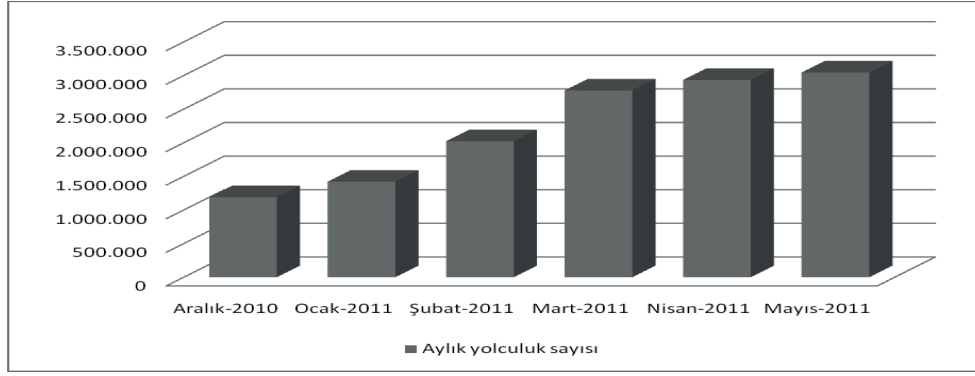
Bunun yanı sıra günlük yapılan toplam kilometre değerinin azalması da yakıt maliyetini azaltıcı bir unsurdur. Toplam hat uzunluğunda ise 1463 kilometrelik bir azalma sağlanmıştır. Bu değer genel olarak hat uzunluklarının ve benzer güzergahları bulunan hat sayısının azaldığını göstermektedir (Tablo 4). Yapılan çalışma sonucunda banliyö sistemi ile entegrasyonun sağlanması banliyö sisteminden de daha verimli bir şekilde yararlanılmasını sağlamıştır (Şekil 20 ve 21).

Tablo 4 Mevcut durum ile 13.02.2011 tarihinde uygulamaya geçilen toplu ulaşımda tam entegrasyon çalışmasının karşılaştırılması.

	Entegrasyon Öncesi	Entegrasyon Sonrası	Fark
Hat Sayısı	306	291	-15
Sabah Sefere Verilen Otobüs Sayısı	1421	1414	-7
Öğle Sefere Verilen Otobüs Sayısı	1045	991	-54
Akşam Sefere Verilen Otobüs Sayısı	1320	1267	-53
Gece Sefere Verilen Otobüs Sayısı	558	555	-3
Günlük Toplam Servis Sayısı	11.300	12.290	990
Günlük Toplam Kilometre	327.509	330.448	2.939
Toplam Hat Uzunluğu(Km)	9.841	8.378	-1463



Şekil 20 Entegrasyon öncesi ve sonrası (06-10.02.2011 ile 13-17.02.2011 arası) İzban istasyonları yolcu sayıları karşılaştırması



Şekil 21 Entegrasyon öncesi ve sonrası (Aralık-2010 ile Mayıs-2011 arası) İzban hattı yolcu sayıları karşılaştırması

Kurum yapmış olduğu tüm hat planlaması ve entegrasyon çalışmalarında aşağıda verilen ilkeleri dikkate almaktadır:

1. Planlanan ve mevcut raylı sistem yatırımlarına entegre olacak şekilde otobüs hatlarının raylı sistemlere paralel güzergâhlarda çalışacak şekilde değil, raylı sistemleri besleyecek şekilde oluşturulması
2. Mümkün olduğu kadar yolcuların deniz ulaşımına yönlendirilmesinin sağlanması böylece deniz ulaşımından hem daha etkin bir şekilde yararlanılması
3. Ana arterlerdeki ve kent merkezindeki hat sayısının azalması ve mevcut araç trafiğinin rahatlatılması, ana arterlerdeki hat sayısının azalması ile birlikte kent merkezinde durakların farklı hatlar tarafından kullanılmasından kaynaklanan duraklardaki yolcu yoğunluğu, uzun bekleme süreleri ve araçlardaki katarlanma problemlerinin aşılması
4. Çeşitli yerleşim bölgelerinden gelen yolcuların aktarma merkezlerine getirilmesi ve aktarma merkezlerinden kent merkezine bağlantıyı sağlayan ana arter hatları ile kent merkezine hızlı konforlu ve güvenilir bir şekilde taşınması
5. Hatlarda hizmet veren otobüs sayılarının artırılması yerine otobüslerin işletme hızının artırılmasına yönelik çalışmalarla toplam servis sayısının artırılması böylece taşınacak yolcu sayısının artırılması,
6. Akıllı kart sistemi verileri kullanılarak bölgelerin yolculuk taleplerinin ve alışkanlıklarının incelenerek talebi karşılayacak ideal güzergâhların belirlenmesi, kent merkezi yolculuk talepleri ile bölge içi taleplerin ayrıştırılması
7. Yeni aktarma merkezlerinin tasarlanması ya da mevcut aktarma merkezlerinin fiziki durumlarının iyileştirilmesi
8. Tüm bu çalışmalarla hem işletmedeki verimliliğin artırılması ve otobüslerde yaşanan gecikme değerlerinin en aza indirgenerek yolcu memnuniyetinin sağlanması

Kurum tarafından yapılan bu entegrasyon çalışmaları uluslar arası alanda da takdir görmüş, Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliğinin (UITP) Dubai ' de düzenlediği "59.

Dünya Kongresi ve Taşımacılık - Kentiçi Ulaşım Fuarı'nın Türkiye Çalıştayı kapsamında UITP'nin "PTX2" adıyla düzenlediği ve toplu taşımada yolcu sayısını iki katına çıkarmayı hedefleyen proje yarışmasının değerlendirilmesi sonucunda, toplu ulaşımında tam entegrasyon hedefiyle, 2007 yılından bu yana kademeli olarak geçilen aktarmalı sistem ödüle layık görülmüştür. ESHOT Genel Müdürlüğü'ne; otobüs, metro, vapur ve banliyö arasında entegrasyonu sağlayan, ilk binişin ardından 90 dakika içindeki tüm binişlerin ücretsiz yapıldığı ve aktarma esasına dayanan sistem ile layık görülen ödül, UITP Genel Sekreteri HANS RAT tarafından Kurum Genel Müdürü' ne verilmiştir.

Sonuçlar ve Öneriler

Kent içi toplu ulaşımında ulaşım sistemlerinin bütünleşmesini ve hat optimizasyonunu sağlamayı stratejik amaçlardan biri olarak belirlemiş olan kurum, daha konforlu, etkin ve verimli bir toplu ulaşım hizmetinin sağlanması amacıyla garaj - hat reorganizasyonunun yapılması, bütünleşik Ulaşım Sistemini destekleyici hat planlamasının yapılması, duraklar arası mesafelerin düzenlenmesi, kayıp kilometrelerin azaltılması çalışmalarını gelişen teknoloji kapsamında sürekli olarak yürütmektedir.

Otobüs hatlarına ait güzergahların planlanması ve revize edilmesi, parkur sürelerinin ve yolcu yoğunluğuna göre belirlenen sefer sıklıklarının incelenerek değişen koşullara göre yeniden düzenlenmesi çalışmaları kuruma bağlı Ulaşım Planlama Daire Başkanlığı tarafından sürekli olarak yürütülmektedir. Çalışmada bahsedilen tüm uygulamalar ile yolcu memnuniyeti odaklı, ekonomik, emniyetli, konforlu, sürekli ve güvenilir toplu taşımacılık hizmetini gerçekleştirmeyi misyon edinmiş İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü'nün bu misyonu gerçekleştirmesinde daha etkin olmasını sağlayacaktır.

Ayrıca karayolu toplu ulaşım araçlarına öncelik sağlayan "Tam Adaptif Trafik Yönetim, Denetim ve Bilgilendirme Sistemi" projesinin İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından hayata geçirilmesiyle beraber mevcut otobüsler sisteme entegre edilecek ve toplu ulaşım araçlarına öncelik veren bir trafik yönetiminin gerçekleştirilmesi mümkün olacaktır. Böylece toplu taşımacılık hizmetlerinin daha hızlı daha etkin ve verimli bir şekilde uygulanması hedeflenmektedir. Ayrıca kavşak kesimlerinde otobüslere sağlanacak geçiş önceliği ile gecikmeler azaltılarak parkur süreleri minimize edilecektir.

Kaynaklar

Deri, A. ve Kalpakçı, A.,(2013) Kent içi Otobüs İşletiminde Aktarmalı Taşımacılık Sisteminin Etkin Kullanımı: İzmir Örneği, EWGT 2013-*değerlendirme aşamasında*.

Elker, C. (2002). Ulaşımında politika ve pratik. Ankara: Gölge Ofset Matbaacılık

İzmir Büyükşehir Belediyesi,ESHOT Genel Müdürlüğü[ESHOT] (2013b). Eshot Genel Müdürlüğü- Ulaşım Planlama Dairesi Başkanlığı, Ulaşım Sisteminin Yeniden Tasarımı Projesi , İzmir

İzmir Büyükşehir Belediyesi,ESHOT Genel Müdürlüğü[ESHOT] (2013). Eshot Genel Müdürlüğü 2013 Yılı Performans Programı Raporu, İzmir

İzmir Büyükşehir Belediyesi,ESHOT Genel Müdürlüğü[ESHOT] (2012) Eshot Genel Müdürlüğü 2011 -Faaliyet Raporu, İzmir

İzmir Büyükşehir Belediyesi,ESHOT Genel Müdürlüğü[ESHOT] (2011a) Eshot Genel Müdürlüğü 68 Yıllık Ulaşım Serüveni, İzmir

İzmir Büyükşehir Belediyesi,ESHOT Genel Müdürlüğü[ESHOT] (2011b). Eshot Genel Müdürlüğü 2012 Yılı Performans Programı Raporu, İzmir

İzmir Büyükşehir Belediyesi,ESHOT Genel Müdürlüğü[ESHOT] (2011c). Eshot Genel Müdürlüğü- İzmir Büyükşehir Belediyesi Toplu Ulaşım Sisteminde Yeni Dönem-Şubat 2011 , İzmir

İzmir Büyükşehir Belediyesi,ESHOT Genel Müdürlüğü[ESHOT] (2010) Eshot Genel Müdürlüğü 2009 -Faaliyet Raporu, İzmir

İzmir Büyükşehir Belediyesi,ESHOT Genel Müdürlüğü[ESHOT] (2009). Eshot Genel Müdürlüğü 2010-2014 Stratejik Planı Raporu, İzmir

Vuchic, R. V. (2005). Urban Transit: Operations, Planning and Economics. New Jersey: John Wiley and Sons Inc.

Zhang, G., Li, M., & Wang, J. (2007). Application of the Advanced Public Transport System in Cities of China and the Prospect of Its Future Development, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology ,7,5.

Akıllı Kart Verileri Kullanılarak Toplu Ulaşım Başlangıç-Variş Matrisinin Oluşturulması

Alper Deri

ESHOT Genel Müdürlüğü
Ulaşım Planlama Dairesi Başkanlığı,
Ulaşım Planlama Şube Müdürlüğü,
Gazeteci Yazar İsmail Sivri Bulv. No:500
35380, Buca-İzmir
(232) 493 50 00-5642
alperderi@hotmail.com

Mustafa Özuysal

Dokuz Eylül Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Tınaztepe Yerleşkesi
35160, Buca-İzmir
(232) 301 70 76
mustafa.ozuysal@deu.edu.tr

Serhan Tanyel

Dokuz Eylül Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Tınaztepe Yerleşkesi
35160, Buca-İzmir
(232) 301 70 18
serhan.tanyel@deu.edu.tr

Aylin Kalpakcı

ESHOT Genel Müdürlüğü
Ulaşım Planlama Dairesi Başkanlığı,
Ulaşım Planlama Şube Müdürlüğü,
Gazeteci Yazar İsmail Sivri Bulv.
No:50035380, Buca-İzmir
(232) 493 50 00-5638
aylinkalpakci@hotmail.com

Öz

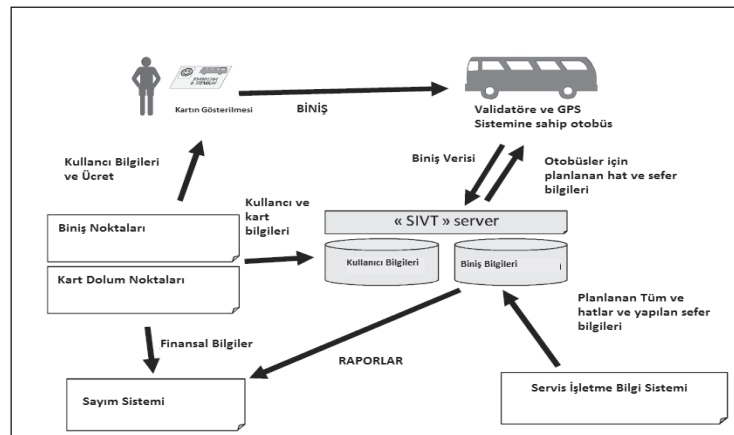
Birçok büyük kentimizde toplu ulaşım sistemlerinde kullanılmakta olan akıllı kartlar, özellikle düzenli (aynı kullanıcı tarafından haftanın belirli günlerinde aynı başlangıç-variş çifti arasında gerçekleştirilen) yolculukların hangi zaman aralığında, hangi başlangıç-bitiş çifti arasında, hangi ulaşım türleri kullanılarak gerçekleştirildiğini, kullanıcıları bireysel düzeyde takip ederek tahmin etme imkânı sunmaktadır. Ancak birçok toplu ulaşım sisteminde inen yolcuların sayımını yapan teknolojik altyapı bulunmadığından, inen yolcuların tespiti için çeşitli algoritmalar ve hesap yöntemleri türetilmektedir. Yapılan çalışmada İzmir Kenti akıllı kart sistemi bilgilerini analiz eden bir program yazılarak kişilerin gün içerisinde izledikleri rotalar çıkarılmış ve rotalardan hareketle; bir gün içerisindeki düzenli yolculuk talepleri durak, mahalle ve ilçe bazında hesaplanarak, başlangıç-variş (B-V) matrisleri oluşturulmuştur. 10 Mayıs 2011 Salı günü yolculuk yapan 495.559 kart verisinin analizi yapılmış, değerlendirilen 328.875 kullanıcıdan 221.323'ünün düzenli yolculuk yaptığı ortaya çıkarılmıştır. Mahalle bazında yolculuk talepleri incelendiğinde ise özellikle kent merkezi başta olmak üzere eğitim ve sağlık tesislerinin bulunduğu bölgelerde bir yığılma olduğu görülmüştür. İlçeler bazındaki dağılım incelendiğinde düzenli yolculuk yapan 221.323 kişiden 105.245'inin İzmir kent bütününden Konak İlçesi'ne geldiği ve tekrar yolculuklarına başladıkları noktalara geri dönüş yaptıkları görülmüş, toplam talebin yaklaşık % 47'sinin kent merkezine doğru olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Ege Üniversitesi Kampüsü'nün bir bölümünü, Ege Üniversitesi Hastanesi'ni, Bornova Aktarma Merkezini ve Bornova merkez bölgesini kapsayan Bornova İlçesi Kazım Dirik Mahallesi'ne yoğun bir talebin olduğu bilgisi de çalışma sonuçlarından elde edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Akıllı Kart Verileri, Başlangıç-Bitiş Matrisi, Yolculuk Talebi, Düzenli Yolculuklar

Giriş

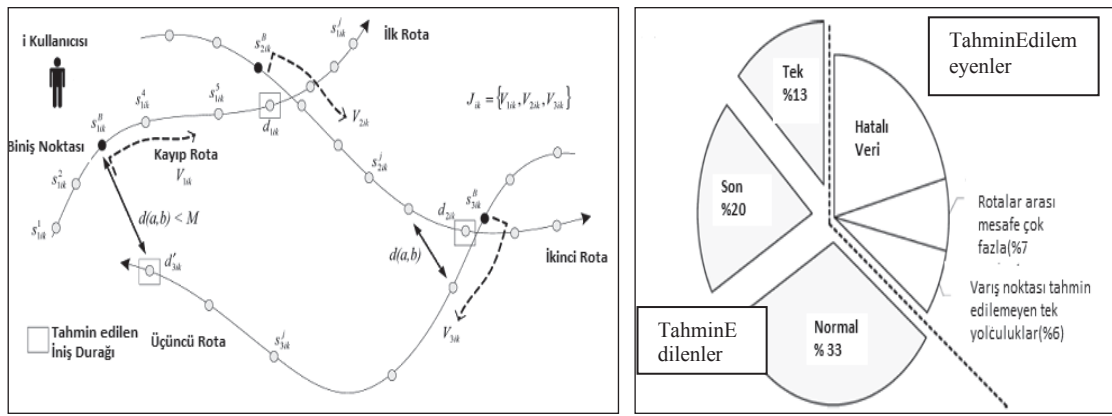
Akıllı ulaşım sistemlerinin bileşeni olan akıllı kart sistemleri hem işletmeciler hem de kullanıcılar açısından büyük avantajlar sağladığından her geçen gün kullanımı yaygınlaşmaktadır (Trepanier ve diğ., 2007). Bir validatör yardımıyla alınan yolcu biniş verileri araç konum sistemleriyle elde edilen verilerle birleştirilmekte ve bu veriler ana merkeze iletilerek çeşitli yazılımlarla değerlendirilmektedir (Şekil 1). Akıllı kart sistemlerinde genel olarak kişinin validatöre kartını göstermesi halinde kullanıcı kart ID, otobüs ID, sürücü ID, durak ID, hattın yönü, hattın numarası, ücret tipi (tam, öğrenci, v.b.), aktarma durumu, biniş saati ve tarihi gibi bilgiler sistem tarafından kayıt altına alınmaktadır. İşletmecilerin bu sistemleri kullanmaktaki ana amacı işletme gelirlerini kayıt altına almak olsa da akıllı kart bilgileri yolcu binişleriyle ilgili çok sayıda ve ayrıntılı veri sağlamaktadır. Akıllı kart bilgileriyle günlük hâsılat, toplam biniş sayısı, binişlerin hatlara dağılımı, aktarma durumu, yolcu davranışı gibi bilgiler elde edilmektedir. Ayrıca son yıllarda akıllı kart verileri kullanılarak hem işletmecileri yönlendirecek hem de ulaşım planlamasında kullanılacak çıktılar elde edilmesi konusundaki çalışmalar literatürde sıkça görülmeye başlamıştır.

Kent içi ulaşım planlama çalışmalarında ulaşılmak istenen temel çıktılardan biri B-V Matrisi olarak adlandırılan ve önceden belirlenmiş başlangıç ve varış noktaları arasında ne kadar sayıda yolculuğun yapıldığını gösteren başlangıç-varış matrisidir. Toplu ulaşım B-V matrisi ancak klasik dört aşamalı talep modelinin ilk üç aşaması tamamlandıktan sonra elde edilebilmekte, bunun için de hanehalkı ulaşım anketleri ve türel dağılım da dâhil olmak üzere çok büyük maliyet ve emek gerektiren aşamalar uygulanmaktadır. Akıllı kart verilerinin doğrudan toplu ulaşım B-V matrisi tahmininde kullanımına yönelik çalışmalar incelendiğinde ise bu tür çalışmaların oldukça sınırlı sayıda olduğu görülmektedir.



Şekil 1 Tipik bir akıllı kart sisteminin veri akış şeması.

Trepanier ve diğ. (2007), yapmış oldukları çalışmada akıllı kart sisteminden elde edilen biniş verilerini kullanarak yolcuların iniş yaptıkları noktaları tahmin eden bir algoritma (Şekil 2a) geliştirmişler ve geliştirdikleri algoritmayı Ottawa'da 589 km² alana yayılmış, 240.000 nüfusa sahip Gatineau kentinde test etmişlerdir. İniş noktasının tespiti için kullanılan model kurgusu; gün içindeki binişin (günün son binişi hariç) aynı gündeki bir sonraki binişler ve kullanılan otobüs hatları ile eşleştirilmesi, günün son binişinin aynı gündeki ilk biniş ve kullanılan otobüs hatları ile eşleştirilmesi, gün içindeki binişin aynı kartla ve diğer günlerde yapılan binişlerdeki benzerliklerle ilişkilendirilerek belirlenmesi varsayımlarına dayandırılmıştır. Oluşturulan model 2003 Haziran ayına ait 378.260 biniş verisi ve 2003 Ekim ayına ait 771.239 biniş verisi kullanılarak ayrı ayrı test edilmiştir. Model Microsoft Access veri tabanında kayıtlı verileri işleyen Visual Basic Programı kullanılarak çalıştırılmıştır. 2003 Haziran ayı için elde edilen sonuçlar Şekil 2b' de verilmiştir. Algoritma günlük bazda % 66 oranında, zirve saatlerde ise % 80 oranında yolcu iniş noktalarını tahmin etmiştir.



Şekil 2(a) Trepanier ve diğ. (2007) yapmış oldukları çalışmada akıllı kart sisteminden elde edilen biniş bilgilerini kullanarak yolcuların iniş yaptıkları noktaları tahmin eden model, Şekil 2(b) Tahmin sonuçları.

Li ve diğ.(2011) yapmış oldukları çalışmada akıllı kart biniş verilerinin analizini yaparak yolcuların gün içinde kullandıkları rotaları hesaplayan ve buna bağlı olarak en olası iniş noktalarını hesaplayarak B-V matrisi oluşturan bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirmiş oldukları algoritmayı Çin' in Jinan Kentindeki otobüslerde kullanılan akıllı kart sistemi verileri (1.5 milyon biniş verisi) ile test etmişlerdir. Modelde esas alınan temel varsayımlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Yolcuların önceki binişlerinin hedef noktası, sonraki binişlerinin başlangıç noktasına yakın bir mesafede bulunmaktadır.
- Tüm otobüslerde bulunan validatörlerin saatleri eş zamanlıdır.
- Yolcular günün sonunda, gün içerisinde ilk biniş yaptıkları durağa dönüş yapmaktadırlar.

Nassir ve diğ. (2011), yaptıkları çalışmada toplu ulaşım sisteminde kullanılan ücret toplama ve veri depolama teknolojilerinin kullanıcıların davranışlarının araştırılmasında ve yolculuk B-V noktalarının durak bazında tahmin edilmesinde kullanılmak üzere bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada iniş noktalarının tahmini için iki farklı model kurgulanmıştır. Modellerin ilkinde akıllı kartla ücret toplama sistemi ve sefer planlama

verisi kullanılırken, ikincisinde ise binen ve inen elektronik yolcu sayım sistemi verisi kullanılmıştır. Çalışmada 10.11.2008-Pazartesi tarihine ait 90.154 biniş verisinin analizi yapılmıştır. Veriler Microsoft SQL Server 2008 programına yüklenerek değerlendirilmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalara benzer şekilde bu çalışmada da bir yolculuğun hedef noktası sonraki yolculuğun başlangıç noktasına bağlı olarak bulunmuş, iniş yapılan duraklarla sonraki biniş yapılan duraklar arasındaki mesafeler de kontrol edilmiştir. Ayrıca her yolculuğun günün sonunda ilk başlangıç noktasına geri döndüğü varsayılmıştır. Bir noktanın hedef noktası ya da aktarma noktası olup olmadığı algoritmaya eklenen zaman kısıtı ile belirlenmiştir. Algoritma içindeki aktarma süresi ise maksimum 90 dakika olarak alınmıştır.

Munizaga ve Palma (2012), Trepanier ve diğ. (2007)'nin kurmuş olduğu algoritmayı geliştirmiş, yolcuların hedef noktalarının tahmin edilmesinin yanında akıllı kart sistemiyle elde edilen verilerin, çeşitli algoritmalarla B-V matrisine dönüştürülebileceğini de göstermiş ve geliştirdikleri modeli, Şili'nin başkenti olan Santiago kentinde test etmişlerdir. Çalışmada 2009 mart ve 2010 haziran ayına ait birer haftalık akıllı kart veri gruplarının analizleri yapılmış, akıllı kart verileri ve GPS verileri kullanılarak Trepanier, Tranchant ve Chapleau (2007)'nin yapmış oldukları çalışmaya benzer şekilde yolcuların iniş noktaları tahmin edilmiştir. Ayrıca bir gün içerisindeki tek biniş gerçekleştiren yolculuklar değerlendirme dışında tutulmuş ve çalışmada yürüme mesafesi 1000 m olarak kabul edilmiştir. İniş noktalarının bulunmasından sonra B-V matrisinin oluşturulması için yolcuların gün içerisinde gittikleri hedef noktaları bulunmuştur. Bir yolcunun (kart) iniş yaptığı noktada 30 dakikadan fazla süre kalması halinde, bu nokta hedef noktası olarak belirlenmiştir. Model kullanılarak binişlerin % 80'inin iniş noktalarına ulaşılmıştır (Tablo 1). Oluşturulan bölgeler için elde edilen günlük bazda B-V matrisi ise Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1 İniş tahmini başarımlar yüzdesi.

	Mar.09	Haz.10
Başarım yüzdesi	80,77	83,01
Tahmin edilemeyen %		
Rotalar arası mesafe çok uzak	7,3	7,6
Tek biniş	5,2	5,4
Hatalı veri	4,3	1,6
Yanlış Tahmin(Aynı nokta)	2,43	2,39

Tablo 2 Mart 2009 için elde edilen OD matrisi.

	Kuzey	Batı	Doğu	Merkez	Güney	Güney-Batı	Varış Toplamı
Kuzey	157.950	36.389	51.489	78.906	22.988	18.087	365.810
Batı	34.164	294.670	116.217	162.561	37.041	30.525	675.177
Doğu	43.382	112.436	317.606	173.157	70.812	150.056	873.450
Merkez	74.593	167.516	160.132	171.932	103.127	96.399	773.700
Güney	22.222	34.877	73.977	104.116	189.216	54.216	478.624
Güney-Batı	18.379	30.450	158.839	97.234	55.604	250.057	610.572
Başlangıç Toplamı	356.690	676.338	878.261	787.906	478.798	599.339	3.777.333

Görüldüğü üzere toplu ulaşım sistemlerinde kullanılmakta olan akıllı kartlar, özellikle düzenli (aynı kullanıcı tarafından haftanın belirli günlerinde aynı başlangıç-bitiş çifti arasında gerçekleştirilen) yolculukların hangi zaman aralığında, hangi başlangıç-bitiş

çifti arasında, hangi ulaşım türleri kullanılarak gerçekleştirildiğini, kullanıcıları bireysel düzeyde takip ederek tahmin etme imkânı sunmaktadır. Ancak birçok toplu ulaşım sisteminde inen yolcuların sayımını yapan teknolojik altyapı bulunmadığından, inen yolcuların tespiti için çeşitli algoritmalar ve hesap yöntemleri türetilmektedir. Yapılan çalışmada İzmir Kenti akıllı kart sistemi bilgilerinin analizini yapabilen bir program yazılarak kişilerin gün içerisinde izledikleri rotalar çıkarılmış ve rotalardan hareketle; bir gün içindeki düzenli yolculuk talepleri durak, mahalle ilçe bazında hesaplanmış ve B-V matrisleri oluşturulmuştur (ilk binişin yapıldığı noktaya geri dönen veya aynı başlangıç bitiş çifti arasında yapılan yolculuklar düzenli yolculuklar olarak tanımlanmıştır.)

Öncelikle çalışmada analizi yapılan veri grubu ve B-V matrisinin elde edilmesinde kullanılan model kurgusutanıtılmış sonraki bölümlerde ise analiz sonuçları ve değerlendirmeler açıklanmıştır.

Verilerin Derlenmesi ve Model Kurgusunun Geliştirilmesi

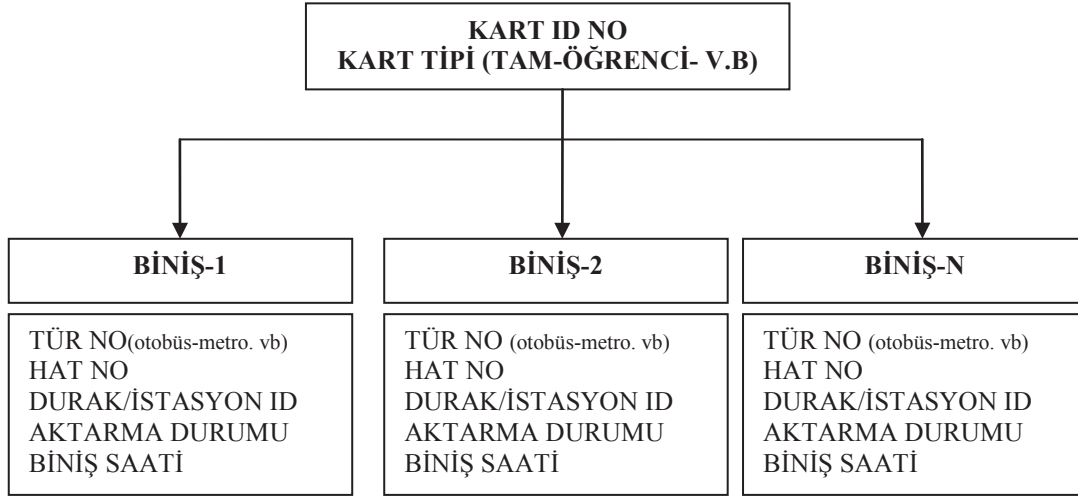
Yapılan çalışmada İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü Akıllı kart sistemindeki 10 Mayıs 2011- Salı gününe ait 1.398.065 biniş verisinin analizleri yapılmıştır. İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilen toplu ulaşım türlerine biniş yapan yolculuklara ait bilgiler Akıllı kart sisteminde depolanmakta ve sistemdeki hazır raporlama menüleri ile sonuçlar istenildiği şekilde değerlendirilmektedir. İzmir kentinde uygulanan akıllı kartla yapılan ücret toplama sistemi ve GPS tabanlı araç konum bilgisi verileri kullanılarak ulaşım planlamasında kullanılabilir birçok kritik bilgiye ulaşılabilmektedir (Tablo 3). Kart(ID) bazında biniş verisi kapsamında, kartın biniş yaptığı durak, kullandığı hat numarası ve hattın yönü, saat, aktarma durumu ve kart tipi(tam, öğrenci) gibi veriler bulunmaktadır.

Tablo 3 Akıllı Kart Sistemi veri grubu.

KART_ID	BINIS_ZAMANI	BINDIGI_DURAK	HAT_NO	AKTARMA_TIPI	SERVIS_YON	UCRET_TIPI	TARİH
xxxxxxxxx	20110510172638	10147	20081	1	0	1	10.05.2011
xxxxxxxxx	20110510142226	10322	20081	1	0	1	10.05.2011
xxxxxxxxx	20110510130349	10416	20081	2	0	1	10.05.2011
xxxxxxxxx	20110510222758	10102	20081	2	0	1	10.05.2011
xxxxxxxxx	20110510080515	10322	20081	1	0	1	10.05.2011
xxxxxxxxx	20110510080518	10322	20081	0	0	1	10.05.2011
xxxxxxxxx	20110510150151	10328	20081	1	0	1	10.05.2011

Çalışmada ilk olarak akıllı kart biniş bilgileri kişi(kart) bilgilerine dönüştürülmüş ve kişilerin gün içerisinde izledikleri rotalar çıkarılmıştır (Şekil 3). Daha sonra ise düzenli yolculukların hesaplanması aşamasına geçilmiştir. Yazılan bir algoritma ile kişilerin iniş yaptıkları durak-istasyon ve iskeleler tahmin edilmiştir. Aynı B-V çifti arasında yolculuk yapan kişiler “Düzenli Yolculuk Yapan Kişi” olarak tanımlanmıştır. Kişinin sabah ilk biniş yaptığı durak/istasyon’ un koordinat bilgisiyle son binişini gerçekleştirdiği otobüs/metro/vapur hattı durakları arasında ilişki kurulmaya çalışılarak düzenli yolculuklar elde edilmiş ve çalışmada yürüme mesafesi 800 m. olarak belirlenmiştir. Düzenli Yolculuk yapan kişiler elde edildikten sonra, bu kişilerin rotaları

ve yaptıkları aktarmalar incelenerek gün içerisinde çeşitli aktiviteleri gerçekleştirmek için gittikleri yolculuk hedef noktaları, aktarma davranışları dikkate alınarak belirlenmiş ve "Kişilere ait Durak/İstasyon Bazında B-V Matrisi" oluşturulmuştur. Sonraki aşamada ise tüm otobüs durakları, vapur iskeleleri, metro ve banliyö istasyonları buldukları mahallelere göre gruplandırılmış ve mahallelere göre "Kişilere ait Yolculuk Talep Matrisi" yine yazılan bir algoritma yardımıyla elde edilmiştir. Mahalle bazlı kişi talepleri tekrar kendi içinde gruplandırılmış ve ilçe bazında kişi talepleri elde edilmiştir.



Şekil 3. Kişilerin gün içerisinde izledikleri rotaların çıkarılması.

Analiz Sonuçları

10 Mayıs 2011- Salı gününe ait akıllı kart sistemine kayıtlı 1.398.065 biniş verisi kişilere dönüştürüldüğünde 495.559 kişiyi (kart sayısı) ifade etmektedir. Binişlerin aktarma durumları incelendiğinde 1.398.065 binişin 936.068'i aktarmasız, 461.997'si ise aktarmalı olarak yapıldığı ortaya çıkmıştır. Yani tüm binişlerin %66,95'si aktarmasız olarak gerçekleştirilmektedir. Bir gün içerisinde sadece bir yolculuk yapan 99.065 kart değerlendirme dışı bırakılmıştır. Otobüslerin duraklarda kuyruklanma hareketleri sebebiyle 76.107 binişin durak bilgisine erişilememiştir. Bu biniş sayısı kişi sayısına çevrildiğinde 67.619 kişiyi ifade etmektedir. Yapılan analizler sonucunda 10 Mayıs 2011- Salı günü yolculuk yapan 495.559 kişiden (kart sayısı) 221.323'ünün (% 44,66) düzenli yolculuk yaptığı ortaya çıkmıştır. Bu değer analizi yapılan 328.875 kişinin % 67'sini oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek talebin olduğu mahallelerden ilk 10 tanesi Tablo 4'de görülmektedir. Kişilere ait Mahalle Bazında B-V Matrisi'nin bir bölümü ise Şekil 4 'de sunulmuştur.

Mahalle bazında yolculuk talepleri incelendiğinde özellikle kent merkezi başta olmak üzere eğitim ve sağlık tesislerinin bulunduğu bölgelerde bir yığılma olduğu görülmüştür. Mahalle bazlı kişi talepleri tekrar kendi içinde gruplandırılmış ve ilçe bazında kişi talepleri elde edilmiştir (Şekil 5, Tablo 5). İlçeler bazındaki dağılım incelendiğinde düzenli yolculuk yapan 221.323 kişiden 105.245'inin tüm İzmir kenti içinden Konak İlçesi'ne geldiği ve tekrar yolculuklarına başladıkları noktalara geri

dönüş yaptıkları görülmektedir. Yani toplam talebin yaklaşık % 47'si kent merkezine doğrudur.

Tablo 4 Kişilerin mahalle bazlı yolculuk talepleri.

İlçe Adı	Mahalle Adı	Bölge Adı	Mahalle Talebi (Kişi)
Konak	Akdeniz	Gümrük	20805
Bornova	Kazımdirik	Bornova Merkez(Ege Üniversitesi)	16411
Konak	Konak	Konak Merkez (Halil Rifat Paşa cd.-Fevzi Paşa Blv.)	14767
Konak	Yeşiltepe	Konak Merkez (Kız Lisesi ve Bahribaba Parkı çevresi)	10286
Konak	Kültür	Alsancak	8633
Konak	İsmet Kaptan	Basmane Bölgesi (Cumhuriyet Blv.na kadar)	7190
Konak	Mimar Sinan	Fuar (Alsancak Gar'a kadar)	6926
Konak	Umurbey	Liman Bölgesi	6805
Bornova	Erzene	Ege Üniversite'nin bir bölümü ve Osman Kibar Kav.	4267
Karabağlar	Bahçelievler	Üçyol	4005

Mahalle Adı	İlçe Adı	Mah./Köy	İlçe Adı																									
			Karacılı	Güven	Mendires	Başı	Cumhuriyet	75. Yılı	Uluk	Çolak İbrahim Bey	Seferhisar	Yeşildere	Konak	Karabağlar	Bağcı	General Kazım Özalp	Bornova	Torbali	Bornova	Konak	Konak	Konak	Konak	Piri Reis	Çamlık	İsmet Paşa		
Balıklar	Konak	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0
Goncalar	Karşıyaka	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Turan	Bayraklı	1	0	0	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dedebaşı	Karşıyaka	1	0	0	6	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	1	0
Ulaş	Seferhisar	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Orhanlı	Seferhisar	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Basın Sitesi	Karabağlar	1	0	0	20	12	0	0	2	0	0	0	0	31	0	0	0	2	0	0	201	2	1	0	0	0	0	0
Mecidiye	Konak	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Vatan	Karabağlar	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	78	0	0	0	0	0	0	0
Barbaros	Konak	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	1	0	0	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0
Kozağaç	Buca	1	1	0	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0
Dumlupınar	Buca	1	1	1	17	28	1	0	7	0	0	0	14	0	1	0	2	0	1	207	0	0	1	0	0	0	0	
Bahar	Karabağlar	1	0	0	12	4	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0
Gaziler	Buca	1	1	0	5	6	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0
Adatepe	Buca	1	1	0	44	33	1	0	2	0	0	0	11	0	0	0	3	0	2	239	0	0	0	0	0	0	0	
Yenigün	Konak	1	0	1	2	4	1	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	1	23	1	1	0	0	0	0	0	0	
Tahsin Yazıcı	Karabağlar	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	3	0	0	43	0	0	0	0	0	0	0	
Güney	Konak	1	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	3	0	2	1	0	0	0	0	
Şehitler	Bağcı	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
Maliyeciler	Karabağlar	1	1	0	6	2	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	53	1	0	0	0	0	0	0	0	
Seyhan	Buca	1	0	0	4	4	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	
Atatürk	Buca	1	4	1	7	9	0	0	2	0	0	0	2	0	2	0	1	0	0	52	0	2	0	0	0	0	0	
Taşkesik	Bayındır	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

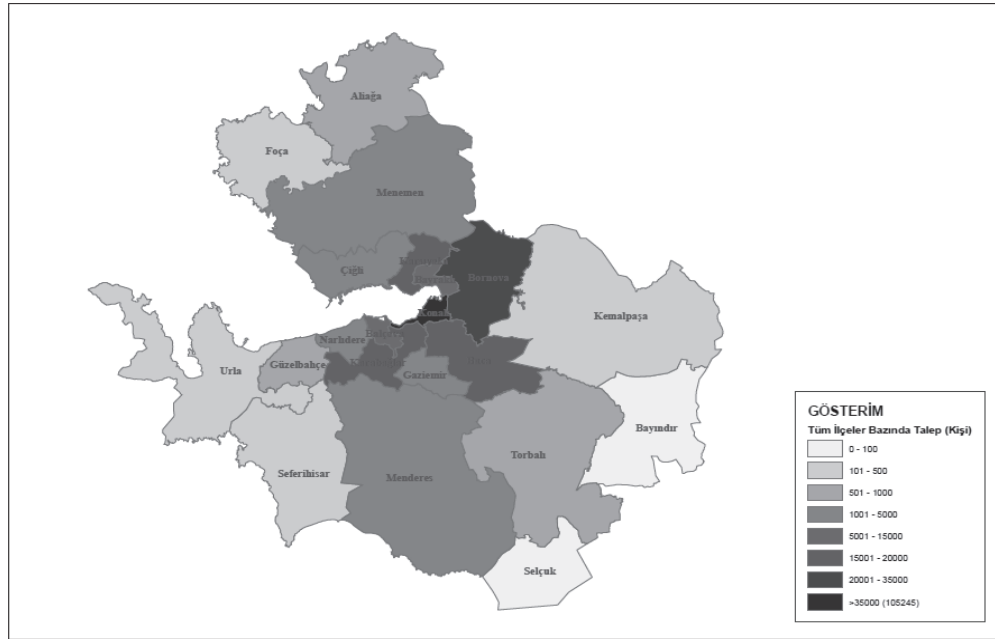
Şekil4 Kişilere ait Mahalle Bazında B-V Matrisi.

Kent Merkezi (Konak İlçesi) içindeki talebin dağılımı incelendiğinde özellikle Şehit Fethi Bey, Halit Ziya, Hürriyet Bulvarı Son Duraklarının ve Pasaport İskelesinin bulunduğu Akdeniz Mahallesi'ne, Bahribaba Aktarma Merkezinin ve Konak Vapur İskelesi'nin bulunduğu Konak Mahallesi'ne ve Kıbrıs Şehitleri - Alsancak Bölgelerini kapsayan Kültür Mahallesi'ne yoğun bir talebin olduğu görülmektedir. Bu yoğun talebin bulunduğu bölgeler hizmet sektörünün, iş merkezlerinin, ticari aktivitelerin, resmi kurumların ve kentin tarihsel simgelerinin yoğunlaştığı kentin odak noktalarıdır. Konak İlçesi'nden sonra, ikinci en çok yolculuk (kişi) talebinin olduğu ilçe 31.677 kişiyle Bornova İlçesi'dir. Bornova İlçesi'nde ise Ege Üniversite Kampüsü'nün bir

bölümünü, Ege Üniversitesi Hastanesi'ni, Bornova Aktarma Merkezini ve Bornova Merkez Bölgesini kapsayan Kazım Dirik Mahallesi'ne yoğun bir talebin olduğu görülmektedir.

Tablo 5 Kişi taleplerinin ilçelere dağılımı.

İlçe Adı	İlçe Talebi (Kişi)	Talep Dağılımı	İlçe Adı	İlçe Talebi (Kişi)	Talep Dağılımı
Konak	105245	47.55%	Menderes	1017	0.46%
Bornova	31677	14.31%	Torbali	964	0.44%
Buca	17600	7.95%	Güzelbahçe	942	0.43%
Karabağlar	16382	7.40%	Aliğa	730	0.33%
Karşıyaka	16158	7.30%	Urla	404	0.18%
Balçova	10546	4.76%	Kemalpaşa	193	0.09%
Bayraklı	5275	2.38%	Foça	166	0.08%
Çiğli	4867	2.20%	Seferihisar	120	0.05%
Gaziemir	4118	1.86%	Bayındır	18	0.01%
Narlidere	2906	1.31%	Selçuk	6	0.00%
Menemen	1989	0.90%	Toplam	221323	100.00%



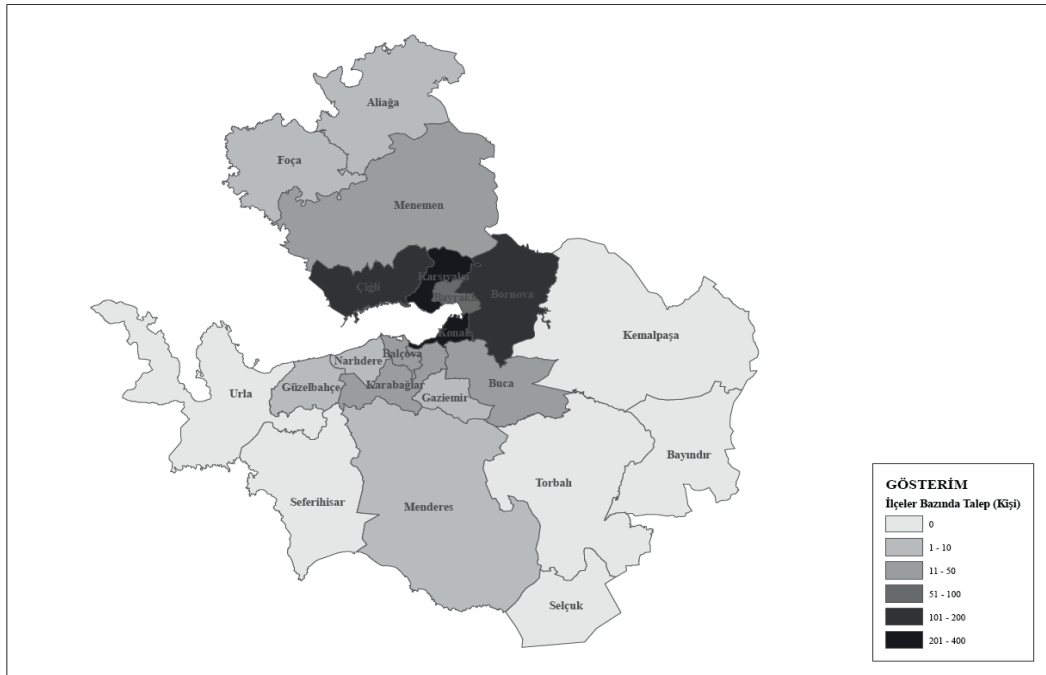
Şekil 5 İlçe taleplerinin dağılımı.

Çalışmada ayrıca Evka 6, Evka 2, Ahmet Taner Kışlalı, Aydınlikevler ve Mustafa Kemal Mahallelerini kapsayan örnek alan (Şekil 6-solda) için detay analizler yapılmıştır. Seçilen alan, son zamanlarda yerleşimin artış gösterdiği günden güne yoğunlaşan bir yapıda olup bu özelliği ile çevresindeki yatay yapılaşmayı da dönüştürücü bir etki gösterdiği söylenebilir. Ayrıca yerleşim, doğal (kuzeyinde yerleşime olanak vermeyen eğim yapısı) ve yapay eşiklerle (Anadolu Caddesi ve yan yerleşimler) sınırlandırılmaktadır. Özellikle bölge çok katlı yapılaşma (siteleşme) eğilimi göstermektedir. Alan içerisinde 75 adet (gidiş ve dönüş toplam) otobüs durağı bulunmaktadır. Çiğli İlçesi'ne bağlı Evka 6, Evka 2, Ahmet Taner Kışlalı, Aydınlık

evlerde Mustafa Kemal Mahallesi bir bütün olarak düşünülüp yolculuk talebi incelendiğinde en çok talebin daha önceki bölümlerde açıklanan kent geneli eğilimlerine benzer şekilde Konak İlçesi'nin mahallelerine doğru olduğu görülmektedir (Şekil 6b). Ayrıca Karşıyaka ve Çiğli ilçeleri içerisinde de yoğun bir biçimde yolcu sirkülasyonunun olduğu da gözlemlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 6(a) Detay çalışmanın yapıldığı alan, Şekil 6(b) Detay çalışmanın yapıldığı bölgenin kent merkezindeki mahalle bazında yolculuk talebi (kişi).



Şekil 7 Detay çalışmanın yapıldığı alanın ilçe bazında yolculuk talebi (kişi).

Bunun sebebi detay çalışmanın yapıldığı mahallelerde çalışan nüfusun bir kısmının Karşıyaka ve Çiğli ilçeleri içerisinde çalışması olarak açıklanabilir. En çok talebin olduğu 5. mahalle olan Bornova Kazım Dirlik Mahallesi, bölgede yaşayan öğrenci nüfusunun varlığına dikkat çekmektedir (Ege Üniversitesi'ne yönelen yolculuklar). Konak Mahallesi'ne olan talep 7. sırada yer alırken, Akdeniz Mahallesi'ne olan talebin ilk sırada yer alması Bölgede hizmet sunan hatların son duraklarının Gümrük olması olarak düşünülebilir.

Değerlendirme ve Öneriler

Yapılan çalışmada İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü Akıllı kart sistemindeki 10 Mayıs 2011- Salı gününe ait 1.398.065 biniş verisinin analizleri yapılmış ve yazılan bir algoritma yardımıyla yolcuların iniş noktaları belirlenmiş düzenli yolculuklar için durak-mahalle-ilçebazlı başlangıç-varış (B-V) matrisi elde edilmiştir. İlerleyen aşamalarda geliştirilen modele ilave algoritmalar eklenerek analizi yapılamayan kart verilerinin de kullanılabilir hale getirilmesi sağlanmaya çalışılacaktır. Böylece 221.323 olarak hesaplanan düzenli yolculuk yapan kişi sayının daha da artış göstereceği beklenmektedir.

Kişilerin mahalle bazında yolculuk eğilimlerinin bulunması daha akılcı ve kapasite kullanım oranı yüksek hatların planlanmasında oldukça yararlı olacaktır. Çalışmanın ilerleyen aşamasında kişi yolculuk rotalarının hat bazında da incelenmesi düşünülmektedir. Bu şekilde hat planlamasına altlık oluşturacak, yolcu odaklı akılcı bir yöntem geliştirilebilecektir. Çalışmada belirli bölgeler için detay analizler yapılmıştır. Ayrıca kent bütünü için bu çalışmaların oluşturulması sistematik bir yaklaşım sunması ve geliştirilebilmesi açısından ipuçlarının yakalanmasına olanak sağlayacaktır. Yapılan çalışma ile kent içi toplu ulaşım sistemlerinde sıklıkla kullanılan akıllı kartla ücret toplama sistemlerinin ulaşım planlanması açısından daha fonksiyonel hale gelmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

Teşekkür Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen 112M117 numaralı "Akıllı Kart Verilerine Dayalı Güvenilirlik Ölçütlerinin Toplu Ulaşım Atama Modellerine Entegrasyonu" başlıklı araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Projeye verdiği destekten dolayı TÜBİTAK'a ve ESHOT Genel Müdürlüğü'ne teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

Lee, G., Hickman, M.(2010) Travel Pattern Analysis Using Smart Card Data of Regular Users, Submitted for Presentation and Publication 90th TRB Annual Meeting, January 23-27, 2011.

Munizaga, A.M. and Palma, C.(2012) Estimation of a disaggregate multimodal public transport Origin–Destination matrix from passive smart card data from Santiago, Chile. Transportation Research Part C, 24, pp.9–18.

Nassir, N., Khani, A., Lee, S.G., Noh, H. and Hickman, M. (2011) Transit Stop-level O-D Estimation Using Transit Schedule and Automated Data Collection System. 90 th TRB Annual Meeting, January 23-27,2011

Trepanier, M., Tranchant, N. and Chapleau, R.(2007) Individual Trip Destination Estimation in a Transit Smart Card Automated Fare Collection System. Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations, London 11(1), pp.1-14.

Toplu Taşımada Otobüs Şeridi Uygulamalarına Genel Bakış ve İstanbul'daki Uygulamaların Durumu

İlgin Gökaşar, Erhan Emir

Boğaziçi Üniversitesi

İnşaat Mühendisliği

Tel: (212) 359 72 78

E-Posta: ilgin.gokasar@boun.edu.tr

Öz

Bu çalışmada, “otobüs şeridi” uygulamaları üzerine yapılan akademik araştırmalar ve bu uygulamaların İstanbul'daki genel vaziyeti ele alınmıştır. “Otobüs şeridi” uygulamasının dünyada kullanılan çeşitli tipleri, genel trafik akışına etkisi, uygulamada kullanılan akıllı ulaşım sistemleri (AUS) teknolojileri ve uygulamaların etkililiği üzerine değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmada, otobüs şeridi uygulamalarının toplu taşıma hız ve kalitesini genel olarak artırdığı gözlenmekle birlikte, yol kapasitesinin düşürülmesi ve otobüslere trafik ışık önceliklerinin sağlanmasıyla birlikte iyi analiz edilmemiş uygulamaların genel trafik akışı üzerinde olumsuz etkiler doğurabileceği de saptanmıştır.

Anahtar sözcükler: Akıllı ulaşım sistemleri, otobüs şeridi, ileri toplu taşıma sistemleri.

Giriş

Trafik sıkışıklığı problemi, olağanüstü şekilde artan araç sahiplik oranlarıyla birlikte ülkemizde ve dünyanın birçok şehrinde giderek göze çarpar hale gelmektedir. Günde 600'e yakın yeni aracın trafiğe katıldığı İstanbul gibi şehirlerde (İstanbul Ulaşım Çalışmaları, İBB), yol kapasitelerinin yetersizliği, toplu taşımanın yavaş ve pahalı olması gibi sebeplerle trafik sıkışıklığı olgusu toplumsal algıda çözülemeyecek bir problem imgesi yaratmaktadır. Bu durum belediyelerin uygulayacakları projelerde özel araç sahiplerini toplu taşıma araçlarına yönlendirecek yaklaşımları ön plana alma konusunda adımlar atmaya zorlamaktadır. Gelişen yol üstyapısı teknolojilerinin de yardımıyla, trafik problemi çeşitli yollarla çözümlenmeye çalışılmaktadır. Son yıllarda dünyada uzun süredir uygulanmakta olan akıllı ulaşım sistemleri (AUS) çözümlerinin İstanbul'da da varlık gösterdiği gözlemlenmektedir. İleri toplu taşıma sistemleri (APTS – Advanced Public Transportation Systems) uygulamalarından otobüs şeridi, trafik ışığı önceliği ve yüksek işgalietli araç şeritleri (HOV – High Occupancy Vehiclelanes) uygulamaları da İstanbul'a adapte edilir hale gelmiştir. Şehir içi transit otobüs taşımacılığı (BRT – Bus Rapid Transit) uygulamalarından fiziksel olarak ayrılmış yol şeritlerine dayalı olarak çalışan hibrit sistem (metro-otobüs) projeleri haricinde, belirli şehir içi güzergahlarda günün belirli saatlerinde sağ şeritlerin otobüslerin kullanımıyla sınırlandırılması yoluyla gerçekleştirilen “otobüs şeridi” uygulamaları da İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından 2012 Ağustos Ayı'nda uygulamaya konmuştur.

Bu çalışmada ilk olarak otobüs şeridi uygulamalarında kullanılan trafik ışığı önceliği uygulamasına, kuyruk atlatma şeritleri ve dinamik otobüs şeridi tiplerine yer verilmiştir. Daha sonra, uygulamada kullanılan denetim ve yaptırım teknolojileri ele alınmış, son olarak da otobüs şeridi uygulamasının İstanbul'daki genel durumu tartışılmıştır.

Literatür Özeti

Otobüs şeridi, trafikte toplu taşıma hızını artırmak amacıyla haftanın belirli günleri ya da günün belirli saatleri içerisinde kullanımı otobüsler dışındaki araçlar için sınırlandırılmış yol şerididir. Bu kısıtlama genellikle otobüsler dışındaki taksi, minibüs, personel servisi gibi yüksek işgaliyetli bazı araç türleri için uygulanmaktadır.

Otobüs şeridi uygulamalarının ilki 1963 yılında Avrupa'da ortaya çıkmıştır. 1974 yılında ABD'nin California eyaletinde El Monte Otobüs Yolu uygulaması yapılmıştır. Şehir içi trafik sıkışıklığının arttığı birçok büyükşehirde otobüs şeritleri hızlıca yaygınlaşmıştır. Uygulamanın düşük maliyeti, yol geometrisinde değişiklik yapmaya gerek olmaması ve hızlıca etkisini göstermesi gibi olgular otobüs şeritlerinin yayılmasında önemli faktörlerdir. Otobüs şeritlerinin uygulama sürecinde tasarım, gözetim ve yaptırım aşamalarına gerek duyulmaktadır. Tasarım sürecinde yolun genel trafik akışına dair trafik verisinin bir araya getirilmesi, analiz edilmesi ve uygulamanın olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi için modelleme yapılması esastır. Modelleme ve benzetim sürecinde uygulamanın genel trafik hızı, seyahat ve bekleme süreleri gibi parametrelere yapacağı etki analiz edilir ve uygulamanın etki değerlendirmesi buna göre yapılır. Gözetim ve yaptırım konularında ise şeritte seyretme izni olmayan araçların takip ve tespiti, şeritte bilgilendirme ve kontrol sistemlerinin oluşturulması, bu amaçla kullanılacak teknolojik donanım ve ceza sistemleri yer almaktadır.

Tablo 1'de otobüs şeridi çeşitleri dâhilinde; trafik ışığı öncelikli otobüs şeridi, kuyruk atlatma şeridi, dinamik otobüs şeridi ve yüksek işgaliyetli araç şeritlerinin genel özellikleri verilmiştir. Bu şerit tiplerinin çeşitli kombinasyonları da uygulamada gözlenmektedir.

Zayıf yaptırım ve önlemler nedeniyle araçların illegal seyir ve parklanmalarının önüne geçilemediği takdirde otobüs şeridi uygulamaları etkisiz hale gelebilir. Elektronik denetleme sistemleri bu konuda devreye girmekte ve otobüs şeritlerinin etkili denetiminde rol oynamaktadır (Aydın, 2013). Statik ya da otobüslere monte edilen kamera sistemleri de denetlemede kullanılmaktadır. Otobüs şeridi uygulamalarının temel faydaları; toplu taşıma sistemlerinin etkililiğindeki en önemli parametrelerden "yolcu bekleme süresi"ni azaltmak, otobüs hizmetinin düzenliliğini ve güvenilirliğini artırmak, otobüslerin operasyonel maliyetlerini düşürmek, yol alanının etkili biçimde kullanılmasını sağlamak ve trafik kaza oranlarını düşürmektir (Arasan ve Vedagiri, 2009). Bunun yanında, uygulamalarının pratikteki diğer olumlu etkileri ise kısa dur-kalk süreleri sayesinde yakıt tasarrufuna olanak sağlaması ve CO2 salınımını azaltmasıdır.

Tablo 1 Otobüs Şeridi Uygulamalarının Özellikleri.

Uygulama Tipi	Özellikleri	Uygulama Alanları	Avantajları	Dezavantajları
Trafik Işığı Önceliği	Otobüs geçişini hızlandıracak sabit trafik ışığı faz düzenlemesi ya da otobüs algılandığında dinamik faz uygulaması	Düşük ve orta seviye trafik talebine sahip sinyalizasyon kavşakları, otobüs şeridi uygulamaları	Toplu taşıma hızında artış, otobüs seyahat sürelerinde ve otobüs frekans sapmalarında düşüş	Genel trafikte trafik ışığı faz döngüsünün artışı, araç bekleme sürelerinde artış, yoğun saatlerde uzun kuyruk oluşumları
Ayrılmış Otobüs Şeridi	Günün belli saatlerinde ya da tam gün ayrıcalıklı otobüs şeridi. İzin verilen araçlar dışında şerit kullanımının kısıtlanması uygulaması	Düşük ya da orta seviye trafik talebine sahip güzergahlar	Toplu taşıma hızında artış, otobüs seyahat sürelerinde ve otobüs frekans sapmalarında düşüş	Bir şeridin genel trafiğe kapatılması nedeniyle yol kapasitesinde belirgin düşüş, denetleme maliyetinde artış
Kuyruk Atlama Şeridi	Kavşaklarda toplu taşıma araçlarını kuyruğun önüne geçirmek amaçlı geometrik düzenleme ve trafik ışığı önceliği uygulaması	Orta seviye trafik akım talebine sahip güzergah ve kavşaklar	Genel araç trafiği üzerine düşük etki, toplu taşıma hızında artış, otobüs frekans sapmalarında düşüş	Geometrik düzenleme maliyeti
Dinamik Otobüs Şeridi	Yolda otobüs algılanması durumunda otobüs şeridine dönüştürülen şerit uygulaması.	Orta seviye trafik akım talebine sahip güzergah ve kavşaklar	Yol kapasitesinin etkili kullanımı, genel araç trafiğine minimum etki, toplu taşıma hızında artış, otobüs frekans sapmalarında düşüş	Yol üstü elektronik işaretleme maliyeti, zirve saatlerde otobüs önündeki araçların şerit değiştirememesinden kaynaklı çalışmaz duruma gelme problemi

Trafik Işığı Önceliği Uygulaması

Trafik ışığı öncelikli otobüs şeridi stratejileri ortalama otobüs bekleme süresi ve otobüsler arasındaki zaman aralığı sapmalarını (headway deviations) diğer araçların gecikme sürelerini minimum düzeyde etkileyerek azaltmayı amaçlamaktadır. İzleme teknolojilerinin gelişmesinin yardımıyla, Otomatik Araç Takip Sistemi vb., otobüslerin yeri saptanıp trafik ışıkları otobüsler lehine ayarlanabilmektedir. Buna dair en basit uygulama ışıkların direkt olarak ayarlanmasıdır. Örneğin, bir otobüs yeşil ışığın sonuna yetiştiğinde, ışık süresinin otobüsün geçişine imkân sağlayacak şekilde artırılması ve otobüsün bir sonraki döngüyü beklememesi sağlanabilir. Buna benzer şekilde, kırmızı ışıkta kavşağa ulaşan bir otobüs için de ışık süresi otomatik olarak azaltılabilmektedir. Son yıllarda oldukça ilgi çekmekte olan “Trafik Işığı Önceliği”, transit araçların kavşaklardaki hareketlerini verimli hale getirmeyi sağlayan bir trafik ışığı geliştirme stratejisidir.

Trafik ışığı önceliği genel trafik akışını şu şekillerde etkileyebilir (Xu ve Lin, 2009);

* Zirve saatlerinde, otobüslere tanınacak ilave yeşil ışık süresi (green extension) diğer araçların birikmesine sebebiyet verir ve bu araçların hepsinin bir döngü içerisinde tahliye edilememesi durumu oluşur. Takip eden döngülerde birikmeye devam eden araç kuyruğu bir önceki kavşağa kadar ulaşabilir ve sistemi çalışamaz hale getirebilir.

* Zirve saatlerinde, öncelik fazının “erken yeşil” dönemi, öncelik olmayan fazın yeşil döneminden alınacaktır. Bu eksiltilmiş yeşil ışık süresinde genel trafikteki araçların hepsinin geçişi tamamlayamaması kuyruğun sürekli birikimine neden olabilir.

* Kavşağa çok sık ulaşan otobüsler çok fazla öncelik talebi yaratacaktır. Bu da bekleme sürelerinin artmasına, araçların bir faz döngüsünden daha fazla beklemelerine hatta tüm yol ağına yayılan trafik sıklığına neden olabilir.

Ma ve Yang (2007), bir otobüs şeridi uygulamasında, otobüs kalkış frekansı, sinyalizasyon kavşaklarda ışık döngü uzunlukları ve otobüslerin kavşağa geldiğinde karşılaştığı ışık faz sayısı arasındaki etkiyi inceleyerek otobüs kalkış frekansının yüksek olduğu hatlarda zaman aralığı sapmasının ışık faz sayısına daha duyarlı olduğu sonucuna ulaşmıştır. Otobüslere öncelik sağlanmasında kavşaklardaki ışık fazı sayısının bir ya da iki olmasının çok fazla kavşaklara göre daha kolay olduğu saptanmıştır. 53 otobüsün zaman aralığını toplam 100 saniye döngülü 4 fazlı bir kavşakta analiz ettikleri benzetim çalışmasında, trafik ışığı önceliği uygulaması, ortalama otobüs bekleme süresini %90 azaltırken diğer araçların otobüs fazında bekleme süreleri toplamda %13 artmıştır. Bu da çok fazla bir kavşakta genel trafik üzerinde düşük bir negatif etki yaratarak toplu taşıma hızının belirgin şekilde artırılabilirliğini göstermektedir.

Xu ve Lin (2009) öncelik kontrolünün etkililiğinin yolun diğer şeritlerindeki trafik talebine bağlı olarak değiştiğini belirtmiştir. Çalışmalarında öncelik kontrolünün diğer şeritlerdeki trafiği nasıl etkilediğini analiz etmiş, minimum ve maksimum yeşil ışık süresi gibi anahtar parametrelerin optimizasyonunu ele almışlardır. Aynı zamanda, “şartlı öncelik” stratejileri ile uygun telafi stratejilerini adapte etmişlerdir. Bu ışık önceliği sistemiyle, diğer şeritlerdeki trafikte oluşabilecek aşırı değişimleri en aza indirmeye çalışmışlardır. Şartlı öncelik stratejisi, ışık önceliği uygulamasının en çok olumsuz etkilediği kavşakta bu uygulamanın iptal edilmesi ve diğer kavşaklarda uygulanmasını konu alır. Bu şekilde otobüs bekleme sürelerinin %15 ve otobüs varış aralıklarındaki dalgalanmalarında %12 oranında azaltılabileceğini saptamışlardır.

Chang (2012), trafik ışığı önceliği uygulamalarının etki değerlendirmesinde kullanılabilecek sistematik bir metod geliştirilmesine dair bir çerçeve ve plan sunmuştur. Bu çerçeve ve planın kullanım şekli Columbia Park koridorunda (Arlington, Virginia) INTEGRATION adlı benzetim paketinin kullanımıyla örneklenmiştir. Bu çalışmada geliştirilen istatistiksel önem ölçütleri kullanılarak, otobüs hizmet güvenilirliğinde %3,2 ve otobüs etkinliğinde %0,9 gelişim olduğu tespit edilmiştir. Fakat koridordaki toplam gecikmenin araç bazında %1 ve yolcu bazında %0,6 arttığı da negatif etki olarak gözlenmiştir.

Chen ve diğ. (2007) otobüs şeridi ve trafik ışığı önceliği uygulamalarının eş zamanlı olarak yapılmasını önermiş ve trafik ışığı önceliği uygulaması yapıldıktan sonra sistem performansının kayda değer şekilde arttığını saptamışlardır. Pekin’deki Kuzey-Güney Merkez Aksı Hızlı Otobüs Sistemi üzerine yaptıkları modelleme sonucunda, toplam seyahat süreleri Kuzey ve Güney yönlerinde sırasıyla %3,2 ve %2,9 oranında azalmıştır.

Toplam bekleme süreleri ise Kuzey yönünde %27 ve Güney yönünde ise %25,7 oranlarında düşmüştür.

Xiang ve Hardcastle (2008), otobüs şeritleri için uyarlanabilir trafik ışığı seçeneklerini içeren bir trafik mikro benzetimi uygulamışlardır. Bu otobüs önceliği testinin amacı zirve saatlerde çeşitli dizaynların etki ve yararlarını tahmin etmektir. Değerlendirme analizleri periyodik otobüs şeritlerinin oluşturulması ve diğer araçların park etmesinin engellenmesinin iki zirve dönemde de otobüs seyahat sürelerini iyileştirdiği, güney yönde sabah zirvesinde ve kuzey yönde de akşam zirve saatlerinde güvenilirliği artırdığını göstermektedir. Modelleme sonucunda ortalama otobüs bekleme süresinin 200 saniye azaldığı, sabah zirve saatlerinde toplam seyahat süresinin 10 test sonucunda 17 dakikadan 12-16 dakika arasına indiği ve akşam zirve saatlerinde ise 20 dakikadan 14-15 dakika seviyesine düşürülebildiği saptanmıştır.

Kuyruk Atlama Şeridi Uygulaması

Kuyruk atlatma şeridi, kavşaklarda otobüslere öncelik hakkı tanıyan bir yol geometrisi çeşididir. Sinyalize kavşakların yaklaşım bölümlerinde ek bir seyir yolunun meydana getirilmesinden oluşur. Bu şerit genellikle transit araçların kullanımıyla sınırlanmıştır. Bir kuyruk atlatma şeridine genellikle kuyruğu baypas edecek araçlara özel bir faz sağlayan trafik ışığı eşlik eder. Kuyruk atlaticılar genel trafikten bir şeridi ayırmazlar, var olan yalnızca-sağa-dönüş şeridinin ve kenar şeritte bulunan otobüs şeridinin yardımıyla otobüs şeritlerine kuyruk atlatma kabiliyeti kazandırır. Aynı zamanda kuyruk atlatma yetisi sayesinde otobüslerin duraklara zamanında varmasını garanti ederler. Bu uygulamanın maksadı, yüksek kapasiteli araçların kuyruğun en önüne geçmesini sağlayarak trafik ışığından kaynaklı bekleme sürelerini azaltmak ve transit sistemin operasyonel verimini artırmaktır.

Eichler ve Daganzo (2005), aralıklı önceliğe sahip otobüs şeritlerinin (bus lanes with intermittent priority - BLIP) zaman kazancı sağlamasında etkili temel faktörleri şu şekilde sıralamışlardır: Trafiğin doygunluk seviyesi, özel şeridin otobüs seyahat sürelerinde sağladığı iyileştirme ve trafikteki otobüslerle özel araçların işgaliet oranları. Bir ayrılmış otobüs yolunun mümkün olmadığı kimi senaryolarda, bir BLIP sisteminin otobüs ve özel araç kullanıcılarına birlikte 20 yolcu-dakika/otobüs-km zaman kazandırabildiğini saptamışlardır.

Lahon (2011), Pleasanton'daki (California) altı ayrı sinyalize kavşakta kuyruk atlaticıları ve trafik ışığı önceliğini modellemiştir. Yeşil ışık ilavesi, erken yeşil ışık ve kuyruk atlaticıları 3,2 km uzunluğundaki bir koridor boyunca modellemek için araç bazlı programlama kullanmıştır. Biri ışık önceliği operasyonları ve yalnızca-sağa-dönüş kuyruk atlaticıları için diğeri ise ışık önceliği ve hem sağa hem de sola dönüş kuyruk atlaticıları için kullanılmak üzere alternatif analizler için iki ayrı VISSIM modeli oluşturmuştur. Araştırmada, trafik önceliği ve kuyruk atlaticılar yardımıyla, otobüs seyahat sürelerinin otomobil trafiğine olumsuz etki yaratmaksızın %30 oranında azaltılabildiğini belirtmiştir.

Dinamik Otobüs Şeridi

Dinamik otobüs şeridi, yol üzerindeki elektronik trafik işaretleri yardımıyla kenar şeridin geçici olarak otobüs ayrıcalıklı şeride dönüştürülmesi uygulamasıdır. Dinamik

otobüs şeridi uygulaması ilk olarak 2005 yılında Lizbon'da (Portekiz) pratiğe geçirilmiştir. Şeritte toplu taşıma otobüsü mevcut olmadığı durumda, kenar şerit tüm araçların kullanımına açıktır. Bir otobüs tespit edildiğinde, akış yönündeki kenar şerit iki kavşak arasında geçici olarak otobüs şeridine dönüştürülmektedir. Otobüsün önünde kalan ve şeridi kullanmakta olan araçlar bu şeridi kullanmaya devam edebilir ya da diğer sol şeritlere geçebilirler. Fakat diğer şeritlerdeki araçların otobüs şeridinde otobüsün ilerisindeki bölümlere girmeleri kısıtlanır. Bu da orta çizgideki elektronik uyarı işaretlerinin aktif hale getirilerek sol şeritlerdeki özel araç sürücülerinin uyarılmasıyla sağlanır. Uygulama kalıcı otobüs şeridine oranla yol kapasitesinin daha etkili kullanılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Sistemin uygulanabilirliğine dair ileri araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Joskowicz (2012) Westheimer Yolu'nda (Houton, Texas) bir dinamik otobüs şeridinin uygulanabilirliğine ve sistemin diğer arterlerde de uygulanmasının koşullarını oluşturacak parametrelerin tespitine dair bir araştırma yapmıştır. Çalışmada sabah ve akşamüzeri zirve saatlerine yönelik iki ayrı model geliştirilmiştir. Bu modeller yardımıyla sabah zirve saatlerinde %2,7 ve akşamüzeri zirve saatlerinde %5,7 oranlarında otobüs seyahat sürelerinde iyileştirmeler olacağı saptanmıştır. Bu araştırmada gözlenen olumsuz etki, dinamik otobüs şeridinin kavşaklardaki servis düzeylerini (Level of Service - LOS) bir kademe düşürmesi olmuştur. Ancak, dinamik otobüs şeridi uygulamasının sistem genelindeki diğer araçlara olumlu etkisi yolcu bekleme süreleri bakımından bundan çok daha yüksektir.

Zhu (2010), otobüs şeridi, normal trafik ve dinamik otobüs şeridi uygulamalarını karşılaştırdığı iki şeritli bir hücreli otomat trafik akım modeline dayalı araştırmasında, dinamik otobüs şeridi uygulamasının konvansiyonel otobüs şeridi uygulamasına göre özel araç trafiği üzerinde çok az olumsuz etkisi olduğunu saptamıştır. Konvansiyonel otobüs şeritleri, otobüsler ve genel trafik arasındaki etkileşimi minimum düzeye indirerek toplu taşıma hızını belirgin şekilde artırsa da, bu uygulamaların sistemin geneline olan etkisi bakımından karşılaştırıldığında dinamik otobüs şeridi uygulamalarının verimliliği daha fazladır.

Otobüs Şeritlerinin Uygulama ve Denetiminde Kullanılan Araçlar

Video-Yaptırım Araçları

Dünyanın birçok şehrinde otobüs şeritleri yoğun trafikte toplu taşımanın güvenilirliğini ve hızını artırmak için geniş kullanım alanı bulmuştur. Bu şehirlerden en göze çarpanı 860 kilometrelik ayrılmış otobüs şeridi ağıyla Londra'dır (Kiesling ve Ridgway, 2006). Bu ağda 24 saat zorunlu uygulama yapılan otobüs şeritleri ve trafik ışığı önceliği uygulaması birlikte kullanılmaktadır. Manuel yaptırım yönteminin çok fazla sayıda çalışana ihtiyaç duyması (trafik polisi vb.) ayrılmış otobüs şeritlerinde devriye gezme yönteminin maliyetli ve kısmi etkili olacağı sonucunu doğurmuştur. Bu nedenle video-yaptırım uygulaması tercih edilmiştir. Otobüslere yerleştirilen ön ve arka kameraları ile güzergâh boyunca sabit olarak bulunan 110 trafik kamerası, otobüs şeridini ihlal eden araçların plaka ve konum bilgilerini dijital olarak kaydetme amacıyla kullanıma alınmıştır. 2003 yılından sonra analog video sisteminden dijital ve kablosuz veri aktarımı sistemine geçilmiştir. Bununla birlikte, otobüs şeritlerinin şerit dizaynları

geliştirilmiş, şeritler tamamen kırmızı asfaltla kaplanmış ya da boyanmıştır. İşaretlemeler görünür şekilde yapılmıştır.

Foto-Yaptırım Araçları

Foto-yaptırım teknolojisi son 10 yılda yaygın uygulanan yeni bir teknolojidir. Dijital fotoğraf ve kablosuz iletişim alanlarındaki gelişmeler kurulum ve işletim maliyetlerini azaltmıştır. Görüntü tanıma yazılımları sayesinde şerit ihlali değerlendirmesi otomatik olarak yapılabilmektedir. Görüntü verisi elektronik ortamda bilgisayarlı analiz için taşınabilmekte ve düşük maliyetle saklanabilmektedir. Veri gizliliği ilkesi ise gelişen yazılım programları sayesinde çevredeki araçların ve diğer plakaların fotoğrafta karartılması yoluyla sağlanabilmektedir. Tekil görüntülerin dışında, görüntü tanıma yazılımları değişik kameralardan elde edilen görüntülerde aynı aracı saptayabilmektedir. Özel araçlara otobüs şeritlerinde kısa mesafelerde tanınan sınırlı kullanım hakları da (sağa dönüş vb.) yazılımlarda programlanabilmektedir. Otobüsler dışında bu şeritleri kullanımına izin verilen araç tipleri de (taksi, servis vb.) tanınabilmektedir.

Kırmızı Işık Kameraları

Trafik ışığı önceliği ya da BLIP uygulaması yapılan sinyalize kavşaklarda kırmızı ışık kameraları vasıtasıyla öncelik ihlali yapan araçlar elektronik olarak saptanabilmektedir.

İstanbul'daki Otobüs Şeridi Uygulamaları

İstanbul'un toplu taşıma sistemi içerisinde otobüs taşımacılığı en önemli yeri tutmaktadır. 2008'de Avrupa Yakası'nda ve 2009'da Asya Yakası'nda faaliyete geçen metrobüs sistemi, özel halk otobüsleri ve belediye otobüsleri İstanbul'un kara ulaşımının günlük yolculuk sayıları bakımından %31'ini sağlamaktadır. Karayolu toplu taşıma sistemi içerisinde ise bu oran %39'dur.

Tablo 2'de görüldüğü gibi, İstanbul'da raylı sistemler ulaşım türleri içerisinde yaklaşık %10'luk paya sahip olup geliştirilmesi gerekmektedir. En önemli karayolu toplu taşıma türü İETT ve Özel Halk Otobüsleridir. Otobüsler gerek hat sayısı bakımından gerekse kapasite açısından diğer türlere göre avantajlı olması nedeniyle ön plandadır (İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Plan Raporu, 2011). Karayolu toplu taşımacılığında günlük taşınan yolcu sayısının %10'u Metrobüs ile taşınmaktadır. Metrobüsün kısa bir zaman diliminde önemli bir toplu taşıma türü haline gelmesinde; yüksek bir kapasiteye sahip olması, İstanbul'un yolculuk talebi bakımında en önemli hatları üzerinde çalışması ve sefer sıklığının yaklaşık 2 dakikada bir olması etkilidir.

İBB Ulaşım Koordinasyon Müdürlüğü tarafından BRT (busrapid transit) sistemleri dâhilinde otobüs taşımacılığına dair dünyada kullanılan bir diğer uygulama olan "otobüs şeritleri" Metrobüs sisteminden sonra ele alınmıştır.

Tablo 2 Günlük yolculukların ulaşım türlerine göre dağılımı (İETT).

İŞLETME	Filo	%	Yolculuk/gün	%	ÖZEL	KAMU
İETT Metrobüs	334	0,02	715.000	5,28	<u>KARA: 87,30</u> Özel: 72,23 Kamu: 15,07	
İETT Otobüs	2.279	0,12	1.324.837	9,79		
ÖHO	2.107	0,11	1.475.274	10,9		
İstanbul Otobüs A.Ş.	240	0,01	106.797	0,79		
Otomobil	1.821.694	96,79	3.182.534	23,52		
Dolmuş Taksi	572	0,03	110.000	0,81		
Minibüs	6.361	0,34	1.850.000	13,67		
Taksi	17.395	0,92	1.100.000	8,13		
Servis oto	30.159	1,6	1.950.000	14,41		
TCDD	58	0,003	144.801	1,07		<u>RAYLI:10,17</u> Özel : 0,00 Kamu : 10,17
Hafif Metro	80	0,004	289.470	2,14		
Metro	124	0,007	268.659	1,99		
Cadde Tramvayı	155	0,008	587.448	4,34		
İETT Tramvay	4	0,0002	5.000	0,04		
Moda Tramvay	8	0,0004	3.224	0,02		
İETT Füniküler	2	0,0001	14.000	0,1		
Kabataş Füniküler	4	0,0002	54.808	0,41		
Teleferik	8	0,0004	9.039	0,07		
Şehir Hatları AŞ	34	0,002	146.798	1,08	<u>DENİZ :2,53</u> Özel :1,44 Kamu :1,08	
İDO	54	0,003	94.806	0,7		
Deniz Motorları	393	0,02	100.250	0,74		
TOPLAM	1.882.065	100	13.532.745	100	<u>Özel:73,67</u> <u>Kamu: 26,33</u>	

Toplu taşımada otobüs yolu uygulaması 2012 yılının Ağustos ayında Aksaray-Millet Caddesi-Topkapı ve Şirinevler-Mahmutbey arasındaki iki pilot güzergâhta devreye sokulmuştur. Bu güzergâhlarda günde 17.000 otobüs kullanıcısı uygulamadan yararlanmaktadır. Uygulamanın yılda 650.000 lt yakıt tasarrufu sağlayacağı ve CO₂ salınımında 1500 ton azalma olacağı hesaplanmıştır. Uygulamanın yaygınlaştırılması kapsamında bu güzergâhlara 2012'nin Aralık ayında Aksaray-Unkapanı Köprüsü, Beyoğlu Refik Saydam Caddesi ve Karaköy Tersane Caddesi eklenmiştir. Bu güzergâhlarda gerekli yol işaretlemeleri ve EDS kameralarının yerleştirilme işleri yapılmıştır. Otobüs şeridi başlangıç ve bitişlerinde tabelalar yardımıyla sürücülere uyarı yapılmaktadır. Şeritlerin üzerinde ise EDS ile denetim yapıldığına dair uyarı işaretleri bulunmaktadır. Şerit çizgilerinde ise 2 mm yüksekliğinde kompenantlı boya kullanılmıştır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından açıklanan ve otobüs şeridi uygulamasının gerçekleştirileceği yeni güzergâhlar şu şekildedir:

- Bakırköy-İncirli-Bağcılar,
- Sirkeci-Yeşilköy-Küçükçekmece (sahil yolu),
- Kadıköy-Bostancı-Kartal,
- Ümraniye (Alemdağ-Sütçü İmam- Mithat Paşa Caddesi).

Şu anki uygulamada bu şeritler sabah 07:00-10:00 ve akşam 16:00-20:00 saatleri arasında yalnızca toplu taşıma otobüsleri, personel servisleri, dolmuş ve taksilerin kullanımına ayrılmıştır. EDS kameralarıyla ihlal tespiti, çift yönlü bir kamerada 160 metre boyunca şeritte seyreden izinsiz araçların otomatik tespitine dayanmaktadır. Uygulamanın başlangıcında belediye ile emniyet müdürlüğünün birlikte çalışmasıyla yol kenarında park etme sorunu büyük ölçüde aşılmış, fakat yol sağ şeritlerinin

geleneksel kullanım alışkanlıkları değiştirilememiştir. İBB çağrı merkezine gelen bildirimlerde özellikle cadde kenarlarındaki esnafların park yasağı uygulamasıyla ilgili sorun ve şikâyetleri mevcuttur. Uygulamanın başlangıcında bir şeridin toplu ulaşıma ayrılması ile yol kapasitesinin çoğu yerde büyük oranda düşürüleceği ve sistemin genel trafik akışına olumsuz etkilerinin olacağı halk arasında kaygı yaratmıştı. Uygulama kararlarını alan İBB Ulaşım Koordinasyon Müdürlüğü'nün düşüncesi ise, uygulamanın yapıldığı yollarda sağ şeritlerin hali hazırda park için kullanıldığı ve uygulamayla bu şeritlerin trafiğe kazandırılması yoluyla hem toplu taşıma hız ve kalitesinde hem de yol kapasitelerinde iyileştirmeler sağlanacağı yönünde olmuştur.

Yol kenarlarında parklanma sorunu ve otobüs şeridi uygulamasının bulunduğu yollardaki mevcut katılımlardaki sorunlar sistemin işlerliğindeki en önemli problemlerdir. Şu an otobüsler için trafik ışığı önceliği sistemi uygulanmamaktadır fakat belediyenin akıllı ulaşım sistemleri teknolojileriyle ilgilenen firması İSBAK A.Ş.'nin "akıllı kavşak" çalışmaları bulunmaktadır.

Sonuç

Bu çalışmada otobüs şeridi uygulamalarına dair mevcut akademik çalışmaların özeti verilmiş ve İstanbul'daki uygulamaların durumu genel hatlarıyla tartışılmıştır. Trafik ışığı önceliği uygulaması, otobüs şeritlerinin bulunduğu kavşaklarda mevcut ışık fazlarının otobüsler lehine düzenlenmesi yoluyla otobüs seyahat sürelerinin azaltılmasını ve otobüs frekans sapmalarının düzenlenmesini amaçlamaktadır. Kuyruk atlatma şeritleri ise kavşaklarda yapılan geometrik düzenlemeler yoluyla otobüslerin kuyruğun en önüne geçirilmesi yoluyla fayda sağlamayı amaçlar. Bir diğer uygulama ise dinamik otobüs şeridi uygulamasıdır. Bu uygulama ile şeritte seyir eden otobüs bulunması halinde, şeridin dinamik olarak otobüs şeridine dönüşmesi yoluyla otobüs bulunmadığı sürelerde uygulamadan kaynaklanan kapasite azalmasını ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Otobüs şeridi uygulamalarında kullanılan elektronik denetleme ve yaptırım sistemleri ise genel olarak şerit ihlali yapan araçların kameralar sayesinde tespit edilmesini ve ceza uygulamalarını kapsamaktadır.

İstanbul'da 2012'nin Ağustos ayında belli güzergâhlarda uygulamaya sokulan otobüs şeritleri geliştirilmeye açıktır. Uygulamaların öncesinde yapılması gereken modelleme çalışmaları ve geleneksel yöntemler dışında sayılan sistemlerin (trafik ışığı önceliği, kuyruk atlatma şeritleri vb.) mevcut sisteme entegre edilmesi yoluyla genel sistem faydasının artırılması sağlanabilir. Genel trafik akışı üzerinde en düşük olumsuz etkiyi yapacak uygulamalar trafik analizleri sonrasında ortaya çıkacaktır. Mevcut uygulamaların yetersiz fizibilite çalışmalarıyla kullanıma alınması, yol kenarındaki park alışkanlıklarının ortadan kaldırılması ve yol katılımlarındaki mevcut sorunların giderilmesi ilk planda sayılabilecek problemlerdir. Bu problemlerin giderilmemesi, trafik kültüründe uygulamaların yer edebilmesinin başlıca koşullarından biri olan kullanıcıların uygulamalara güveninin sağlanamamasına yol açacaktır.

Teşekkür Bu çalışma Boğaziçi Üniversitesi BAP Komisyonu 13A04P3 kodlu proje kapsamında yapılmış ve desteklenmiştir.

Kaynaklar

Arasan, V. T. and Vedagiri, P. (2009) Simulating Heterogeneous Traffic Flow on Roads with and without Bus Lanes. Journal of Infrastructure Systems.

Aydın, Ö.F. (2013) Evaluation of work zone management strategies: The FSM Bridge Case Study, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Chang, J. (2012) Evaluation of Service Reliability Impacts of Traffic Signal Priority Strategies for Bus Transit, Doktora Tezi - ProQuest Information and Learning Company.

Chen, X. M., Yu, L. and Guo, S.X. (2007) Impacts of Exclusive Lanes and Signal Priority on Bus Rapid Transit Effectiveness, International Conference on Transportation Engineering.

Eichler, M. and Daganzo, C.F. (2005) Bus lanes with intermittent priority: Strategy formulae and an evaluation, Institute of Transportation Studies, University of California.

<http://www.iETT.gov.tr/tr/main/pages/istanbulda-toplu-tasima/95>.

http://www.ibb.gov.tr/sites/avrupabirligi/documents/kenticiulasimtoplantisi/ulasim_planlama.ppt.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Ulaşım Planlama Müdürlüğü, İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Plan Raporu, Mayıs 2011.

Joskowicz, I. F. (2012) Dynamic Bus Lane, Doktora Tezi, Arlington Texas Üniversitesi.

Kiesling, M. and Ridgway, M. (2006) Effective Bus-Only Lanes. ITE Journal (76). <http://arch21.org/BusLanes/CB06C273.pdf>.

Lahon, D. (2011) Modeling Transit Signal Priority and Queue Jumpers for BRT. Institute of Transportation Engineers Journal (81).

Ma, W. and Yang, X. (2007) A Passive Transit Signal Priority Approach for Bus Rapid Transit System, Intelligent Transportation Systems Conference.

Xiang, M. and Hardcastle, S. (2008) Bus Priority Option Tests in Microsimulation with SCATS. Traffic and Transportation Studies Congress.

Xu, J. and Lin, H. (2009) Side Road Traffic Considered in Transit Signal Priority Control, Critical Issues in Transportation Systems Planning, Development, and Management, ASCE.

Zhu, H. B. (2010) Numerical study of urban traffic flow with dedicated bus lane and intermittent bus lane. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications Journal (16).

İzmir Kentiçi Toplu Ulaşımın Makroskopik Simülasyon ile Değerlendirilmesi

Utku CİHAN

İzmir Büyükşehir Belediyesi
İzmir - Türkiye
(232) 293 19 10
utkucihan@izmir.bel.tr

Murat ERGÜN

İstanbul Teknik Üniversitesi
İstanbul - Türkiye
(212) 285 65 36
ergunmur@itu.edu.tr

Nilgün CAMKESEN

Bahçeşehir Üniversitesi
İstanbul - Türkiye
(212) 381 09 75
nilgun.camkesen@bahcesehir.edu.tr

Öz

Günümüzde özel oto sahipliliğinin yaygınlaşması nedeniyle kent içi ulaşım, giderek daha sorunlu hale gelmekte ve yaşanılabilir kentler için toplu ulaşımın önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Kentlerimizdeki trafik sıkışıklığının yanı sıra kıt kaynakların ve doğal çevrenin hızla tüketimi sadece içinde bulunduğumuz kentler için değil tüm dünyada çözüm üretilmesi gereken bir sorun haline gelmiştir. Bu nedenle, en azından günlük faaliyetlerimizi gerçekleştirirken özel araç yerine toplu taşımının kullanılmasını desteklemek ve kent içi toplu ulaşım sistemlerinin gelişmesini sağlamak bu sorunun çözümüne ortak olmak anlamına gelmektedir.

İş, okul, eğlence, alışveriş gibi günlük faaliyetlerimizi gerçekleştirirken özel araç yerine toplu taşımının kullanılmasını önermenin yanı sıra kent içi toplu ulaşım sistemlerinin birbiri ile entegrasyonunu sağlamak, ulaşılabilirliği arttırmak, taşıtların değil insanların ulaşımına öncelik vermek toplu ulaşımın tercih edilebilirliğini artırmak yönünde faydalı olacaktır. Bu doğrultuda; kent içi ulaşımı bir bütün olarak ele almak ve bilimsel yöntemler kullanarak planlamak atılması gereken en önemli adımlardır.

Bu kapsamda yapılan çalışmada; İzmir kentinin mevcut ulaşım ağı ve toplu ulaşım sistemlerinden yola çıkılarak ulaşım modelinin kapsamlı bir şekilde Makroskopik Simülasyon ortamına konulması hedeflenmiştir. İzmir Ulaşım Ana Planı çalışmaları kapsamında yapılan hane halkı anket verileri ve kent ile ilgili diğer bilgiler derlenerek uluslararası bir makroskopik ulaşım modelleme programı kullanılarak İzmir kentiçi toplu ulaşım sisteminin değerlendirilmesine çalışılmıştır. Sonuç olarak; Makroskopik simülasyon programı ile yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan İzmir kentinin toplu ulaşım sistemi ile ilgili değerlendirmelere yer verilmiş, önerilerde bulunulmuştur. Kentiçi ulaşımın bir bütün olarak ele alınabileceği ve ulaşım ile ilgili alınacak kararlarda makrosimülasyon programlarının kullanılabilirliği konusunda örnek bir uygulama elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ulaşım Modelleme, Toplu Ulaşım, Yolculuk Talebi

Giriş

Refah seviyesinin yükselmesi ve oto sahipliliğinin giderek yaygınlaşmasıyla, büyük kentlerde araba kullanımındaki artışa paralel olarak kentsel yayılma süreçlerinin yaşandığı gözlemlenmektedir. Toplu taşıma hizmetlerinin sunumu özel araç kullanımıyla rekabette yetersiz kalmakta, dolayısıyla ulaşımdan kaynaklanan çevre kirliliği sürdürülebilir kentleşmeyi tehdit eden önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010).

Bir kentte yaşayan insanlar; gündüz ve gece boyunca ihtiyaçları için çeşitli hareket halindedirler. Çalışma, alış – veriş, eğlenme, dinlenme ve ziyaret gibi nedenlerle, bazı mesafelere gitmek zorunluluğu vardır; bu da hareketliliği doğurur. Uygarlığın en önemli gelişmelerinden biri olan hareketlilik, sosyal hayatı zenginleştirip, kişilere geniş tecrübeler kazandırır. Teknolojideki ilerleme; çalışma saatlerini kısaltmakta, geliri yükseltmekte ve gelirden daha büyük bir payın sosyal yaşantıya ayrılabilmesini sağlayarak seyahat aktivitesini de arttırmaktadır. Böylece artan ulaşım isteği sonucu oluşan hareketliliğin de planlanması gereği ortaya çıkmaktadır (Gülgeç, 1998). Kişisel ihtiyaçların artması, eğitim ve kültür düzeyinin yükselmesi, artan nüfus ve refah düzeyi ile birlikte otomobil sahipliliğinin de artması ile ulaşımaya yönelik ihtiyaçlar da zaman içinde katlanarak artmaktadır. Artan ihtiyaç ve talepler, çevre kirliliği, maliyet ve zaman kaybı, trafik yoğunluğu, stres vb. sorunları da beraberinde getirmektedir.

Amaç ve Kapsam

Çalışmanın amacı İzmir Kenti'nin toplu taşıma sisteminin yolculuk talebini makrosimülasyon programı kullanılarak değerlendirilerek, mevcut ulaşım sorunlarının belirlenmesi, gelecekte ortaya çıkabilecek sorunların tahmin edilmesi ve kent için gerekli en iyi seçeneklerin belirlenmesidir. Çalışma kapsamında; ulaşım modelinin makrosimülasyon programı içinde oluşturulması için gerekli mevcut ve yeni bilgiler toplanmıştır. Daha önceden yapılmış çalışmalar değerlendirilmiş ve ulaşım modelinin simülasyon ortamında kurulumu anlatılmıştır. Sonuç olarak ise; ulaşım modelinin makrosimülasyon ortamında işletilmesi ile ortaya çıkan bilgiler ışığında toplu ulaşım sistemi hakkında önerilerde bulunulmuştur.

Yöntem

5216 Sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu'nun devreye girmesi ile birlikte Büyükşehir Belediyesi sınırları genişletilmiş ve büyük şehirlerde kentsel nüfus artmıştır. Hızla artan nüfus, işgücü ve araç sahipliği gibi etkenler, günümüzde önemli bir sorun olan kentiçi ulaşımın çevre, enerji, sürdürülebilirlik, sosyal denge gibi konular dikkate alınarak öncelikle büyük şehirlerde olmak üzere bilimsel yöntemlerle analiz edilmesini ve düzenlenmesini gerekli kılmaktadır.

Geleneksel ulaşım planlaması: Kentsel alanların denetimli geliştirilmesi, kent içi ulaşımında harcanan zaman ve kaynak kaybını en aza indirerek topluma en fazla faydayı sağlamak düşüncesiyle geliştirilen geleneksel kent ulaşım planlaması devamlı bir süreç olarak kabul edilir ve değişen koşullar değerlendirilerek, planlar yeni durumlara göre yenilenir. Kent plancısı, ulaşım plancısı ve trafik mühendisinin birlikte bulunduğu çalışma sürecinde; ekonomist, sosyolog, demograf ve şehir plancısının çalışmalarına katılımı istenir (Kılınçaslan 2012).

Geleneksel ulaşım planlama süreci, kentsel yolculuk talebinin karşılanması amacıyla yönelik olarak başlıca üç aşamada özetlenebilir. Bunlar; (a) Veri Toplama, (b) Analiz ve Model Kurulması, (c) Değerlendirme aşamalarıdır.

Ulaşım Modeli

Ulaşım modelinin amacı yolculuk taleplerinin analiz edilerek talebi karşılayabilecek uygun ulaşım sistemlerini oluşturmaktır. Sisteme içerden veya dışarıdan müdahaleler sonucu karşımıza çıkabilecek sorunları önceden tahmin edebilmek amacıyla da kullanılabilir. Ulaşım modelinin amacı yolculuk taleplerinin analiz edilerek talebi karşılayabilecek uygun ulaşım sistemlerini oluşturmaktır. Sisteme içerden veya dışarıdan müdahaleler sonucu karşımıza çıkabilecek sorunları önceden tahmin edebilmek amacıyla da kullanılabilir.

Hedef yılında kentte ortaya çıkması beklenen yolculuk talepleri, mevcut kentsel ulaşım yapısını yansıtan bir matematiksel model kullanılarak tahmin edilmiştir. Ulaşım modeli VISUM programı ile oluşturulmuştur (PTV, 2010). Coğrafi bilgi sistemi programları ile düzenlenen veriler VISUM programına aktarılmıştır.

VISUM’da bir trafik modeli ulaştırma arzı ve seyahat talebi verilerinden oluşur. Ulaştırma arz verileri bir ağ modelinden görselleştirilir. Tüm ulaşım sistemi için yapılan bir ağ modeli ulaşım arzının mekansal ve zamansal yapısını yansıtmalıdır. Bu sebeple bir ağ modeli ulaşım ağı, hat güzergahları, hareket saat çizelgeleri ve trafik bölgelerinin ilgili özelliklerini içeren bir takım ağ nesnelere sahiptir (PTV, 2010).

Model Girdileri

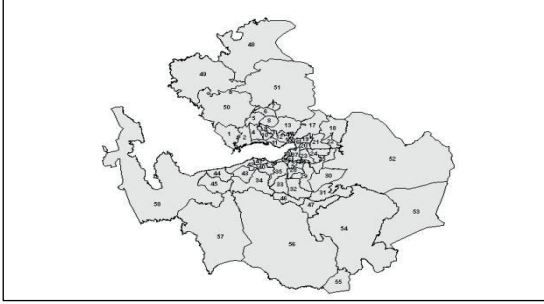
Ulaşım modellemesinin bilgi toplama aşamasında ulaşım sistemi verileri, sosyo-ekonomik veriler ve yolculuk verileri başlıkları altında toplanmıştır.

Ulaşım Sistemi Verileri

Ulaşım sistemi verileri, çalışma alanı içerisindeki analiz bölgeleri, ulaşım ağları, hatlar, güzergahlar, durak, istasyon, iskele ve terminaller vb. bilgileri kapsamaktadır. Toplu taşıma ve ara toplu taşıma sistemleri (metro, hafif raylı sistem, tramvay, kablolu insan taşıma sistemleri, otobüs, dolmuş, taksi ve servis araçları vb.) ile yapımı devam eden raylı sistem vb. toplu taşıma hatları ve deniz ulaşımı da göz önüne alınmalıdır. Çalışma kapsamında bu bilgiler, ilgili kurumlardan ve mevcut ulaşım ana planı verilerinden elde edilmiştir.

Bölgeleme (Zone) Verilerin toplanması ve değerlendirilmesi amacıyla çalışma alanı öncelikle, trafik analiz bölgesi (zone) adı verilen coğrafi planlama birimlerine bölünmelidir. Trafik analiz bölgeleri belirlenirken, kentsel planlama ölçeğinde istatistiksel verilerin bulunabileceği en küçük idari birim olan mahalleler esas alınmaktadır. Bölgeleme; seyahatlerin başlangıç ve varışlarını hem coğrafi temele göre ve hem de seyahate ilişkin nüfus, çalışma oranı gibi benzerlik gösteren alanları, mekansal bölümlerde toplayacak şekilde yapılmalıdır. Zon düzenlemesi, planlama hiyerarşisiyle ilgilidir. Örneğin, kırsal yerleşimleri kapsayan çalışmadaki geniş zonlardan, kentin banliyö yerleşimi olanlar, bu geniş zon içinde bölünüp daha ayrıntılı mevzi çalışmada bu zonlar tekrar alt zonlara bölünebilir (Gülgeç, 1998).

Bu çalışmada 2009 yılında onaylanan İzmir Ulaşım Ana Planı'nın bölgeleme sistemi kullanılmıştır. İzmir Ulaşım Ana Planı 2 aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. 1. aşamada 3030 sayılı "Büyükşehir Belediyelerinin Yönetimi Hakkında Kanun" ile tanımlanan ve "Merkez Kent" olarak ifade edilen kent merkezini, 2. aşamada ise 5216 sayılı yasa ile genişleyen İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisindeki toplam 58 adet trafik analiz bölgesini kapsamaktadır. Analiz bölgeleri Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmektedir.



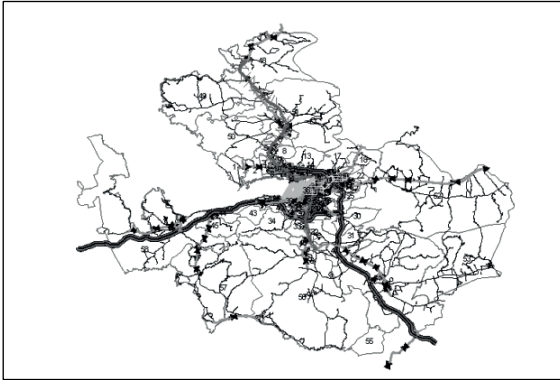
Şekil 1 Trafik analiz bölgeleri.



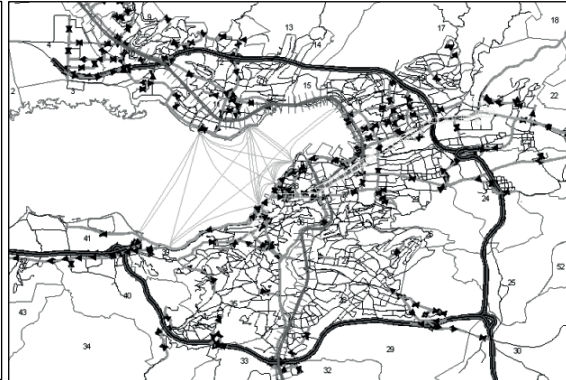
Şekil 2 Merkez kent analiz bölgeleri.

Bölgeler belirlenirken mahalle ölçeğinde veri elde edilmesi genel olarak daha kolay olduğundan mahalle sınırları dikkate alınmıştır. Demografik ve sosyo-ekonomik verilerin toplanması da mahalle ölçeğinde yapılan çalışmalar nedeniyle daha ulaşılabilir bir bilgi olmaktadır.

Yol Ağı (Link) İzmir Büyükşehir Belediyesi, Coğrafi Bilgi Sistemleri Dairesi Başkanlığı'ndan elde edilen yol orta hatları verisi çeşitli yöntemler kullanılarak modele girdi oluşturacak nitelikte yeniden şekillendirilmiştir. Ham veride, çalışma alanı içerisinde yaklaşık 120.000 adet yol ağı kesimi (link) tespit edilmiştir. Bu kesimler sokak, cadde ve bulvar olarak tanımlanmıştır. Tüm yol orta hatları tek çizgi olarak tanımlanmıştır. Şekil 3 ve 4'te yol ağı gösterilmiştir.

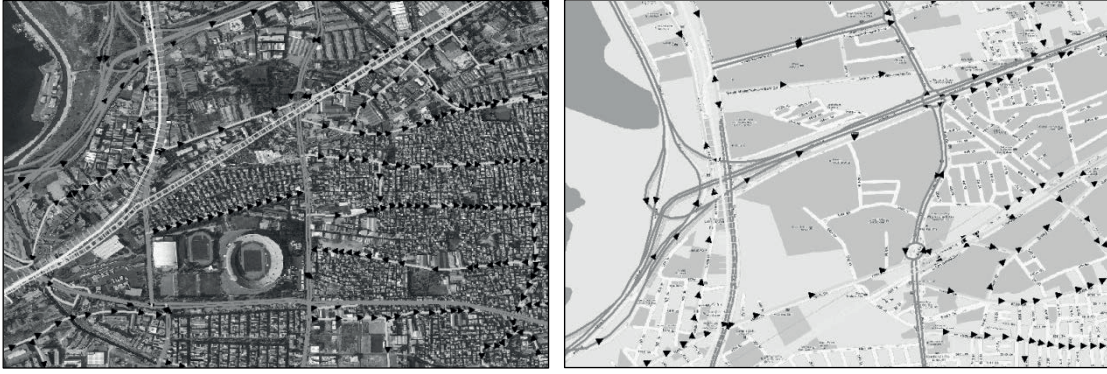


Şekil 3 Yol ağı.



Şekil 4 Merkez kent yol ağı.

Öncelikle çalışma kapsamı; kentin ulaşımını makro ölçekte değerlendirmek olduğundan otobüs hatlarının geçmediği ve sokak olarak tanımlanan yol ağı kesimleri veri içerisinden silinerek yol ağı şebekesi sadeleştirilmiştir. Sadeleştirme yapılırken belediye otobüsü hatlarının yanı sıra güncel hava fotoğrafları ve çeşitli sokak haritalarından yararlanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5 Hava fotoğrafı (a) ve sokak haritası (b) üzerinde yol ağı kesimleri

Coğrafi Bilgi Sistemleri programı ile mevcut yol ağları (deniz, raylı sistem, karayolu) sınıflandırma ve nitelikleri göz önünde bulundurularak sisteme işlenmiştir. Linklerin birbirleri ile bütünleşmiş olması, yönlerinin doğru işlenmiş olması ve fazla ya da eksik bilgi içerip içermedikleri kontrol edilmiş, yol ağının en az hata ile şekillendirilmesi amaçlanmıştır.

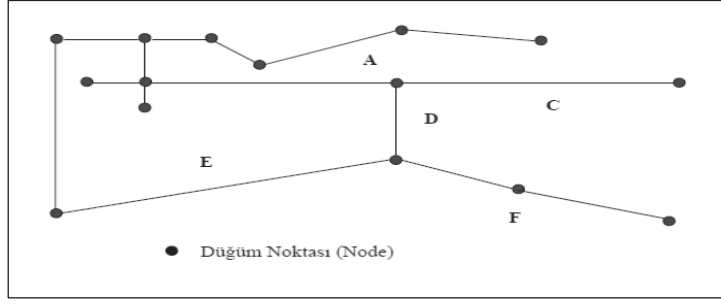
Yol ağlarının model programına yüklenebilmesi için sisteme işlenirken ulaşım ağı türü ve niteliklerine göre kodlanmışlardır. Bu kodlama aşağıdaki Tablo 1 dikkate alınarak yapılmıştır.

Tablo 1 Yol Ağı Tür ve Sınıflandırması.

	ULAŞIM AĞI	NİTELİĞİ	NİTELİK KODU
1	Karayolu	2 Şeritli Bölünmemiş	3
2	Karayolu	4 Şeritli Bölünmüş	9
3	Karayolu	6 Şeritli Bölünmüş	12
4	Karayolu	Otoyol	20
5	Demiryolu	Banliyö	30
6	Demiryolu	Metro (HRS)	35
7	Denizyolu	Vapur	40

Karayolu ağında 2 şeritli bölünmemiş yollara 3 kodu verilmiştir. Ağın büyük çoğunluğu bu niteliktedir. Demiryolları 30 ve 35 kodları ile ve deniz hatları ise 40 kodu ile ifade edilmiştir.

Düğüm noktaları (Node) Linklerin başlangıç ve bitiş noktalarında düğüm noktaları yer almaktadır. Bir ağ çeşitli yollarla aralarında bağ kurulmuş hat parçalarından (bağlantı) oluşur. Her hat parçası koordinatları bilinen başlangıç ve bitiş noktaları ile tanımlıdır. Bir parça başlangıç ve bitiş noktaları arasında koordinatları bilinen ara noktaları da içerebilir. Düğüm noktaları ile tanımlanan topolojik ilişkiler bir ağın bağlantılığını belirler (Şekil 6) (Erden ve diğ., 2003).



Şekil 6 Düşümler ve bağlantı ilişkisi. (Kaynak: Erden, 2003)

Bağlayıcılar Bölgeleri ulaşım ağı ile ilişkilendirirler. Bir bölgenin ağırlık merkezi ve ağ üzerindeki durak noktası arasındaki mesafeyi ifade ederler. İki yönlü olarak kullanılırlar. Bölgeler yolculuğun başlangıç ve bitiş noktası olduğundan bağlayıcılarda yolculuğun başlangıcında ya da bitiminde yer alırlar.

Yolculuk Bilgileri

Yolculuk bilgileri; bir kentin bir noktasından diğer bir noktasına yolculuk talebinin ne olduğu ilgili verilerin elde edilmesi ve bu yolculuklar ile ilgili bilgileri ifade etmektedir. Bölgeler arasında yolculuk talebinin belirlenmesi hanehalkı anketlerinin bölge bazında değerlendirilerek ortaya çıkarılan Başlangıç – Bitiş Matrisi ile gösterilmektedir. Yolculuk dağılımının bilinmesi yapılacak olan planlama çalışmasının en önemli adımlarından biridir. Bu nedenle yolculuğun nereden nereye olduğunun en iyi oranda bilinmesi yapılacak olan tahminlerinde o oranda doğru olmasını sağlayacaktır.

Yolculuk talebinin analiz edilmesi ve Başlangıç – Bitiş Matrisi oluşturulabilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmektedir. Ancak geleneksel ulaşım planlamasında Başlangıç – Bitiş Matrisi hanehalkı anketi verilerine dayanarak elde edilmektedir. Bu çalışmada 2009 yılında tamamlanan İzmir Ulaşım Ana Planı kapsamında yapılan Hanehalkı anketi verilerine dayalı oluşturulmuş Başlangıç – Bitiş Matrisi kullanılmıştır (Şekil 7).

Matris editor (Matris:1 new matrix)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	8029.06	1791.00	3.00	7570.00	11640.99	10279.33	13100.66	10418.89	19877.21	5311.16	9885.13	10299.74
2	9329.06	57.00	9.00	0.00	37.00	114.00	99.00	78.00	95.00	255.00	638.00	378.00
3	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
4	7570.00	37.00	7.00	0.00	107.00	107.00	95.00	75.00	52.00	242.00	795.00	359.00
5	11639.99	114.00	22.00	0.00	107.00	469.00	237.00	323.00	215.00	633.00	2.60	1.14
6	10279.33	58.00	11.00	0.00	95.00	237.00	142.00	207.00	112.00	428.00	1.33	585.00
7	13100.66	78.00	15.00	0.00	75.00	323.00	207.00	303.00	153.00	583.00	1.82	787.00
8	10418.89	99.00	11.00	0.00	52.00	215.00	112.00	153.00	104.00	407.00	1.27	557.00
9	19877.21	255.00	49.00	0.00	242.00	833.00	428.00	583.00	407.00	2.67	6.06	2.65
10	5311.16	638.00	161.00	1.00	796.00	2.60	1.33	1.82	1.27	6.06	18.95	6.70
11	9885.13	378.00	73.00	0.00	359.00	1.14	585.00	797.00	557.00	2.65	8.70	5.43
12	10299.74	247.00	48.00	0.00	234.00	772.00	486.00	568.00	377.00	1.80	5.85	3.22
13	13245.47	72.00	14.00	0.00	63.00	234.00	131.00	183.00	121.00	528.00	1.72	944.00
14	959.00	3.00	1.00	0.00	3.00	9.00	4.00	6.00	4.00	20.00	66.00	37.00
15	291.00	1.00	0.00	0.00	1.00	2.00	1.00	2.00	1.00	6.00	18.00	10.00
16	12592.88	106.00	20.00	0.00	100.00	331.00	170.00	232.00	162.00	772.00	2.52	1.41
17	3955.00	9.00	2.00	0.00	9.00	29.00	15.00	20.00	14.00	68.00	222.00	124.00
18	3837.00	9.00	2.00	0.00	8.00	28.00	14.00	19.00	14.00	65.00	210.00	118.00
19	9621.54	322.00	62.00	0.00	306.00	1.01	517.00	704.00	492.00	2.35	7.65	4.27
20	9310.64	659.00	127.00	1.00	626.00	2.06	1.86	1.44	1.01	4.81	15.66	8.78
21	9966.01	391.00	75.00	0.00	371.00	1.22	628.00	855.00	558.00	2.85	9.29	5.19
22	5959.00	13.00	2.00	0.00	12.00	40.00	21.00	28.00	20.00	34.00	393.00	172.00
23	10274.93	329.00	63.00	0.00	311.00	1.02	526.00	717.00	501.00	2.29	7.79	4.35
24	8013.92	227.00	44.00	0.00	215.00	710.00	364.00	496.00	347.00	1.85	5.39	3.01
25	495.00	1.00	0.00	0.00	1.00	3.00	2.00	2.00	1.00	7.00	23.00	12.00
26	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
27	3398.88	119.00	23.00	0.00	113.00	372.00	191.00	261.00	182.00	689.00	2.83	1.58
28	9895.01	120.00	23.00	0.00	114.00	376.00	193.00	263.00	184.00	677.00	2.86	1.61
29	68.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.00	2.00
30	2438.00	5.00	1.00	0.00	5.00	15.00	8.00	11.00	7.00	36.00	116.00	65.00
31	2703.00	4.00	1.00	0.00	4.00	14.00	7.00	10.00	7.00	32.00	103.00	57.00

Şekil 7 Talep matrisi.

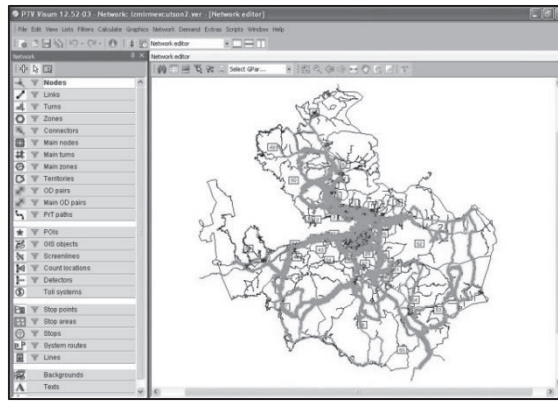
Ulaşım Modelinin İşletilmesi

Trafik ataması aşamasında ulaşım ağına yolculukların oluşturduğu trafiğin yüklemesi yapılır. Bu yüklemenin yapılabilmesi için mevcut ulaşım sistemi, yol ağı ve yolculuk

dağılım matrisi siteme girilmiştir. Yolculukların ulaşım ağına atanmasında kullanılan üç adet yöntem bulunmaktadır. Bunlar; (a) Sapma Eğrileri Modeli (b) Kapasite Kısıtlı Model (c) Hep veya Hiç Modelidir. Bu çalışmada Hep veya Hiç Modeli kullanılmıştır.

Hep veya hiç (all or nothing) modeliyle yapılan trafik yüklemesinde, bir zondan başlayıp, diğer bir zonda biten yolculukların, en az dirençli (az gecikmeli, en kısa) yolu seçeceği esas alınmıştır. Trafik direnci; uzaklık, yolculuk maliyeti, süre veya bu etkenlerin kombinasyonlarından oluşan ölçütlerle belirtilmektedir (Kılınçaslan, 2012).

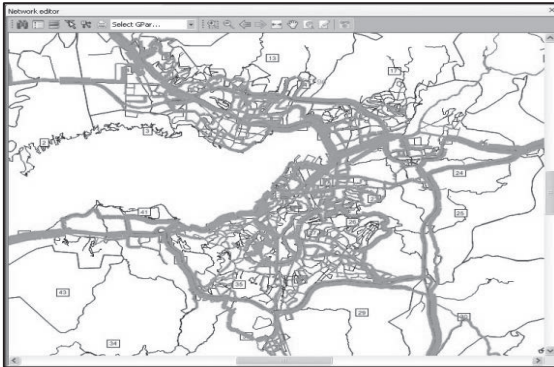
Bu modelde bilgisayar yardımı ile analiz bölgesi merkezleri arasındaki en kısa süreli güzergahın seçimi yapılır. Analiz bölgeleri arasında öngörülen gelecekteki trafiğin bu en kısa süreli güzergaha yüklenmesi ile o yol ağı üzerinde oluşacak trafik hacmi belirlenir. Bağlantılar, iki nokta arası olarak tanımlanır ve yolun uzunluğu, ortalama hızı, yolculuk süresi ve kapasitesi modele veri olarak girilir. Atama bu veriler dikkate alınarak yapılır. İzmir örneği için yapılan atama sonucunda ortaya çıkan talep güzergahları Şekil 8'de gösterilmektedir.



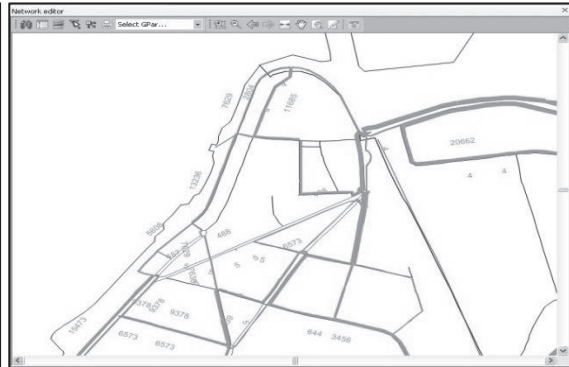
Şekil 8 Trafik Ataması.

Şekil 9'da görülen kalın çizgiler, yol ağı üzerine yüklenen trafik akımını göstermektedir. Çizgilerin kalınlığı, trafik akımının yoğunluğunu (büyüklüğünü) ifade eder.

Trafik ataması sonucunda her yol bağlantısı için trafik yoğunluğu hesaplanmaktadır ve Şekil 10'da görüldüğü üzere bağlantı (link) yanındaki hacimler ile ifade edilmektedir.



Şekil 9 Trafik ataması (Merkez kent).



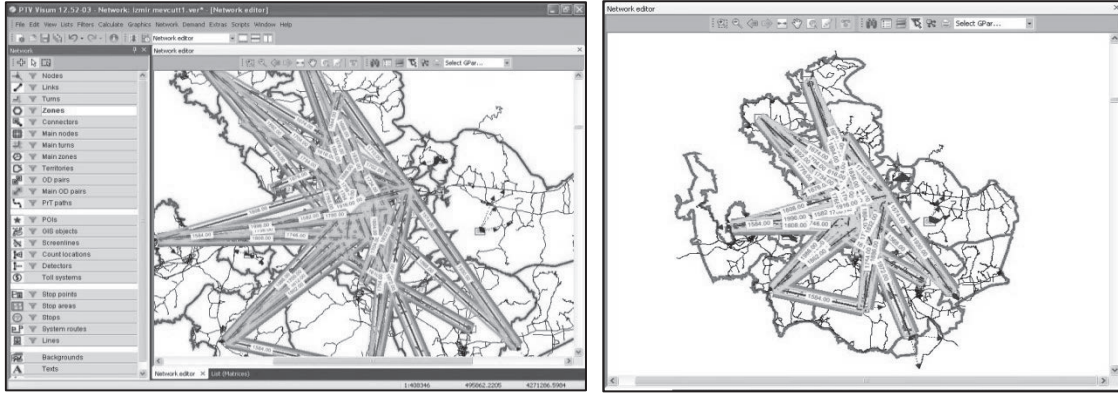
Şekil 10 Trafik ataması değerleri.

Model Çıktılarının Değerlendirilmesi

Model çıktılarının değerlendirilmesinde çeşitli grafiksel değerlendirme yöntemleri kullanılabilir. Bunlardan iki adedine aşağıda değinilmiştir.

Arzu Hatları

Arzu hatları bölgeler arasındaki yolculuk değerlerini görselleştirir. Matrizen elde edilen bölgeler arası yolculukları kullanır ve Şekil 11’de görüldüğü gibi düzenler.



Şekil 11 Arzu hatlarının genel görünümü.

Şekil 11’de İzmir kentinin kuzey – güney ve batı yönlerinde yoğun talebin olduğu görülmektedir. Doğu aksında ve doğudaki bölgelerde çizgiler görünmemektedir. Bu talebin olmadığı anlamına gelmez. Bu gösterimde talebin yoğun olduğu bölgeler kalın çizgi ile gösterilmiştir.

Trafik Ataması

İzmir Ulaşım Ana Planı verilerine göre 2008 yılında günlük yapılan toplam yolculuk sayısı 3.808.939’dur. Bu sayıya yaya yolculukları da dahildir. Modelde, toplam yolculuk sayısı dikkate alınarak trafik ataması yapılmıştır. Yine İzmir Ulaşım Ana Planında yer alan “İzmir Merkez Kent’te günlük yolculuk oranları” Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 İzmir Merkez Kent’te Günlük Yolculuk Oranları.

Toplu Ulaşım Sistemleri Taşıtlı Yolculukları	Yaya Yolculukları	Özel Taşıtlı Yolculukları	Toplam Taşıtlı Yolculuklar	Toplam Yolculuklar
% 50	% 38	% 12	% 62	% 100
0.72 Yolculuk/kişi	0.55 Yolculuk/kişi	0.18 Yolculuk/kişi	0.90 Yolculuk/kişi	1.45 Yolculuk/kişi

Kaynak: İzmir Ulaşım Ana Planı (2009)

Tablo 2’ye göre; İzmir Merkez Kent’te yapılan günlük yolculukların yüzde 62’si taşıtlı olarak, yüzde 38’i yaya olarak yapılmaktadır. Tüm yolculukların yüzde 12’si özel taşıtlarla yapılmakta, yaklaşık yarısı ise toplu ulaşım sistemleri taşıtları ile yapılmaktadır.

Ulaşım Ana Planından alınarak bu çalışmada kullanılan Başlangıç – Bitiş Matrisi toplam yolculuklar için yapıldığından; atama sonucunda yapılacak olan değerlendirmede toplu taşıma türü seçiminde ağ üzerine atanan yolculukların yarısı dikkate alınacaktır.

Atama sonrasında oluşan yoğunluk değerleri Tablo 3'de görüldüğü üzere “İz başına yolcu kapasitesi” baz alınarak önerilerde bulunulacaktır.

Tablo 3 Ulaşım Türlerinin Teknolojik Özellikleri.

Taşıt Cinsi	Yolcu Kapasitesi (kişi)	Taşıtlar Arası Süre (saniye)	İz Başına Taşıt Kapasitesi (taşıt/saat)	İz Başına Yolcu Kapasitesi (yolcu/saat)	Ticari Hız (km./saat)
Otomobil	5	8	450	2250	15\50
Dolmuş	7	12	300	2100	12\20
Minibüs	11	15	240	2640	12\16
Otobüs	96	30	120	11520	10\16
Tramvay	250	45	80	20000	15\30
Metro	1000	90	40	40000	15\30
Tren	2000	120	30	60000	20\40

Kaynak: (Elker, 1981:16)

Tablo 4’de ise “Tek yönde saatlik yolcu kapasitesi” Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü, Ulaşım ve Fizibilite Etüdü Teknik Şartnamesi’nin eklerinden yararlanılarak oluşturulmuştur.

Tablo 4 Taşıt türlerine göre yolcu kapasiteleri.

Taşıt Cinsi	Tek Yönde Saatlik Yolcu Kapasitesi
Tramvay	7.000 - 15.000
Hrs	15.000 - 30.000
Metro	30.000 +

Tek yönde saatlik yolcu talebi 7.000 ile 15.000 arasında olması halinde Tramvay, 15.000 ile 30.000 arası olması halinde Hafif Raylı Sistemler ve 30.000 üzerinde olması halinde ise Metro sistemlerinin kullanılması önerilecektir.

Trafik Ataması Sonuçları

Trafik atamasının sonuçları, İzmir genelinde örnekler verilerek aşağıda açıklanmıştır (Cihan, 2013).

Mersinli – Şehitler Caddesi

Şehitler Caddesi, Atatürk Stadyumu ile 1. Sanayi sitesi arasında yer almaktadır. Bornova ve Konak ilçeleri arasında alternatif bağlantı yolu olarak kullanılmakta ayrıca şehirlerarası otobüs terminaline ulaşım için yoğun olarak kullanılan toplu taşıma güzergahıdır. Şekil 12’de bu caddedeki atama gösterilmiştir.



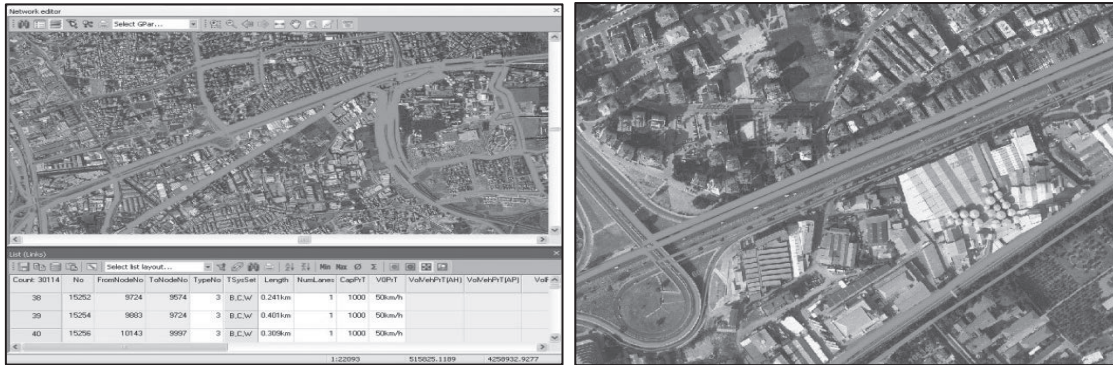
Şekil 12 Şehitler Caddesi atama sonucu.

Şehitler Caddesi boyunca atama sonucunda tek yönde günlük 450.000 yolculuk yapıldığı görülmektedir. Yarısının toplu taşıma ile gerçekleştiği düşünüldüğünde günlük yaklaşık 225.000 toplu taşıma araçları ile yapılan yolculuk bulunmaktadır. Ayrıca bu değer zirve saat değerine çevrildiğinde yaklaşık 23.000 saatlik tek yönde yolculuk yapıldığı görülmektedir. Yukarıda verilen tablolar ve muhtemel nüfus artışı da dikkate alındığında bu aks üzerinde Hafif Raylı Sistem projeleri geliştirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

Bornova – Ankara Caddesi

Konak İlçesi ile Bornova İlçesini birbirine bağlayan Ankara Caddesi aynı zamanda Alsancak, Bornova ve Ege Üniversitesi Hastanesine ulaşımı sağlamaktadır.

Atama sonucunda cadde üzerinde yaklaşık 340.000 yolculuk yapıldığı görülmektedir. Bu durumda zirve saatte tek yönde yaklaşık 17.000 adet yolculuk gerçekleşmektedir (Şekil 13). Tablolar ve muhtemel nüfus artışı da dikkate alındığında bu aks üzerinde Tramvay sistemlerinin yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.



Şekil 13 Ankara Caddesi atama sonucu.

Karabağlar - Halide Edip Adıvar Bulvarı

H. Edip Adıvar Bulvarı, Konak, Karabağlar ve Gazemir ilçelerini birbirine bağlar. Bu aks üzerinde ayrıca 2 adet hastane ve çevre yolu bağlantıları yer almaktadır (Şekil 14).



Şekil 14 Halide Edip Adıvar Bulvarı atama sonucu.

Atama sonucunda tek yönde günlük yaklaşık 200.000 yolculuk gerçekleştiği görülmektedir. Bu da zirve saatte tek yönde yaklaşık 10.000 adet toplu taşıma ile yapılan yolculuk anlamına gelmektedir. Yukarıda verilen tablolar ve muhtemel nüfus artışı da dikkate alındığında bu aks üzerinde Tramvay yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

Alsancak – Liman Bölgesi

Liman bölgesi trafik atamasında bu bölgede yolculukların bölgesel olarak fazla olduğu görülmektedir. Atama sonucunda tek yönde günlük yaklaşık 230.000 yolculuk olduğu görülmektedir. Bu da zirve saatte tek yönde yaklaşık 12.000 toplu taşıma ile yapılan yolculuk anlamına gelmektedir. Ancak tüm bölgedeki yoğunluğun giderilebilmesi için yukarıda verilen tablolar ve muhtemel nüfus artışı da dikkate alındığında bu bölgenin Tramvay sistemleri ile desteklenmesinin uygun olacağı düşünülmektedir (Şekil 15).



Şekil 15 Liman Bölgesi atama sonucu.

Sonuç ve Öneriler

İzmir Ulaşım Ana Planı (2009) kapsamında yapılan hanehalkı anketleri verileri kullanılarak oluşturulan arzu hatlarının gösterimi ile kentin kuzey – güney aksındaki yolculuk talebinin yoğun olduğu görülmektedir. Bu sonuç mevcut ulaşım politikaları ile karşılaştırıldığında; gerek İzmir Ulaşım Ana Planı'nda gerekse mevcut ulaşım yatırımlarının da bu yönde olduğu görülmektedir.

İzmir kentiçi toplu ulaşımda, otobüs işletmeciliğinin payının büyük olduğu yapılan çalışmalar neticesinde bilinmektedir. Toplu ulaşımın büyük oranda lastik tekerlekli sistemler ile gerçekleştiriliyor olması kent ve çevre için çeşitli sorunları da ortaya çıkarmaktadır. Otobüs taşımacılığının kademeli olarak azaltılarak yerine raylı sistemlerin hayata geçirilmesi ve diğer sistemler ile entegrasyonun sağlanması ile İzmir'in ulaşım ve trafik sorunları en aza indirilecektir. Yapılan çalışmada, belirli bölgelerde yolculuk sayılarının raylı sistem yatırımları için yeterli olabileceği de görülmüştür.

Kentlerimize uygun ulaşım politikasının belirlenmesinde, kentin ulaşım talebinin iyi analiz edilmesi önem taşımaktadır. Mevcut ve gelecekteki ulaşım talebine uygun olarak yatırımlar yapmak ve gelecek için doğru önerilerde bulunmak gerekir. Bunun yolu ise çeşitli analiz çalışmaları yapmaktan geçer. Belirli aralıklarla trafik sayımları ve anketler yaparak ulaşım modelinin güncel tutulması, etütler ile desteklenmesi gerekir. Bu çalışmada, İzmir örneğinde yapılan bunun küçük bir örneğidir.

Sonuç olarak; Kent içi ulaşımın planlanmasında ve daha sonra yapılacak imar planı değişikliklerin cadde boyutunda bile detaylı olarak test edilmesinde makroskopik simülasyon programlarının kullanılması, kentlerde yaşayan bir çok insanı ilgilendiren konularda karar verme olanaklarının artırılmasını sağlamakta, çeşitli etkilerin aynı ortam içerisinde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Böylece karar vericilerin vereceği yanlış kararların önüne geçilebilecek, kaynakların ve zamanın boşa harcanması önlenilebilecektir.

Kaynaklar

Akın, D. (2011) Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Bölümü, Kentsel Seyahat Talebi Modellemesi Dersi Notları, İstanbul

Cihan, U. (2013) İzmir Kentiçi Toplu Ulaşımın Makroskopik Simülasyon İle Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Elker, C. (1981) Kentlerde Ulaşım Sistemi İçin Bir Yöntem. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İstanbul

Elker, C. (2002) Ulaşırmada Politika ve Pratik, Gölge Yayınları, Ankara

Erden, T., Coşkun, M.Z. ve İpbüker, C. (2003) Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Ağ Analizi, Harita Dergisi, Harita Genel Komutanlığı, Sayı 129.

- Gülgeç, İ. (1998) Ulaşım planlaması, Özsan Mat. ve Tic. Lim. Şti., Bursa
- İzmir Büyükşehir Belediyesi (2007) Ulaşım Ana Planı 1. Aşama Raporu, Aralık, İzmir
- İzmir Büyükşehir Belediyesi (2007) Ulaşım Ana Planı 1. Aşama Raporu Trafik Sayımları ve Hanehalkı Anketi, Aralık, İzmir
- İzmir Büyükşehir Belediyesi (2009) Ulaşım Ana Planı 2. Aşama ve Sonuç Raporu, Aralık, İzmir
- Kılınçaslan, T. (2012) Kentsel ulaşım: Ulaşım sistemi, toplu ulaşım, planlama, politikalar, Ninova Yayıncılık, İstanbul
- PTV Vision (2010) VISUM 11.0 Temel Kurs, PTV AG, Karlsruhe
- PTV Vision (2012) VISUM 12.5 Quick Start, PTV AG, Karlsruhe
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2010) Bütünleşik Kentsel Gelişme Stratejisi ve Eylem Planı 2010 – 2023, Ankara
- T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü, Ulaşım ve Fizibilite Etüdü Teknik Şartnamesi Taslağı, Ankara
- Üçer, F., Özdemir, T., Ceylan H. ve Turabi, A. (2009) Ulaşım ağlarında seyahat üretimi belirlenmesi için model yaklaşımı ve seyahat dağılımı, BAÜ FBE Dergisi, 11 (2) ss. 3-6
- Vuchic, V. R. (2005) Urban transit: operations, planing and economics. John Wiley & Sons, New Jersey
- Zorlu, F. (2009) Mersinde kentsel ulaşım planlamasına yönelik değerlendirmeler, Planlama Dergisi, Şehir Plancıları Odası, 2009/3 (4) ss. 115-127

Konya Kentiçi Toplu Taşıma Sisteminin Kullanıcılar Tarafından Değerlendirilmesi

Mehmet Ali LORASOKKAY, Osman Nuri ÇELİK

S.Ü., Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Konya, Türkiye
Tel: (0332) 2232368

mlorasokkay@selcuk.edu.tr

S.Ü., Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye
Tel: (0332) 2232017

oncelik@selcuk.edu.tr

Neslihan ATASAĞUN

S.Ü., Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye
Tel: (0332) 2232054

nesliatasagun@selcuk.edu.tr

Öz

Günümüz Dünyasında kentleşme oranı hızla artmaktadır. Ülkemizde, 2012 yılındaki adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçlarına göre kentlerde yaşayan nüfusun toplam nüfus içindeki oranı %77,3'dür. Kentlerin sürdürülebilir olarak gelişmesi, kentteki insanların yaşam kalitesinin artması, kent yönetimlerinin sorumluluğundadır. Kentlerin en önemli problemlerinin başında ulaşım ve trafik sorunları gelmektedir. Kentlerde ulaşım talebindeki artışlar, toplu taşımacılık sistemlerinin bütünleşik olarak uyumu ile karşılanabilir. Toplu taşıma sistemlerinin hizmet kalitesini sağlayabilmesi kullanıcıların beklenti ve algılarına cevap vermesi ile mümkündür. Bu çalışmada, Konya kentiçi toplu taşıma sistemindeki tramvay, belediye otobüsü, hatlı minibüs ve ticari taksilerin hizmet kalitesini kullanıcıların algılamasına dayanılarak öğrenilmeye çalışılmıştır. Araştırma için gerekli veriler yüz yüze anket yöntemiyle, toplu taşıma durak yerlerinde toplanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, toplu taşıma araçlarının engelli yolcular açısından uygun olmadığı, toplu taşımda bilet bütünleşmesinin gerekli olduğu ve metronun mevcut tramvay hattındaki ulaşım sorunlarına çözüm olacağı algılanmıştır.

Anahtar sözcükler: Kentleşme, Toplu taşıma, Konya, Anket, Bilet bütünleşmesi

Giriş

Göçler ve doğal nüfus artışı kentlerin nüfusunun artmasına ve sınırlarının genişlemesine neden olmuştur. Yolculuk mesafelerinin uzaması ile önceleri yaya ve bisiklete dayalı ulaşım sistemleri yerini motorlu taşıtlara bırakmış, yolculuklar motorlu araçlara bağımlı kılınmıştır. Motorlu araçların yaratmış olduğu erişebilirlik kentlerin geniş alanlara yayılmasına imkan vermiş, sonuçta motorlu taşıtlara bağımlılık giderek artmış ve bu iki gelişme birbirini besleyen bir kısır döngü halini almıştır (Candan, 2003).

Kentsel ulaştırmanın temel sorunu, elbette öncelikle insanların ulaşım gereklerinin uygar ölçülere uyan hizmet nitelikleri ile karşılanamamasıdır. Giderek enerji, kazalar ve çevre sorunları gündemde üst sıralara çıkmaktadır. Kısaca söylemek gerekirse, günümüzde kent sorunlarının en önemlisi ulaşım sorunu olarak ortaya çıkmış bulunmaktadır (Evren, 2001).

Kentlerdeki hızlı nüfus artışı, iş yerlerinin çoğalmasına, çalışan kişi sayısının patlamasına ve iş amaçlı yolculukların artmasına neden olmaktadır. Bunun yanında kent merkezindeki yoğunluktan ve yüksek kiralardan kurtulmak amacıyla kent merkezinin dışındaki toplu konut alanlarına yerleşenler yeni ulaşım gereksinimleri doğurmaktadır (Erel, 1992).

Genel olarak kentlerde iki tür artan ulaşım isteminden söz edilebilir. Birinci tür; içinde yönetsel, ticari, kültürel vb. etkinliklerin sürdüğü kent merkezinde başlayıp ve son bulan ulaşım istemidir. İkinci tür ise, çevre yöreler ve ikinci merkezler ile ilgili ulaşım istemidir (Evren, 1989).

Toplu taşıma; bilimsel anlamda belirli ve sabit bir güzergahı olan, fiyatı bilinen, zaman tarifesi olan, kullanmak isteyen herkesin yararlanabileceği bir sistem olarak kabul edilmektedir. Bu özellikleri sağlayan işletmeler toplu taşıma olarak tanımlanmaktadır (Orhon, 2010).

Ara toplu taşıma sistemi; otomobilin bireysel kullanımı ile otobüs ve raylı taşımanın sabit güzergâh ve zaman tarifeli işletmeciliği arasında kalan, genellikle düşük kapasiteli taşıtlar ve esnek çalışma düzeni ile tanımlanan toplu taşıma türlerine verilen genel isimdir. Gelişmekte olan ülkelerde çeşitli adlar altında ara toplu taşıma türleri işletilirken, ülkemizde dolmuş ve minibüs adı altında uzun süredir kullanılan sistemler bu kapsam içinde değerlendirilmektedir (Öğüt, 1994).

Ara toplu taşıma özellikle yapılaşmaların seyrek ve dağınık olduğu yerleşmelerde konfor bakımından otomobile en yakın ulaşım türü olduğundan etkin ulaşım türü olarak benimsenmektedir (Özsoy, 2005).

Ara toplu taşıma türlerinin en belirgin özelliği taşıma kapasitelerinin otobüsler ve otomobiller arasında olmasıdır. Bu sebeple ulaşım talebinin çok yoğunlaşmadığı veya sadece zirve saatlerde yoğunlaştığı alanlarda işletilmesi uygun olacaktır (Elker, 2002).

Kentlerdeki nüfus yoğunluğu ve özel araç sayısının artması trafik tıkanıklığı, hava kirliliği, fazla enerji tüketimi, vb. olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bu gibi sorunların çözümü, ulaşım ihtiyacının karşılanması ve kentsel gelişimin sağlanması kentiçi ulaştırmanın temel amaçlarındandır. Kentiçi ulaşımın düzenlenmesi için en uygun çözüm yolu toplu taşıma sistemlerine öncelik vermektir (Kocabaş, 2007).

Kentlerdeki ulaşım sorunlarının başlıca kaynağı özel araç kullanımınıdır. Özel araç kullanımının azaltılması, ancak alternatif olarak kaliteli toplu taşıma hizmeti sunulmasıyla sağlanabilir. Hızlı ve konforlu toplu taşıma hizmeti sunulduğunda, toplu taşımaya olan talep artacak, buna bağlı olarak da özel araç kullanımı azalacak, dolayısıyla trafik sıkışıklıkları büyük ölçüde azalacaktır (Ilıcalı ve diğ., 2009).

Toplu taşıma araçları ile yapılan yolculuk sayısı kentiçi yapılan toplam yolculuk sayısında önemli bir yer tutar. Bu oran ülkeden ülkeye toplu taşıma politikalarına göre

farklılaşmaktadır. Toplu taşımacılık, ulaşım literatürünün belki de en çok araştırılan ve tartışılan konularından biri olmuştur. Araba ile bireysel yolculuk yöntemine karşı savunulan toplu taşıma, hava kirliliği, düşük yoğunluklu kentsel büyüme, trafik sıkışıklığı, gençlerin ve yaşlıların hareketliliğindeki sorunlar gibi bilinen kentsel problemlere çözüm olarak görülmüştür (Fielding, 1983).

Tüm dünya kentlerinde yolcu taşıma türleri arasında “kesintisiz bir bütünleşme” yaratma çabası günümüze damgasını vuran en önemli arayış olarak görülmektedir. Günümüzde ulaşım taleplerinin, ulaşım türlerinin özellikleri, imkân ve kısıtları göz önüne alınarak, (i) “değişik yolcu taşıma türlerinin” (ii) “çok işleticili” hizmetlerin, (iii) “tek bir yönetim” altında işletilmesi, diğer bir deyişle “yolcu taşıma sistemlerinin bütünleştirilmesi” tüm büyük kentlerin önde gelen hedefi haline gelmiştir. Diğer bir tanımla, “bütünleşme”, “farklı kapasite ve özelliklere sahip yolcu taşıma türleri ve hizmetlerinin, kentin farklı alanlarındaki farklı talep koşulları altında özelliklerine uygun biçimde görevlendirilmeleri” demektir (Acar, 2010).

Konya Kentiçi Toplu Taşıma Sistemi

Konya Genel Bilgiler

Konya ili İç Anadolu bölgesinin merkezi halindedir. Konya, 2006 yılında Financial Times tarafından “Avrupa’nın Gelecek Vadeden Şehir ve Bölgeleri” araştırmasında ikinci olmuştur. Konya, cazibe merkezleri projesinde Türkiye’nin yeni cazibe merkezleri arasına girmiş 12 ilden bir tanesidir. Ayrıca kent merkezinde Konya’nın Dünya’ya tanıtımını sağlayan Mevlana külliyesi bulunmaktadır.

Türkiye nüfusu 2012 yılsonu itibarıyla 75.627.384 kişidir. Türkiye’de il ve ilçe merkezlerinde ikamet edenlerin oranı 2011 yılında %76,8 iken 2012 yılında %77,3 olmuştur (URL 1).

2012 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre Konya’nın nüfusu 2.052.281 kişidir. Nüfusun 1.563.863’ü (%76,2) il ve ilçe merkezlerinde, 488.418’i (% 23,79) ise bucak ve köylerde yaşamaktadır. Yıllık nüfus artış hızı % 6,71 ve kilometrekare başına düşen kişi sayısı ise 53’dür. Konya’da 2000 yılında kentleşme oranı % 59 iken, 2012 yılında % 76,20 olmuştur. Konya il geneli, Türkiye geneline göre 2012 yılı nüfus sıralamasında 2.052.281 kişi ile 7. sırada bulunmaktadır (URL 2).

2012 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre Konya Büyükşehir belediyeleri ve bağlı belediyelerin nüfusu 1.107.886 kişidir. Konya kent merkezi, Türkiye geneline göre 2012 yılı nüfus sıralamasında 8. sırada bulunmaktadır (URL 3).

Konya il geneli, Türkiye geneline göre 2012 yılında 5.652 ölümlü ve yaralanmalı trafik kaza sayısı ile 5. sırada yer almaktadır. Konya’da meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı trafik kazaları Türkiye genelinin % 4,3’ünü oluşturmaktadır. 2012 yılı, Konya il geneli ölümlü trafik kazalarındaki ölü sayısı, Türkiye geneli ölü sayısına göre değerlendirildiğinde, 3. sırada, yaralı sayısına göre değerlendirildiğinde ise 4.’üncü sırada yer almaktadır. 2012 yılı, Konya il merkezi trafik sorumluluk alanındaki ölümlü ve yaralanmalı trafik kazaları sayısı, Türkiye genelindeki il merkezi trafik sorumluluk alanlarındaki ölümlü ve yaralanmalı trafik kazaları sayısına göre değerlendirildiğinde, 4.

sırada yer almaktadır. Konya’da meydana gelen ölümlü ve yaralanmalı trafik kazaları, Türkiye genelindeki ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarının % 5,5’ini oluşturmaktadır. 2012 yılı, Konya il merkezi trafik sorumluluk alanındaki ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarındaki ölü sayısı, Türkiye genelindeki il merkezi trafik sorumluluk alanlarındaki ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarındaki ölü sayısına göre değerlendirildiğinde, 5. sırada, yaralı sayısına göre değerlendirildiğinde ise 4. sırada yer almaktadır (URL 4).

Türkiye’de 2012 yılı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı toplam 17.033.413 adet kayıtlı araç bulunmaktadır. Bu araçların %50,8’ini otomobil oluşturmaktadır (URL 5).

2012 yılı Konya il geneli kayıtlı araç sayısı, Türkiye geneli kayıtlı araç sayısına göre değerlendirildiğinde; 6. sırada yer almaktadır. Konya’da kayıtlı araç sayısı, Türkiye geneli kayıtlı araç sayısının % 3,3’ünü oluşturmaktadır.

Konya Kentiçi Toplu Taşıma Sisteminin Değerlendirmesi

Konya kent merkezinde toplu ulaşım sistemi tramvay, belediye otobüsü, hatlı minibüs ve ticari taksiler ile sağlanmaktadır. Belediye otobüsü; Kent merkezinde toplu taşıma hizmeti veren, kamuya ait ulaşım araçlarıdır. Konya Büyükşehir Belediyesi Toplu Ulaşım Dairesi Başkanlığından alınan bilgilere göre; Konya Büyükşehir Belediyesi bünyesinde 331 otobüs ile 87 hatta hizmet vermekte olup, günlük 2200 seferde ortalama 115.000 yolcu taşımaktadır.

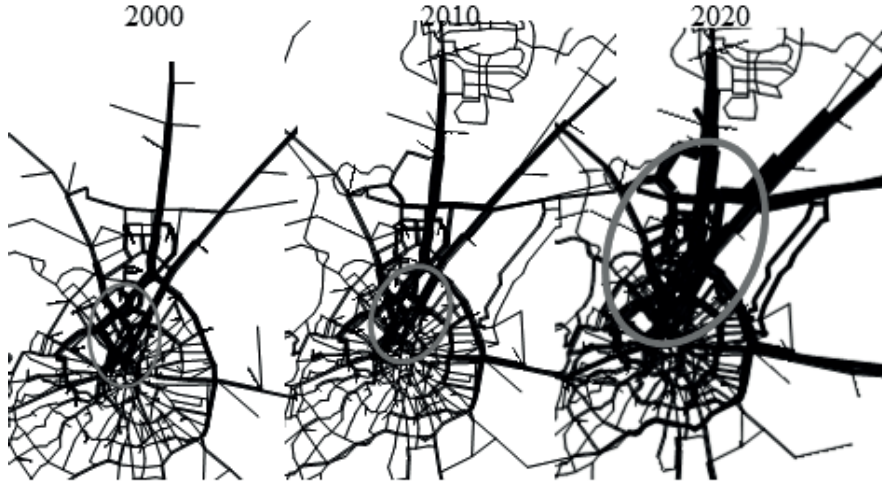
Tramvay; Kent merkezinde toplu taşıma hizmeti veren kamuya ait hafif raylı sistemdir. Tramvayların 248 ayakta, 83 oturan olmak üzere toplam 331 kişilik yolcu kapasitesi vardır. Alaaddin Bulvarı – Selçuk Üniversitesi Kampüsü hattında günlük 310 sefer yapılmaktadır. Kent merkezinde günlük ortalama 90.000 civarı yolcu taşınmaktadır. Tramvaylar 24 saat hizmet vermekte olup, saat 24:00-06:00 arası saatte 1 sefer yapmaktadır.

Hatlı minibüs; kent merkezinde toplu taşıma hizmeti veren ticari amaçlı ulaşım araçlarıdır. Konya Servis Araçları ve Minibüs Odası Başkanlığından alınan bilgilere göre; Konya kent merkezinde 26 hat üzerinde 530 (M) plakalı minibüs hizmet vermekte olup, her aracın 14 yolcu kapasitesi vardır. Ortalama günlük 6 ile 10 sefer yapan duraklar bulunmaktadır. Hatlı minibüsler, günlük ortalama 90.000 yolcu taşımaktadır.

Ticari Taksiler; kent merkezinde toplu taşıma hizmeti veren ticari amaçlı ulaşım araçlarıdır. Konya Şoför ve Nakliyeciler Esnaf Odasından alınan bilgilere göre; Konya kent merkezinde aktif olarak çalışan 74 durakta, 657 adet (T) plakalı ticari taksi hizmet vermektedir. Ticari taksiler günlük ortalama 2.000 yolcu taşımaktadır.

Konya kent merkezinde, 2012 yılı içerisinde meydana gelen ölümlü yaralanmalı kazaların % 8,5’i toplu taşıma araçları kazasıdır. Kent merkezindeki kazalarda ölenlerin % 26,9’u, yaralananların % 9,6’sı toplu taşıma araçları kazalarında meydana gelmiştir (URL 4).

Konya kent merkezinde karayolu trafik hacimleri hızla artmaya devam etmektedir (Şekil 1). Özellikle kentin kuzey aksında bugün sorun yaşanmayan ancak gelecekte oluşacak darboğazların giderilmesi için toplu taşıma ağırlıklı etkin çözümler gereklidir.



Şekil 1 Konya karayolu trafik hacimleri (Yüksel Proje-Ulaşım Art, 2001).

Konya kent merkezindeki Zafer, Alaaddin, Belediye, Kültür park, Sanayi, Otogar ve Üniversite (Kampüs) toplu taşıma durak yerlerinde hizmet kalitesinin kullanıcıların algılarına dayanılarak öğrenmek için 14-20 Mayıs 2012 tarihleri arasında bir anket çalışması yapılmıştır. Araştırma için gerekli veriler yüz yüze anket yöntemiyle uygulanmıştır. Araştırmaya 810 toplu taşıma yolcusu katılmış, 10 anket formu eksik ve hatalı olduğundan 800 adet anket formu değerlendirmeye alınmıştır. Verilerin analizinde, Excel ve SPSS 16.0 programları kullanılmıştır.

Anketlerden derlenen verilerin analiz edilmesi sonucunda, Konya’da kent merkezinde kullanılan toplu taşıma sistemlerinin kullanıcıların şikayetleri ve önerilerine göre hızlı, düzenli ve daha güvenilir bir toplu ulaşım sistemi oluşturmaktır. Böylece toplu taşıma daha cazip hale gelerek bireysel otomobil yolculuğu kısmen azaltmış olacaktır.

Tablo 1’de, ankete katılan yolcuların demografik yapısı ile ilgili bilgiler ve bilgilerin yüzdesel dağılımları gösterilmektedir. Tablo 1 incelendiğinde, ankete katılan yolcuların %46,5’inin kadın, %53,5’inin erkek olduğu; yine bu yolcuların %54,8’inin evli, %45,2’sinin ise bekar olduğu görülmektedir.

Yaş aralığına göre dağılımda, 18-25 yaş grubu arasında bulunan yolcuların, araştırmaya katılan yolcuların %34’ünü oluşturduğu ve sadece %2’sinin 66 ve üstünde yaşa sahip olduğu görülmektedir.

Yolcular, mesleklerine göre sıralandığında, ilk sırada, %29 ile öğrencilerin yer aldığı görülmektedir. İkinci sırayı %22 ile memurlar ve üçüncü sırayı %13,8 ile esnaflar takip etmektedir. Ankete katılan yolcuların eğitim durumunda ilk sırada, %39,2 ile üniversite mezunları yer almaktadır. Bunu sırasıyla %26,8 lise mezunları ve %18,3 ile ortaokul mezunları takip etmektedir.

Ankete katılan yolcular aylık ortalama gelir düzeyleri açısından incelendiğinde, ilk sırayı %23,8 ile 500 TL ve daha az düşük gelire sahip olan yolcuların oluşturmaktadır. İkinci sırada ise %21,8 ile 501-1000 TL gelir aralığındaki yolcular gelmektedir. Dikkat

çekici olan ise geliri 2001 TL üstü gelir grubunda yer alan yolcuların (%15,6) ile toplu taşıma araçlarını çok az kullandığı görülmektedir. Bu gelir grubuna sahip kişilerin özel araçlarıyla yolculuk yaptıkları tahmin edilebilir.

Kullanıcıların, yolculuklarında toplu ulaşım araçlarını hangi sıklıkta kullandıkları incelendiğinde, çoğunluğun %34,5'inin her gün toplu ulaşım araçlarını kullandığı görülmüştür. Toplu ulaşım araçlarını her gün kullananların oranının yüksek olması kentiçi ulaşımında toplu ulaşımın önemini belirtmektedir.. Gün içerisinde birkaç kez toplu ulaşım araçlarını kullananlar %24 ve haftada birkaç kez kullananlar ise %22,1'dir. Yolculuklarında toplu ulaşım araçlarını ayda bir kullananlar ise sadece %19,4'dür (Tablo 2).

Tablo 1 Ankete katılan yolcuların demografik yapısı.

Cinsiyet	Frekans	Yüzde
Kadın	372	46,5
Erkek	428	53,5
Yaş		
18-25	272	34,0
26-35	205	25,6
36-45	148	18,5
46-55	101	12,6
56-65	58	7,3
66 ve üstü	16	2,0
Medeni Hal		
Evli	438	54,8
Bekâr	362	45,2
Eğitim		
İlkokul	88	11,0
Ortaokul	146	18,3
Lise	214	26,8
Üniversite	314	39,2
Lisans Üstü	36	4,5
Diğer	2	0,2
Meslek		
Memur	176	22,0
Esnaf	110	13,8
İşçi	88	11,0
Emekli	50	6,2
Öğrenci	232	29,0
Serbest Meslek	68	8,5
Diğer	76	9,5
Aylık Ortalama Gelir Düzeyi (TL)		
500 den az	190	23,8
501-1000	174	21,8
1001-1500	142	17,8
1501-2000	168	21,0
2001 den fazla	126	15,6

Tablo 2 Yolculuklarınızda toplu ulaşım araçlarını hangi sıklıkta kullanıyorsunuz?

Toplu ulaşım araçlarını kullanma sıklığı	Frekans	Yüzde
Her gün	276	34,5
Günde birkaç kez	192	24,0
Haftada birkaç kez	177	22,1
Ayda bir	155	19,4

Konya kent merkezinde toplu taşıma hizmeti kullanıcılarına toplu ulaşımda en çok hangi aracı tercih ettikleri sorulmuştur. Cevapların dağılımı incelendiğinde kullanıcıların %43,3'ü tramvay, %28,7'si minibüs, %21'i belediye otobüsü ve %4'ü ise taksiyi en çok tercih ettiği ulaşım aracı olarak belirtmişlerdir. Raylı sistemin Konya kentiçi ulaşımındaki katkısı görülmektedir (Tablo 3).

Tablo 3 Toplu ulaşımda en çok tercih ettiğiniz araç nedir?

Toplu ulaşımda tercih edilen ulaşım aracı	Frekans	Yüzde
Belediye Otobüsü	168	21,0
Tramvay	346	43,3
Minibüs	230	28,7
Taksi	56	7,0

Ankete katılan toplu ulaşım kullanıcılarının %45'i toplu taşıma ücretlerini normal bulmaktadır. Kent merkezine kısa mesafeli yolculuk yapanların %35,3'ü toplu taşıma ücretlerini pahalı ve %9,7'si ise çok pahalı bulmaktadır. Ücretleri ucuz ve çok ucuz bulanlar ise %10'dur (Tablo 4).

Tablo 4 Toplu ulaşım ücretlerini nasıl buluyorsunuz?

Toplu ulaşım ücretleri	Frekans	Yüzde
Çok pahalı	78	9,7
Pahalı	282	35,3
Normal	360	45,0
Ucuz	74	9,3
Çok ucuz	6	0,7

Ankete katılanlar, toplu ulaşım araçlarını konfor, temizlik ve güvenilirlik açısından değerlendirdiğinde %25,1'i normal, %21,7'si iyi ve %5'inin çok iyi olarak nitelendirmesi çoğunluğun toplu ulaşım hizmeti veren araçları konforlu, temiz ve güvenilir bulduğu anlaşılmıştır. Ancak %16'sı çok kötü ve %32,2'sinin kötü olarak değerlendirmiş olması yöneticilerin bu konuda daha duyarlı olmaları gerektiği anlaşılmıştır (Tablo 5).

Tablo 5 Toplu ulaşım araçlarını konfor, temizlik ve güvenilirlik açısından nasıl buluyorsunuz?

Toplu ulaşım araçları hijyen ve güvenilirlik	Frekans	Yüzde
Çok kötü	128	16,0
Kötü	258	32,2
Normal	201	25,1
İyi	173	21,7
Çok iyi	40	5,0

Ankete katılanlar, toplu ulaşım hizmetlerini erişebilirlik ve süreklilik açısından değerlendirdiğinde %35,9'unun iyi, %9,2'sinin çok iyi ve %24,3'ünün normal olarak nitelendirmesi çoğunluğun toplu ulaşım hizmetlerini erişebilirlik ve hizmetin sürekliliği açısından yeterli bulmaktadır. Fakat katılımcıların %20,6'sı kötü ve %10'u çok kötü olarak değerlendirmiştir (Tablo 6).

Tablo 6 Toplu ulaşım hizmetlerini erişebilirlik ve süreklilik açısından nasıl buluyorsunuz?

Toplu ulaşım hizmetleri erişebilirlik ve süreklilik	Frekans	Yüzde
Çok kötü	80	10,0
Kötü	165	20,6
Normal	194	24,3
İyi	287	35,9
Çok iyi	74	9,2

Ankete katılan toplu ulaşım kullanıcılarına, toplu ulaşım hizmetlerindeki kalite ve konforun artması özel araç kullanımını azaltır, diye sorulduğunda %30,1'i bu yoruma kesinlikle katılırken %29,8'i kısmen katıldığını belirtmiştir. Kullanıcıların %13,5'i bu yoruma katılma konusunda emin olmadığını belirtirken, %29,8'lik bir kısım kısmen, %17,3'lik kısım ise kesinlikle katılmadığını vurgulamışlardır. Çoğunluğun toplu ulaşım hizmetlerindeki kalite ve konfor artışının trafikteki özel araç kullanımını azaltacağını belirtmesi yöneticilerin bu konuda daha hassas çalışmaları gerektiği ve bazı caydırıcı tedbirlerle birlikte mümkün görülmektedir (Tablo 7).

Tablo 7 Toplu ulaşım hizmetlerindeki kalite ve konforun artması özel araç kullanımını azaltır.

Toplu ulaşım hizmetleri ve özel araç kullanımı	Frekans	Yüzde
Kesinlikle katılmıyorum	138	17,3
Kısmen katılıyorum	239	29,8
Kısmen katılmıyorum	74	9,3
Emin değilim	109	13,5
Kesinlikle katılıyorum	241	30,1

Ankete katılan toplu ulaşım kullanıcılarına, Toplu ulaşım araçları ile yapılan yolculuk sürelerini nasıl buluyorsunuz diye sorulduğunda katılımcıların %44,5'i yolculuk sürelerini normal, %7,8'i kısa bulmaktadır. Katılımcıların %27'si uzun ve %20,7'si ise yolculuk sürelerinin çok uzun olduğunu belirtmesi, mesafenin uzun olduğu güzergâhlarda, duraklar ve güzergâhlar yeniden düzenlenerek yolculuk süreleri kısaltılabilir (Tablo 8.).

Tablo 8 Toplu ulaşım araçları ile yapılan yolculuk sürelerini nasıl buluyorsunuz?

Toplu ulaşım yolculuk süreleri	Frekans	Yüzde
Çok Uzun	166	20,7
Uzun	216	27,0
Normal	356	44,5
Kısa	62	7,8

Ankete katılan toplu ulaşım kullanıcılarına, Toplu ulaşım araçları engelli vatandaşlarımız açısından uygundur, ifadesine katılımcıların % 54'ü bu ifadeye kesinlikle katılmadığını, %16,5'inin ise kısmen katıldığını belirtmesi toplu taşıma araçlarının engelli vatandaşlarımızın gereksinimlerini karşılayamadığı anlaşılmaktadır. Bu ifadeye kesinlikle katılıyorum diyenler %4, kısmen katılıyorum diyenler ise %18,3'dür. %7,2'lik bir katılımcı grubu bu ifadeye katılma konusunda emin olmadığını belirtmiştir (Tablo 9).

Tablo 9 Toplu ulaşım araçları engelli vatandaşlarımız açısından uygundur.

Toplu ulaşım araçları engellilere uygunluk	Frekans	Yüzde
Kesinlikle katılmıyorum	432	54,0
Kısmen katılıyorum	146	18,3
Kısmen katılmıyorum	132	16,5
Emin değilim	58	7,2
Kesinlikle katılıyorum	32	4,0

Ankete katılan toplu ulaşım kullanıcılarına, Toplu ulaşım araçlarının durakları yeterli konfor ve donanımına sahiptir, ifadesine katılımcıların % 32,1'i bu ifadeye kesinlikle katılmadığını, %19'u ise kısmen katılmadığını belirtmesi toplu ulaşım durak yerlerinin yeterli konfor ve donanımına sahip olmadığı anlaşılmaktadır. Bu ifadeye kesinlikle katılıyorum diyenler %13,6 kısmen katılıyorum diyenler ise %23,3'dür. %12'lik bir katılımcı grubu bu ifadeye katılma konusunda emin olmadığını belirtmiştir. Toplu ulaşım durak yerlerini konfor ve donanım açısından verilen toplu ulaşım hizmetini kötü bulanların sayısı iyi bulanlardan daha fazladır (Tablo 10).

Tablo 10 Toplu ulaşım araçlarının durakları yeterli konfor ve donanımına sahiptir.

Toplu ulaşım durak yerleri konfor ve donanım	Frekans	Yüzde
Kesinlikle katılmıyorum	257	32,1
Kısmen katılıyorum	186	23,3
Kısmen katılmıyorum	152	19,0
Emin değilim	96	12,0
Kesinlikle katılıyorum	109	13,6

Ankete katılan toplu ulaşım kullanıcılarına, Toplu ulaşım hizmetlerinde e-bilet satış hizmetleri yeterli sayıdadır, ifadesine katılımcıların %18,2'si bu ifadeye kesinlikle katıldığını, %24,3'ünün ise kısmen katıldığını belirtmesi toplu ulaşım hizmetlerinde e-bilet satış hizmetlerinin yeterli sayıda olduğu anlaşılmaktadır. Bu ifadeye kesinlikle katılmıyorum diyenler %22 kısmen katılmıyorum diyenler ise %19,6'dır. %15,9'luk bir katılımcı grubu bu ifadeye katılma konusunda emin olmadığını belirtmiştir. E-bilet satış hizmetleri açısından verilen toplu ulaşım hizmetini iyi bulanların sayısı kötü bulanlardan daha fazladır. Fakat e-bilet satış hizmetleri yeterli bulmayanların önerileri dikkate alınarak gerekli düzenlemeler yapılmalıdır (Tablo 11).

Tablo 11 Toplu ulaşım hizmetlerinde e-bilet satış hizmetleri yeterli sayıdadır.

Toplu ulaşım hizmetleri e-bilet satış hizmetleri	Frekans	Yüzde
Kesinlikle katılmıyorum	176	22,0
Kısmen katılıyorum	194	24,3
Kısmen katılmıyorum	157	19,6
Emin değilim	127	15,9
Kesinlikle katılıyorum	146	18,2

Konya'da Belediye otobüsü için özel yolların kesinlikle gerekli olduğunu savunanlar %56,4'dür. Bu konuda herhangi bir fikrinin olmadığını söyleyenler %27,6 ve özel yolların gereksiz olduğunu düşünenler %16'dır. Esnek bir toplu taşıma aracı olan otobüsü, diğer türlere göre daha ayrıcalıklı olmasını sağlamak için kent merkezindeki bazı güzergahlarda özel yollar yapılarak cazipliği artırılabilir (Tablo 12).

Tablo 12 Konya’da otobüs için özel yollar gerekliliği hakkında ne düşünüyorsunuz?

Otobüs için özel yolların gerekliliği	Frekans	Yüzde
Kesinlikle gerekli	451	56,4
Fikrim yok	221	27,6
Gereksiz	128	16,0

Tramvay hattında ankete katılan toplu ulaşım kullanıcılarına, Konya’da toplu ulaşım sisteminde metroyu ulaşım sorununa bir çözüm olarak görüyor musunuz, ifadesine katılımcıların %60,5’i bu ifadeye kesinlikle katıldığını, %12,3’ünün ise kısmen katıldığını belirtmesi toplu ulaşım sisteminde mevcut tramvay hattının yerine, metronun kesinlikle gerekli olduğu anlaşılmaktadır. Bu ifadeye kesinlikle katılmıyorum diyenler %9, kısmen katılmıyorum diyenler ise %8,7’dir. %9,5’lik bir katılımcı grubu bu ifadeye katılma konusunda emin olmadığını belirtmiştir. Halen ulaşım talebinin büyük çoğunluğunun tramvay ile karşılandığı, nüfus yoğunluğu ve ulaşım ihtiyacının en fazla olduğu kent merkezi ile Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat yerleşkesi arasındaki mesafenin yapılacak metro ile kısalması, özel otomobil ile yolculuklarını azaltacak ve yaşam kalitesini iyileştirecektir (Tablo 13).

Tablo 13 Konya’da toplu ulaşım sisteminde metronun yapılması ulaşım sorununa bir çözümdür.

Toplu ulaşımında metronun gerekliliği	Frekans	Yüzde
Kesinlikle katılmıyorum	72	9,0
Kısmen katılıyorum	98	12,3
Kısmen katılmıyorum	70	8,7
Emin değilim	76	9,5
Kesinlikle katılıyorum	484	60,5

Ankete katılan toplu ulaşım kullanıcılarına, Toplu taşıma araçlarında güvenli ve emniyetli yolculuk yapabiliyorum, ifadesine katılımcıların % 30,6’sı bu ifadeye kesinlikle katılmadığını, %19,2’si ise kısmen katılmadığını belirtmesi toplu taşıma araçlarında kullanıcıların güvenli ve emniyetli yolculuk yapabilmeleri için gerekli tedbir ve önlemlerin alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu ifadeye kesinlikle katılıyorum diyenler %11,4 kısmen katılıyorum diyenler ise %27,4’dür. %11,4’lük bir katılımcı grubu bu ifadeye katılma konusunda emin olmadığını belirtmiştir. Toplu taşıma araçlarında güvenli ve emniyetli yolculuk yapılabilmesi açısından verilen toplu ulaşım hizmetini kötü bulanların sayısı iyi bulanlardan daha fazladır (Tablo 14).

Tablo 14 Toplu taşıma araçlarında güvenli ve emniyetli yolculuk yapabiliyorum.

Toplu taşıma araçlarında güvenli ve emniyetli yolculuk	Frekans	Yüzde
Kesinlikle katılmıyorum	245	30,6
Kısmen katılıyorum	219	27,4
Kısmen katılmıyorum	154	19,2
Emin değilim	91	11,4
Kesinlikle katılıyorum	91	11,4

Ankete katılan toplu ulaşım kullanıcılarına, Toplu taşıma sistemlerinde araçların havalandırması/ısıtması yeterlidir, ifadesine katılımcıların % 32,8’i bu ifadeye kesinlikle katılmadığını, %20’si ise kısmen katılmadığını belirtmesi toplu taşıma sistemlerinde araçların havalandırma, soğutma ve ısıtma sistemlerinin yeterli olmadığı

anlaşılmaktadır. Bu ifadeye kesinlikle katılıyorum diyenler %13,2 kısmen katılıyorum diyenler ise %22,6'dır. %11,4'lük bir katılımcı grubu bu ifadeye katılma konusunda emin olmadığını belirtmiştir. Toplu taşıma sistemlerinde araçların havalandırma, soğutma ve ısıtma sistemlerinin yeterliliği açısından verilen toplu ulaşım hizmetini kötü bulanların sayısı iyi bulanlardan daha fazladır (Tablo 15).

Tablo 15 Toplu taşıma sistemlerinde araçların havalandırması/ısıtması yeterlidir.

Toplu taşıma araçlarında havalandırma ve ısıtma	Frekans	Yüzde
Kesinlikle katılmıyorum	262	32,8
Kısmen katılıyorum	181	22,6
Kısmen katılmıyorum	160	20,0
Emin değilim	91	11,4
Kesinlikle katılıyorum	106	13,2

Ankete katılan toplu ulaşım kullanıcılarına, Toplu taşıma araçlarında oturarak veya ayakta rahatça yolculuk edebiliyorum, ifadesine katılımcıların % 37,9'u bu ifadeye kesinlikle katılmadığını, %18,2'si ise kısmen katılmadığını belirtmesi toplu taşıma araçlarında kullanıcıların oturarak veya ayakta rahatça yolculuk yapamadıkları anlaşılmaktadır. Bu ifadeye kesinlikle katılıyorum diyenler %10, kısmen katılıyorum diyenler ise %26,9'dur. %7'lik bir katılımcı grubu bu ifadeye katılma konusunda emin olmadığını belirtmiştir. Toplu taşıma araçlarında oturarak veya ayakta rahatça yolculuk yapılabilmesi açısından verilen toplu ulaşım hizmetini kötü bulanların sayısı iyi bulanlardan daha fazladır (Tablo 16).

Tablo 16 Toplu taşıma araçlarında oturarak veya ayakta rahatça yolculuk edebiliyorum.

Toplu taşıma araçlarında rahat yolculuk yapabilme	Frekans	Yüzde
Kesinlikle katılmıyorum	303	37,9
Kısmen katılıyorum	215	26,9
Kısmen katılmıyorum	146	18,2
Emin değilim	56	7,0
Kesinlikle katılıyorum	80	10,0

Ankete katılan toplu taşıma kullanıcılarının büyük çoğunluğunun %70,5'inin toplu taşıma araçları için şikayet mercilerini bilmiyor olması dikkate alınması gereken bir sorundur. Bunun için gerek toplu taşıma araçlarında ve gerekse toplu taşıma durak yerlerinde panolarda bulunması gerekmektedir. Toplu taşıma araçları için şikayet mercilerini bilenler ise %29,5'tir (Tablo 17).

Tablo 17 Toplu taşıma araçları için şikayet mercilerini biliyor musunuz?

Toplu taşıma araçları şikayet mercileri	Frekans	Yüzde
Evet	236	29,5
Hayır	564	70,5

Ankete katılan kullanıcıların büyük çoğunluğu %84,2'si toplu taşıma araçlarında sürücünün emniyet kemeri kullanmadığını belirtmiştir. Toplu taşıma araçlarında sürücünün emniyet kemeri kullandığını söyleyenler ise %15,8'dir. Emniyet kemeri kullanmanın yaygınlaştırılması için gerekli kontrol ve denetimlerin artırılması gerekmektedir (Tablo 18).

Tablo 18 Toplu taşıma araçlarında sizce sürücü emniyet kemeri kullanıyor mu?

Toplu taşıma araçlarında sürücü emniyet kemeri kullanımı	Frekans	Yüzde
Evet	126	15,8
Hayır	674	84,2

Ankete katılanlar, toplu ulaşım hizmetlerinde çalışanların kullanıcılara karşı davranışlarını değerlendirdiğinde %50,5'inin normal, %14'ü iyi, %5'inin çok iyi olarak nitelendirmesi çoğunluğun personelin davranış ve tutumundan memnun olduğunu göstermiştir. Katılımcıların %21,2'si kötü ve %9,3'ünün çok kötü olarak değerlendirmiştir (Tablo 19).

Tablo 19 Toplu ulaşım hizmetlerinde çalışanların size karşı davranışlarını nasıl buluyorsunuz?

Toplu ulaşım hizmetleri personel davranışları	Frekans	Yüzde
Çok kötü	74	9,3
Kötü	170	21,2
Normal	404	50,5
İyi	112	14,0
Çok iyi	40	5,0

Ankete katılan kullanıcılar, Konya'da tüm toplu taşıma araçlarında bilet bütünleşme sininin kesinlikle gerekli olduğunu belirtenler %53,1'dir. Bu konuda herhangi bir fikrinin olmadığını söyleyenler %34,9 ve bilet bütünleşmesini gereksiz bulanlar ise %12'dir. Bütünleşik sistem içinde hizmet veren toplu taşımada, yolcular için sistemden sisteme geçişlerde kolaylık ve ekonomi sağlayan bilet ve yolcu tarifesi bütünleşmesinin sağlanması gerekmektedir (Tablo 20).

Tablo 20 Konya'da toplu taşıma araçlarında bilet bütünleşmesini ister misiniz?

Toplu taşıma araçlarında bilet bütünleşmesi	Frekans	Yüzde
Kesinlikle gerekli	425	53,1
Fikrim yok	279	34,9
Gereksiz	96	12,0

Ankete katılan kullanıcılar, Konya'da kent merkezinde belirli güzergâhlarda Taksi-Dolmuş olmasının kesinlikle gerekli olduğunu belirtenler %63,9'dır. Bu konuda herhangi bir fikrinin olmadığını söyleyenler %17,2 ve gereksiz bulanlar ise %18,9'dır. Toplu ulaşım taleplerinin hızlı, güvenilir ve konforlu bir şekilde sağlanması için belirli güzergâhlarda Taksi-Dolmuş sisteminin gerekli olduğu kullanıcılar tarafından öngörülmüştür (Tablo 21).

Tablo 21 Konya'da kent merkezinde belirli güzergâhlarda Taksi-Dolmuş olmasını ister misiniz?

Toplu ulaşımında Taksi-Dolmuş gerekliliği	Frekans	Yüzde
Kesinlikle gerekli	511	63,9
Gereksiz	151	18,9
Fikrim yok	138	17,2

Ankete katılan toplu ulaşım kullanıcılarına, Konya’da Dini ve Milli bayramlarda toplu taşıma araçlarında ücret alınmamasını destekler misiniz, ifadesine katılımcıların %57,2’si bu ifadeye kesinlikle katıldığını, %14,6’sının ise kısmen katıldığını belirtmesi Dini ve milli bayramlarda ücret alınmaması politikasının devam etmesinin gerekli olduğu anlaşılmaktadır. Bu ifadeye kesinlikle katılmıyorum diyenler %13,2 kısmen katılmıyorum diyenler ise %8,4’dür. %6,6’lık bir katılımcı grubu bu ifadeye katılma konusunda emin olmadığını belirtmiştir (Tablo 22).

Tablo 22 Konya’da Dini ve Milli bayramlarda toplu taşıma araçlarında ücret alınmaması.

Toplu ulaşım hizmetleri özel günlerde ücret	Frekans	Yüzde
Kesinlikle katılmıyorum	106	13,2
Kısmen katılıyorum	117	14,6
Kısmen katılmıyorum	67	8,4
Emin değilim	53	6,6
Kesinlikle katılıyorum	457	57,2

Ankete katılan toplu ulaşım kullanıcıları, Konya Büyükşehir Belediyesinin toplu taşıma yapmış olduğu katkılardan memnunum, ifadesine katılımcıların %23’ü bu ifadeye kesinlikle katıldığını, %22’sinin ise kısmen katıldığını belirtmesi Konya Büyükşehir Belediyesinin toplu taşıma sistemine yapmış olduğu katkılardan memnun olduğunu göstermiştir. Bu ifadeye kesinlikle katılmıyorum diyenler %19,2 kısmen katılmıyorum diyenler ise %18’dir. %17’8’lik bir katılımcı grubu bu ifadeye katılma konusunda emin olmadığını belirtmiştir (Tablo 23).

Tablo 23 Konya Büyükşehir Belediyesinin Toplu taşıma yapmış olduğu katkılardan memnunum.

Konya Büyükşehir Belediyesinin toplu taşıma katkısı	Frekans	Yüzde
Kesinlikle katılmıyorum	154	19,2
Kısmen katılıyorum	176	22,0
Kısmen katılmıyorum	144	18,0
Emin değilim	142	17,8
Kesinlikle katılıyorum	184	23,0

Sonuç ve Öneriler

Konya; nüfusu, tarihi, sosyo-ekonomik ve kültür yapısı, yerli ve yabancı turistlerin ilgisini çeken Mevlana ile önemli bir çekim merkezidir.

Ankete katılan toplu taşıma hizmeti kullanıcılarının demografik özellikleri incelendiğinde, çoğunluğunu 18-25 yaş aralığında, aylık ortalama gelir düzeyleri 500 TL ve daha az düşük gelire sahip olan öğrenciler oluşturmaktadır. Toplu taşıma kullanıcılarının çoğunluğunun genç nüfusa ve düşük gelire sahip olması nedeniyle yerel yönetimlerin gençlerin ve dar gelirli vatandaşların toplu taşıma taleplerini karşılayacak nitelikte politikalar ve projeler üretmelidir.

Kullanıcıların her gün toplu ulaşım araçlarını kullandığı, toplu ulaşımında en çok tam esnek lastik tekerlekli ulaşım araçları olan minibüs ve otobüsü tercih etmişlerdir. Bu araçları raylı sistem tramvay takip etmektedir. Kent içi ulaşımında ticari taksilerin diğer

ulaşım türlerine göre lüks bir ulaşım aracı olması nedeniyle çok az tercih edildiği görülmüştür.

Toplu ulaşım kullanıcıları, toplu taşıma ücretlerini normal bulmakta, ulaşım hizmetlerini erişebilirlik ve hizmetin sürekliliği açısından yeterli bulmaktadır. Toplu ulaşım hizmetlerindeki kalite ve konfor artışının trafikteki özel araç kullanımını azaltacağını belirtmesi yöneticilerin bu konuda daha hassas çalışmaları gerektiği ve bazı caydırıcı tedbirlerle birlikte mümkün görülmektedir.

Ankete katılanlar, toplu ulaşım araçları ile yapılan yolculuk sürelerini normal karşılamakta, e-bilet satış hizmetlerinin yeterli olduğunu belirtmiştir.

Ankete katılanlar, toplu taşıma araçlarının engelli vatandaşlarımızın gereksinimlerini karşılayamadığı belirtmiş olması, Avrupa birliği uyum sürecinde yerel yönetimlerin toplu taşıma araçlarında engelleri kısa sürede kaldırması gerektiği anlaşılmıştır.

Ankete katılanlar, esnek bir toplu taşıma aracı olan otobüsün, diğer türlere göre daha ayrıcalıklı olmasını sağlamak için kent merkezindeki bazı güzergahlarda özel yollar yapılarak cazipliğinin artırılmasını istemişlerdir.

Ankete katılan toplu ulaşım kullanıcıları, Konya’da toplu ulaşım sisteminde metronun kesinlikle gerekli olduğunu ve ulaşım sorunlarına bir çare olacağını belirtmişlerdir. Nüfus yoğunluğu ve ulaşım ihtiyacının en fazla olduğu kent merkezi ile Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat yerleşkesi arasındaki mesafenin metro ile kısalması, özel otomobil ile yolculuklarını azaltacak ve yaşam kalitesini iyileştirecektir.

Toplu ulaşım durak yerlerinin yeterli konfor ve donanıma sahip olmadığı, toplu taşıma sistemlerinde araçların havalandırma, soğutma ve ısıtma sistemlerinin yeterli olmadığı ve kullanıcıların oturarak veya ayakta rahatça yolculuk yapamadıkları anlaşılmaktadır.

Ankete katılanlar, toplu ulaşım hizmetlerinde çalışanların davranış ve tutumundan memnun olduğunu fakat toplu taşıma araçları için şikayet mercilerini bilmiyor olması nedeniyle, toplu taşıma araç ve durak yerlerindeki panolarda gerekli bilgilerin bulunması gerekmektedir. Toplu taşıma araçlarında sürücülerin emniyet kemeri kullanmasının yaygınlaştırılması için gerekli kontrol ve denetimlerin artırılması gerekmektedir.

Ankete katılan kullanıcılar, Konya’da tüm toplu taşıma araçlarında bilet bütünleşmesinin kesinlikle gerekli olduğunu, bütünleşik sistem içinde hizmet veren toplu taşımada, yolcular için sistemden sisteme geçişlerde kolaylık ve ekonomi sağlayan bilet ve yolcu tarifesi bütünleşmesinin sağlanmasını talep etmişlerdir. Toplu ulaşım taleplerinin hızlı, güvenilir ve konforlu bir şekilde sağlanması için belirli güzergâhlarda Taksi-Dolmuş sisteminin gerekli olduğu kullanıcılar tarafından öngörülmüştür. Ankete katılan toplu ulaşım kullanıcıları, Konya Büyükşehir Belediyesinin toplu taşıma yapmış olduğu katkılardan memnun olduğunu, dini ve milli bayramlarda toplu taşıma araçlarından ücret alınmaması politikasının devam etmesini talep etmişlerdir.

Kaynaklar

Candan, S., (2003), “Kentiçi Ulaşım Sistemlerinde Bütünleştirme Çözümleri ”, IV. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi Bildiriler Kitabı, 369-381, Eylül, Ankara.

- Elker, C., (2002), “Ulaşımında Politika ve Pratik”, Gölge Ofset Matbaacılık, Ankara.
- Erel, A., (1992), “İstanbul’da Ulaşım Sorunlarına ve Çözüm Yollarına Yaklaşım Biçimi”, İstanbul 2. Kentiçi Ulaşım Kongresi Bildiriler Kitabı, 28-37, 16-18 Aralık, İstanbul.
- Evren, G., (1989), “Kentsel Ulaşımında Raylı Taşıım Sistemlerinin Genel Değerlendirilmesi”, RAYTAŞ’89 Ulaşımında Raylı Taşııt Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 507-535, Mart, Adapazarı.
- Evren, G., (2001), “Kentsel Ulaştırma Politikaları”, Kentiçi Ulaşım ve Trafik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 31-36, 21-22 Nisan, Antalya.
- Fielding, G. J., (1983), “Changing Objectives for American Transit Part I: 1950- 1980”, Transport Reviews 3, 287- 299.
- İlıcılı, M., Camkesen, N., Dünder, S., (2009), “Kentiçi Ulaşımında Toplu Taşımanın Önemi ve İstanbul Örneği”, İzmir Ulaşım Sempozyumu, 8-9 Aralık, İzmir.
- Kocabaş, N., (2007), “Metrobüs Sistemlerinin Ülkemizde Uygulanabilirliğinin Araştırılması ve Antalya Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Bilim Dalı, Eskişehir.
- Orhon, O., (2010), “Toplutaşıım Uygulamalarının Değerlendirilmesi”, TRANSİST 2010, Ulusal Toplu Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi, Bildiriler Kitabı, 175-178, 02-03 Aralık, İstanbul.
- Öğüt, S., (1994), “Toplutaşıım Sistemlerinin Karşılaştırılması ve İstanbul Örneği”, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Özsoy, M., (2005), “Ankara’da Minibüs (Dolmuş) Taşıımacılığı İçin Yeni Bir İşletme Modeli:Çay Yolu Örneği”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trafik Planlaması ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Yüksel Proje-Ulaşım-Art Ortaklığı, (2001), “Konya Büyükşehir Alanı Kentiçi ve Yakın Çevre Ulaşım Master Planı Çalışması,” Final Rapor: Bölüm-4 Konya Ulaşım Ana Planı, Konya.
- URL:1 <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13425> (Erişim Tarihi 18.04.2013)
- URL:2 <http://www.konya.gov.tr/goster.asp?baslik=N%FCfus%20ve%20Da%F0%FDI%FDm%FD> (Erişim Tarihi 18.04.2013)
- URL:3 http://rapor.tuik.gov.tr/reports/rwservlet?adnksdb2&ENVID=adnksdb2Env&report=wa_buyukbelediye.RDF&p_il1=42&p_kod=2&p_yil=2012&p_dil=1&desformat=html (Erişim Tarihi 18.04.2013)
- URL:4 http://www.konyatrafikplatformu.org/?page_id=16 (Erişim Tarihi 18.04.2013)
- URL:5 <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=13441> (Erişim Tarihi 18.04.2013)

İzmir Banliyö Sistemi (İZBAN) Öncesi&Sonrası Çalışması

Samet Şen

Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 35100 Bornova - İZMİR

Tel: (0232) 388 60 26

E-Posta: sen.samet1@gmail.com

Yalçın Alver

Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 35100 Bornova - İZMİR

Tel: (0232) 388 60 26

E-Posta: yalcin.alver@ege.edu.tr

Öz

Öncesi ve sonrası çalışmaları inşa edilen bir toplu taşıma sisteminin, proje tahminlerinin doğruluğunun proje hayata geçirildikten sonra kontrol edilmesi açısından son derece önemlidir. Öncesi ve sonrası çalışmalarında veri elde etmek için anket uygulamaları, sayımlar ve gözlemler yapılmaktadır. Bu çalışmada İzmir Banliyö Sistemi'nin (İZBAN) öncesine ve sonrasına ışık tutmak hedeflenmektedir. Çalışmada İzmir Banliyö Sistemi'yle yolculuk yapan kişilerin yolculuklarındaki değişimler incelenmiştir.

Veri toplamak için anket uygulaması yapılmıştır. İnsanlara kişisel bilgileri, yolculuklarının başlangıç ve bitiş noktaları, banliyö sistemi öncesi yolculuk bilgileri, banliyö sistemi sonrası yolculuk bilgileri, banliyö sistemini tercih etme sebepleri ve banliyö sisteminden memnuniyetleri ile ilgili sorular sorulmuştur. Asıl vurgulanmak istenen soru "Aynı yolculuğunuzu banliyö sisteminden önce nasıl yapıyordunuz?" sorusudur. Yapılan anketlerden ve çalışmalardan elde edilmesi hedeflenen bilgiler; yolcuların başlangıç ve bitiş noktaları, yolcuların sosyo-ekonomik verileri ve İZBAN servis kalitesinin bulunması, İZBAN'ı tercih eden kişilerin İZBAN'dan önceki ulaşım türü tercihlerinin bulunması ve İZBAN öncesi ve sonrası değişimleridir (yolculuk süresi, yolculuk maliyeti).

Çalışma sonucunda; hangi grup insanların banliyö sistemini tercih ettiği, bölgelere göre yolculukların dağılımı, ulaşım türleri üzerindeki etkisi, yolculuk sürelerindeki ve maliyetlerindeki değişimler, tercih sebepleri ve detaylı memnuniyet verilerine ulaşılmıştır. Ayrıca ikili (binary) logit model oluşturularak, İZBAN yolcularının İZBAN öncesi toplu taşımayı tercih etmelerine hangi değişkenlerin etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Banliyö sistemi, öncesi&sonrası çalışmaları, toplu taşıma, ikili logit model.

Giriş

Metropol şehirlerin ekonomik ve sosyal yönden büyüyüp gelişmesiyle, şehir merkezleri daha cazip hale gelmeye başlamışlardır. İş merkezleri, okullar, eğlence merkezleri ve sağlık hizmeti veren birimler, şehir merkezine olan yolculuk sayılarının gün geçtikçe artmasına sebep olmaktadır. Şehir dışındaki yerleşim birimlerini; daha hızlı, daha ekonomik ve daha konforlu bir şekilde şehir merkezlerine bağlayabilmek için banliyö sistemleri yatırımları yapılmaktadır. Kısaca; banliyö sistemleri, şehir merkezleriyle şehrin dışında kalan yerleşim birimlerini birbirine bağlayan, bir raylı sistem türüdür.

Genellikle şehirlerin bir bölgesinde yapılaşma ve nüfus fazlalık göstermektedir. Banliyö sistemleri, şehirlerin daha homojen bir şekilde yayılmasını sağlayarak daha başka dinamik şehir merkezleri yaratabilirler ve şehirlerin belirli bölgelerindeki yoğunluğu azaltabilirler.

2005 yılında Fatih Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada "İstanbul ulaşımında banliyö trenlerinin rolü" incelenmiştir. Tez için, bu hattaki yolcuların banliyö taşımacılığıyla ilgili izlenimlerini ortaya çıkaran bir anket çalışması yapılmıştır. Çalışmadaki temel amaç, Haydarpaşa-Gebze hattındaki yolcu sayısı düşüşüne etki eden faktörleri bulmaktır. Ayrıca banliyö sisteminden önce hangi ulaşım türlerinin kullanıldığı da sorulmuştur. Anket sonuçlarına göre insanların %38'lik bir kısmının banliyö hattından önce minibüsü tercih ettiği görülmüştür (Işık, 2005).

Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA), karayolu trafik sayımı, yolcu sayımı, anket ve öncesi&sonrası çalışması olmak üzere birçok çalışma hazırlamıştır. 2009 yılında yolculara anket uygulaması yapılmıştır ve insanlara Greenbush hattından önceki ulaşım modları sorulmuştur. Ayrıca ankette, insanlara yolculuk başlangıç noktaları sorulmuştur. Anketin en önemli sorusu; Greenbush hattından önce aynı yolculuğunuzu nasıl yapıyordunuz sorusudur. Elde edilen verilere göre insanların ulaşım ücretleri ve ulaşım süreleri arasında kıyaslamalar yapılmıştır. Ayrıca yeni hattın diğer ulaşım türleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sistemin açılmasından en çok vapur hatları etkilenmiştir, yaklaşık olarak yolcu sayılarında %25 azalma gözlemlenmiştir. Greenbush banliyö sistemi, ekspres hatlardan, vapur hatlarından ve diğer raylı sistemlerden yolcu çekmiştir. (Central Transportation Planning Staff , 2010)

İzmir Banliyö Sistemi (İZBAN)

İzmir ili, 3.401.994'lük metropol nüfusuyla Türkiye'nin 3. büyük kentidir. 2004 yılında çıkarılan 5216 sayılı yasaya göre İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin (İBB) sorumluluk alanı 50 km çapındaki yerleşim birimlerini de kapsamaktadır (Türkiye İstatistik Kurumu, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi, 2012).

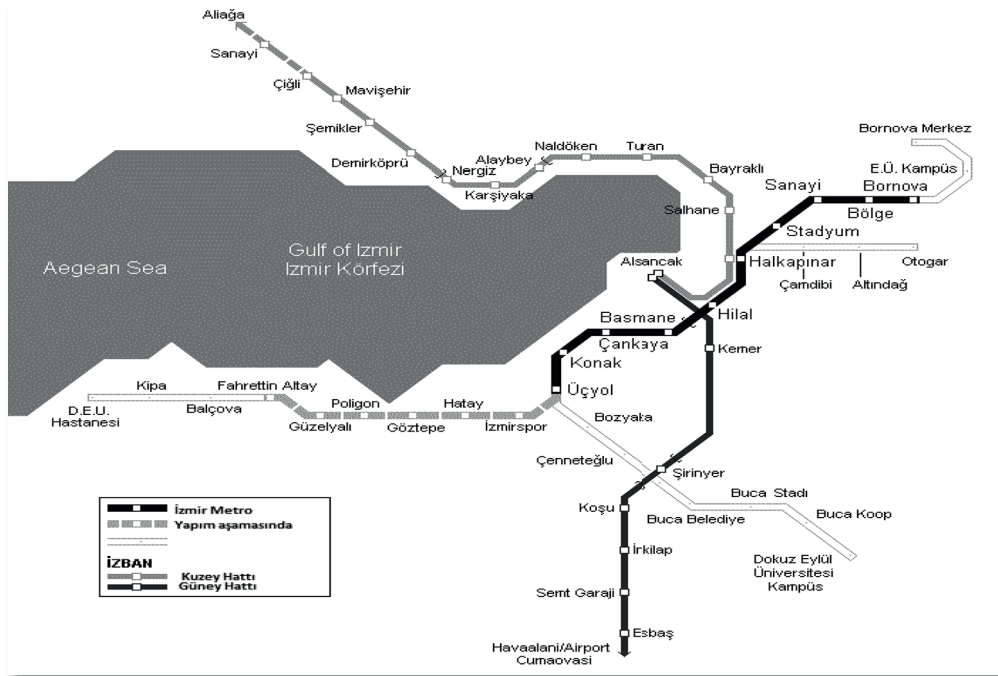
İzmir'de her geçen gün trafik yoğunluğunun artması, mevcut ulaşım türlerinin kapasitelerinin üzerine çıkması, özel araç sahipliği oranının artması ve sanayi bölgelerinin kuzey-güney akslarında yoğunlaşması raylı bir sistemi mecbur kılmıştır. Hinterlandında önemli petro-kimya, çelik endüstri tesisleri, organize sanayi bölgeleri, ören yerleri ve çok sayıda üniversite yerleşkesinin yer aldığı İzmir kentinin trafiğini rahatlatmak lastik tekerli araçlarla mümkün değildir. Trafiği rahatlatmak ve kuzey-güney hattındaki yolculuk taleplerini karşılayabilmek için İBB ve Türkiye

Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) tarafından "İzmir Banliyö Sisteminin Geliştirilmesi Projesi" hazırlanmıştır (Eriş, İzmir kent içi trafiğinde demiryollarının beklenen rolü).

TCDD ile İzmir Büyükşehir Belediyesi arasında imzalanan protokol, Yüksek Planlama Kurulu tarafından onaylanarak yürürlüğe girmiştir. Alsancak-Cumaovası arasında yer alan Güney Hattında 30 Ağustos 2010 tarihinden itibaren, Kuzey Hattında ise 5 Aralık 2010 tarihinden itibaren Çiğli İstasyonuna kadar olan bölümü yolculu ön işletmeye açılmıştır. 31 Ocak 2011 tarihinden itibaren de sistemin tamamı işletmeye alınmıştır. 6 Mart 2011 tarihinde ise İZBAN hattı hizmete açılmıştır (<http://www.izmir.bel.tr/projelerb.asp?pID=12&psID=0>, erişim tarihi: 09.06.2012).

İZBAN, Türkiye'nin havalimanı bağlantısı olan en büyük banliyö sistemidir. 80 km'lik hatta; Aliağa-Cumaovası arasında 31 istasyonda 33 setle İzmirliyle toplu ulaşım hizmeti vermektedir. İşletilmeye başlandığında; günde 12 bin yolcu taşınan İZBAN hattında, günde 150 bin yolcu barajı aşılmıştır. 18 ay gibi kısa bir sürede de 50 milyonuncu yolcuya ulaşılmıştır.

İZBAN kuzey ve güney olmak üzere iki akstan oluşmuştur. Kuzey aksı Aliağa-Salhane istasyonları arasındadır, toplam 20 istasyon vardır. Kuzey aksı 58 km'dir. Kuzey aksındaki ortalama yolculuk süresi 60 dakikadır. Güney aksı Alsancak-Cumaovası istasyonları arasındadır, toplam 11 istasyon vardır. Güney aksı 22 km'dir. Güney aksındaki ortalama yolculuk süresi 30 dakikadır. Şekil 1'de İZBAN hattı kuzey ve güney aksları istasyonları gösterilmiştir.



Şekil 1 İZBAN hattı kuzey ve güney hattı.

İZBAN Anket Çalışması

Cevap alabilme oranının daha fazla olması ve daha detaylı sorular sorulabildiği için tez çalışmasında yüz-yüze anket tekniği uygulanmıştır (Owens, 2002).

Anket çalışması; sabah 07.00-09.30 saatleri arasında, 10 Nisan 2012-11 Mayıs 2012 tarihleri arasında altı istasyonda yapılmıştır. Anket çalışmasının yapıldığı istasyonlar Menemen, Çiğli, Karşıyaka, Bayraklı, Alsancak ve Şirinyer istasyonlarıdır. İş ve okul amaçlı yolculuklara ait bilgilerin toplanması hedeflendiği için sabah saatleri seçilmiştir.

Anket beş ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; kişisel bilgiler, sistemden önceki yolculuk bilgileri, İZBAN yolculuk bilgileri, yolculuk tercihleri ve İZBAN hakkında genel sorulardır.

İlk bölüm olan kişisel bilgilerde yolcuların; cinsiyeti, yaş aralığı, mesleği, fiziksel engel durumu, aylık geliri, ehliyetinin olup olmaması, araç sahipliği ve eğitim durumu gibi sosyo-ekonomik bilgiler öğrenilmek istenmiştir.

Sistemden önce bölümünde insanlara aynı yolculuklarını İZBAN'dan önce hangi ulaşım türüyle (toplu taşıma, özel araç, diğer) yaptıkları sorusu yöneltilmiştir. Tüm türlerdeki ortak sorular; ortalama yolculuk süresi ve ortalama yolculuk maliyetidir. Toplu taşıma türünde ek olarak toplam aktarma sayısı, evden durağa yürüme süresi ve duraktan işe/okula yürüme süresi sorulmuştur. Özel araç ve diğer türlerde ise ek olarak haftada kaç gün kullanıldığı sorusu yöneltilmiştir.

İZBAN yolculuk bilgileri bölümünde insanlara yolculuklarının hangi semtte başlayıp hangi semtte sonlandığı sorulmuştur ve İZBAN'dan hangi istasyonda indiği sorusu yöneltilmiştir. Ayrıca insanların yolculuk amaçları da öğrenilmiştir. İZBAN hattına nasıl ulaştıkları ve gitmek istedikleri yere İZBAN hattından sonra nasıl ulaştıkları sorusu da yöneltilmiştir.

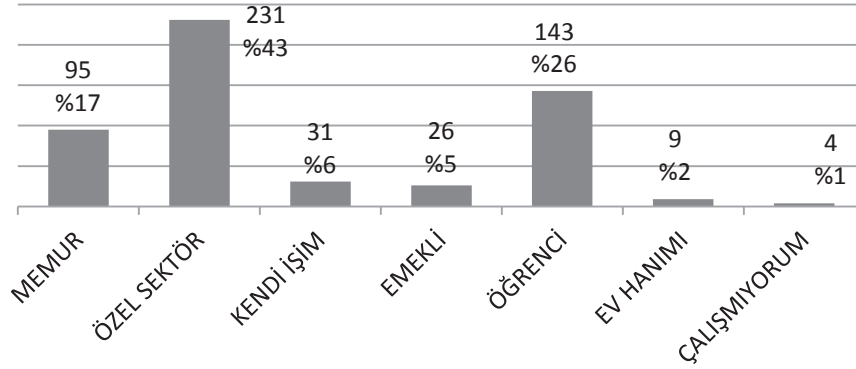
Dördüncü bölüm olan yolculuk tercihlerinde, insanların İZBAN'ı neden tercih ettikleri öğrenilmek istenmiştir. İnsanlardan; konfor, yolculuk süresi, maliyet, güvenlik, İZBAN hattı gideceğim (oturduğum) yere yakın ve aktarma sayısı azalıyor seçeneklerinden üçünü sırayla tercih etmeleri istenmiştir. İZBAN hattı eski yolcuğunuza kıyasla ne değiştirdi sorusu yöneltilerek, insanların yolculuk sürelerindeki ve yolculuk maliyetlerindeki değişim gözlemlenmiştir.

Son kısım olan İZBAN hakkında genel sorularda, detaylı memnuniyet araştırması yapılmıştır. İnsanlardan sorulara çok yetersiz, yetersiz, nötr, yeterli, ve çok yeterli şeklinde cevap vermeleri istenmiştir.

Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi

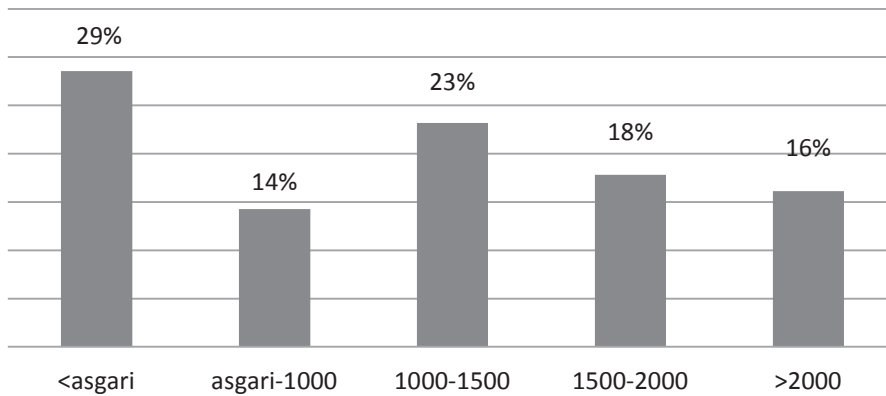
6 istasyonda yapılan toplam anket sayısı 539'dur. Ankete katılan kişilerin %67'si (359) erkektir, %33'ü (180) ise kadındır. Ankete katılan kişileri yaşlarına göre sınıflandırdığımızda İZBAN'ı %39'luk (209) en büyük payla 18-29 yaş aralığındaki insanların kullandığı görülmüştür. Diğer en büyük paya sahip olan yaş aralığı ise 30-39 yaş aralığıdır. Bu yaş aralığının payı % 23'dir (122). Çıkan sayısal değerlere göre genç nüfusun İZBAN'ı tercih ettiği sonucuna varılabilmektedir.

Anket çalışmasında öğrenilmek istenen diğer bir konu ise insanların meslek gruplarıdır. Anket çalışmasında en çok karşılaşılan meslekler; özel sektör çalışanı, öğrenci ve memurdur. Sırasıyla yüzde oranları %43, %26 ve %17'dir. Ankete katılan insanların sadece 9'u (%2) ev hanımıdır ve sadece 4'ü (%1) çalışmamaktadır. Şekil 2'de ankete katılan insanların meslek gruplarına göre dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 2 Meslek gruplarına göre dağılım.

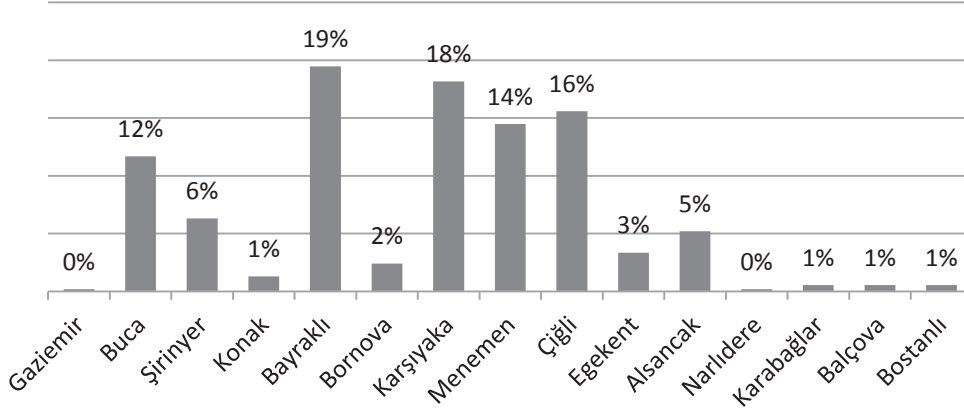
Ankete katılan 539 kişinin 154'ü asgari ücret ve asgari ücret altında maaş almaktadır ve yüzdelik payı %29'dur. 1000 TL-1500 TL arasında maaşı olanların payı ise % 23'tür (125). Şekil 3'te aylık gelirlere göre dağılım gösterilmiştir. 1000 TL'nin altında çalışan insanların toplam yüzdesi %43'tür. Bu da sosyo-ekonomik açıdan alt gelir grubunu oluşturan insanların İZBAN'ı daha çok tercih ettiğini göstermektedir. Ayrıca aylık geliri 2000 TL ve üstü olan insanların yüzdelik payı %16'dır. Üst gelir grubunu oluşturan insanların toplu taşıma araçlarını tercih etmeleri de memnuniyet vericidir. Çünkü ülkemizde gelir durumu arttıkça özel araç kullanımı yaygınlaşmaktadır.



Şekil 3 Aylık gelirlere göre dağılım.

Ankete katılan kişilerin %63'ünün (338) araç sahibi olmadığı görülmektedir. %37'sinin ise ya kendilerine ait araçlarının olduğu ya da ortak araç kullandıkları görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi özel araçları oldukları halde insanların İZBAN'ı tercih ettikleri ve trafik problemlerinin azaltılmasına yardımcı oldukları görülmüştür.

Ankete katılan tüm kişileri oturdukları semtlere göre ayırdığımızda Şekil 4'teki durum ortaya çıkmaktadır. Ankete katılan kişilerin % 19'unun Bayraklı bölgesinde, % 18'inin Karşıyaka bölgesinde oturduğu görülmektedir. İZBAN'ın en çok, kendine yakın olan semtlerden yolcu çektiği sonucuna kolaylıkla varılabilmektedir. İstisna durum olarak Narlıdere ve Balçova'dan birer yolcuya rastlanmıştır. Bu yolcuların da, besleme otobüsleriyle İZBAN istasyonuna gelip, İZBAN hattına geçiş yaptıkları gözlemlenmiştir.



Şekil 4 Ankete katılan kişilerin oturdukları semtler.

Anket çalışmasında, yolculuk yapan insanların yolculuk amaçlarının bilinmesi de hedeflenmiştir. Ankete katılan kişilerin %71'i iş amaçlı, %25'i ise okul amaçlı seyahat etmektedir.

İstasyonlarda ankete katılan yolcuların %25'i İZBAN'dan Halkapınar istasyonunda inmektedir. Bunun nedeni Halkapınar istasyonunun, İzmir Metro'ya aktarma istasyonu olmasıdır.

Anket çalışmasında araştırılan bir diğer konu İZBAN'ın haftalık kullanımınıdır. Ankete katılan insanların %45'i haftanın 4-5 günü İZBAN'ı kullandığını belirtmiştir. %39'luk kısmı ise İZBAN'ı haftanın 6-7 günü kullandığını belirtmiştir. Bu veriler İZBAN'ın halk tarafından oldukça benimsendiğini göstermektedir.

Yolculara anketin 4. bölümünde yolculuk tercihleri hakkında sorular sorulmuştur. İZBAN'ı neden tercih ettikleri öğrenilmek istenmiştir. Yolculardan; konfor, yolculuk süresi, maliyet, güvenlik, İZBAN hattı oturduğu/gideceği yere yakın olduğu için ve aktarma sayısı azaldığı için seçenekleri arasından üç tanesini tercih etmeleri istenmiştir. Anketten çıkan sonuçlara göre 14 kişi(%3) İZBAN'ı başka bir alternatif olmadığı (mecburiyetten) için tercih etmektedir. 258 kişi (%49) ilk tercihinde en çok yolculuk süresi için İZBAN'ı tercih ettiğini belirtmiştir. 93 kişi(%18) ise ilk tercihinde konforu belirtmişlerdir. Bu da insanların toplu taşıma tercihlerini sadece maliyete ve yolculuk süresine göre yapmadıklarını göstermektedir. İnsanların tercih sebeplerinde toplu taşıma araçlarının konforlu olması gerektiği de anlaşılmaktadır.

Yolculardan 2. bir tercih yapmaları istendiğinde sadece 426 kişi (% 80) 2. tercih sebebini söylemiştir. Buradan çıkarılan sonuç insanların %20'sinin İZBAN'ı sadece bir sebepten dolayı tercih ettikleridir. İkinci tercihini yapan kullanıcılara bakıldığında

konfor ve yolculuk süresi öne çıkmaktadır. Toplu taşıma araçlarındaki konforun önemi bir kez daha vurgulanmış olmaktadır. Toplu taşıma hizmetlerinin ekonomik, hızlı, konforlu ve güvenli olması gerekmektedir. İnsanlar için güvenliğin önemli olduğu görülebilmektedir. Anket uygulaması sırasında insanlar, dolmuş ve otobüslere göre daha güvenli olduğu için İZBAN'ı tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Yolculara 3. tercih sebepleri sorulduğunda 260 kişiden cevap alınabilmiştir. Bu soruda en çok belirtilen seçenek 71 kişiyle(%27) güvenlik olmuştur. 63 kişi ise 3. tercihinde konforu seçmiştir (%24). Anket sonuçlarına göre İZBAN'ı kullanan kişiler için konfor ve güvenliğin ön planda olduğu açıkça görülebilmektedir. Tablo 1'de ayrıntılı olarak ankete katılan kişilerin tercih sebepleri gösterilmiştir.

Tablo 1 Tercih sebepleri.

	1. Tercih (%) 525 kişi	2. Tercih (%) 426 kişi	3. Tercih (%) 260 kişi
Konfor	18	26	24
Yolculuk Süresi	49	25	11
Maliyet	11	17	18
Güvenlik	7	14	27
Yakınlık	13	16	14
Aktarma Sayısı	2	2	6

Anket çalışmasının son bölümünde yolculara İZBAN hakkında memnuniyet soruları sorulmuştur. Memnuniyet sorularının sonuçları Tablo 2'de detaylı olarak gösterilmiştir.

İZBAN'a ya da İZBAN'dan aktarmayı yeterli buluyor musun sorusuna ankete katılan kişilerin %67'si yeterli buldukları yönünde cevap vermiştir. %20'si ise İZBAN'a ya da İZBAN'dan aktarmanın yetersiz olduğunu belirtmiştir. Yetersiz cevabının nedeni, İZBAN'a besleme hatlarda çalışan belediye otobüslerinin sefer sıklıklarının az olmasıdır.

Anket çalışmasının yapıldığı saatler 07.00 - 09.30 arasında İZBAN'da sefer aralığı 12 dakikadır. İnsanların en çok şikâyetçi olduğu konulardan birisi de sefer sıklıklarının az olmasıdır. Yeterli ve çok yeterli bulan kişilerin yüzdesi %50'ye kadar düşmüştür. Yetersiz ve çok yetersiz bulanların oranı ise %40'tır. Yeni trenlerin gelmesiyle sefer sıklıklarının artırılması planlanmaktadır.

Tren içi konfor memnuniyeti sorulduğunda; insanların %77'si (416) tren içi konforun yeterli olduğunu belirtmiştir. %12 oranında (67) ise tren içi konforun yetersiz olduğu cevabı alınmıştır. Konfor konusunda en çok şikâyet havalandırma sistemlerinin yetersizliğinden gelmektedir, çoğu insan tren içindeki kokudan rahatsızdır ve bunun acilen bir çözüme kavuşturulmasını istemektedirler.

Son olarak engelliler için İZBAN'ın yeterli olup olmadığı sorulmuştur. Ankete katılan altı kişi engel durumunun olduğunu belirtmiştir. İnsanların %25'i yetersiz, %22'si ise nötr cevabını vermiştir. Engelli altı kişinin dördü İZBAN'ın engelliler için yeterli olduğunu, bir kişi yetersiz olduğunu belirtmiştir, bir kişi ise kararsız kalmıştır.

Tablo 2 Ayrıntılı olarak memnuniyet dereceleri.

	Çok yetersiz	Yetersiz	Nötr	Yeterli	Çok Yeterli
Aktarma istasyonlarındaki ve tren istasyonlarındaki bilgilendirme sistemleri memnuniyeti	% 5	% 24	% 6	% 63	% 2
Tren içi bilgilendirme sistemleri memnuniyeti	% 1	% 15	% 5	% 74	% 5
İZBAN'a ya da İZBAN'dan aktarma memnuniyeti	% 3	% 20	% 8	% 67	% 2
İstasyonların fiziksel durumları memnuniyeti	% 6	% 21	% 5	% 62	% 6
Sefer sıklıkları memnuniyeti	% 8	% 34	% 8	% 49	% 1
Tren içi konfor memnuniyeti	% 1	% 12	% 5	% 77	% 5
Engelliler için İZBAN memnuniyeti	% 4	% 25	% 22	% 47	% 2

İZBAN Öncesi & Sonrası Karşılaştırılması

Çalışmanın ana amacı, yolculardan alınan veriler doğrultusunda, sistemden önce ve sistemden sonra insanların yolculuklarındaki değişime ışık tutmaktır. İnsanların yolculuk karakteristiklerinin değişip değişmediğinin görülmesi hedeflenmiştir. Karşılaştırılması gereken en önemli noktalar; yolculuk süreleri, yolculuk maliyetleri ve öncesi ulaşım türü tercihleridir.

Öncesi & Sonrası Ulaşım Türü Tercihleri Değişimi

İZBAN'dan önce kuzey-güney aksında yolculuk yapmak isteyenler toplu taşıma, özel araç veya diğer alternatif ulaşım sistemlerinden birini kullanmaktaydılar. İZBAN açıldıktan sonra istasyonlara gelen besleme otobüs hatları oluşturularak insanlar İZBAN'a taşınmaya başlanmıştır. İZBAN'dan özellikle özel araç sahiplerini kendisine çekmesi beklenmektedir. Bu doğrultuda ankette insanlara daha önceki ulaşım türleri sorulmuştur. Anketten çıkan sonuçlara göre insanların %85'inin, İZBAN'dan önce toplu taşıma araçlarını tercih ettiği görülmüştür. 53 kişinin(%10) ise İZBAN'dan önce aynı yolculuklarını özel araçlarıyla yaptıkları ortaya çıkmıştır. Bu göstermektedir ki insanların bir kısmı özel araçlarını bırakıp İZBAN ile seyahat etmeye başlamıştır. Böylece ekonomiye, hava kirliliğine ve trafik yoğunluğuna olumlu yönde katkı yapmışlardır. %5'lik yolcu dilimi ise İZBAN'dan önce aynı yolculuklarını diğer ulaşım türleriyle yaptıklarını belirtmişlerdir.

Öncesi & Sonrası Yolculuk Süreleri Değişimi

İZBAN hattı İzmir ilini kuzey-güney doğrultusunda birbirine bağlamaktadır. İZBAN'dan önce bu güzergâh üzerinde yolculuk yapmak oldukça uzun sürmekteydi. Yol üzerindeki trafik yoğunluğu, trafik sinyalizasyonu, trafik kazaları, yolcu indirme-bindirme, toplu taşıma hatlarının güzergâhlarının uzun olması, aktarma sayısının fazla olması gibi etkenler yolculuk süresinin uzun olmasına sebep olmaktadır. Tablo 3'te yolculuk süreleri değişimi ayrıntılı olarak gösterilmiştir. İZBAN'dan önce insanların, aynı yolculuklarını toplu taşıma araçlarıyla yaptıkları zaman ortalama yolculuk süreleri 64,95 dakika, özel araçlarıyla yaptıkları zaman 30,79 dakika ve diğer ulaşım türüyle yaptıkları zaman ise 44,80 dakikadır. Anketten çıkan sonuçlara göre insanlar aynı

yolculuklarını İZBAN hattını kullanarak, ortalama 44,84 dakikada yapabilmektedirler. Bu da gösteriyor ki, toplu taşımaya göre yolculuk süresi 20 dakika daha az, diğer ulaşım türüne göre hemen hemen aynıdır, özel araca göre ise yolculuk süresi %45 artmıştır. İZBAN, özel araçlarını kullananlara yolculuk süresi bakımından çok yarar sağlamamış olsa da, maliyet yönünden oldukça yararlı olmuştur. Anket sonuçlarından insanların yolculuk sürelerindeki değişim ortaya çıkmıştır. 393(%73) kişinin yolculuk süresinin az olduğu, 84 (%16) kişinin yolculuk süresinin daha fazla olduğu ve 62 (%11) kişinin ise yolculuk süresinin değişmediği görülmüştür.

Tablo 3 Öncesi & Sonrası yolculuk süreleri karşılaştırması.

İZBAN ÖNCESİ		İZBAN SONRASI	
Ortalama Yolculuk Süresi (dk)	Ortalama Yolculuk Süresi (dk)	Değişim (dk olarak)	Değişim (% olarak)
Toplu Taşıma	64,95 dk	44,84 dk	- 20,11 dk - % 31
Özel Araç	30,79 dk		+ 14, 05 dk + % 45
Diğer	44,80 dk		≈ ≈

Öncesi & Sonrası Maliyet Değişimi

Anket sonuçlarına göre İZBAN maliyet yönünden en çok özel araçlarını kullananlara yarar sağlamıştır. İZBAN'dan önce aynı yolculuklarını özel araçlarıyla yapanların yolculuk maliyetleri %80 oranında azalmıştır. Bu, insanların İZBAN'ı tercih etmelerinin önemli nedenlerinden biridir. İZBAN'dan önce diğer ulaşım türünü (servis vb.) kullanan insanların yolculuk maliyeti %6 oranında artmıştır. Bunun nedeni, İZBAN'dan önce personel servisi kullanan insanların yolculuklarına ücret ödememeleridir. Ayrıca 16 kişi (%3) İZBAN'dan ücretsiz geçiş yapmıştır. Tablo 4'te yolculuk maliyetleri değişimi ayrıntılı olarak verilmiştir.

Anket sonuçlarına göre 330 (%61) kişinin yolculuk maliyeti değişmemiştir. İnsanların büyük bölümü İZBAN'dan önce de toplu taşıma araçlarını kullanmaktaydı, 90 dakika tek bilet uygulaması olduğu için maliyetlerinde pek bir değişim olmamıştır. Anket sonuçlarına göre 177 (%33) kişinin yolculuk maliyeti azalmıştır. 32 (%6) kişinin yolculuk maliyetinde ise artış olmuştur.

Tablo 4 Öncesi & Sonrası yolculuk maliyeti karşılaştırılması.

İZBAN ÖNCESİ		İZBAN SONRASI	
Ortalama Maliyet(TL)	Ortalama Maliyet (TL)	Değişim (TL)	Değişim (% olarak)
Toplu Taşıma	2, 19 TL	1,79 TL	- 0, 4 TL - % 18
Özel Araç	8, 66 TL		- 6, 87 TL - % 80
Diğer	1, 69 TL		+ 0,1 TL + % 6

Öncesi& Sonrası Aktarma Sayısı Değişimi

İZBAN hattı açıldıktan sonra bazı ekspres otobüs hatları kaldırılarak, İZBAN'a besleme otobüs seferleri başlatılmıştır. Bu da aktarmaya olanak sağlamaktadır. İZBAN'dan önce toplu taşımayla seyahat eden yolcuların ortalama aktarma sayısı 0,50 iken İZBAN'dan sonra ortalama aktarma sayısı 0,95'e çıkmıştır, Buda bize yolcuların İZBAN'a varmadan veya sonrasında bir toplu taşıma aracı daha kullandıklarını göstermektedir.

Modelleme

Birçok mühendislik probleminde iki ya da daha çok sayıda rastgele değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlerin birbirinden istatistik bakımından bağımsız olmadığı ve bu değişkenler arasında bir ilişki bulunduğu görülmüştür. (Bayazıt ve diğ., Oğuz, 2005). Regresyon analizinde değişkenler bağımlı değişken ve bağımsız değişken(ler) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Bağımlı değişken açıklanmak istenilen değişkendir, bağımsız değişken(ler) ise bağımlı değişkeni açıklamakta kullanılan değişkendir. Regresyonda bağımlı değişken "Y" ve bağımsız değişken(ler) de "X" ile gösterilir. İstatistiksel anlamda iki değişken arasındaki ilişki, bunların değerlerinin karşılıklı değişimleri arasında bir bağıllık şeklinde anlaşılır. "X" değişkeninin değerleri değişirken, "Y" değişkeninin değerleri de değişiyorsa, bu ikisi arasında bir ilişki bulunduğu söylenebilir (Bayar, 2003)

Basit doğrusal regresyon analizi, "Y" bağımlı değişkeninin tek bir bağımsız (açıklayıcı) değişken "X" ile arasındaki ilişkinin doğrusal fonksiyonla ifade edilmesine dayanmaktadır. Basit doğrusal regresyon modeli, tek bir serbest değişken içeren aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad (1)$$

Y: bağımlı değişken

X : bağımsız değişken

α : y eksenini kesim noktası

β : doğrunun eğimi

ε : hata değişkeni

Bu modelin α ve β parametrelerini bulmak için "X" serbest değişkeni, "Y" bağımlı değişkeni ve " ε " hata terimi ile ilgili gözlemlere gerek duyulur (Bayar, 2003). Bu model, bağımsız değişkenin değerinin artması ya da azalması durumunda bağımlı değişkenin gerçek ortalamasının sabit bir oranda değiştiğini gösterir (Şehirlioğlu, 2008).

Birçok değişken bir araya gelerek bir başka değişkeni etkileyebilmektedirler ya da birbirlerini etkileyebilmektedirler. Basit regresyon analizinde bağımlı değişken Y ile gösterilirken, bağımsız değişken X ile gösterilmektedir. Çoklu regresyon analizinde ise bağımlı değişken Y ile fakat bağımsız değişkenler X_1, X_2, \dots, X_k ile gösterilmektedir. Modeldeki ε ise hata terimidir. İstatistiksel değerlendirmenin sonucunda fayda fonksiyonu elde edilmektedir (Ünver ve diğ., Gamgam ve diğ., Altunkaynak, 2011). Aşağıda fayda fonksiyonu gösterilmektedir.

$$U = \beta_0 (\text{sabit katsayı}) + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon, \quad i=1,2,\dots,n \quad (2)$$

Logit Model

Logit regresyon, regresyon analizinin bir tipidir. Logit modellerde amaç, bağımlı değişken kategori olasılıklarını, modeldeki bağımsız değişkenlerce açıklamaktır. Logit modellerin binary logit model (iki durumlu logit model) ve multinomial logit model (çok durumlu logit model) gibi farklı türleri mevcuttur. Logit regresyon oddsratio'nun doğal logaritmasıdır. Odds; başarı ya da görülme olasılığının "p", başarısızlık ya da görülmemeye olasılığına "1-p" oranıdır. Oddsratio ise iki odds'un birbirine oranıdır. İki değişken arasındaki ilişkinin özel bir ölçüsüdür. (Barak, 2005)

İki durumlu logit modellerde bir olgunun ortaya çıkması (y=1) ve ortaya çıkmaması (y=0) gibi iki durum vardır. İki durumlu logit modelde sadece iki olasılık vardır. Örneğin; başarılı-başarısız, ölüm-yaşam gibi. 2008 yılında Nuray Bilginer ve Bülent Cankuş tarafından "Tramvay Yolcu Memnuniyetinin Lojistik Regresyon Analiziyle Ölçülmesi: Estram Örneği" adlı bir çalışma yapılmıştır. 300 üniversitesi öğrencisine tramvay hakkında memnuniyet soruları sorulmuştur. Daha sonra uygulanan binomial logit regresyon analizi sonucunda; öğrencilerin Estram'dan memnuniyetleri üzerinde modele alınan tüm bağımsız değişkenlerin etkilerinin önemli olduğu görülmüştür. Öğrencilerin birçok durumdan rahatsız olmasına rağmen (bilet fiyatları, bilet satış noktalarına erişim) ulaşımda kullanım kolaylığı sağladığı için ve taşıt trafiğine göre önceliği olduğu için Estram'ı tercih ettikleri sonucuna varılmıştır.

Modellerde nicel ve nitel bilgiler kullanılmaktadır. Nicel verilere örnek olarak; yolculuk süresi, yolculuk maliyeti, aktarma sayısı gösterilebilir. Yolcuların cinsiyeti, yaşı, mesleği, eğitim durumu gibi bilgileri ise nitel bilgilere girmektedir. Nitel bilgiler de modellemelerde regresyona dahil edilmelidir. Nitel bilgiler ikili (binary) yapı göstermektedir. Bu yüzden ikili değişkenlerle ifade edilirler. Bunlara "sıfır/bir" (0-1) değişkenler ya da "gölge ya da dummy (kukla)" değişkenler denir. Cinsiyet kuklası: erkek=1 kadın=0 Yaş kuklası: <18=1 Diğer yaş grupları:0 gibi örnekler verilebilir.

Parametreleri tahmin ettikten ve en küçük kareler doğrusunu belirledikten sonra bu doğrunun x ve y'nin gözlemlerine ne kadar iyi uyduğu bilinmelidir. Bu uyuma R² uygunluğu (uygunluk derecesi) denmektedir. Yani gözlemlerin regresyon doğrusu etrafındaki dağılımları ölçülmelidir. Gözlemler, doğruya ne kadar yakınsa, yani y'deki değişimin bağımsız değişkendeki değişimlerle açıklanması o kadar anlamlıdır. Bu uyumun bir ölçüsü, bağımlı değişkendeki toplam değişimin yüzde kaçının bağımsız değişken x tarafından açıklanabildiğini gösteren korelasyon katsayısının karesi olan belirlilik katsayısı (R²) dir (Bayar, 2003).

R², istatistiksel modellemede en çok kullanılan uygunluk ölçümü tekniğidir. 0-1 arasında değer alarak kolay ve sade bir yorum yapılmasını sağlar.

$$R^2 = 1 - \frac{\ln L(\alpha, \beta)}{\ln L(\alpha)} \quad (3)$$

L(α, β) : kısıtlı olasılık fonksiyonu

L(α): kısıtsız olasılık fonksiyonu

Eğer R^2 değeri sıfıra yakınsa, uyumun uygun olmadığı kabul edilir. Bu sonuç ortaya çıkarsa toplanan verilerle kullanılan modelin uygun olmadığı sonucu çıkarılır ve bu uygunsuzluk modelinin değiştirilmesini gerektirir. Eğer R^2 değeri bire yakınsa, uyumun anlamlı olduğu sonucu çıkarılır (Train, 2009)

Logit Model Sonuçları

Anket verileri kullanılarak LIMDEP version8.0 programında İki durumlu (binary) logit model oluşturulmuştur. Yolcuların özel araç ve toplu taşımayı seçme olasılıklarına hangi değişkenlerin etkisinin olduğu bulunmak istenmiştir. Bunun için anketteki parametreler kukla değişken olarak tanımlanmış, LIMDEP programının okuyabileceği dosya formatına getirilmiştir.

İncelenen modelde, bağımlı değişkenin toplu taşıma olduğu durumdur. Bu durum; İZBAN'dan önce aynı yolculuklarını toplu taşıma araçlarıyla yapan insanları temsil etmektedir. İnsanların toplu taşıma araçlarını kullanmasına hangi değişkenlerin etkisinin olduğu bulunmak istenmiştir. Oluşturulan model incelenirken sadece 18 yaş üstü yolcular değerlendirmeye alınmıştır. Bunun sebebi, 18 yaş altı yolcuların toplu taşıma kullanma zorunlulukları olmasıdır. Tablo 5'de %10 güven aralığında bulunan bağımsız değişkenler gösterilmiştir.

Bağımsız değişkenlerde MESLEK1 memuru, GELIR1 asgari ücret altında çalışanları, GELIR23 asgari ücret-1500 TL arasında çalışanları, GELIR4 1500-2000 TL arasında çalışanları, ARAC2 araç sahibi olmayanları, MAYNI ise İZBAN'dan sonra yolculuk maliyeti değişmeyen yolcuları ifade etmektedir.

Bağımlı değişken olan toplu taşıma ile bağımsız değişkenleri oluşturan yedi faktör arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

Tablo 5 Toplu taşıma binary logit model.

Değişken	Sabit	Standart Hata	P Değeri
SABIT	-0,7698	0,3490	0,0274
MESLEK1	0,7438	0,4095	0,0694
GELIR1	2,7897	0,8149	0,0006
GELIR3	1,1680	0,4200	0,0554
GELIR4	0,7653	0,4235	0,0707
ARAC2	0,7412	0,3296	0,0245
MAYNI	3,5181	0,5347	0,0000
Gözlem sayısı 473			
R^2_{MF}		0,36035	

Modelleme sonucu elde edilen fayda fonksiyonu (utility function) aşağıda gösterilmiştir.

$$U = -0,7698 + 0,7438(\text{meslek1}) + 2,7897(\text{gelir1}) + 1,1680(\text{gelir3}) + 0,7653(\text{gelir4}) \\ + 0,7412(\text{arac2}) + 3,5181(\text{maynı})$$

Tablo 5'e göre; mesleği memur olan yolcular toplu taşıma araçlarını kullanmaya daha eğilimlidir. Geliri asgari ücretin altında olan yolcuların toplu taşıma araçlarını kullanma olasılığı çok yüksektir. Sonuçlardan da görülebildiği gibi GELİR1'in sabit katsayısı en yüksektir. Asgari ücret altında çalışan bir kişinin ülkemiz koşullarında özel araç kullanma olasılığı yok denecek kadar azdır, bu yüzden toplu taşımayı tercih edeceklerdir. Geliri 1000-1500 TL arasında olan yolcular toplu taşıma araçlarını kullanmaya daha eğilimlidir. Bu iki bağımsız değişkenin sabit katsayıları, GELİR1'e göre daha düşüktür. Geliri 1500-2000 TL arasında olan yolcuların toplu taşıma araçlarını kullanma olasılığı yüksektir. Ancak bu bağımsız değişkenin sabit katsayısı diğer iki gelir durumuna göre daha düşüktür. Bu gelir sınıfı bir eşik olarak kabul edilebilir. Geliri 2000 TL'nin üzerinde olduğu zaman özel araç kullanımına yönelim başlayabilir. Aracı olmayan yolcuların toplu taşıma araçlarını kullanma olasılığı daha yüksektir. İZBAN öncesi ve sonrasında yolculuk maliyeti değişmemiş yolcular toplu taşıma araçlarını kullanmaya daha eğilimlidir. Özel araçla seyahat etmek daha pahalı olduğundan dolayı maliyet bazı insanları toplu taşımayı tercih etmeye yönlendirmiştir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, İzmir Banliyö Sistemi'nin öncesi ve sonrası araştırılıp, kişilerin önceki ulaşım türleri seçimi, yolculuk sürelerindeki değişimleri ve yolculuk maliyetlerindeki değişimleri incelenip karşılaştırmalar yapılmıştır. Verilerin elde edilmesi anket uygulaması ile yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar ön plana çıkmıştır.

- Ankete katılan yolcuların İZBAN'dan önce %85'i toplu taşıma araçlarını, %10'u ise özel araçlarını kullanmaktadırlar.
- Yolcuların %73'ünün yolculuk süresi azalmıştır. İZBAN hattı en çok, daha önceden toplu taşıma araçlarıyla aynı yolculuklarını yapan insanların yolculuk sürelerini azaltmıştır (%31 oranında).
- Yolcuların %61'inin yolculuk maliyeti değişmemiştir. Ancak İZBAN'dan önce özel araçlarıyla seyahat eden yolcuların maliyetleri %80 oranında azalma göstermiştir.

Elde edilen anket verilerden göze çarpan diğer bir konu ise toplu taşımacılıkta konforun önemli bir yer tuttuğudur. Yolcular, seyahat ettikleri araçların konforlu olmalarını da istemektedirler. İZBAN trenlerinde konfor konusunda en büyük şikayet tren içindeki kokudan gelmektedir.

İZBAN hattı hizmete açıldıktan sonra, İZBAN hattı ve belediye otobüsleri ile entegrasyonu sağlamak için otobüs güzergâhlarında değişikliklere gidilmiştir. Uzun ve İZBAN hattına paralel otobüs hatları kaldırılarak, İZBAN hattına yolcu taşıyan besleme otobüsleri seferlerine başlamıştır. Besleme otobüslerinin sefer sıklıklarının yetersiz olması yolcular ve yolculuk üzerinde olumsuz etkiye neden olmaktadır. Yolculuk konforu düşmekte, durakta bekleme süreleri artmakta, toplam yolculuk sürelerinde artış olmaktadır.

Son olarak elde edilen verilerden istatistiksel bir sonuç çıkarılmaya çalışılmıştır ve yorumlanmıştır. İnsanların toplu taşımayı tercih etmeleri istenilen bir durumdur. Özel araç kullanmaları olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Bu yüzden, özel araç kullanıcılarına toplu taşıma özendirilmelidir. Elde edilen sonuçlara göre kendi işine sahip olanlar, özel aracı olanlar, iş amaçlı seyahat edenler, haftanın 2-3 günü İZBAN'ı kullananlar ve İZBAN'dan sonra yolculuk süresi artanlar özel araçla seyahat etmeye daha eğilimlidirler. Bu değişkenlere sahip olan yolculara toplu taşıma özendirilmelidir.

İZBAN hattı kısa bir süre içinde hedeflerinin üzerine çıkmıştır. Halkın hattı daha yoğun tercih etmesi ile ilerleyen dönemlerde sistem yetersiz kalabilir. Bu yüzden uzun vadede yeni setlerin alınarak sefer sıklıklarının artırılması ve yeni raylı sistem koridorlarının açılması planlanmalıdır.

Kaynaklar

Barak N., 2005, Sıralı (Ordinal) ve Multinomial Logit Modeller Üzerine Bir Uygulama, Ankara

Bayar B., 2003, İstatistiksel Çözümleme Teknikleri I-Regresyon Analizi, Eskişehir

Bayazıt M., Oğuz E., 2005, Mühendisler İçin İstatistik, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul

Central Transportation Planning Staff (CTPS), 2010

Eriş S., İzmir Kentiçi Trafikinde Demiryollarının Beklenen Rolü, TMMOB İzmir Kent Sempozyumu, İzmir

Girginer N., Cankuş B., 2008, Tramvay Yolcu Memnuniyetinin Lojistik Regresyon Analiziyle Ölçülmesi: Etram Örneği, Manisa

<http://www.izmir.bel.tr/projelerb.asp?pID=12&psID=0> Erişim tarihi: 09.06.2012

<http://www.tuik.gov.tr> Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Erişim Tarihi: 02.05.2013

Işık A., 2005, Role of Commuter Rail in İstanbul's Public Transportation: A Case Study of Haydarpaşa-Gebze Line, Turkey

Owens, K.L., 2002, Introduction to Survey Research Design

Şehirlioğlu K., 2008, İstatistik Ders Notları

Train E. Kenneth, 2009, Discrete Choice Methods with Simulation, Cambridge

Türkiye İstatistik Kurumu, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi, 2012

Ünver Ö., Gamgam H., Altunkaynak B., 2005, Temel İstatistik Yöntemler, Ankara

Elektron Işıması ile Yüzey Aktivasyonu Yapılan Geri Dönüştürülmüş Düşük Yoğunluklu Polietilen Modifiye Bitümlerin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Perviz Ahmedzade, Taylan Günay, Baurzhan Kultayev,

Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

Tel: +90 232 311 5179

E-Posta: perviz.ahmedzade@ege.edu.tr, taylan.gunay@ege.edu.tr,
baur_kult@hotmail.com

Alexander Fainleib, Olga Grigoryeva, Olga Starostenko,

Ukrayna Ulusal Bilimler Akademisi, Makromoleküler Kimya Enstitüsü, Kiev

Tel: +380 44 559 5372

E-Posta: fainleib@i.ua, polym@ukrpak.net, o_starostenko@ukr.net,

Tacettin Geçkil

İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya

Tel: +90 422 377 4744

E-Posta: tageckil@inonu.edu.tr

Öz

Bu çalışmada, elektron ışması işlemine maruz bırakılmış geri dönüştürülmüş düşük yoğunluklu polietilen (e-LDPE_R) malzemenin bitüm içerisinde modifiyer modifiye edici katkı olarak kullanılabilirliği fiziksel deneyler ile incelenmiştir. Maliyetleri düşük olan geri dönüştürülmüş polimerlerin bitüm içerisinde katkı malzemesi olarak kullanılması son yıllarda çeşitli araştırmalara konu olmaktadır. Ancak, geri dönüştürülmüş polimerler, genel olarak bitüm ile kimyasal etkileşime girmemektedir. Bu bağlamda, bitüm ile geri dönüştürülmüş düşük yoğunluklu polietilen (LDPE_R) arasında kimyasal etkileşimin sağlanması için elektron ışması yöntemi ile LDPE'lerin yüzeyleri aktive edilmiştir.

Ağırlıkça %1, 3, 5, 7, 9 katkı oranlarında hazırlanan 5 farklı bitüm/e-LDPE_R karışımı geleneksel test yöntemleri ile incelenmiştir. Bununla beraber dinamik kayma reometresi (DSR) cihazı yardımıyla farklı frekans ve trafik hızlarında modifiye bağlayıcının kompleks kayma modülü, faz açısı ve tekerlek izi parametreleri belirlenmiştir. Yapılan geleneksel test yöntemleri sonucunda katkı oranının artmasıyla modifiye bitümün penetrasyon değeri sürekli azalırken yumuşama noktasının sürekli arttığı belirlenmiştir. DSR deney sonuçları incelendiğinde tekerlek izi parametresinde sürekli bir artışın meydana geldiğini, böylelikle esnek üst kaplamaların e-LDPE_R polimerinin kullanımı ile tekerlek izine karşı dayanımının artabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: bitüm, elektron ışması, modifikasyon, geri dönüştürülmüş polietilen

Giriş

Yük taşımacılığın büyük bir bölümünün karayolu ile yapılması, kamyon ve diğer ağır taşıtların sayılarının artması, bununla birlikte dingil yüklerinde artış sağlayan kanuni düzenlemeler, yol esnek üst yapı kaplamalarında tekerlek izi gibi çeşitli bozulmaları meydana getirmektedir (Read ve Whiteoak, 2003). Bu nedenle, esnek kaplamaların ömrünü arttırmak amacıyla başta polimerler olmak üzere çeşitli katkılarla bağlayıcının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi araştırmalara konu olmuştur. (Gershkoff ve diğ., 1999; Isacson ve Lu, 1999; Airey, 2002; Perez-Lepe ve diğ., 2003). Stiren butadien stiren (SBS), etilen vinil asetat (EVA), Polipropilen (PP) vb. polimerlerin katkı malzemesi olarak kullanılmasıyla, olumlu sonuçlar elde edilirken, bu malzemelerin yüksek maliyetli olmaları araştırmacıları atık, geri dönüştürülmüş plastikler gibi daha ekonomik malzemelerle çalışmaya yöneltmiştir (Garcia-Morales ve diğ., 2004; Polacco ve diğ., 2005; Habib ve diğ., 2011; Ouyang ve diğ., 2012).

Murphy ve arkadaşları tarafından polietilen (PE), polipropilen (PP) ve kauçuk gibi geri kazanılmış polimerler ile bağlayıcı ve karışım modifikasyonu yapılmış ve bu katkıların bağlayıcının reolojisini olumlu etkilediğini, karışımın ise tekerlek izi direncini arttırdığını tespit etmişlerdir (Murphy ve diğ., 2001)

Larry, geri dönüştürülmüş polietilen kullandığı çalışmasında, bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) katkı miktarının artmasıyla birlikte daha az kalıcı deformasyon ve düşük sıcaklık çatlağı oluştuğunu belirtmektedir (Larry ve diğ., 1993)

İqbal tarafından düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), etil-vinil-asetat (EVA) ve akrilat polimerleri kullanılarak yapılan bir çalışmanın sonucunda, BSK'nın reolojik özelliklerinin iyileştiği, EVA ve akrilat polimerleri ile bağlayıcının sıcaklık hassasiyetinde azalma olduğu, özellikle EVA'nın bağlayıcıyı sertleştirdiği ve akrilat polimerlerin yüksek sıcaklıklarda LDPE'den daha sert olduğu tespit edilmiştir (İqbal ve diğ., 2004). Ancak, geri dönüştürülmüş polimerler herhangi bir işlem görmeden bitüm içerisinde katkı malzemesi olarak kullanıldıklarında bitüm ile bağlayıcı arasında kimyasal bağlar oluşmamaktadır (Gad ve diğ., 2010).

Bu çalışmada, elektron ışınması yöntemi ile yüzeyi aktifleştirilen geri dönüştürülmüş düşük yoğunluklu polietilenin (e-LDPE_R) bitüm içerisinde katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği geleneksel test yöntemleri, dönel viskozite (RV) dinamik kayma reometresi (DSR) ve kiriş eğme reometresi (BBR) deneyleri ile değerlendirilmiştir. e-LDPE_R modifiye bitümlerin deney sonuçları saf bitüm ile karşılaştırılarak e-LDPE_R katkısının meydana getirdiği değişimler tespit edilmiştir.

Deneysel Çalışmalar

Kullanılan Malzemeler

Çalışmada bağlayıcı olarak 160/220 penetrasyona sahip bitüm kullanılmıştır. Bitümün fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan geri dönüştürülmüş LDPE (LDPE_R) polimerler, İtalya’da en az bir yıl süreyle güneş ışınlarına maruz bırakılmış sera örtülerden elde edilmiştir. Örtüler yıkanma temizlenme işlemlerinin ardından kurutularak endüstriyel geri dönüşüme uygun şekillerde kesilmek suretiyle küçük parçalara ayrılmıştır. LDPE_R’ler 180 MPa Elastisite modülüne, 16 MPa çekme dayanıma sahiptir.

Tablo 1 Bitümün Fiziksel Özellikleri.

Özellikler	Standard	160-220
Penetrasyon (25 °C; 0.1mm)	ASTM D5	195.5
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	38.7
Düktilite (25 °C; cm)	ASTM D113	103
Penetrasyon indeksi (PI)	-	-0.73
Özgül ağırlık (25 °C; gr/cm ³)	ASTM D70	1.03

Elektron Işınması Yöntemi

Elektron ışınması yöntemi, polimerlerin üzerine yüksek enerjili elektronların çarptırılması işlemidir. Yüksek enerjili elektronların belirli bir süre boyunca, uygun radyasyon düzeyinde polimerlerin yüzeyine çarptırılmasıyla, polimer malzemelerin ısı duyarlılığı yaşlanma gibi termomekanik ve gerilme çatlak dayanımı gibi kimyasal özelliklerinde iyileşmeler sağlanabilmektedir. Elektron ışınması yöntemi ayrıca, gıda sterilizasyonu veya pestisit kontrolü gibi çok farklı alanlarda da kullanılmaktadır. Deney çalışmalarında katkı malzemesi olarak kullanılan LDPE_R’ler elektron ışınması işlemi için öncelikle şeffaf, 100x100x40mm boyutlarında dikdörtgen bir kap içine konularak, iletim hattı sayesinde reaksiyonun gerçekleştiği bölüme getirilmiştir. Numuneler oda sıcaklığında, iki yüzeyden 10 nA/cm² yoğunluğunda elektron bombardımanına tutulmuştur. Elektron akışı farklılıklar %5’den az olacak şekilde, üniform denilebilecek seviyede gerçekleşmiştir. Çalışma sonunda numuneler 20 kGy radyasyona maruz kalmıştır. Uygulanan radyasyon miktarı kimyasal dozimetre ile ölçülerek doğrulamalar yapılmıştır.

Numunelerin Hazırlanması

Granüler halinde olan e-LDPE_R katkı, bitüme ağırlıkça %1, %3, %5, %7 ve %9 oranında ilave edilmeden önce katkı boyutunun standart hale gelmesi amacıyla öğütücü makine yardımıyla ufalanmış ve bu ufalanan parçalar 0.6 mm elekten geçirilmiştir. 160-220 penetrasyona sahip bitüm 163 °C’ye ayarlı etüv ile 90 dakika süreyle ısıtıldıktan sonra karıştırıcıya aktarılmış ve toz haline getirilen e-LDPE_R katkı malzemesi 15 dakika süreyle 500 dev/dak hızda karıştırılmıştır. Sonra karıştırıcı hızı 1300 dev/dak hıza yükselttirilerek 45 dakika daha karıştırma işlemine devam edilmiştir. Elektron ışınlama yöntemiyle e-LDPE_R’lerin yüzeylerinde oluşturulan serbest radikallerin, iyonların ve

fonksiyonel grupların bitüm ile kimyasal reaksiyona girmesini ve kuvvetli bağların oluşmasını sağlamak amacıyla karıştırıcıdan alınan modifiye bitüm 60 dakika süreyle 163 °C sıcaklıktaki etüvde bekletilerek deneylerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Çalışmada kullanılan saf ve modifiye bitümler aşağıda verilen şekilde kodlandırılmıştır;

- Saf bitüm – “B”;
- Saf bitüm + 1% e-LDPE_R – “B-1-e-LDPE_R”;
- Saf bitüm + 3% e-LDPE_R – “B-3-e-LDPE_R”;
- Saf bitüm + 5% e-LDPE_R – “B-5-e-LDPE_R”;
- Saf bitüm + 7% e-LDPE_R – “B-7-e-LDPE_R”;
- Saf bitüm + 9% e-LDPE_R – “B-9-e-LDPE_R”;

Deneyel Program

Geleneksel Test Yöntemleri

Saf ve modifiye bitümler üzerinde geleneksel test yöntemleri olarak da adlandırılan yumuşama noktası, penetrasyon ve düktilite deneyleri gerçekleştirilmiş ve bu sayede bağlayıcıların fiziksel özellikleri hakkında çeşitli bilgiler elde edilmiştir. Penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri kullanılarak her bir bağlayıcıya ait penetrasyon indeksi (PI) değerleri hesaplanmıştır. PI bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetini gösteren bir parametredir. PI değerinin yüksek olması, bitümün sıcaklık değişimlerinden daha az etkilendiği anlamına gelmektedir. PI, Shell Bitumen Handbook’da (Read ve Whiteoak, 2003) tavsiye edilen ve aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$PI = \frac{1952 - 500 \times \log(Pen_{25}) - 20 \times SP}{50 \times \log(Pen_{25}) - SP - 120} \quad (1)$$

Burada Pen₂₅, 25 C° sıcaklıkta yapılan penetrasyon değerini, SP ise yumuşama noktası değerini göstermektedir.

Dönel Viskozite Deneyi

Saf ve e-LDPE_R modifiye bitümlerin viskozite değerleri dönel viskozimetre (RV) cihazı yardımıyla tespit edilmiştir. Bu deney diğer kapiler viskozite deneylerinden farklı olarak modifiye bitümün viskozitesini 0.01-200 Pa.s aralığında tespit edebilmektedir. Dönel viskozite (RV) deneyi AASHTO TP48 standardına uygun şekilde sabit sıcaklıkta, sabit hızla dönen silindirik bir uç (spindle) yardımıyla gerçekleştirilmektedir (Bahia ve Anderson 1995). RV deneyi genellikle iki farklı sıcaklık değerinde yapılmakta, bu sayede, bitümlerin viskozite değerlerinin dışında, bu bitümler ile hazırlanan bitümlü sıcak karışımların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları da tespit edilmektedir. Bu nedenle çalışmada, literatürde kullanılan sıcaklık değerlerine bağlı kalınarak, 135 ve 165 °C’de iki ayrı viskozite deneyi saf ve e-LDPE_R modifiye bitümlere uygulanmış, her bir bitümün viskozite değerleri, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklık aralıkları bulunmuştur.

Dinamik Kayma Reometresi Deneyi

Dinamik kayma reometersi (DSR) testi, geleneksel deney yöntemlerinden farklı olarak bağlayıcının hem viskoelastik hem de termoplastik davranışın bir arada dikkate alındığı

bir yöntemdir. Bağlayıcının davranışı yüklem süresi ve sıcaklığa bağlı olduğundan orta ve yüksek sıcaklıklardaki reolojik özellikleri (kompleks kayma modülü, faz açısı vb.) bu cihaz ile karakterize edilebilmektedir (Zaniewski ve Pumphrey, 2004; McGennis ve diğ., 1994). DSR deneyi, esnek üstyapının ilk dönemlerinde yüksek servis sıcaklıklarında meydana gelen tekerlek izi bozulmalarına karşı bağlayıcının göstereceği direnci saptamaktadır. DSR deneyi ile bitümlü bağlayıcının viskoelastik özellikleri, uygulanan salınım (sinüsoidal) yüklemelere karşı bağlayıcı davranışının değerlendirilmesi sonucunda belirlenmektedir (Zaniewski ve Pumphrey, 2004).

DSR deneyleri sonucunda elde edilen tekerlek izi parametresi yardımıyla, bitümlü bağlayıcıların yüksek performans sınıflarının (PG) belirlenmesi mümkündür. Araştırmada, Anton Paar SmartPave cihazı ile bağlayıcı olarak kullanılan saf ve e-LDPE_R modifiye bitüm numunelerin farklı sıcaklık ve frekansta reolojik özelliklerine ilişkin kompleks kayma modülü, faz açısı ve tekerlek izi parametreleri belirlenmiştir. Tablo 2’de deney programında kullanılan frekansları ve bu frekanslara denk gelen trafik hızlarını göstermektedir. Ayrıca, Tablo 3’de DSR test yöntemine ait parametreler yer almaktadır.

Tablo 2 Trafik Hızlarına Eşdeğer Frekanslar.

Trafik hızı, km/sa	Trafik hızlarına eşdeğer frekanslar, Hz (rad/sn)
Düşük, 6 km/sa	0.1 Hz (0.628 rad/sn)
Orta, 45 km/sa	0.72115 Hz (4.53 rad/sn)
Yüksek, 120 km/sa	1.9355 Hz (12.15494 rad/sn)

Tablo 3 DSR Deney Parametreleri.

Yükleme türü	Parametreler	
	Deformasyon kontrollü	
Frekanslar, Hz	0.1 Hz, 0.72115 Hz, 1.9355 Hz	
Sıcaklıklar, °C	10, 15, 20, 25	30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75
Plaka çapı, mm	8	25
Plakalar arası mesafe, mm	2	1

Kiriş Eğme Reometresi Deneyi

Esnek kaplamalarda, soğuk iklimli koşullarında, yüke bağlı olmayan, termal çatlak olarak da isimlendirilen düşük sıcaklık çatlakları meydana gelebilmektedir. Bitümlü bağlayıcılarda meydana gelen sertleşmeler, kaplamanın esnekliğini kaybetmesine neden olmaktadır. Bu şekilde kaplamanın üzerinde termal çatlakların oluşma riski arttırmaktadır. Bu nedenle, Stratejik Karayolu Araştırma Programı (SHRP) tarafından, bitümün düşük sıcaklıklardaki davranışının gözlenmesi amacıyla giriş eğme reometresi (BBR) deneyi geliştirilmiştir (Kennedy ve diğ., 1994). Bu deney, belirli bir sıcaklıkta ve sabit yük altında, bağlayıcının sünme sertliği, sünme oranı ve defleksiyon gibi reolojik özelliklerinin ölçülmesine dayanmaktadır. Bu sayede kaplamanın esnek davranış gösterebileceği en düşük sıcaklık değeri tespit edilebilmektedir. Aynı zamanda BBR deneyi ile bitümlerin düşük sıcaklık PG sınıfları da belirlenmektedir. BBR cihazı bilgisayar kontrollü olup, deney esnasında uygulanan 980 mN’luk yükün etkisiyle giriş şeklindeki numunede meydana gelen defleksiyon, zamana bağlı olarak bilgisayar

tarafından grafik halinde çizilir. Deney süresi olan 240 saniye sonunda deney yükü otomatik olarak kalkar ve yazılım tarafından sünme sertliği ve sünme oranı hesaplanır. Çalışmada, ATS BBR deney aleti ile bağlayıcıların sünme sertliği ve sünme oranı değerleri belirlenerek e-LDPE_R katkısının, bitümün düşük sıcaklık performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Deney Sonuçları

Geleneksel Deney sonuçları

Çalışma kapsamında, penetrasyon, yumuşama noktası, düktilite gibi bitümün fiziksel özelliklerine ait deneyler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir. Penetrasyon deneyi sonuçları incelendiğinde, e-LDPE_R katkı oranının artmasıyla bitümün penetrasyon değerlerinde sürekli bir azalmanın meydana geldiği görülmektedir. Bu sonuca göre, saf bitümün 195.5 olan penetrasyon deneyi %5 e-LDPE_R ilavesiyle 102.2 değerine, %9 e-LDPE_R ilavesiyle ise 76.0 değerine düşmektedir. Katkı oranının artmasıyla yumuşama noktalarında meydana gelen sürekli artış penetrasyon sonuçlarını doğrular niteliktedir. Yumuşama noktalarında meydana bu gelen artış, bitümün modifikasyon sonucunda sertleştiğini göstermektedir. Yumuşama noktalarında meydana gelen artışlar, yüksek katkı oranlarında daha da belirgin hale gelmektedir. Örneğin; 38.7 °C olan saf bitümün yumuşama noktası değeri %9 oranında e-LDPE_R katkısının ilavesi sonucunda 64.5 °C’ye yükselmiştir. Penetrasyon indeksinin katkı oranının artmasıyla artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu artış, bitümün ısıya karşı olan duyarlılığının azaldığını diğer bir ifadeyle modifiye bitümün saf bitüme oranlar daha geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Düktilite sürekli olarak azalması bitümün uzama yeteneğinin azaldığı anlamına gelmektedir.

Tablo 4 Saf ve e-LDPE_R Modifiye bitümlerin Fiziksel Deney Sonuçları.

Özellikler	Bağlayıcılar					
	B	B-1-e-LDPE _R	B-3-e-LDPE _R	B-5-e-LDPE _R	B-7-e-LDPE _R	B-9-e-LDPE _R
Penetrasyon (25 °C; 0.1mm)	195.5	141.1	129.3	102.2	88.5	76.0
Yumuşama Noktası (°C)	38.7	42.2	45.4	52.6	58.0	64.5
Düktilite (25 °C; cm)	103	85	78	67	56	48
Penetrasyon indeksi (PI)	-0.73	-0.61	0.20	1.45	2.25	3.08

Dönel Viskozite Deney Sonuçları

Saf ve e-LDPE_R modifiye bitümlerin 135 ve 165 °C’deki dönel viskozite (RV) deney sonuçlarına göre, saf bitüme artan miktarlarda (%1, %3, %5, %7 ve %9) e-LDPE_R katkı ilavesi ile bitümün viskozite değerlerinde önemli artışlar sağlanmıştır (Tablo 5). %9 e-LDPE_R katkı ilavesi, 135 °C’de 202.5 cP olan saf bitümün viskozite değerini 910 cP’a çıkarırken, 165°C’de, 65.5 cP’dan 265.5 cP’a yükseltmiştir. Viskozite değerlerinde meydana gelen artış viskozite indislerini de (η) benzer şekilde etkilemektedir. Tablo 5’de ayrıca SHRP tarafından önerilen karıştırma ve sıkıştırma viskozite değerleri göz önünde bulundurularak bağlayıcılara ait karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları verilmiştir. Matlab 2012.b programı yardımıyla hesaplanan, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında da katkı yüzdesinin artmasıyla, artışların meydana geldiği görülmektedir. Örneğin, 160-220 penetrasyonlu saf bitümün karıştırma sıcaklığı 135-142 °C, sıkıştırma sıcaklığı 122-128 °C iken, %9 LDPE_e modifiye bitümün karıştırma sıcaklığı 174-179 °C, sıkıştırma

sıcaklığı ise 162-167 °C olarak hesaplanmıştır. Tespit edilen karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının uygulamalarda kullanılabilir aralıklarda olduğu görülmektedir.

Tablo 5 Dönel Viskozite Deneyi Sonuçları.

Bağlayıcı Türü	Dönel Viskozite (cP)		$\eta_{\text{modifiye}} / \eta_{\text{saf}}$		Sıcaklık Aralıkları (°C)	
	135 °C	165 °C	135 °C	165 °C	Karıştırma	Sıkıştırma
B	202.5	65.5	1	1	135-142	122-128
B-1-e-LDPE _R	278	77.5	1.37	1.18	143-148	131-136
B-3-e-LDPE _R	335	92.5	1.65	1.41	148-153	136-141
B-5-e-LDPE _R	450	135.5	2.22	2.07	157-162	144-150
B-7-e-LDPE _R	610	188.5	3.01	2.88	165-171	153-158
B-9-e-LDPE _R	910	265	4.49	4.05	174-179	162-167

Dinamik Kayma Reometresi Deney Sonuçları

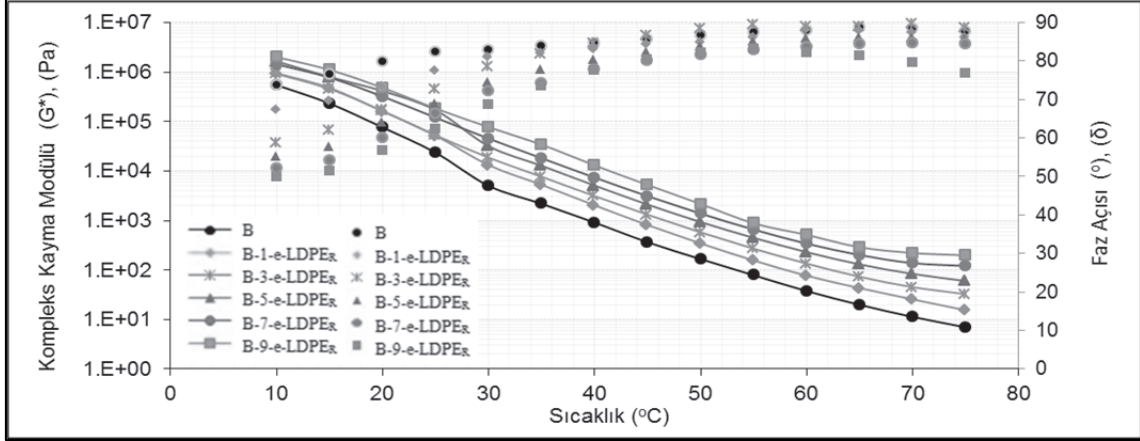
Farklı frekans ve sıcaklıklarda bağlayıcıların reolojik özelliklerine ilişkin kompleks kayma modülü ve faz açısı parametrelerinin değişimini gösteren grafikler, Şekil 1-3'de verilmiştir. Her üç frekansta da (Şekil 1-3) katkı oranının artmasıyla birlikte kompleks kayma modülü değerleri sürekli olarak artarken, faz açısı değerlerinin genel olarak azaldığı görülmektedir. Kompleks kayma modülünde meydana gelen bu artış, e-LDPE_R katkısı ile bağlayıcının kesme kuvvetine karşı dayanım kazandığını göstermektedir. Kompleks kayma modülünün sıcaklık artışıyla azalması sonucunda esnek üst yapıda tekerlek izi gibi bozulmalar meydana gelmektedir. Bu açıdan, özellikle 40 °C'nin üzerinde elde edilen test sonuçları önem arz etmektedir. Şekil 1-3'den görüldüğü gibi yüksek sıcaklık fazlarında da saf bitümün kompleks kayma modülü hızla azalırken e-LDPE_R modifiye bitümlerde meydana gelen azalmalar daha yavaş biçimde gerçekleşmekte, dolayısıyla 60-75 °C aralığında dahi polimer modifiye bağlayıcıların kayma kuvvetlerine karşı mukavemet gösterecek kadar kompleks kayma modülüne sahip oldukları görülmektedir.

Tekerlek izi bozulmaları düşük trafik hızlarında, hızlı trafiğe göre çok daha fazla miktarda meydana gelmektedir. Bağlayıcılara ait grafikler incelendiğinde, beklenildiği üzere en düşük kompleks kayma modüllerinin Şekil 1'de verilen 0.1 Hz frekanstaki DSR deneylerinde elde edildiği görülmektedir. Ancak, her frekansta olduğu gibi bu düşük trafik hızına denk gelen 0.1 Hz'lik frekansta da e-LDPE_R katkı oranının artmasıyla kompleks kayma modülleri artmaktadır. Bu sonuç, ağır trafik yükü altında meydana gelebilecek tekerlek izi bozulmalarının da e-LDPE_R katkısıyla önlenileceği anlamına gelmektedir.

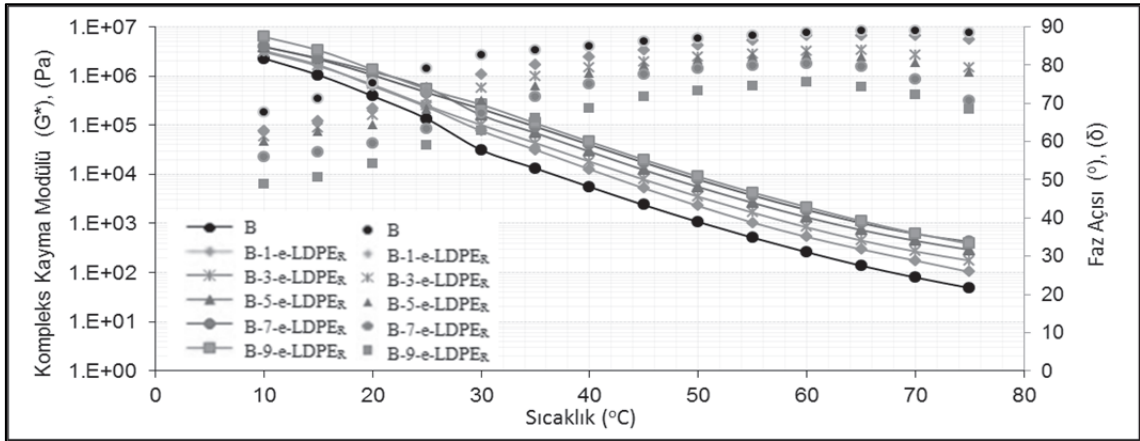
Modifiye bitümlere ait faz açıları, kompleks kayma modülü değerlerini doğrular biçimde katkı miktarının artmasıyla azalmaktadır. Faz açısındaki bu azalış, yüksek sıcaklıklarda viskoz davranış gösteren saf bitüme oranla modifiye bitümlerin viskoelastik yapılarını korudukları anlamına gelmektedir. Özellikle yüksek sıcaklıklarda saf bitümün faz açısı kısa sürede 90°'ye (tam viskoz davranış) yaklaşırken modifiye bitümlerde meydana gelen artışın nispeten daha az olduğu hatta 60 °C'den sonra genel olarak faz açısı değerlerinin tekrar düşüşe geçerek bir eğri oluşturduğu görülmektedir.

Şekil 4-6'da ise farklı frekanslarda bağlayıcılara ait tekerlek izi parametrelerinin sıcaklık ile değişim grafikleri verilmiştir. Grafiklerde görüldüğü gibi, e-LDPE_R katkısının artmasıyla hem kompleks kayma modülünde hem de faz açısında meydana gelen iyileşmeler tekerlek izi parametrelerini de olumlu şekilde etkilemektedir.

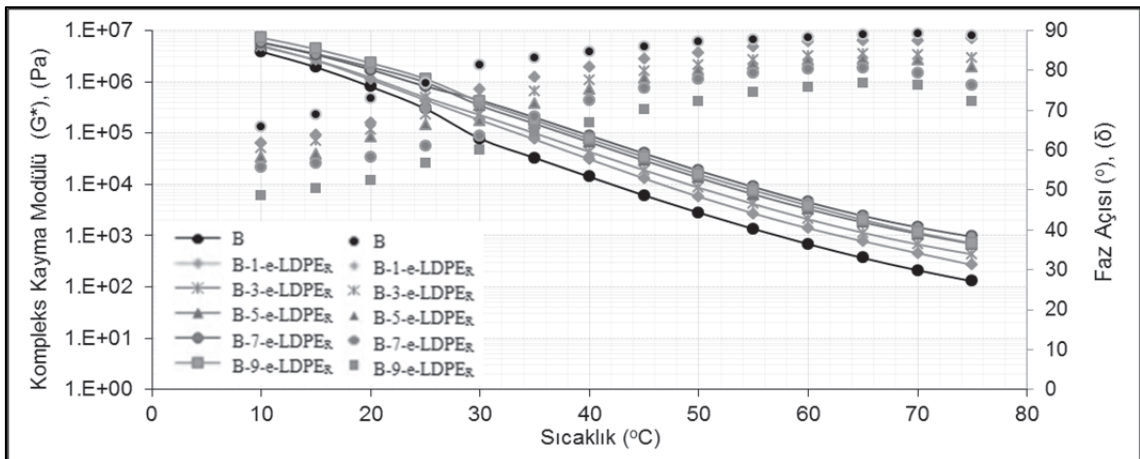
Dolayısıyla, her üç frekansta da katkı miktarının artmasıyla sürekli olarak tekerlek izi parametrelerinde bir artış meydana gelmektedir. Özellikle Şekil 6'de verilen, 0.1 Hz frekansında yapılan DSR deneylerinde, e-LDPE_R modifiye bitümlerin tekerlek izi parametrelerinde meydana gelen artışın diğer frekanslara göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç, e-LDPE_R polimerinin bitüm içerisinde katkı malzemesi olarak kullanılmasıyla yüksek sıcaklıklarda ve ağır trafik altında meydana gelen tekerlek izi bozulmalarının önüne geçilebileceğini ortaya koymaktadır.



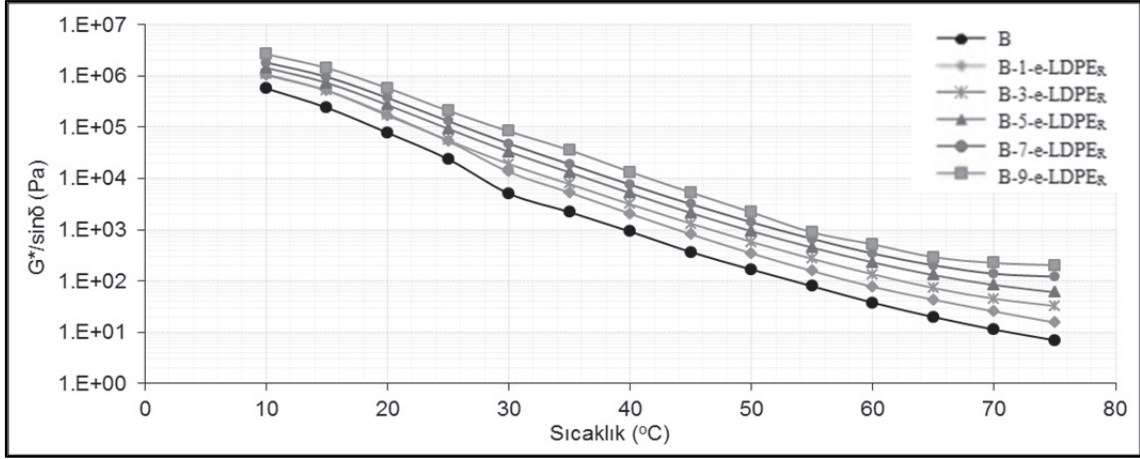
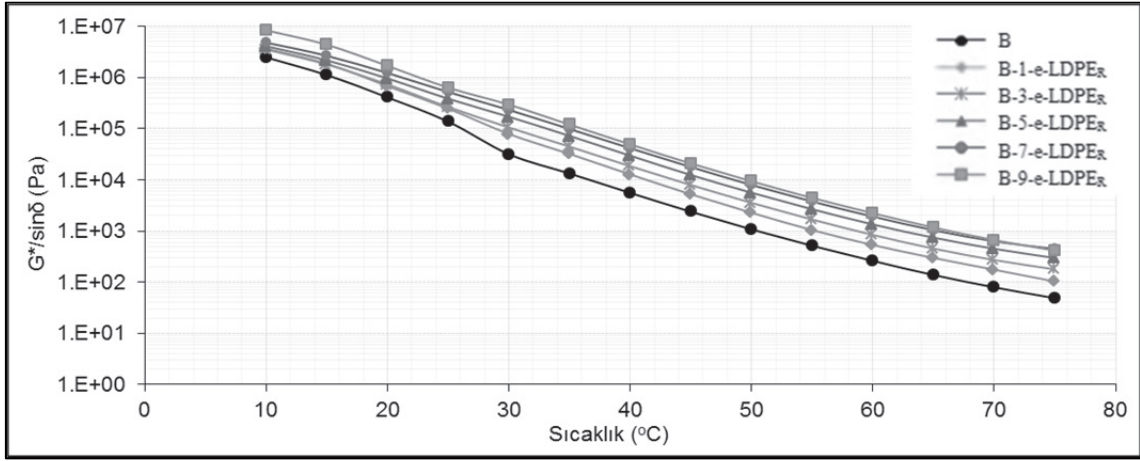
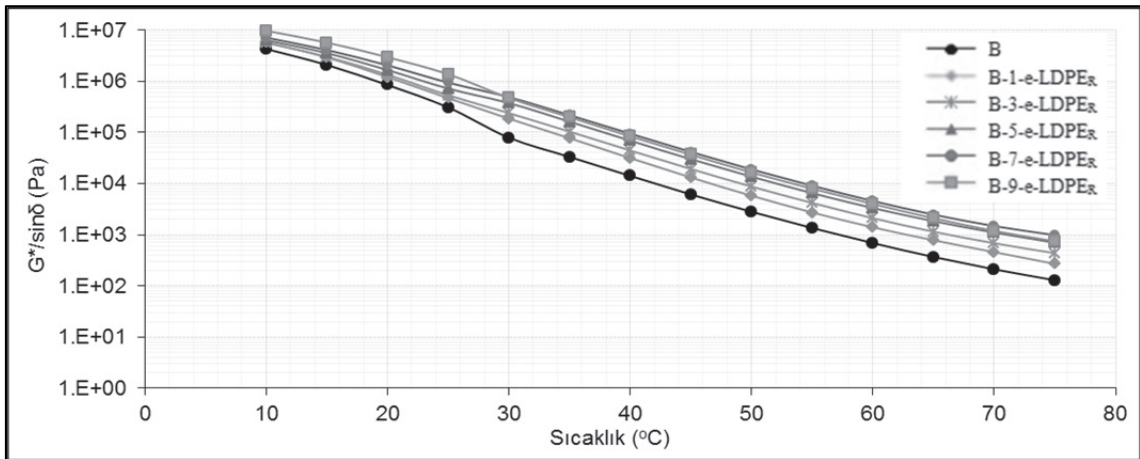
Şekil 1 Saf ve e-LDPE_R Modifiye Bitümlerin G^* ve δ Değerleri (0.1Hz).



Şekil 2 Saf ve e-LDPE_R Modifiye Bitümlerin G^* ve δ Değerleri (0.72Hz).



Şekil 3 Saf ve e-LDPE_R Modifiye Bitümlerin G^* ve δ Değerleri (1.94 Hz).

Şekil 4 Saf ve e-LDPE_R Modifiye Bitümlerin G*/sinδ Değerleri (0.1Hz).Şekil 5 Saf ve e-LDPE_R Modifiye Bitümlerin G*/sinδ Değerleri (0.72Hz).Şekil 6 Saf ve e-LDPE_R Modifiye Bitümlerin G*/sinδ Değerleri (1.94 Hz).

Kiriş Eğme Reometresi Deney Sonuçları

Kiriş eğme reometresi deneyi sonucunda, bağlayıcıların düşük sıcaklık performansları hakkında bilgi sağlayan sünme sertliği ve sünme oranı (m -değer) parametreleri elde edilmiştir. Saf ve e-LDPE_R modifiye bitümlere ait bu parametreler Tablo 6'da sunulmuştur. Buna göre, katkı miktarının artmasıyla birlikte genel olarak sünme sertliğinin arttığı görülmektedir. Modifikasyon sonrası bitümde meydana gelen sertleşmeden kaynaklanan bu artış, aynı zamanda e-LDPE_R katkı ilavesi sonrasında bitümün düşük sıcaklık performansında bir azalmaya da işaret etmektedir. Ancak yüksek sıcaklık performansını arttıran polimer katkıların genel olarak, bitümlerin düşük sıcaklık performanslarını belirli bir ölçüde düşürmeleri beklenen bir sonuçtur. Ayrıca, deneye tabi tutulan bütün bağlayıcı numunelerinin tüm test sıcaklıklarında sünme sertliği parametresi için şartname kriteri olan 300 MPa limit değerini aşmadığı, diğer bir ifadeyle meydana gelen sertleşmelerin kabul edilir mertebede olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 6 Saf ve e-LDPE_R Modifiye Bitümlerin Kiriş Eğme Reometresi Sonuçları.

Bağlayıcı Türü	Sünme Sertliği (MPa)			m -değer		
	-16 °C	-22 °C	-28 °C	-16 °C	-22 °C	-28 °C
B	42.13	0.479	99.50	0.432	199.05	0.295
B-1-e-LDPE _R	80.11	0.417	125.69	0.351	219.12	0.281
B-3-e-LDPE _R	61.66	0.419	129.82	0.339	233.79	0.239
B-5-e-LDPE _R	67.43	0.378	157.12	0.348	238.02	0.241
B-7-e-LDPE _R	77.40	0.333	168.88	0.274	-	-
B-9-e-LDPE _R	75.17	0.313	174.3	0.271	-	-

Sonuçlar

e-LDPE_R katkısının bitüm üzerindeki fiziksel etkileri geleneksel test yöntemleri, RV, DSR ve BBR deneyleri yardımıyla belirlenmiştir. Geleneksel test yöntemlerinde katkı miktarının artmasıyla penetrasyon değerlerinde anlamlı ölçüde bir düşüş yaşanırken, yumuşama noktası değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Bu iki sonuç, bitümün e-LDPE_R katkısı ile sertleştiğini göstermektedir. Penetrasyon ve yumuşama noktası değerlerinin kullanılmasıyla hesaplanan PI değerleri e-LDPE_R ile bağlayıcının daha geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabileceğini göstermektedir. RV deneyi, e-LDPE_R katkısının bitümün viskozite değerlerini arttırdığını göstermektedir. Ayrıca, viskozite değerleri kullanılarak hesaplanan karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının uygun (uygulanabilir) bir sıcaklık aralığında olduğu tespit edilmiştir. DSR deney sonuçlarına göre bağlayıcıların e-LDPE_R ilavesi ile kompleks kayma modülü ve tekerlek izi parametreleri sürekli olarak artarken faz açıları azalmaktadır. BBR deney sonuçları ise özellikle yüksek oranlarda e-LDPE_R ilavesinin bitümlerin düşük sıcaklık performanslarını azaltabileceğini ortaya koymuştur. Ancak, her iki reometre sonuçları bir arada değerlendirildiğinde DSR deneylerinde elde edilen artışların, hem yüksek sıcaklık hem de ağır trafik koşulları altında iyileşme sağlaması, düşük sıcaklıkta meydana gelen kayıplara rağmen önem arz etmektedir. Bu değerlendirme, aynı zamanda PI tespit edilen e-LDPE_R modifiye bitümlerin daha geniş sıcaklık aralığında kullanılabileceği sonucu ile desteklenmektedir.

Teşekkür Bu çalışma, Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü (İzmir, Türkiye) ve Ukrayna Ulusal Bilimler Akademisi (Kiev, Ukrayna) kurumlarının beraber yürütmekte oldukları ve TÜBİTAK tarafından desteklenen 110M400 Nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür eder.

Kaynaklar

Airey, G. D. (2002) Rheological Evaluation Of Ethylene Vinyl Acetate Polymer Modified Bitumens. Construction and Building Materials, 16(8), pp 473-487.

Bahia, H.U. and Anderson, D.A. (1995) Strategic Highway Research Program Binder Rheological Parameters: Background and Comparison with Conventional Properties, Transportation Research Record 1488, TRB, National Research Council, Washington DC, pp. 32-39.

Gad, Y. H., Magida, M. M. and El-Nahas, H. H. (2010) Effect of Ionizing Irradiation on the Thermal Blend of Waste Low Density Polyethylene/Ethylene Vinyl Acetate/Bitumen for Some Industrial Applications. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 16(6), pp. 1019-1024.

Garcia-Morales, M., Partal, P., Navarro, F. J., Martinez-Boza, F., Mackley, M. R., and Gallegos, C. (2004) The Rheology of Recycled EVA/LDPE Modified Bitumen. Rheologica Acta, 43(5), pp. 482-490.

Gershkoff, D. R., Carswell, J., and Nicholls, J. C. (1999) Rheological Properties of Polymer-Modified Binders for Use in Rolled Asphalt Wearing Course. Crowthorne: Transport Research Laboratory, Thomas Telford, London, UK.

Habib, N. Z., Kamaruddin, I., Napiyah, M., and Isa, M. (2011) Rheological Properties of Polyethylene and Polypropylene Modified Bitumen. International Journal Civil and Environmental Engineering, 3 (2), pp 96-100.

Iqbal, M.H., (2004) Influence of Polymer Type and Structure on Polymer Modification of Saudi Asphalt, Master of Science Degree, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudia Arabia, 142p.

Isacson, U., and Lu, X. H. (1999) Laboratory Investigation of Polymer Modified Bitumens. Journal of the Association of Asphalt Paving Technology, Vol 68, pp. 35-63.

Kennedy T.W., Huber G.A., Harrigan E.T., Cominsky R.J., Hughes C.S., Quintus H.V. and Moulthrop J.S. (1994) Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program, SHRP-A-410, National Research Council, Washington DC, USA.

Larry, F., (1993) Recycled Plastic Finds Home in Asphalt Binder, Roads and Bridges, USA, pp. 41-47.

McGennis, R.B., Shuler, S. and Bahia, H.U. (1994) Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods, National Asphalt Training Center Demonstration Project 101, Publication No. FHWA-SA-94-069, Asphalt Institute, Lexington, USA.

Murphy, M., O'Mahony, M., Lycett, C. and Jamieson, I., (2001) Recycled Polymers for Use as Bitumen Modifiers, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol.13, No.4, pp.306-314.

Ouyang, C. F., Gao, Q., Shi, Y. T., and Shan, X. Q. (2012). Compatibilizer in Waste Tire Powder and Low-Density Polyethylene Blends and the Blends Modified Asphalt. *Journal of Applied Polymer Science*, 123(1), pp. 485-492.

Perez-Lepe, A., Martinez-Boza, F. J., Gallegos, C., Gonzalez, O., Munoz, M. E., and Santamaria, A. (2003) Influence of the Processing Conditions on the Rheological Behaviour of Polymer-modified Bitumen. *Fuel*, 82(11), pp. 1339-1348.

Polacco, G., Berlincioni, S., Biondi, D., Stastna, J., and Zanzotto, L. (2005) Asphalt Modification with Different Polyethylene-Based Polymers. *European Polymer Journal*, 41(12), pp. 2831-2844.

Read, J., and Whiteoak, D., (2003) *The Shell Bitumen handbook (5th ed)*. Thomas Telford, London, UK.

Zaniewski, J.P. and Pumphrey, M.E. (2004) Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol, *Asphalt Technology Program*, West Virginia University, Morgantown, 109p.

Kentiçi Yolların Yüzeysel Drenajı ve Yağmursuyu Giriş Yeri Hesabı ve Erzurum Örneği

Volkan Gezder, Mahir Gökdağ

DSİ 8. Bölge Müdürlüğü Barajlar ve HES Şube Müdürlüğü ERZURUM
Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Tel: (442) 2333525-2264
volkangezder@dsi.gov.tr

Öz

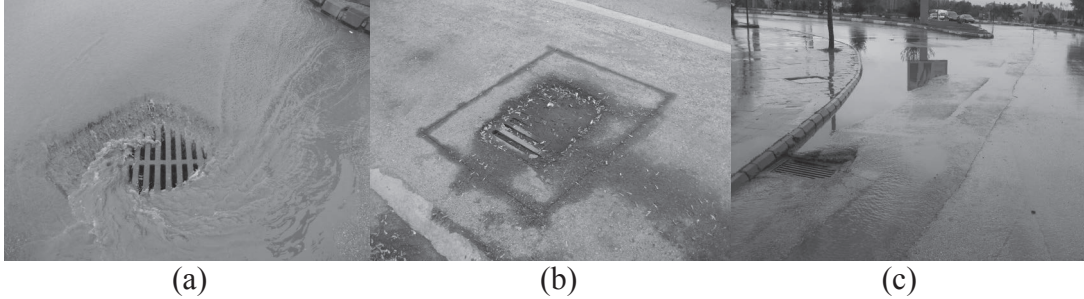
Bu çalışmada, kentiçi yolların yüzeysel drenajı hakkında genel bilgi verilmiş ve şehrin en işlek caddelerinden biri olan Havuzbaşı- Üniversite arasındaki yolun yağmursuyu drenaj girişlerinin yeterli olup olmadığı gözlemlenerek yüzeysel drenaj açısından incelenmiştir. Drenaj hesapları sonucunda bulunan yağmursuyu girişleri mevcut yoldaki yağmursuyu girişleri ile karşılaştırılmış ve seçilmiş yolun yağmursuyu girişlerinin ve sayısının yeterli olmadığı, yola yerleştirilme şekillerinin de hatalı olduğu görülmüştür. Örnek alınan ana cadde 6 bölüme bölünerek her bir bölüm için hesaplamalar yapılarak yağmursuyu giriş yerleri yola yerleştirilmiş ve 1 numaralı bölüm için hesaplamalar gösterilmiştir. Diğer bölümlerde de 1 numaralı bölüm için yapılan hesaplama yöntemi ile aynı şekilde hesaplama yapılmak suretiyle yağmursuyu girişleri bulunmuştur. Hesaplama yöntemi olarak, Rasyonel ve Manning formüllerinden yararlanılarak yola düşen su miktarı ve oluşun taşıdığı su kapasitesi hesaplandıktan sonra, yolun mevcut hali için karayollarının kullanmış olduğu tip ızgaralara göre ızgaralı yağmursuyu girişlerinin ara mesafeleri bulunmuştur. Farklı yollar için farklı ebatlarda ızgaralı girişlerin kullanılması hem ekonomik olmaması hem de farklı ebatlarda ızgaralı girişlerin üretiminin zor olması nedenleriyle güçlükler ortaya çıkabileceğinden, karayollarının tip ızgaraları kullanılmıştır.

Anahtar sözcükler: Yüzeysel drenaj, kentiçi yol, yağmursuyu girişleri, kentiçi yol drenajı, drenaj

Giriş

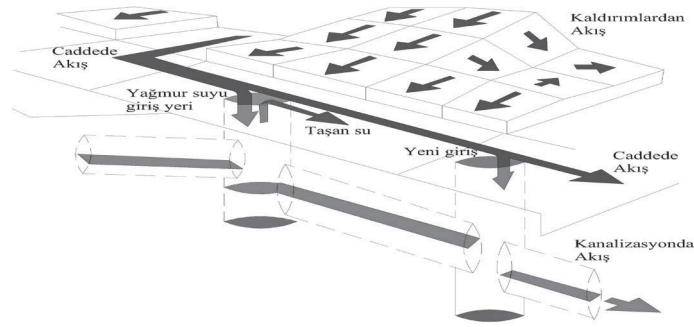
Yol gerek yapım aşamasında gerekse hizmet ömrü boyunca suyun yıpratıcı etkilerine maruz kalabilir. Suyun, yolun gövdesinden ve üst yapısından uzaklaştırılmaması gövdede ve üst yapıda deformasyonlar ve bozulmalar meydana getirir. Kentiçi yollarda; yolun hizmet ömrünün uzatılması, bakım maliyetlerinin azaltılması ve trafik güvenliğinin güvenli sınırlar içerisinde kalması suyun iyi bir yüzeysel drenajla yoldan uzaklaştırılmasına bağlıdır. Bu çalışmada, şehir merkezinde örnek olarak alınan yolun yağmursuyu drenaj girişlerinin yeterli olup olmadığı gözlemlenmiştir. Bu yola gelen bağlanan tali yolların kendi içinde yapılan drenaj sistemleri ile tahliye edildiği öngörülmüştür. Bu nedenle, tali yollarla ana yolların birleştiği kısımlara yağmursuyu girişleri konularak buradan gelen suların ana yola geçmesi engellenmelidir. (Gökdağ 1991). Rasyonel ve Manning formüllerinden yararlanarak yola düşen su miktarı ve oluk

kapasitesi hesaplanmış ve kapasiteye göre karayollarının tip ızgaralı yağmursuyu girişlerinin ara mesafeleri bulunmuştur. Çalışma yapılan yola yerleştirilen yağmursuyu giriş ızgaralarının hatalı yerleştirilmesi nedeniyle tıkanıkları, yola gelen toplam suyu drenaj edemedikleri görülmüştür. Bu nedenle, Suyun yol üzerindeki zararlı etkilerini ortadan kaldırmak için etkili bir drenaj sistemine ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 1 Üniversite-Havuzbaşı arası yolda (a) ızgaranın yoldan içeri doğru yanlış yerleştirilmesi (b) Mevcut yolun sürüntü ve döküntü maddeleriyle tıkanma (c) yolda bordüre dik olarak yerleştirilmiş ızgara.

Kentçi yolların yağmursuyu drenaj sistemi iki farklı ve çoğunlukla ayrı bileşenlerden oluşur Smith (2005). Çatılardan, kaldırımlardan ve caddelerden gelen yüzeysel sular cadde kenarlarında doğal ya da yapay bulunan arklar yardımıyla yağmursuyu giriş yerlerine gelir ve buradan yüzey altı kanalizasyon şebekesine ya da varsa yağmursuyu şebekesine aktarılarak tahliye edilir.

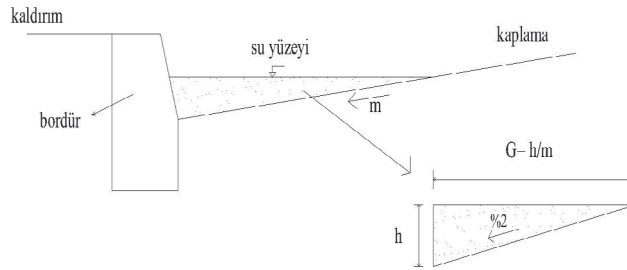


Şekil 2 Kentçi yolların yüzeysel ve yüzeyaltı drenaj sistemi Smith (2005).

Yağmursuyu giriş yerlerinin dört ana tipi vardır. Bunlar; (i) Cadde arkı üzerine tesis edilen ızgaralı giriş yerleri, (ii) Bordürde bırakılan giriş yerleri, (iii) Ark ve bordür girişinin birlikte olduğu birleşik girişler, (iiii) Cadde boyunca bırakılmış ızgaralı girişler (Mays, 2004). Li ve diğ. (1995), çukurlaştırılmış birleşik girişlerde bordüre paralel ızgaralı girişlerin en iyi hidrolik davranışı gösterdiği bulunmuştur. Gomez ve Russo (2005), ızgara girişinin yeterliliğini hesaplamak için kullanılan üç metodu araştırarak birbirleriyle karşılaştırma yapmıştır. McEnroe ve diğ. (1999) yolun boyuna eğiminin girişlerin performansında önemli bir etkisi olmadığını ve girişlerin hepsinin dik enine eğimlerde oldukça iyi performans sağladığını bulmuştur. Perks ve Hewitt (2004), Kanada'nın Ottawa Üniversitesinde 1/2 ölçekle kurulmuş olan modelde bir dizi deneyler yapmıştır. Deneyler sonucunda, bordür girişlerinin ızgaralı girişlere göre daha düşük hidrolik kapasiteye sahip oldukları görülmüştür.

Schmitt ve diğ. (2004) tarafından yapılan çalışmada kentiçi drenaj sistemlerindeki aşırı yüklenmiş kanalizasyon sistemlerinin neden olduğu sel olgusunun ikili drenaj modelinin ne kadar gerekli olduğu analiz edilmiştir. Şahin (2006) yerleşim yerlerinde yağmur suyu drenajı için kullanılan yağmur suyu giriş yerlerinden ve ülkemizde en çok kullanılan ızgara tipi girişlerin hidrolik hesaplarından bahsetmiştir. Çubukları bordüre paralel olan ızgaraların hidrolik performansının çubukları bordüre dik olan ızgaralara göre daha iyi olduğu görülmüştür. Tezel (2005)'in çalışmasında birleşik girişlerin performansları ve önceki yıllarda Kansas Üniversitesinde yapılmış deneyler yorumlanarak hangi sistemin hangi yol koşullarında nasıl sonuç verdiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Guo (2000) tarafından yapılan çalışmada tek ızgara girişleri için geliştirilen tıkanma faktörleri sistematik olarak çoklu ızgara girişlerinin tasarımı için genişletilmiştir. Almedeij ve diğ. (2006) Kuveyt' in yerleşim bölgesinde yer alan çukurlaşmış ızgaralar için, suyun yolda yayılmasını frekansa ve tıkanma faktörüne dayanarak analiz etmişlerdir. Woo ve Jones (1974), FHWA yapmış olduğu deneysel çalışmada, deney düzeneğine altı farklı ızgara yerleştirmiş ve ızgaraların gelen akımı tutma miktarı belirlenmiştir.

Bordür Oluğunun Su Akıtma Kapasitesi Hesabı



Şekil 3 Bordür Su Oluğu.

$$Q_{b2} = 0.00175 \cdot (1/m \cdot n) \cdot s^{1/2} \cdot h^{8/3}$$

Q_{b2} =Su akıtma kapasitesi (lt/sn), s =Yolun boyuna eğimi, m =Yolun enine eğimi
 n =Manning pürüzlülük katsayısı, h =Su derinliği (cm)

Bordür oluşunda suyun üst yüzeyinin bordür kenarından yayılma mesafesi G Çizelge 1 yardımıyla bulunur. Formüldeki maksimum su derinliği (h) Çizelge 1'den alınan G mesafesine ve yolun enine eğimine göre hesaplanır.

Çizelge 1 Yolun Proje hızına göre suyun izin verilen mak. yayılma oranı (FHWA 1996).

<u>Yol cinsi</u>	<u>Proje hızı</u>	<u>Maksimum yayılma (m)</u>
Yüksek yoğunluk	<70 km/h	Banket + 0.9 m
Tam bölünmüş		
Çift yönlü	>70 km/h	Banket
	Çukur noktada	Banket + 0.9 m
Yan yollar	<70 km/h	1/2 şerit
	>70 km/h	Banket
	Çukur noktada	1/2 şerit
Ara sokaklar	Düşük trafik yoğ.	1/2 şerit
	Yüksek trafik yoğ.	1/2 şerit
	Çukur noktada	1/2 şerit

Çizelge 2 Manning 'n' pürüzlülük katsayısı (FHWA 1996).

<u>Ark ve Cadde cinsi</u>	<u>Manning 'n'</u>
Beton giriş yeri	0,012
Asfalt kaplama	
Yumuşak tip	0,013
Sert tip	0.016
Asfalt kaplanmış giriş yeri	
Yumuşak	0,013
Sert	0,015
Beton kaplama	
Mala ile düzeltilmiş	0,014
Tırmık ile düzeltilmiş	0,016

Yağmursuyu Girişlerinin Kapasite Hesabı

Trafik emniyeti ve suyun yol üzerinde fazla yayılmasını önlemek için yolun bordür oluşuna yağmursuyu girişleri yerleştirilir. Bir yağmursuyu girişine gelecek suyun miktarı Rasyonel Metot ile hesaplanır.

$$Q_b = (1/3600) \cdot (C \cdot I \cdot A)$$

$$Q_b = \text{Bordür oluşu su debisi (lt/sn)}$$

$$C = \text{Yüzeysel akış katsayısı}$$

$$I = \text{Yağış şiddeti (mm/saat)}$$

A=Yağış havzası (m²) (Bu havza, su toplanma genişliği olan yol yarı yüzeyi ile kaldırım genişliğinin toplanarak, yağmursuyu giriş yerleri arası (L) mesafesi ile çarpılması ile bulunur.)

Yağış şiddeti (I), toplanma zamanı (T_e) ve tasarım frekansına göre yağış-şiddet-süre-tekerrür eğrilerinden alınır. Yolun eğimine göre suyun toplanma zamanı 5 ila 15 dakikadır (KGM). Toplanma zamanı T_e Çizelge 3'den alınır.

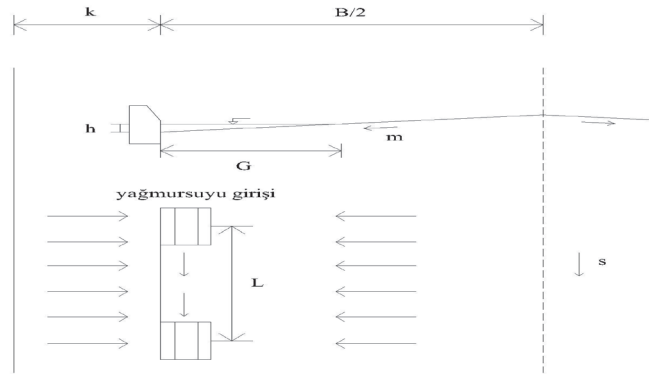
Çizelge 3 Suların toplanma süresi (KGM).

<u>Eğim %</u>	<u>T_e Suların toplanma zamanı</u>
5 ve daha büyük	5
2 -5	10
2 ve daha küçük	15

Yağış şiddetinin tayin edilmesinde diğer bir unsur olan frekans Çizelge 4'e göre tayin edilir.

Çizelge 4 Minimum tasarım frekansı (KGM).

<u>Yol</u>	<u>Frekans</u>
< 70 km/sa	10
≥ 70 km/sa	≥ 10 ^a
Düşey kurbda	50



Şekil 4 Yağmursuyu girişlerinin ara mesafesi.

Çizelge 5 Bazı kaplama ve zemin özelliklerine göre 'C' akış katsayısı değerleri.

<u>Kaplama ve zemin özelliği</u>	<u>Akış katsayısı 'C'</u>
Beton veya asfalt kaplama	0,80- 0,95
Çakıl veya makadam yollar	0,35- 0,75
Parklar, yeşil alanlar	0,10- 0,35
Hafif dalgalı çayırliklar	0,20- 0,40
Çok dik çıplak yamaçlar	0,80- 0,90
Yaprak döken ağaçlı ormanlar	0,35- 0,60
Çam ormanları	0,25- 0,50
Dalgalı çıplak yüzeyler	0,60- 0,80
Vadi içi ekili araziler	0,10- 0,30

Yolun yağış havzası alanı;

$$A=(B/2+k).L$$

K=Kaldırım genişliği (m)

B=Yol platform genişliğinin yarısı (m)

L=İki yağmursuyu girişi arasındaki mesafe (m)

Dolayısıyla Rasyonel Metot formülü

$$Q_{b1}=(1/3600).C.I.(B/2+k).L$$

Öte yandan oluğun su kapasitesi (G, m, n ve s)'e bağlı olarak;

$$Q_{b2}=0,00175.(1/m.n).s^{1/2}.h^{8/3}$$

$Q_{b1}=Q_{b2}$ eşitlenerek (L) bacalar arası mesafe teorik olarak bulunur. Burada bulunan yağmursuyu giriş boyutları, suyun yağmursuyu girişinin üzerinden atlamayacağı, yandan gelen suyun kaçamayacağı, oluk debisinin hepsini alacağı kadar yeterli olduğu öngörülmektedir. Uygulamada yağmursuyu giriş boyutları sınırlı olduğundan büyük aralıklar yerine daha sık aralıklarla yağmursuyu girişleri yerleştirilir. Yağmursuyu girişlerinin ara mesafesi yağmursuyu girişinin su alma kapasitesine göre hesaplanır.

Seçilen Yolun Yağmursuyu Girişi Olarak İzgaralı Girişlerin Kullanılması

Mevcut yollarda izgaralı yağmursuyu giriş yerlerinin kullanılma nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

1. T.C.K'nın genellikle izgaralı tip yağmursuyu drenaj girişlerini tercih etmesi
2. İzgaralı girişlerin cadde arkında taşınan suları alma bakımından daha iyi olması

3. Yol yüzeyinde akan su ile birlikte sürüntü maddelerinin fazla gelmemesi ve tıkanma probleminin olmaması
4. Boyuna eğimin %1'den büyük olması ve en iyi akım şartlarını sağlaması açısından çubukları bordüre paralel olan ızgaralı giriş tipi kullanılmıştır.

Seçilen Yollarda Kullanılan Izgaralı Yağmursuyu Giriş Tipleri

Mevcut olan yollarda T.C.K'nın genellikle kullandığı 60x40 cm² ve 40x40 cm²'lik yağmursuyu drenaj ızgaraları kullanılmıştır.

T.C.K'nın tip yağmursuyu giriş ızgaralarının kullanılma nedeni; Yağmursuyu drenaj girişleri tayin edilirken parametreler değiştiğinden, bu parametrelere göre bulunacak olan ızgaraların ebatları farklı olacaktır. Bu nedenle, farklı yollar için farklı ebatlarda ızgaralı girişler kullanılması hem ekonomik olmayacak hem de farklı ebatlarda ızgaralı girişlerin üretiminin zor olmasından güçlükler ortaya çıkacaktır.

Havuzbaşı-Üniversite Arasında Kalan Caddenin Yağmursuyu Girişlerinin Belirlenmesi

Havuzbaşı-Üniversite istikameti gidiş sağ şerit 1 numaralı yol

Bordür oluğu kapasite hesabı;

Yol uzunluğu=400 m

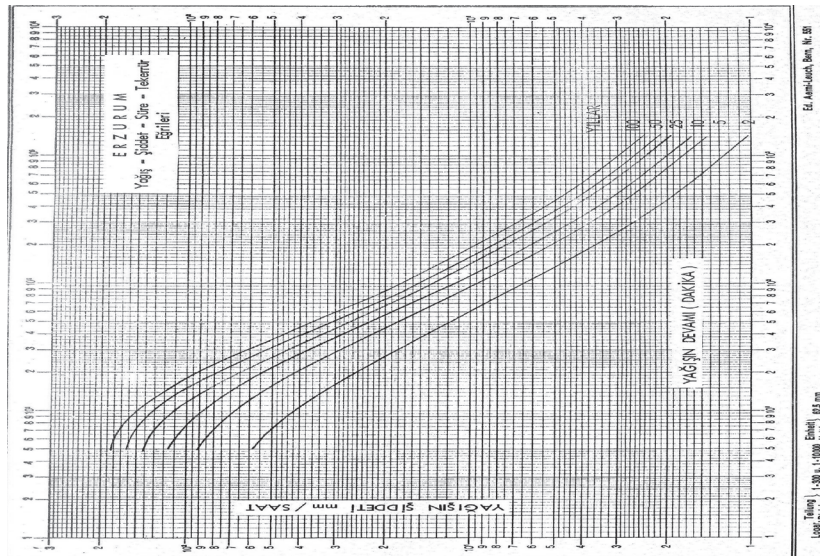
B=8,50 m, k=5 m, s=0,02, m=0,02, n=0,015 (Çizelge 2), G=2 m, G=h/m h=G.m

h=2.,0 * 0,02 h=0,04 m=4 cm

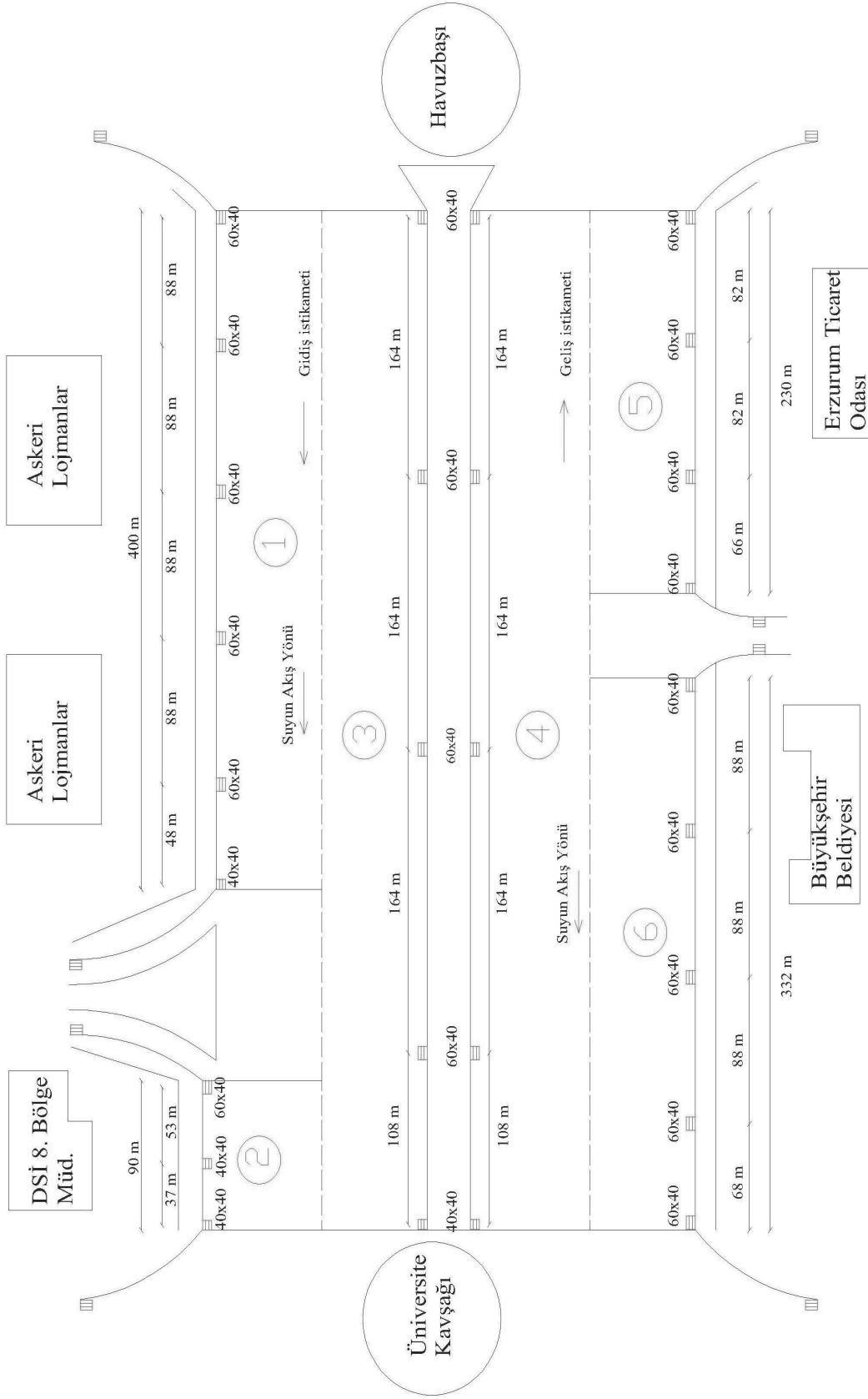
$Q_{b2}=0,00175.(1/m.n).s^{1/2}.h^{8/3}$ (lt/sn)

$Q_{b2}=0,00175.(1/0,02.0,015).(0,02)^{1/2}.(4)^{8/3}$

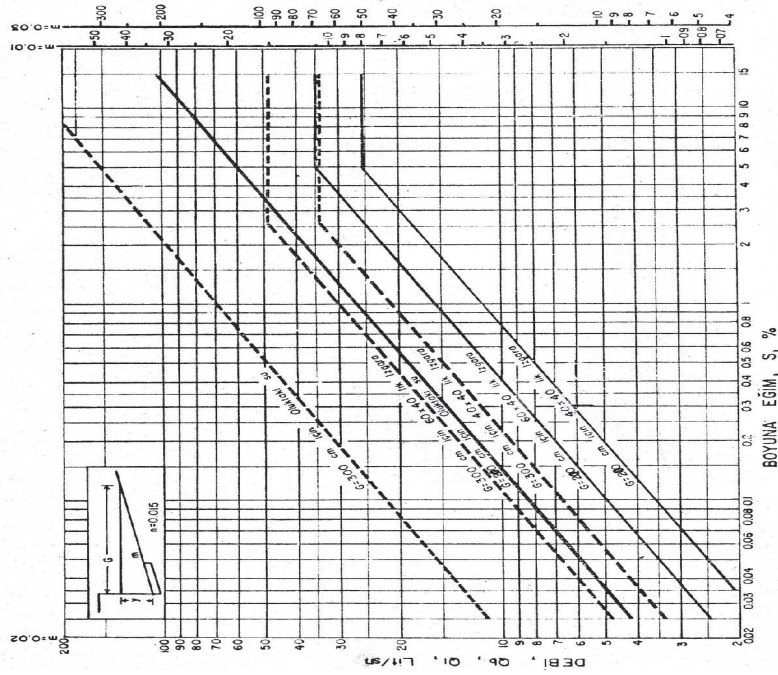
$Q_{b2}=33$ lt/sn (Bordür oluğu kapasitesi)



Şekil 6 Erzurum ili yağış-şiddet-süre-tekerrür eğrisi (Anonim 1976).



Şekil 5 Havuzbaşı-Üniversite arası yola yerleştirilen ızgaralı yağmursuyu girişleri.



Şekil 7 G=200 cm ve G=300 cm'ye göre bordür oluşu su kapasitesi ve 60x40 ile 40x40 T.C.K'nın tip ızgaralarının su alma kapasiteleri.

Izgaralar arası mesafe hesabı;

$$Q_{b1} = (1/3600) \cdot C \cdot I \cdot A$$

$$C = 0,90 \text{ (Çizelge 5)}$$

$$T_e = 10 \text{ dk (Çizelge 3)}$$

$$\text{Frekans} = 25 \text{ yıl (Çizelge 4)}$$

$$I = 110 \text{ mm/saat (Şekil 5)}$$

$$A = (B/2 + k) \cdot L \text{ (m}^2\text{)}$$

$$A = (8,50/2 + 5) \cdot L$$

$$A = 9,3 \cdot L$$

$$Q_{b1} = (1/3600) \cdot 0,90 \cdot 110 \cdot 9,3 \cdot L$$

$$Q_{b1} = 0,26 \cdot (L) \text{ lt/sn (Izgaralar arasına düşen yağmur miktarı)}$$

Teorik olarak ızgaralar arası mesafe;

$$Q_{b1} = Q_{b2} \text{ debileri eşitlenerek}$$

$$0,26 \cdot L = 33$$

$$L = 127 \text{ m}$$

Seçilen ızgaralara göre, ızgaralar arası gerçek mesafe hesabı;

60x40 ızgaralı yağmursuyu girişi

$$Q_{b3} = 23 \text{ lt/sn (Şekil 6)}$$

$$Q_{b1} = 0,26 \cdot L \text{ lt/sn}$$

$$Q_{b3} = Q_{b1}$$

$$23 = 0,26 \cdot L$$

$$L = 88 \text{ m}$$

40x40 ızgaralı yağmursuyu girişi

$$Q_{b3} = 17 \text{ lt/sn (Şekil 6)}$$

$$Q_{b1} = 0,26 \cdot L \text{ m}^3/\text{sn}$$

$$Q_{b3} = Q_{b1}$$

$$17=0,26.L$$

$$L=65 \text{ m}$$

Yolun tamamına gelen yağmursuyu debisi

$$Q_b=0,26.400=104 \text{ lt / sn}$$

Izgaraların yerleştirilmesi;

Yolun başlangıcına kendinden önceki suları alması için 1 adet 60x40'lık ızgara yerleştirildikten sonra, bu noktadan itibaren 88 m'de bir 60x40'lık 4 adet ızgara yerleştirilmelidir. Herbir ızgara 23 lt/sn debi aldığına göre 4 adet ızgara $4.23=92$ lt/sn debide su alır. 400 m'lik yola gelen toplam debi (Q_b) 106 lt/sn'dir. Kalan taşınması gereken su debisi $106-92=14$ lt/sn'dir. 40x40'lık ızgaralar 17 lt/sn'lik debide su aldığından yolun sonuna 1 adet 40x40'lık ızgaralı yağmursuyu yerleştirilmelidir.

Sonuç ve Öneriler

Yağmursuyu drenaj girişlerinin hesabında ve yerleştirilmesinde kısaca şu öneriler sıralanabilir.

1. Tali yollar kendi içinde değerlendirilmeli ve ana yola su gelmesini engellemek için yağmursuyu giriş yerleri yapılmalıdır.
2. Ülkemizde en çok ızgaralı yağmursuyu giriş yerleri tercih edilmektedir. Bu giriş yerleri bordüre paralel yerleştirilmelidir. Böylece, tıkanma problemi azalacak ve su alma miktarı artacaktır.
3. Yağmursuyu giriş yerleri mutlaka hesaplar sonucunda bulunan değerlere göre yerleştirilmelidir.
4. Yağmursuyu giriş yerleri hesapları kavşaklara göre yapılmalıdır.
5. Çukur yerlerdeki girişler kısa bir sürede tıkanabilirler. Bu nedenle, çukur yerlerde bırakılan girişlerin kapasiteleri hesaplanırken, bordür girişlerinde %10, birleşik girişlerde %20 ve cadde arklarında bırakılan girişler için %30 daha az olacağı düşünülerek hesap yapılmalıdır.

Kaynaklar

Almedeij, J. Alsulaili A. and Alhomoud J. (2006) Assessment of grate sag inlets in a residential area based on return period and clogging factor. Journal of Environmental Management, 79, 38-42.

Anonim (1976) Türkiye'nin Yağış-Şiddet-Süre-Tekerrür Eğrileri. DMI, Ankara

Anonim (2005) Karayolu Tasarım El Kitabı. KGM, Ankara

Anonymus (2002) Storm Sewer Design. Haested Methods Inc., Waterbury CT.

Çağlarer, B. (1972) Karayollarında Drenaj İşleri. Bayındırlık Bakanlığı Yayını, 172s, Ankara.

Gomez, M. and Russo B. (2005) Comparative study among different methodologies to determine storm sewer inlet efficiency from test data. <http://www.flumen.upc.edu/admin/files/64.pdf> (03.07.2009).

Gökdağ, M. (1991) Yol üst yapısının drenajı. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı ile Belediyeler, 47 (9), 29-30.

Guo, J. C. Y. (2000) Design of grate inlets with a clogging factor. Advances in Environmental Research, 4, 181-186.

Li, W. H. Goodell B. C. and Geyer J. C. Hydraulic Behavior of Storm-Water İnlets IV. Flow into Depressed Combination İnlets. Water Environment Federation, 26 (8), 967-975.

Mays, L. W. (2004) Urban Stormwater Management Tools. <http://books.google.com/books?id=W3OPFHUqhj8C&pg=PT152&dq=Design+and+Construction+of+Urban+Stormwater+Management+Systems&hl=tr#PPT142,M1> (16.06.2009).

McEnroe, B. M. Wade R. P. and Smith A. K. (1999) Hydraulic Performance of Curb and Gutter İnlets. Department of Civil and Environmental Engineering University of Kansas, Kansas.

Perks, A. R. and Hewitt R. G. (2004) Curb İnlets can improve service and reduce cost. <http://www.esemag.com/0604/curb.html> (10.06.2009).

Schmitt, T. G. Thomas M. and Etrich N. (2004) Analysis and Modeling of flooding in urban drainage systems. Science Direct, 299, 300-311.

Smith, M. B. (2006) Comment on Analysis and Modeling of flooding in urban drainage systems. Science Direct, 317, 355-363.

Şahin, H. I. (2006) İzgara Tipi Yağmursuyu Giriş Yerlerinin Meskun Bölge Drenajı Kapsamında İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tezel, G. (2005) Meskun Bölge Yollarındaki Yağmursuyu Drenaj Sistemlerinin Hidroliği ve Tasarımı, Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Woo, D. C. and Jones J. S. (1974) Hydraulic Charecteristics of Two Bicycle-safe Grate Inlet Designs. U.S Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington, D. C.

Yayla, N. (2004) Karayolu Mühendisliği. Birsen Yayınevi, 285, İstanbul.

Organik Ilık Karışım Asfalt Katkı Maddesinin Bitümlü Karışımların Yaşlanma Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

Peyman Aghazadeh Dokandari, Jülide Oylumluoğlu

Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35160
Buca/İZMİR

Tel: (232) 301 70 15

Tel: (232) 301 70 39

E-Posta: peyman.ad@gmail.com

E-Posta: julide.oylumluoglu@deu.edu.tr

Ali Topal, Burak Şengöz

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35160
Buca/İZMİR

Tel: (232) 301 70 40

Tel: (232) 301 70 72

E-Posta: ali.topal@deu.edu.tr

E-Posta: burak.sengoz@deu.edu.tr

Öz

Son yıllarda araştırmacılar, bitümlü sıcak karışım asfaltın yerini alacak benzer veya tercihen daha yüksek performanslı, üretim maliyetlerini azaltan, doğal kaynakları koruyan, çevreye daha az zararlı ve uygulamada daha verimli bitümlü karışımlar elde etme yolunda çalışmalar yürütmektedirler. Ilık karışım asfalt sistemlerinin kullanımı ile asfalt numunelerinin karıştırma ve sıkıştırma derecelerinde fark edilebilir düşüş gözlenmektedir. Uygulama sıcaklıklarındaki belirgin düşüşlerin, asfalt kaplamalarda meydana gelebilecek yaşlanmadan kaynaklanan bozulmaları azaltacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada, organik ılık karışım asfalt katkı maddesinin bitümlü karışımların yaşlanma özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Çeşitli oranlarda organik ılık karışım asfalt katkı maddesi içeren bitüm ile hazırlanan asfalt karışımları ve kontrol karışımları; kısa dönem ve uzun dönem yaşlanmaya tabi tutulduktan sonra yaşlanma oranları ve yaşlanma indeksleri, indirekt çekme mukavemeti deneyleri ile belirlenmiştir. Deney sonuçları, bitümlü sıcak karışımlara kıyasla organik katkı içeren ılık karışım asfalt numunelerinin yaşlanmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Ilık karışım asfalt, Organik katkı, Kısa dönem yaşlanma, Uzun dönem yaşlanma, İndirekt çekme mukavemeti.

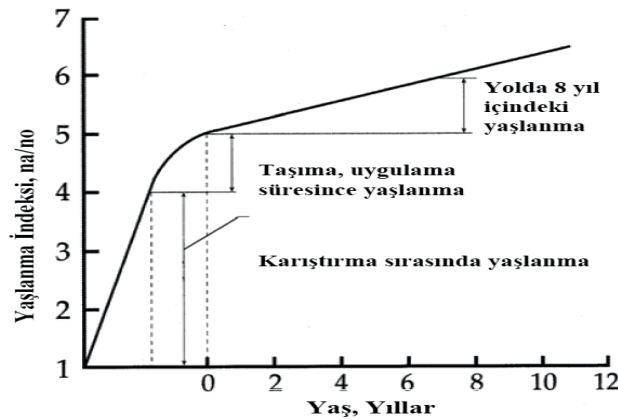
Giriş

Trafik hacmindeki ve dingil yüklerindeki artışlar, üretim hataları ve iklim koşulları, yollarda tekerlek izi oluşumu, yorulma çatlakları ve düşük sıcaklık çatlakları ve suya karşı duyarlılık gibi bozulmalara sebep olmakta, bu durum da yolun öngörülen ömür ve konfor düzeyini düşürmektedir. Bitümlü bağlayıcının asfalt kaplama performansını doğrudan etkileyen en önemli özelliği dayanıklılığıdır. Bitümlü bağlayıcının dayanıklılığı, sertleşmeye karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilmektedir. Bitümlü bağlayıcının çeşitli nedenlerden dolayı sertleşmesi ve kırılğan hale gelmesine de “yaşlanma” veya “zamana bağlı yaşlanma” denilmektedir (Bell ve diğ., 1994). Yapılan ayrıntılı çalışmalar, yaşlanmanın iki aşamada oluştuğunu göstermektedir. Kısa dönem yaşlanma, sıcak karışımın depolanma, plente taşınma, plente karıştırılma, şantiyeye taşınma, serilme ve sıkıştırılma işlemleri sırasında; uzun dönem yaşlanma ise, yolun servis ömrü boyunca oluşmaktadır (Şengöz ve Açar, 2005).

Bitümlü bağlayıcının zamanla sertleşmesi ve giderek özelliklerini kaybetmesi üzerinde etkili faktörler ilk kez Dow (1903) tarafından ortaya atılmıştır. Dow, yaptığı çalışmada, sıcak karışımından geri kazanılan bitümlü bağlayıcının ağırlık ve penetrasyon özelliklerini incelemiştir. Traxler (1961) bağlayıcının yaşlanma özelliklerini etkileyen faktörleri; oksidasyon, buharlaşma veya uçucu madde kaybı, polimerizasyon ve yoğunlaşma olarak dört sınıfta incelemiştir.

Bitümlü Sıcak Karışımlarda (BSK) kullanılan bitümlü bağlayıcı, rafineriden çıkışından yol üzerinde hizmete başlayıncaya kadar yapılan işlemlerde önemli derecede oksidasyona uğramaktadır. Bu durum bağlayıcının reolojik davranışını, performansını ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkilemektedir.

Servis ömrü boyunca bitümlü bağlayıcı yaşlanması- Şekil 1’de bitümlü bağlayıcının yıllara bağlı yaşlanma indeksi değerleri görülmektedir. Kısa dönem yaşlanma süresince oksidasyonun yaklaşık %70’inin meydana geldiği; uzun dönem yaşlanma süresince de oksidasyonun yavaşlayarak 8 yılda yalnızca %30 civarında gerçekleştiği görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi hızlı yaşlanma karışımın hazırlanması, serilmesi ve sıkıştırılması sırasında meydana gelmekte, bu süreç yolda düşük sıcaklıklarda yavaşlamaktadır.



Şekil 1 Agrega ile karıştırmadan itibaren göreceli viskozite artışı (Read, 1990).

Asfalt katkıları büyük ölçüde karışımın özelliklerini değiştirmektedirler. Oysaki, bazı Ilık Karışım Asfalt (IKA) katkılarının bitümde modifikasyon etkilerinin yanısıra, daha düşük uygulama ve taşıma sıcaklıklarından dolayı BSK'ya kıyasla IKA'da yaşlanmadan kaynaklanan bozulmaların daha az meydana geleceği beklenmektedir.

Son yıllarda araştırmacılar, BSK'nın yerini alacak aynı veya tercihen daha yüksek performanslı, üretim maliyetlerini azaltan, doğal kaynakları koruyan, çevreye daha az zararlı ve uygulamada daha verimli bitümlü karışımlar elde etme yolunda çalışmalar yürütmektedirler (Zaumanis ve Haritonovs, 2010). Bu çalışmalarda benimsenen en önemli yaklaşım, malzemenin üretim sıcaklığının düşürülmesidir (Newcomb, 2007). Bu nedenle araştırmacılar, ılık karışım asfaltlara (IKA) yönelmişlerdir. Burada amaç, daha az enerji tüketimi ile emisyon miktarını düşürüp çevresel etkileri azaltmak, viskoziteyi düşürüp daha düşük sıcaklıklarda uygun karışım ve sıkıştırma koşullarını sağlayarak geleneksel sıcak karışım asfaltlarla en azından aynı stabilite ve daha yüksek durabilite değerlerine erişmektir.

IKA'da asıl amaç, karışımdaki agrega yüzeylerinin düşük sıcaklıklarda tamamen kaplanması, yoğunluğun korunması ve en az BSK kadar iyi performans sağlamasıdır. Düşük sıcaklıkta asfalt üretimi ve seriminin başlıca yararı enerjinin korunumudur. Ayrıca kaplamanın kısa dönem yaşlanması yavaşlatılarak sertleşmenin önüne geçilmiş olur. Bu önemli faydalarının yanında IKA'ların çevresel faydaları, sıkıştırma kolaylığı, nakliye kolaylığı, geri dönüşüme katkısı ve performans etkisi gibi önemli özellikleri bulunmaktadır (Chowdhury ve Button, 2008).

Çalışma kapsamında, organik kökenli IKA katkısının bitümlü karışımların yaşlanma özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Çeşitli oranlarda organik IKA katkı maddesi içeren bitüm ile hazırlanan asfalt karışımları ve kontrol karışımları; kısa dönem ve uzun dönem yaşlanmaya tabi tutulduktan sonra yaşlanma oranları ve yaşlanma indeksleri, indirekt çekme mukavemeti deneyleri ile belirlenmiştir.

DeneySEL Çalışmalar

Malzemeler

DeneySEL çalışmalarda, bitümlü bağlayıcı olarak İzmir Aliağa Rafinerisinden temin edilen 50/70 penetrasyon sınıfı bağlayıcı kullanılmıştır. Saf bitümlü bağlayıcı üzerinde bağlayıcının geleneksel özelliklerini tespit etmek için penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, viskozite, parlama, ince film halinde ısıtma, ince film halinde ısıtma deneyi sonrası penetrasyon ile ince film halinde ısıtma deneyi sonrası yumuşama noktası deneyleri uygulanmış olup, deney sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur.

IKA karışımlarında kullanılmak üzere agregalardan kalker, Dere Madencilik İnşaat Yapı Malz. Petrol San. Tic. A.Ş. Belkahve/İzmir taş ocağı'ndan, bazalt ise Dere Madencilik Aliağa/İzmir taş ocağı'ndan temin edilmiştir. Agregaların özelliklerini belirlemek amacıyla agrega grupları üzerinde özgül ağırlık, Los Angeles aşınma, sağlamlık ve yassılık indeksi deneyleri uygulanmıştır. Agrega özelliklerinin belirlenmesine ilişkin deneyler uygulandıktan sonra, Karayolları Teknik Şartnamesi'nde aşınma tabakaları için belirtilen Tip 1 gradasyon limitlerine göre elek analizi (ASTM C 136) yapılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo 2'de görüldüğü gibidir.

Tablo 1 Saf Bitüme Uygulanan Klasik Bitüm Deneyleri Sonuçları.

Test	Standartlar	Sonuçlar	Limitler
Penetrasyon (25°C ; 0.1 mm)	ASTM D5	55	50-70
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	49	46-54
Viskozite (135°C)	ASTM D4402	412,5	-
Viskozite (165°C)	ASTM D4403	137,5	-
TFOT (165°C)	ASTM D1754		
Kütle değişimi(%)		0,04	<0,5
Penetrasyon değişimi (%)	ASTM D5	25	-
TFOT sonrası yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	54	48<
Düktilite (25°C; cm)	ASTM D113	100	-
Özgül Ağırlık	ASTM D70	1,03	-
Parlama Noktası (°C)	ASTM D92	+260	230<

Tablo 2 Kalker ve Bazalt Agregalarının Fiziksel Özellikleri.

Test	Şartname	Kalker	Bazalt	Şartname Limitleri
Özgül Ağırlık (KabaAgrega)	ASTM C 127			
Hacim		2,686	2,666	-
Kuru Yüzey Doygun		2,701	2,810	-
Zahiri		2,727	2,706	-
Özgül Ağırlık (İnce Agregası)	ASTM C 128			
Hacim		2,687	2,652	-
Kuru Yüzey Doygun		2,703	2,770	-
Zahiri		2,732	2,688	-
Özgül Ağırlık (Filler)		2,725	2,731	-
Los Angeles Aşınması (%)	ASTM C 131	24,4	14,2	< 45
Yassılık İndeksi (%)	ASTM D 4791	7,5	5,5	< 10
Sağlamlık Yüzdesi(%)	ASTM C 88	1,47	2,6	<10-20
İnce Agreganın Köşelliliği	ASTM C 1252	47,85	58,1	40<

Çalışma kapsamında kullanılmak üzere temin edilen agregalara ait elek çaplarına göre seçilen gradasyon değerleri ile şartname limitleri Tablo 3'te verilmiştir.

Çalışma kapsamında; organik IKA katkı maddesi olan, Güney Afrikalı Sasol Wax tarafından üretilen ve “modifiye edici” veya “asfalt akış düzenleyicisi” olarak tariflenen Sasobit® kullanılmıştır. Sasobit®, Fischer-Tropsch (FT) işlemi ile kömürün karbonizasyonu sırasında elde edilen, ince kristalize, uzun alifatik bir hidrokarbondur. FT parafin mumu olarak da bilinir (Hurley ve Prowell, 2005).

Tablo 3 Bazalt – Kalker Agregalarının Birlikte Kullanılacağı Karışımlar İçin Seçilen Gradasyon ve Şartname Limitleri.

Test	19 – 12,5 mm (Bazalt)	12,5 – 5 mm (Bazalt)	5 – 0 mm (Kalker)	Karışım Gradasyonu (%)	Şartname Limitleri
Karışım (%)	15	45	40		
Elek No:					
(3/4) "	100	100	100	100	100
(1/2) "	35,7	100	100	90,5	83-100
(3/8) "	2,5	89	100	80,5	70-90
No.4	0,4	16	100	47,3	40-55
No.10	0,3	1,2	81	33	25-38
No.40	0,2	0,7	33	13,5	10-20
No.80	0,15	0,4	22	9	6-15
No.200	0,10	0,2	13	5,3	4-10

Sasobit® üreticileri, doğal olarak oluşan bitüm esaslı mumlar ile FT mumlarının yapıları ve fiziksel özellikleri gözönüne alındığında, aralarında oluşan farklılıkları özellikle vurgulamaktadırlar. Bu farklılıklar, FT mumlarının daha uzun zincir ve ince kristalize yapılarından kaynaklanmaktadır. Sasobit® bitümün viskozitesini düşürerek, üretim sıcaklığının düşmesine imkân sağlar. Sıcaklık erime noktasının altına düştüğünde ise FT mum kristalize olarak kafes bir yapı oluşturur ve karışımın stabilitesini artırır. Yapılan çalışmalarda Sasobit®'in yol trafiğe açıldıktan sonra kaplamada meydana gelen tekerlek izi oluşumuna karşı direnci arttırdığı saptanmış, sıkıştırmayı kolaylaştırdığı tespit edilmiştir (D'Angelo ve diğ., 2008).

Çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda, üretici firmanın önerileri doğrultusunda organik IKA katkısı (Sasobit®) %2, %3 ve %4 oranlarında kullanılmıştır.

Deney Planı

Deneysel çalışmalarda, farklı sıcaklık ve üretim sürelerinde organik IKA katkı maddesi ile üretilen bitüm örnekleri üzerinde viskozite deneyleri uygulanmıştır. Öncelikli olarak, üretim sıcaklıkları sabit tutulan organik IKA katkılı bitümler farklı sıcaklıklarda karıştırılarak viskoziteleri belirlenmiştir. Üretim süreleri organik IKA katkı için 5'er derece arttırılmış ve viskozite değerleri sabit olana kadar bu işleme devam edilmiştir. Viskozite değerlerinin sabit kaldığı üretim süre ve sıcaklığı, ilgili IKA katkısı için üretim süre ve sıcaklığı olarak belirlenmiş ve deney sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Organik IKA katkısı ile hazırlanan bitüm örnekleri üzerinde bağlayıcının fiziksel özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla uygulanan; penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, viskozite, yanma ve parlama noktası, ince film halinde ısıtma (TFOT), TFOT sonrası penetrasyon ve yumuşama noktası deneylerinin sonuçları Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 4 Organik IKA Katkısı İçin Üretim Süre ve Sıcaklıkları.

Üretim Süreleri (dk.)	120°C'de Organik Katkı Maddesi için Viskozite Değerleri (mPa.s)
5	675
10	650
15	650
20	650
25	650
30	650
35	650
40	650

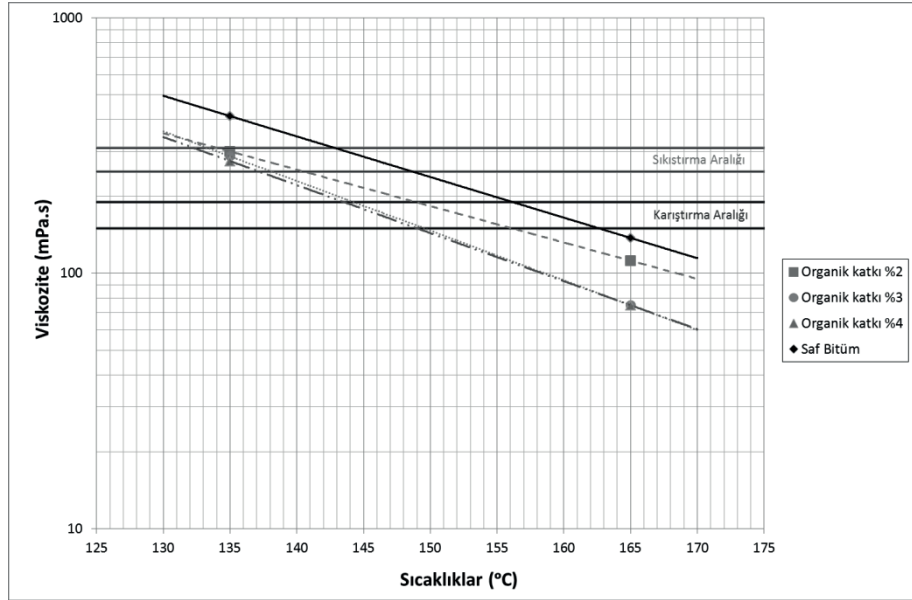
Tablo 5 Organik IKA Katkı Maddesiyle Hazırlanan Bitüme Uygulanan Klasik Bitüm Deneyleri Sonuçları.

Deney Adı	Organik IKA Katkı Maddesi Oranı (%)			
	0%	2%	3%	4%
Penetrasyon (1/10 mm)	55	43	37	31
Yumuşama noktası (°C)	49	61	69	80
Viskozite (135°C,mPa.s)	412,5	300	287,5	275
Viskozite (165°C,mPa.s)	137,5	112	75	75
Parlama Noktası (°C)	260	260	260	260
Duktilite (25°C, cm)	100	100	100	100
Penetrasyon İndeksi (PI)	-1,20	0,89	1,95	3,07
İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (165°C, 5sa.)				
Kütle değişimi (%)	0,04	0,07	0,07	0,08
Penetrasyon Farkı (%)	25	14	13	6
Yumuşama Noktası Farkı (°C)	5	4,3	4,0	2,5

Penetrasyon kıvamlılığının bir göstergesi olmakla birlikte, IKA katkıların viskoziteyi düşürerek işlenebilirliği artırma özellikleri nedeniyle, katkı içeriği arttıkça bitüm örneklerinin viskozitesi düşmüştür. Bunun nedeni, organik katkının soğumasıyla birlikte içerdiği parafin yapısının kristalize lateral hale gelerek sertliğinin arttırmasıdır (Newcomb, 2007). Sertlikteki artışa ek olarak, organik IKA katkısı ile hazırlanan bitümün penetrasyon indeksindeki artış, katkı içeriği arttıkça bitümün sıcaklığa karşı duyarlılığının önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. IKA katkıların en önemli özelliği olan viskozite değerleri göz önüne alındığında, %3 organik IKA katkı maddesi ilavesinden sonraki yüzdelerde önemli bir değişim olmadığı görülmektedir. Bu nedenle, organik IKA katkısı içeren 50/70 penetrasyonlu bitümler için yumuşama noktası, penetrasyon, penetrasyon indeksi ve viskozite değerleri dikkate alındığında %3 katkı içeriğinin optimum olduğu söylenebilir.

Bunlarla birlikte, organik IKA katkı oranı arttıkça, penetrasyon indeksi de artmaktadır. Bu durum, katkı oranı arttıkça numunelerin sıcaklığa bağlı hassasiyetlerinin azaldığını ve tekerlek izi oluşumuna karşı dirençlerinin arttığını göstermektedir.

Organik IKA katkısı içeren bitümle hazırlanan IKA'ların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tespit edilmesi amacıyla, organik IKA katkısının farklı yüzdeleri ile hazırlanan bitüm örneklerinin 135–165°C 'deki viskozite değerleri bulunmuştur. ASTM D2493-09'a göre karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tayininde kullanılan viskozite değerleri sırasıyla 170±20 mPa.s ve 280±30 mPa.s'dir. Seçilen saf bitüm ve organik IKA katkısı ile hazırlanan bitümlü karışımlara ait karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları sırasıyla Şekil 2'de verilmiş ve bunlara bağlı düşüşler Tablo 6'da özetlenmiştir.



Şekil 2 Saf bitüm ve farklı oranlarda organik IKA katkılı bitümlere ait karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları.

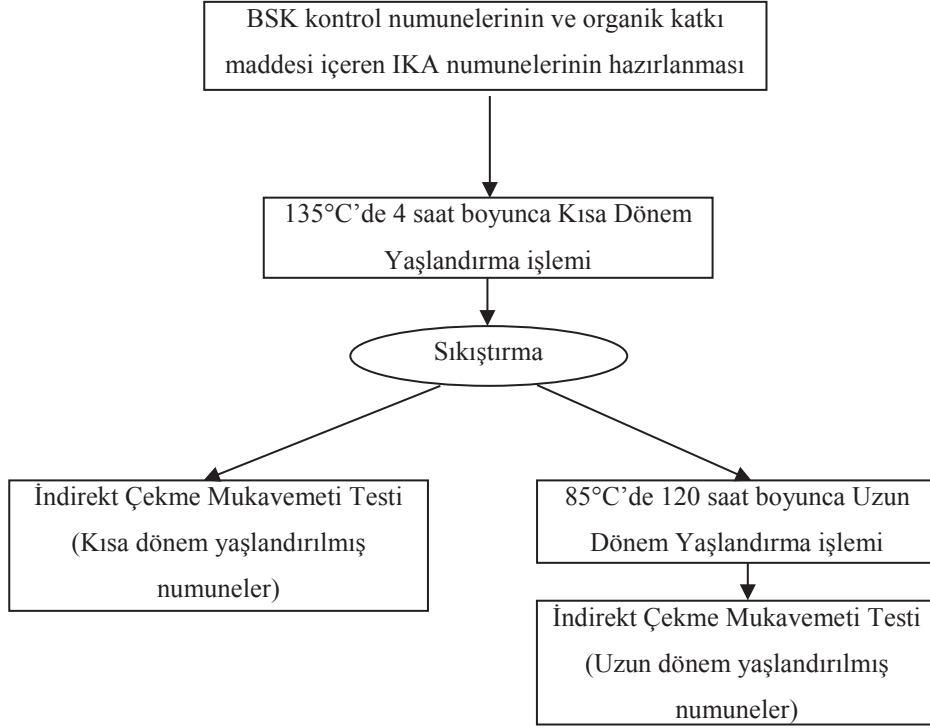
Tablo 6 IKA Katkılarına Ait Karıştırma ve Sıkıştırma Sıcaklıkları.

IKA Katkılar	Katkı İçeriği(%)	Karıştırma Sıcaklığı (°C)	Sıkıştırma Sıcaklığı (°C)
Saf Bitüm	0	157 – 164	144 – 150
Organik Katkı Maddesi	2	147 – 153	134 – 139
	3	142 – 147	133 – 138
	4	142 – 147	132 – 137

Organik IKA katı maddesiyle üretilen bitümün klasik bitüm deney sonuçları elde edildikten sonra uygun karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında IKA karışımları hazırlanmıştır. Saf ve organik katkı içeren bitümlerle hazırlanan karışımların optimum bitüm içerikleri Marshall yöntemiyle sırasıyla %4,72 ve %4,25 olarak tespit edilmiştir.

Farklı içeriklerde organik IKA katkısı içeren bitümler üretildikten sonra AASHTO R 30 standardına göre kısa ve uzun dönem yaşlandırma işlemi yapılarak numuneler hazırlanmıştır. Bunun için tüm numuneler 135°C sıcaklığa ayarlanmış olan havalandırılmalı etüvde 4 saat gevşek (sıkıştırılmamış) karışım olarak kısa dönem yaşlandırılmıştır. Karışımın homojen bir şekilde yaşlandırılması için her saat başı gevşek karışım etüvden çıkartılıp karıştırıldıktan sonra tekrar etüve yerleştirilmiştir. Uzun dönem yaşlandırma işlemi için kısa dönem yaşlandırma işlemi yapıldıktan sonra

Marshall tokmağıyla numunenin her iki yüzeyine 75 darbe uygulanması şeklinde sıkıştırılmış numuneler standartta belirtildiği gibi 16 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra kriko yardımıyla kalıplardan çıkarılarak, 5 gün boyunca 85°C sıcaklıktaki havalandırılmalı bir etüv içerisinde bekletilmiştir. Numunelerin altında bitümün birikmesini engellemek için numuneler her gün etüvden çıkartılıp ters çevrilerek tekrar etüve konulmuştur. Şekil 3'te kısa ve uzun dönem yaşlandırma akış şeması verilmiştir.



Şekil 3 Kısa ve uzun dönem yaşlandırma akış şeması.

Asfalt kaplamalarının mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde, çekme mukavemeti açısından Marshall stabilitesi yerine indirekt çekme mukavemeti değerleri kullanılmaktadır. İndirekt çekme mukavemeti (ITS) kaplamanın rijitliğinin belirlenmesinde en önemli parametrelerden biridir. Marshall cihazının yükleme hızı indirekt çekme deneyine göre ayarlanmalıdır. Bunun için Marshall cihazı menüsünde yükleme hızı 51 mm/dak olarak ayarlanmıştır. ITS deneyi, asfalt numunesinin çekme gerilmelerini belirlemek için uygulanmaktadır. Marshall cihazından okunan ve numunenin dayanabildiği en yüksek yük değeri dikkate alınarak, aşağıda belirtilmiş olan denklem yardımı ile indirekt çekme mukavemeti (kPa) hesaplanmıştır.

$$S_t = \frac{2000 \times P}{\pi \times t \times D} \quad (1)$$

- S_t = İndirekt çekme mukavemeti (ITS), kPa
 P = Uygulanan maksimum yük, N
 t = Numunenin kalınlığı, mm
 D = Numunenin çapı, mm

ITS deneyinde izlenen adımlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

-Asfalt briketin kalınlığı, ASTM D3549 uygun olarak 0,02mm hassasiyetli kumpas yardımıyla, ağırlıkları ise 0,1gr hassasiyetindeki terazi ile ölçülerek kaydedilir.

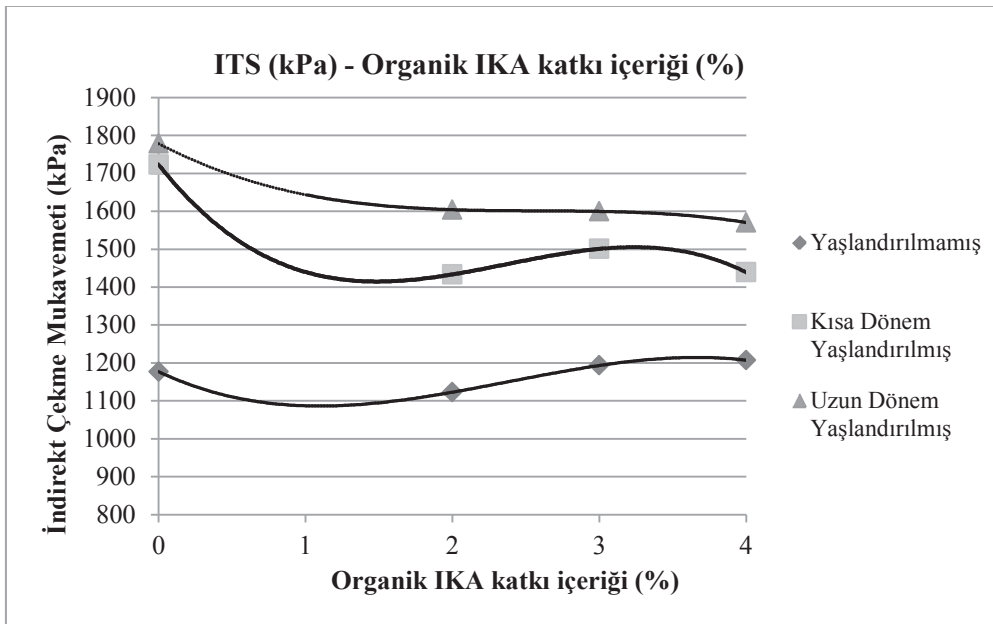
-Asfalt briketi poşetlendikten sonra vakum cihazı yardımı ile 2 saat 25 °C sıcaklıkta olan su banyosunda bekletilir.

-Asfalt briketi su banyosundan çıkartıldıktan sonra, poşet içerisinden çıkarılıp indirekt çekme çerçevesine yerleştirilir. Çerçevenin üst ve alt kısımlarının numunenin tam çapı hizasında olmasına ve ayrıca çerçevenin yan tarafında bulunan demirlerin birbirleri ve yüklem üntesinin demirleri ile paralel olmasına dikkat edilmelidir.

-Asfalt briketi doğru bir şekilde yüklem çerçevesine yerleştirildikten sonra, yük uygulanarak numunenin aksenal kırılması sağlanır. Maksimum yük miktarı cihaz ekranından okunup kaydedilir.

Deney Sonuçları ve Değerlendirmeler

Kısa ve uzun dönem yaşlandırılmış numunelere ait ITS test sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4'te, %0 katkı içeriği saf bitüm değerlerini ifade etmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, yaşlandırılmamış numunelerde organik katkı kullanımı ile numunenin ITS değerinin arttığı tespit edilmiştir. Organik IKA katkısı kullanımı, asfalt betonunun çekme gerilmelerine karşı dayanımını arttırdığını göstermektedir. Bu artış, %3 ve %4 oranında organik IKA katkısı kullanımı durumunda daha belirgindir. Yaşlandırılmamış numuneler için yüksek ITS değeri, içsel bağ kuvvetlerinin güçlü olduğunu ifade etmektedir. IKA katkılarının kullanımı, bitüm ile agrega arasındaki adhezyonu artırarak yüksek içsel bağ sağlamaktadır (Prowell ve Hurley, 2007; Lai ve Tsai, 2008).



Şekil 4 Organik IKA katkısına ait ITS sonuçları.

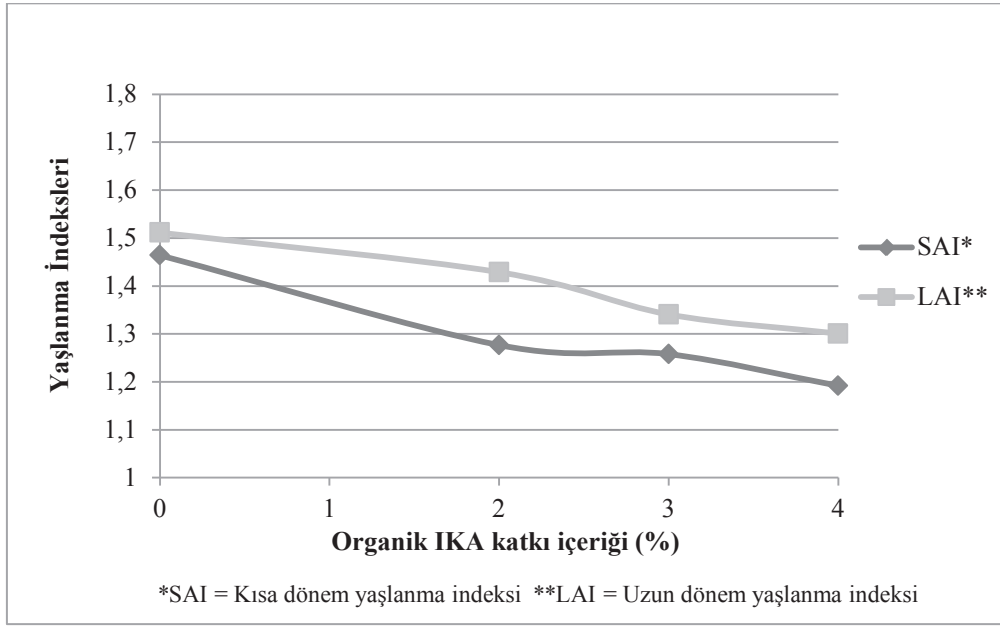
Şekil 4'te görüldüğü üzere, yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış numunelere ait ITS değerleri arasındaki fark, katkı içeriği arttıkça azalmaktadır. Bunun nedeni, organik IKA katkısının kullanımı ile asfalt betonunun daha az yaşlanmasıdır. Yaşlanmayı daha iyi yorumlamak için aşağıdaki formüller kullanılarak Yaşlanma İndeksleri tanımlanmıştır.

Kısa ve uzun dönem yaşlandırılmış numunelerin indirekt çekme mukavemeti (ITS) değerleri ile yaşlandırılmamış kontrol numunelerinin ITS değerleri arasındaki oran

yaşlanma indeksi olarak hesaplanmıştır (Denklem 2-3). Kısa dönem yaşlanma indeksi (Short Term Aging Index (SAI)) ve uzun dönem yaşlanma indeksi (Long Term Aging Index (LAI)) Şekil 5’te görüldüğü gibidir.

$$SAI = \frac{\text{Kısa dönem yaşlandırılmış numunesinin ITS değeri}}{\text{Kontrol numunesinin ITS değeri}} \quad (2)$$

$$LAI = \frac{\text{Uzun dönem yaşlandırılmış numunesinin ITS değeri}}{\text{Kontrol numunesinin ITS değeri}} \quad (3)$$



Şekil 5 Organik IKA katkısı için kısa ve uzun dönem yaşlanma indeksleri.

Elde edilen sonuçlara göre, organik IKA katkısı kullanılarak hazırlanan karışımların yaşlanma indeksleri, BSK'lara göre daha düşüktür. Tanımlanan yaşlanma indeksi göreceli bir değer olup, bitümlü karışımlardaki yaşlanma indeksi ne kadar düşük ise, yaşlanmaya karşı dayanımın o kadar yüksek olduğunu ifade eder.

Sonuçlar

Asfalt kaplamalar trafik yükü ve çevresel faktörlere bağlı olarak belli bir hizmet ömrüne sahiptir. Bu hizmet ömrü ne kadar uzun ise, üstyapı kaplaması bir o kadar ekonomik olacaktır. Mühendislik ekonomisi açısından, bir yapının sadece ilk yapım maliyetinin az olmasını dikkate almaktansa, yapının hizmet süresince göstereceği performans ve buna bağlı olarak bakım ve onarım giderleri de önemli bir kriter olarak dikkate alınmalıdır. Enerji tüketimi açısından, IKA teknolojilerinin ilk yapım maliyetleri BSK'lardan daha az olmaktadır. Ancak bu tür teknolojilerin hizmet ömrü açısından BSK'ya göre ne kadar ekonomik olduklarını araştırmak gereklidir. Bu çalışma kapsamında, bir organik IKA katkısının, bitümün yaşlanma özellikleri üzerindeki etkisi incelenerek, sonuçlar hizmet ömrü açısından BSK'lar (kontrol) ile karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışma sonuçları, organik IKA katkılarıyla üretilen asfaltların yaşlanma açısından, BSK'ya alternatif olabileceğini göstermektedir. Organik IKA katkısının daha

düşük uygulama sıcaklarında asfalt üretimine imkan vermesi, yaşlanma açısından en büyük avantajı oluşturmaktadır.

Teşekkür Çalışma, 110M567 No'lu Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmektedir. Yazarlar, desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a ve Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'ne teşekkür eder.

Kaynaklar

Bell, C. A., Sosnovske, D. and Wieder J. A. (1994) Aging, Binder Validation. SHRP A-384 Report, National Research Council, Washington D.C.

Chowdhury, A. and Button, J. W. (2008) A Review of Warm Mix Asphalt. Report, Texas A&M University System College Station, Texas Transportation Institute, Texas.

D'Angelo, J., Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowser, J., Harman, T., Jamshidi, M., Jones, W., Newcomb, D., Prowell, B., Sines, R., Yeaton, B. (2008) Warm-Mix Asphalt: European Practice. Report, American Trade Initiatives.

Dow, A. W. (1903) Asphalt Experiments at Washington. Engineering News Record, 47, pp. 18–25.

Hurley, G. C. and Prowell, B. D. (2005) Evaluation of Sasobit® for Use in Warm Mix Asphalt. Report, US: National Center for Asphalt Technology, Auburn.

Lai, J. S., and Tsai, J. Y. (2008) Evaluating Constructability and Properties of Advera and REVIX Warm Mix Asphalt : Final Report. Report, Forest Park, Ga: Georgia Dept. Of Education Office of Materials & Research.

Newcomb, D. (2007) An Introduction to Warm-Mix Asphalt. Report, Lanham, MD: National Asphalt Pavement Association.

Prowell, B. D., and Hurley, G. C. (2007) Warm-Mix Asphalt: Best Practices. Report, National Asphalt Pavement Association.

Read, J. (1990) The Shell Bitumen Handbook, University of Nottingham, Londra.

Sengoz, B. ve Agar, E. (2005) Asfalt Film Kalınlığının Bitümlü Karışımların Yaşlanmasına Etkisi. itüdergisi/d mühendislik, İstanbul, Cilt:4, Sayı:1, pp. 71–82.

Traxler, R. N. (1961) Relation Between Asphalt Composition and Hardening by Volatilization and Oxidation. Journal of The Association of Asphalt Paving Technologists, 30, pp. 359–377.

Zaumanis, M. and Haritonovs, V. (2010) Research on Properties of Warm Mix Asphalt. Scientific Journal of Riga Technical University Construction Science, 11, pp. 77–84.

Modifiye Bitümlü Sıcak Karışımların Arazi Performansının Değerlendirilmesi

Necati Kuloğlu

Fırat Üniversitesi İnşaat Müh. Böl. Elazığ
nkuloglu@firat.edu.tr

Ahmet Sertaç Karakaş

İstanbul Üniversitesi Yapı İş. Tek. D. Bşk
skarakas@istanbul.edu.tr

Baha Vural Kök

Fırat Üniversitesi İnşaat Müh. Böl. Elazığ
bvural@firat.edu.tr

Mehmet Yılmaz

Fırat Üniversitesi İnşaat Müh. Böl. Elazığ
mehmetyilmaz@firat.edu.tr

Öz

Ham madde imkânlarının kısıtlı olması, yolların daha uzun servis ömrü sağlaması isteği, fiziksel ve mekanik özelliklerinin daha iyi olması gerekliliği ve bu sayede bakım onarım masraflarını azaltması katkı kullanılması ihtiyacını doğurmuştur. Bu amaçla en çok polimer türü katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada saf karışım ve Stiren-Butadien-Stiren (SBS) modifiye bitüm katkılı sıcak karışımdan oluşan yol güzergâhı üzerinde, 1 yıllık zamanda 3 aylık periyotlarda temin edilen karot numunelerinin rijitlik modülleri ve Marshall stabiliteyi tespit edilerek, ele alınan özelliklerin bir yıl boyunca kaplamanın maruz kaldığı sıcaklık ve çevre şartlarından nasıl etkilendiği incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Modifiyeli karışım, Sıcaklık, Rijitlik, Stabilite.

Giriş

Bitümlü sıcak karışımların hizmet kabiliyeti, trafikten doğan mekanik gerilmeler ve sıcaklığın değişmesinden kaynaklanan fiziksel gerilmeler sebebi ile zamanla azalmakta ve belirli bir seviyede servis ömürlerini tamamladıkları kabul edilmektedir. Trafiğin neden olduğu gerilmeler kalıcı deformasyonlar, yorulma çatlakları gibi bozulmalara yol açarken, sıcaklık değişimleri ve çevresel etkiler hiç trafik yükü olmasa bile kaplamada düşük ısı çatlaklarına ve soyulmalara sebebiyet vermektedir. Bitümlü sıcak karışımların özelliklerini iyileştirerek üstyapının performansını arttırmak amacıyla katkı maddeleri kullanılmaktadır. Katkı maddeleri bitümlü bağlayıcıyla karıştırılabildiği gibi doğrudan karışıma da eklenebilmektedir (Jones, 1990). Bitüme ilave edilen katkı maddeleri içerisinde en fazla polimer türü malzemeler kullanılmaktadır (Isacsson ve Lu, 1995). Stiren-butadien-stiren (SBS), etilen-vinil-asetat (EVA), stiren-etilen-butilen-stiren (SEBS), polietilen (PE) ve polipropilen (PP), polivinil-klorid (PVC) gibi polimerler, bitümlü sıcak karışımlarda denenmiş ve stabilite, nem hasarına karşı dayanım, yorulma dayanımı gibi birçok parametresini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir (Isacsson ve Lu, 1999, Aglan ve diğ., 1993, Tayfur ve diğ., 2007, Yıldırım, 2007).

Bitümlü sıcak karışımlarda görülen nem hasarı, bağlayıcının kohezyonunu yitirmesi ve agrega ile bağlayıcı arasındaki adezyonun bozulması sonucu karışımın bütünlüğünü

yitirmesi olarak tanımlanmaktadır. Adezyon kaybı, bitüm ile agrega arasına suyun girmesi ve bağlayıcının agregadan soyulmasından kaynaklanırken kohezyon kaybı ise, bağlayıcı özelliğinin bozulması sonucu meydana gelmektedir (Terrel ve Al-Swailmi, 1994). Bağlayıcı bünyesindeki uçucu bileşenlerin büyük bir kısmı üretim aşamasında maruz kaldığı aşırı ısıdan dolayı buharlaşmakta ve molekül ağırlığı artan ve dolayısıyla sertleşen bir yapı kazanmaktadır. Bağlayıcının mekaniksel ve kimyasal yapısında meydana gelen değişim servis ömrü boyunca daha düşük bir artış oranı ile devam etmektedir (Giovanni ve diğ., 2006, Gawel ve Baqinska, 2004). Karışımın üretilmesi, serilmesi ve sıkıştırılması esnasında maruz kaldığı yaşlanma, laboratuvarında dönel ince film etüvü ile (RTFOT), uzun sürede maruz kaldığı yaşlanma ise RTFOT kalıntısına basınçlı yaşlandırma kabini (PAV) ile simule edilmektedir. Literatürde yapılan birçok çalışmada, bağlayıcının özelliklerinin karışımın tümünü önemli derecede etkilediği sonucundan, karışımın yaşlanması, karışım içindeki bağlayıcının laboratuvarında tespit edilen yaşlanma karakteristikleri saptanarak değerlendirilmektedir. Yapılan çalışmada 70/100 penetrasyon sınıfındaki saf bağlayıcının yumuşama noktasının RTFOT ve PAV sonrası % 8 ve % 18, 135 °C'deki viskozitesinin ise 2 kat ve 3 kat arttığı belirtilmektedir (Zhang ve diğ., 2010). RTFOT deneyinin 85, 170 ve 255 dakika uygulanması sonucunda saf bağlayıcının asfaltten oranının artmasına neden olarak viskozitesinin 1,53- 2,15 ve 3,95 kat arttığı, bu oranların aynı numunelere PAV deneyi uygulanmasından sonra ise 6-9,5 ve 13,2 kat artış olduğu tespit edilmiştir (Siddiqui ve Ali, 1999). Bağlayıcıların yaşlanma özelliğini azaltacak ılık karışım katkılarının incelendiği çalışmada, katkılı ve saf bağlayıcılar ilk önce RTFOT aletinde kısa süreli yaşlandırıldıktan sonra 60 °C'de 1 mm kalınlığında olacak şekilde 100 günden fazla yaşlandırılmıştır. 100 gün sonra saf bağlayıcının kompleks modülünün 14 kat, ılık karışım katkılı bağlayıcıların ise 7 ile 11 kat arasında arttığı tespit edilmiştir (Banerjee ve diğ., 2012).

Bu çalışmada saf ve SBS modifiyeli olarak serilmiş bir kaplamadan alınan numunelerin rijitlik ve stabilite değerlerinin karşılaştırılması aynı zamanda bu özelliklerin kaplamanın bir yıl içerisinde maruz kaldığı toplam sıcaklık indeksi ile nasıl değiştiği tespit edilmeye çalışılmıştır.

Materyal ve Metod

Çalışmada Şekil 1'de gösterilen yerde yaklaşık 50 m'lik bir güzergâha yarısı saf bağlayıcı ile yarısı ise modifiyeli bağlayıcı ile hazırlanan sıcak karışımın serilerek sıkıştırılmıştır. Belirlenen güzergâhta bir yıl içinde yapılan sayımlarda toplam 7432 eşdeğer standart dingil yükü geçtiği tespit edilmiştir. Tali bir yol olduğundan dolayı geçen az sayıdaki dingil yükü değerlendirmelerde dikkate alınmamış, sıcaklığın rijitlik ve stabilite üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Saf bağlayıcı olarak TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen B 50/70 sınıfı asfalt çimentosu kullanılmıştır. Bağlayıcı modifikasyonunda Shell Bitumen şirketi tarafından üretilen Stiren-Butadien-Stiren (SBS) blok kopolimer ihtiva eden KRATON D 1101 kullanılmıştır. SBS oranı %5 olarak sabit tutulmuştur. Karışıma ait gradasyon Tablo 1'de, agrega özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1 Agregada Gradasyonu.

Elek boyutu (mm)	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
% Geçen	100	95	86,9	60,5	39	24	18	14	9,5	5

Tablo 2 Agregada Özellikleri.

Özellikler	Standart	Kaba	İnce	Filler
Aşınma Kaybı, % (LosAngeles)	ASTM C 131	20	-	-
Donma Kaybı, % (Na ₂ So ₄)	ASTM C 88	2,5	-	-
Soyulma Mukavemeti (%)		60-65		
Yassılık İndeksi (%)	BS 812	23,7		
Özgül Ağırlık, gr / cm ³	ASTM C127	2,682	-	-
Su Emme, %	ASTM C127	0,49	1,07	-
Özgül Ağırlık, gr / cm ³	ASTM C128	-	2,637	-
Özgül Ağırlık, gr / cm ³	ASTM D854	-	-	2,701



Şekil 1 Kaplamanın Serildiği Lokasyon.

Katkılı ve katkısız karışımların optimum bitüm içerikleri Marshall yöntemine göre her iki yüzüne 75 darbe uygulanarak belirlenmiştir. Tablo 3'te karışımların tasarım değerleri verilmiştir.

Tablo 3 Karışımların Tasarım Değerleri.

Karışımlar	Optimum bitüm içeriği (%)	Gmb	Vh (%)	Vma (%)	Vf (%)
Katkısız	4,95	2,425	4,22	14,75	71,38
Katkılı	5,24	2,411	3,10	13,90	75,40

Gmb: Hacim özgül ağırlık, Vh: Hava boşluğu, Vf: Asfaltla dolu boşluk, Vma: Agregalar arası boşluk.

Belirlenen tasarıma göre serilip sıkıştırılmış kaplamadan üç aylık periyotlarda taşıt geçişlerinin olduğu yolun tekerlek geçiş bölgelerinde ve yol kenar banket bölgelerinden karot numuneleri temin edilmiştir. Karot numuneleri Marshall briket boyutlarına getirilerek numunelere Rijitlik Modülü ve Marshall deneyi uygulanmıştır. Şekil 2'de normal ve SBS katkılı yol güzergahı, numunelerin karot cihazıyla temin edilmesi gösterilmiştir. Tablo 4'te karot numunelerinin ortalama hacimsel özellikleri verilmiştir.

Tablo 4 Karot Numunelerinin Hacimsel Özellikleri.

Numune	Gmb	Vh (%)	Vma (%)	Vf (%)
N	2.267	8.929	19.362	53.899
NK	2.280	8.43	18.92	55.480
S	2.271	8.369	19.457	57.032
SK	2.280	8.004	19.136	58.188



Şekil 2 Karot Numunelerinin Alınması.

Marshall deneyinde kullanılan karot numunelerinin harflerle ifade edilişi Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5 Karot Numunelerinin Gösterimi.

Karışım Türü	Kısaltma
Katkısız yol kenarı karot numuneleri	NK
SBS katkılı yol kenarı karot numuneleri	SK
Katkısız tekerlek geçiş bölgesi karot numuneleri	N
SBS katkılı tekerlek geçiş bölgesi karot numuneleri	S

Deneysel Çalışma

İndirekt Çekme Rijitlik Modülü Deneyi

Bitümlü tabakaların yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsü olan rijitlik modülü, bitümlü sıcak karışımların en önemli performans karakteristiklerinden biridir. Bu deney BS DD 213 standardı ile tanımlanmış hasarsız bir deney olup rijitlik modülü (S_m , MPa) Formül 1 ile hesaplanmaktadır.

$$S_m = F(R+0,27) / LH \quad (1)$$

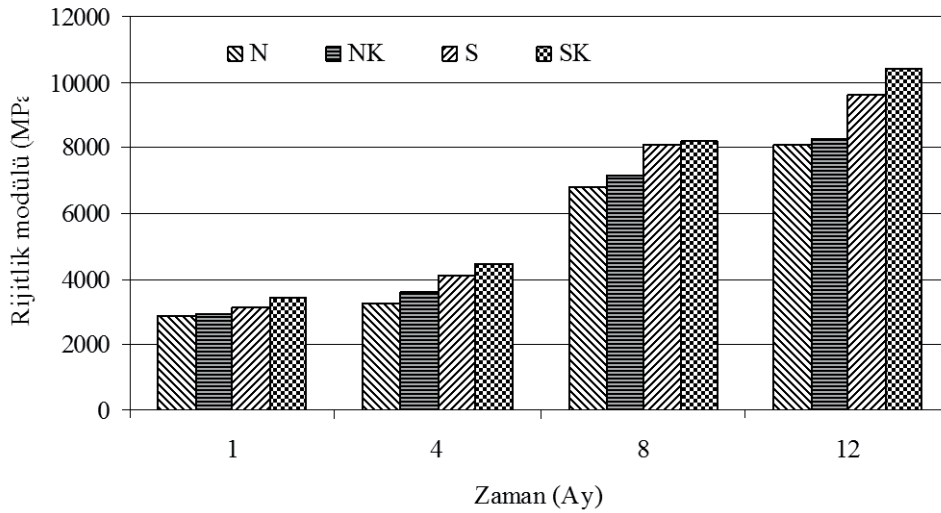
Burada F, maksimum dikey yük (N); H, 5 yük tekrarı sonucunda oluşan ortalama yatay deformasyon (μm); L, ortalama numune kalınlığı (mm); R ise poisson oranıdır (0,35). Deney, 25°C sıcaklıkta deformasyon kontrollü olarak yapılmıştır. Maksimum deformasyon 6 μm , yükleme periyodu 3 sn, yük artış süresi 0,124 sn olarak alınmıştır. Yükleme başlığı pnömatik olarak çalışan cihaz, ilk önce numunede 6 μm deformasyon oluşturacak yük değerini ayarlamak için 5 adet deneme yüklemesi yapmaktadır. Deneme yüklemesinden sonra gerekli olan yükü ayarlayan cihaz, gerçek yüklemeleri yapmakta ve her darbeye 6 μm deformasyon oluşması için gerekli yük değerini

kaydetmektedir. Sonuçta 5 yüklemenin ortalama değerini ve standart sapmaları vermektedir. Deneylerde standart sapması %10'dan fazla olan numuneler iptal edilmiştir. Deneyde her bir karışım tipi için üç numune hazırlanmış ve her bir numune üç ayrı yerinden test edilmiştir. Rijitlik modülü değerleri hesaplanırken her numune için 9 değer dikkate alınmıştır. Tablo 6'da rijitlik modülü deneyinden elde edilen ortalama deney sonuçları, Şekil 3'te ise sonuçların grafiksel gösterimi verilmiştir.

Tablo 6 Numunelerin Rijitlik Modülü (MPa) Deney Sonuçları.

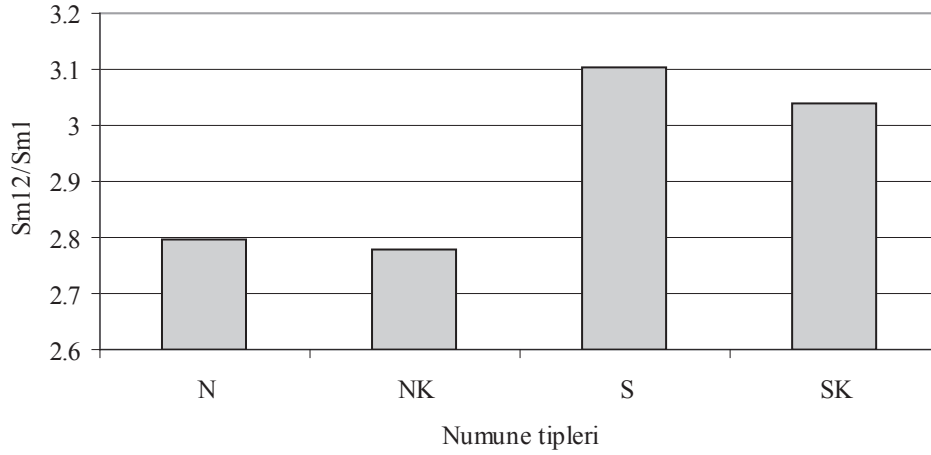
Numune tipi	Zaman (Ay)			
	1	4	8	12
N	2879	3221	6824	8052
NK	2963	3603	7139	8238
S	3105	4089	8058	9636
SK	3414	4465	8207	10379

Grafikte rijitlik modüllerinin zamanla önemli derecede arttığı görülmektedir. Ayrıca SBS katkılı ve katkısız yol kenarı ve teker geçiş güzergahındaki numunelerin rijitlik modülleri, zaman faktöründen aynı şekilde etkilenmektedir. SBS katkılı numunelerin rijitlik modülleri saf karışıma göre %8 ile %27 arasında artış göstermektedir. Banketten alınan numunelerin rijitlik modülleri 1 yıllık zaman diliminde teker geçiş güzergahındaki numunelerin değerlerinden saf karışımlarda %2,3 ile %11,8, katkılı numunelerde %1.8 ile %10 arasında daha fazla çıkmıştır. Bu artışın banketten alınan numunelerin boşluk oranlarının ortadaki numunelere göre bir miktar az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu boşluk oranındaki küçük azalmanın ise banket kenarlarında kaldırım bordürlerinin yanıl destek sağlaması sonucu bir miktar daha fazla sıkışmadan kaynaklandığı söylenebilir.



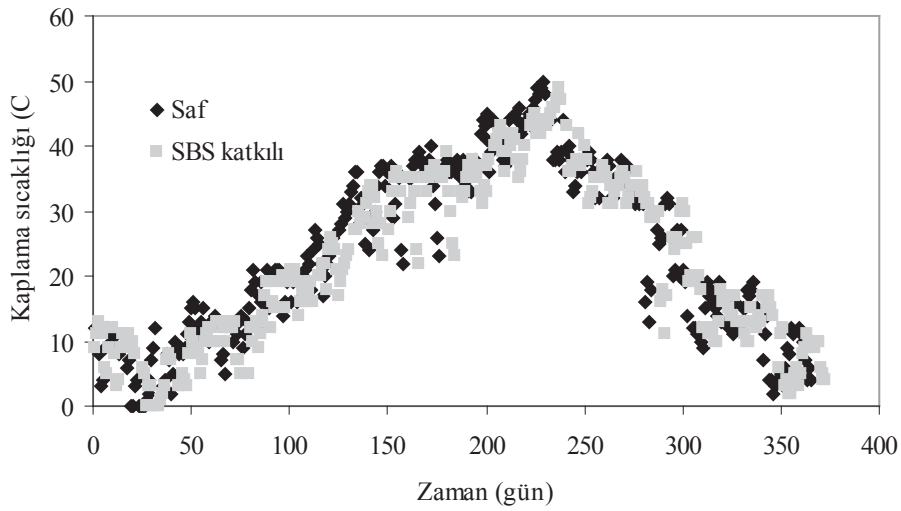
Şekil 3 Rijitlik Modüllerinin Zamanla Değişimi.

Şekil 4'te numunelerin 12.aydaki rijitlik modüllerinin 1.aydaki rijitlik modüllerine oranı verilmiştir. Saf karışımların bir yıl sonraki rijitlik modülleri ilk aydaki rijitlik modüllerinden yaklaşık 2,8 kat, SBS modifiyeli karışımlarda ise yaklaşık 3 kat fazla olmaktadır. Bu sonuçtan kaplamanın maruz kalacağı çevresel koşullar altında, rijitlik modüllerinin laboratuvarında tasarım esnasında tespit edilenden çok farklı olacağı anlaşılmaktadır.



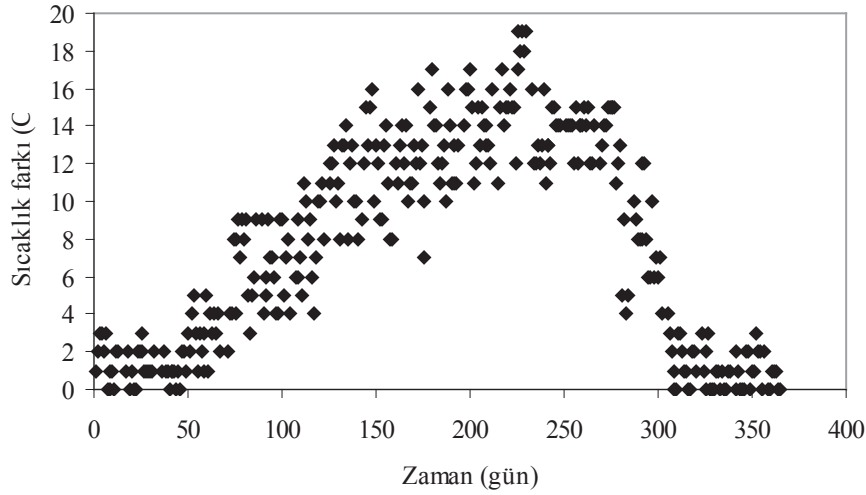
Şekil 4 Rijitlik Modülü İndisleri.

Şekil 5'te bir yıllık zaman diliminde (ocak ayı başı – aralık ayı sonu) saf ve katkı kaplama kesimlerinde yapılan sıcaklık ölçümlerinin zamanla değişimi verilmiştir.



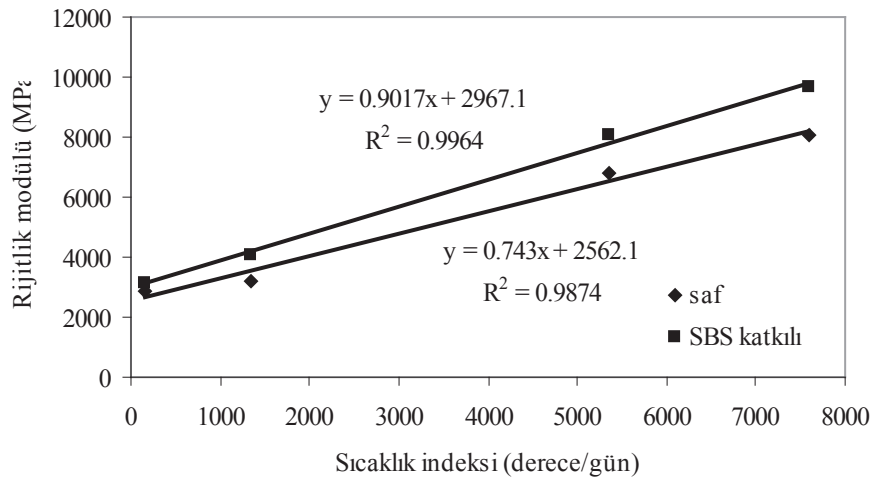
Şekil 5 Kaplama Sıcaklığının Zamanla Değişimi.

Şekilden görüldüğü üzere 8.ayın (240.gün) sonuna kadar katkı kaplama kesiminin sıcaklığı katkısızdan 1-2 °C daha düşük, Ağustos Aralık ayları arasında ise hemen hemen aynı sıcaklık değerlerindedirler. SBS katkısının kaplamanın ilk dönemlerinde ve hava sıcaklıklarının yüksek olması durumunda ısınma özelliklerini çok az oranda etkileyebileceği görülmüştür. Şekil 6'da ortalama hava sıcaklıkları ile kaplama sıcaklıkları arasındaki fark, bir yıllık zaman dilimi için verilmiştir.



Şekil 6 Kaplama ve Hava Sıcaklık Farkının Zamanla Değişimi.

Ağustos ayı ortasında ortalama hava sıcaklığı 32 °C kaplama sıcaklığı ise 50 °C olarak ölçülmüştür. Bitümlü karışımların ısıyı absorbe ederek bünyesinde tutmasından dolayı ısı kapasiteleri yüksek olmaktadır. Laboratuarda yapılan deneyler kısa sürede ve kontrollü bir sıcaklık ortamında yapıldığından hava sıcaklığı ile karışım sıcaklığı birbirinden çok farklı olmamakta, arazide ise kaplama sıcaklığı hava sıcaklığında %56 daha fazla olabilmektedir. Sıcaklığa karşı aşırı duyarlı olan bitümlü karışımların bu özelliğine bağlı olarak, inceleme yapılan yolda kaplamanın 1, 4, 8 ve 12. aylarında maruz kaldığı sıcaklık indeksleri belirlenerek bu değerlerin rijitlik modülü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kaplamanın sıcaklık indeksleri; maruz kalınan sıcaklıkların gün sayıları ile çarpılıp, toplanması ile derece/gün olarak belirlenmiştir. Buna göre 1.4.8.ve 12. aylardaki sıcaklık indeksleri sırasıyla 163, 1337, 5352 ve 7586 derece/gün olarak tespit edilmiştir. Şekil 7’de sıcaklık indeksleri ile rijitlik modülleri arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 7 Sıcaklık İndeksi- Rijitlik Modülü İlişkisi.

Sıcaklık indeksleri ile rijitlik modülü arasında yüksek bir belirleme katsayısı ile doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Kaplamanın sürekli maruz kaldığı sıcaklıkların birbiri

üzerine eklenerek karışımın yaşlanmasına ve dolayısıyla sertleşmesine önemli derecede etkisi olduğu şekilden görülmektedir.

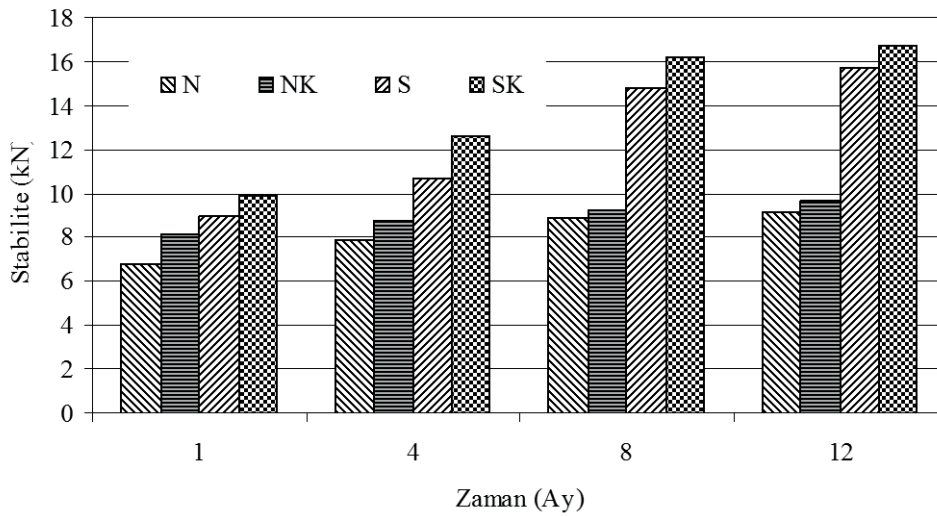
Marshall Stabilite ve Akma Deneyi

Araziden getirilen numuneler 30 dakika 60 °C'lik su banyosunda bekletildikten sonra stabilite ve akma değerleri tespit edilmiştir. Numunelerin boşluk oranlarının yüksek olmasından dolayı akma değerleri de yüksek çıkmıştır. Deney sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

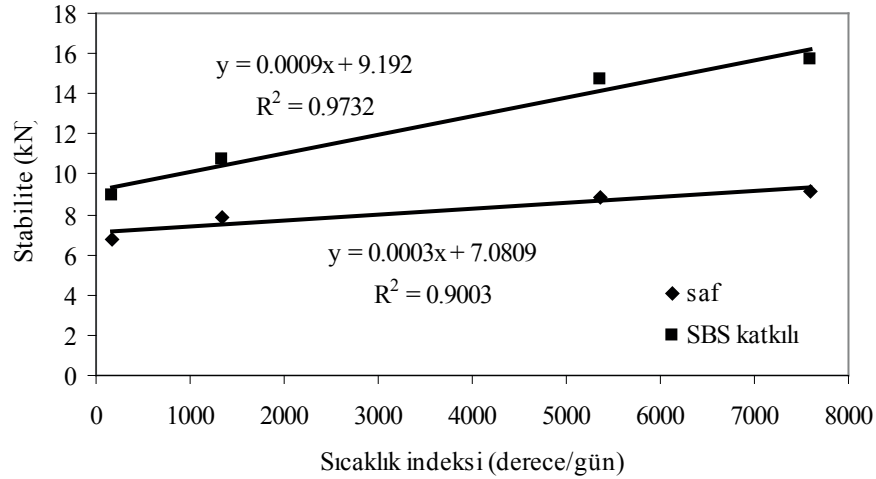
Tablo 7 Marshall Stabilite ve Akma Deney Sonuçları.

Numune tipi	Zaman (Ay)											
	1			4			8			12		
	Stb.	Akma	S/A	Stb.	Akma	S/A	Stb.	Akma	S/A	Stb.	Akma	S/A
N	6,77	7,48	0,905	7,82	7,63	1,025	8,90	7,91	1.125	9,11	7,21	1,264
NK	8,13	7,85	1,036	8,73	7,43	1,175	9,19	7,52	1.222	9,70	7,70	1,260
S	8,93	6,34	1,409	10,70	6,84	1,564	14,76	6,49	2.274	15,74	5,02	3,135
SK	9,87	6,01	1,642	12,60	6,98	1,805	16,19	6,77	2.391	16,72	5,08	3,291

Şekil 8'de numunelerin stabilite değerlerinde zamanla meydana gelen değişimleri verilmiştir. Numunelerde zamanla meydana gelen oksidasyon neticesinde stabilite değerlerinde önemli derecede artışlar olmuştur. SBS katkılı numunelerin stabilite değerleri saf karışıma göre 1. ve 12. aylar arasında %24 ile %72 oranında artış göstermiştir. Kaplamanın serilmesinden bir yıl sonra alınan numunelerin stabilite değerleri ilk aydaki stabilite değerlerinden normal karışımlarda %34, SBS katkılı karışımlarda %76 oranında artmıştır. Tablo 7'den, Marshall stabilitesi değerinin akmaya oranından elde edilen ve BSK numunelerinin sertliğinin bir göstergesi olan Marshall oranı (S/A) değerlerinin zamanla arttığı, bu artışın SBS modifiyeli karışımlarda akma değerlerinin zamanla azalmasından dolayı daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 9'da stabilite ile sıcaklık indeksi arasındaki ilişki verilmiştir. Numunelerin zaman ilerledikçe stabilite değerlerinde meydana gelen artışın maruz kalınan toplam sıcaklıkla lineer olarak arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 8 Stabilite Zamanla Değişimi.



Şekil 9 Stabilite-Sıcaklık İndeksi İlişkisi.

Sonuç

Bu çalışmada çok az trafiğe sahip bir yol güzergâhına hem katkısız hem de agrega ağırlığına %5 SBS modifiyeli sıcak karışım, aşınma tabakası olarak serilip sıkıştırılmıştır. Bu kaplamadan bir yıllık süre içerisinde üç aylık periyotlarda kaplama kenarından ve ortasından karot numuneleri alınarak, rijitlik modülleri ve stabiliteyi incelenmiştir. Saf karışımların bir yıl sonraki rijitlik modülleri ilk aydaki rijitlik modüllerinden yaklaşık 2,8 kat; SBS modifiyeli karışımlarda ise yaklaşık 3 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Stabiliteyi bir yıl içerisinde meydana gelen artışın normal karışımlarda %34, SBS katkılı karışımlarda ise %76 oranında olduğu belirlenmiştir. Yola yerleştirilen sıcaklık ölçer sayesinde özellikle yüksek hava sıcaklıklarında kaplama sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki farkın önemli derecede arttığı, normal karışım ile SBS modifiyeli karışım sıcaklıkları arasında ise önemli bir farkın oluşmadığı tespit edilmiştir. Kaplamanın bir yıl içerisinde maruz kaldığı toplam sıcaklık indeksi ile rijitlik modülü ve stabilite arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.

Kaynaklar

Aglan, H., Othman, A., Figueroa, L. and Rollings, R. (1993) Effect of Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer on Fatigue Crack Propagation Behavior of Asphalt Concrete Mixtures. Transportation Research Record, ISSN 0738-6826, USA, (1417), pp. 178-186.

Banerjee, A., Smit, A. F., Prozzi, J. A. (2012) The Effect of Long-term Aging on the Rheology of Warm Mix Asphalt Binders. Fuel, (97), pp. 603-611.

Gawel I, Baqinska K. (2004) Effect of Chemical Nature on the Susceptibility of Asphalt to Aging. Petrol Science Technology, (22), pp. 1261-71.

Giovanni P, Jiri S, Dario B. and Ludovit Z. (2006) Relation Between Polymer Architecture and Nonlinear Viscoelastic Behavior of Modified Asphalts. Current Opinion in Colloid Interfaca Science, (11), pp. 230–45.

Isacsson, U. and Lu, X. (1995) Testing and Appraisal of Polymer Modified Road Bitumens – State of the Art. Materials and Structures, ISSN 1359-5997, Netherlands, (28), pp. 139-159.

Isacsson, U. and Lu, X. (1999) Characterization of Bitumens Modified with SEBS, EVA and EBA polymers. Journal of Materials Science, ISSN 0022-2461, Netherlands, (34), pp. 3737-3745.

Jones, R. (1990) Modifiers for Asphalt Concrete. Air Force Engineering and Service Center Project, No: ESL–TR–88-32, USA.

Siddiqui, M. N. and Ali, M.F. (1999) Studies on the Aging Behavior of the Arabian Asphalts. Fuel, (78), pp. 1005–1015.

Tayfur, S., Özen, H. and Aksoy, A. (2007) Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers. Construction and Building Materials, ISSN 0950-0618, England, (21), pp. 328-337.

Terrel R. L, Al-Swailmi S. (1994) Water Sensitivity of Asphalt-Aggregate Mixes: Test Selection. SHRP-A-403, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.

Yıldırım, Y. (2007) Polymer Modified Asphalt Binders. Construction and Building Materials, ISSN 0950-0618, England, (21), pp. 66-72.

Zhang, F., Yu, J., Wu, S. (2010) Effect of Ageing on Rheological Properties of Storage-Stable SBS/Sulfur-Modified Asphalts. Journal of Hazardous Materials, (182), pp. 507–517.

Şamandıra Tesisleri Dönüşüm Projesi: Samsun Kirazlık Körfezi Uygulaması

Selçuk Nas

Dokuz Eylül Üniversitesi
Denizcilik Fakültesi Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü
Tınaztepe Kampüsü Buca İzmir
0 232 3018801
snas@deu.edu.tr

ÖZ

“Şamandıra Tesisleri Dönüşüm Projesi”nde amaç, belirli bir kıyı bölgesinde, kendilerine ait şamandıra bağlama düzeni içerisinde sıvı yük elleçleyen komşu tesislerin, gemi operasyonlarının konsolide edilerek, şamandıra tesislerinin işgal ettiği kıyı alanlarının tekrar kazanılması ve tek merkezden yönetilen emniyetli ve çevreye duyarlı yük operasyonları gerçekleştirebilen tesis veya tesislerin oluşturulmasıdır. Proje kapsamında, öncelikle dönüşüm sahası içerisindeki şamandıra tesislerinin gemi geliş zamanlarına ait veriler, gemilerin yük elleçleme sürelerine ait veriler, gelen gemi tipi ve ölçülerine ait veriler, elleçlenen yük tipi ve elleçleme kapasitelerine ait veriler toplanmıştır. Toplanan veriler kullanılarak geliştirilen algoritma ile ihtiyaç duyulabilecek yanaşma yeri sayısı simülasyon yöntemiyle tespit edilmiştir. Bu tespit sırasında gelecekteki gemi trafik artışları ve yeni girişimci talepleri de dikkate alınmıştır. Projenin ikinci aşamasında, tesislere gelen gemi tip ve ölçülerine ait veriler kullanılarak, gemiler için uygun yanaşma yeri ölçüleri belirlenmiş ve terminal için taslak plan geliştirilmiştir. Projenin üçüncü aşamasında ise gemilerin draft verileri, bölgedeki batimetrik veriler, bölge meteorolojik verileri, bölgedeki kılavuz kaptanların tecrübe ve görüşleri dikkate alınarak, terminal yerleri belirlenmiştir. Terminal yerleri belirlenirken, proje sırasında yapılacak inşaat aşamalarının mevcut terminallerin operasyonlarını aksatmayacak bir düzen içerisinde dönüşümü planlanmıştır. Projenin dördüncü aşamasında, planlanarak yeri ve doğrultusu belirlenen terminallerin gemi barınma emniyeti açısından uygun olup olmadığı uluslararası standartlar referans alınarak köprüüstü simülatöründe simülasyon testleri yapılmıştır. Bu testler sırasında “emniyetli gemi yük operasyonları için gemi hareket limitleri” esas alınarak en küçük geminin terminal operasyon limitleri belirlenmiştir. Projenin beşinci aşamasında projenin kaba maliyeti çıkartılarak, işletme stratejileri için öneriler yapılarak proje tamamlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Şamandıra tesisleri, Şamandıra bağlama düzeni, Akaryakıt tankeri, Yük operasyonu, Terminal.

Giriş

Şamandıra bağlama düzenlerinde sıvı yük taşıyan konvansiyonel tankerler, baştan gemi demirleri ile kıçtan da şamandıralara verilen halatlar yardımıyla su üstünde

sabitlenmektedir. Sahildeki tank ile gemi arasında deniz altında serili olan boru hatları yardımıyla yük transferleri gerçekleştirilmektedir. Akaryakıt ve depolama tesislerinin şamandıra bağlama düzeni içerisinde sıvı yük operasyonu yapması, Türkiye’de çok rağbet gören bir sistemdir. Bunun nedeni, sabit platform terminallerine nazaran kurulması ve işletilmesi çok daha ekonomik olmasıdır. Öte yandan bu şamandıra bağlama düzenlerinde gemilerin boyu ile gemi demir zincirinin uzunluğunun toplamı yarı çap olarak kabul edilerek çizilecek dairenin oluşturduğu saha DLH (2007), geminin emniyetli manevra sahası olarak kabul edilmektedir (100 m’lik bir gemi için yaklaşık 24.000 m² olarak hesaplanabilir). Bu saha kaba bir hesapla, sabit rıhtımlarda manevra yapan gemilerin emniyetli manevra sahasının % 50 si kadar fazladır. Ayrıca; şamandıra bağlama düzenlerinin manevra sahası ile boru hattının deniz dibinde serili olduğu hat boyunca yeni bir komşu kıyı tesis kurulmadığı gibi, bu sahaların güvenliği ve emniyeti açısından diğer denizcilik faaliyetlerinin yapılması da kısıtlanmaktadır. Samsun, Ambarlı, İskenderun, Antalya ve Mersin bu tip yan yana kurulmuş şamandıra bağlama düzenleri bulunmaktadır. Ayrıca bu tip tesisler, kıyıdaki imkan ve kabiliyetleri, elleçlenen yük tipi ve yatırım miktarı göz önüne alındığında tesislerin sadece kendi amaçlarına uygun olarak planlandığı görülmektedir. Bu nedenle üçüncü şahıslara hizmet verebilen bir yapıları olmayıp, ortak kullanım olanakları da bulunmamaktadır. Büyük deniz sahalarını işgal eden bu tip tesisler, yeni tesislerin açılmasını da imkansız hale getirmektedir. Ayrıca kapasite kullanım oranı düşük kalan, yılda 10 adet geminin bile elleçlenemediği bu tip tesisler, kıyı alanlarının etkin ve verimli kullanılmasının önünde engel oluşturmaktadır.

T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Tersaneler ve Kıyı Yapıları Genel Müdürlüğü, kıyı alanlarının etkin ve verimli bir şekilde kullanılmasının önünde engel oluşturan ve oluşturduğu olumsuzlukları yukarıda sıralanan şamandıra bağlama düzenlerine yönelik olarak “Şamandıra Bağlama Düzenleri Dönüşüm Projesi” başlatılmıştır. Projede şamandıra bağlama düzenlerinin işgal ettiği kıyı alanları temizlenerek yerine sabit platform terminallerinin kurulması ve akaryakıt depolama tesislerinin ortak kullanımına açılması planlanmaktadır.

Kirazlık Körfezi Şamandıra Tesisleri

Projenin başladığı 2012 Kasım ayı itibariyle Kirazlık Körfezi’nde 8 adet şamandıra tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerden iki tanesi OMV Petrol Ofisi A. Ş.’ye ait olup bu çalışmada tek bir tesismiş gibi değerlendirilmiştir. Aşağıda sunulan Şekil 1’de Kirazlık Körfezi’ndeki şamandıra tesislerinin yerlerini göstermektedir. Kirazlık Körfezi’nde mevcut şamandıra tesislerinin bu rapor içerisinde kullanılan kısaltmaları aşağıda sıralanmıştır.

AKPET	: AKPET AKARYAKIT DAĞ.A.Ş. SAMSUN DOLUM TESİSİ
ALPET	: ALTINBAŞ PETROL ve TİC. A.Ş. SAMSUN TERMİNALİ
AYGAZ	: AYGAZ AŞ SAMSUN TERMİNAL MÜDÜRLÜĞÜ
MİLANGAZ	: MİLANGAZ LPG DAĞ. TİC. ve SAN. A.Ş. SAMSUN TERMİNALİ
OMV	: OMV PETROL OFİSİ A.Ş.
SADAŞ	: SAMSUN AKARYAKIT DEPOLAMA A.Ş.
YILDIZ	: YILDIZ ENTEGRE ŞAMANDIRA TESİSİ



Şekil 1 Kirazlık Körfezi Şamandıra Tesisleri ve Konumları.

Şekil 1’de mavi renkte gösterilen tesisler akaryakıt elleçleyen tesisler olup, sarı renkte gösterilenler ise LPG yükü elleçleyen tesislerdir. Kırmızı renkte gösterilen tesis ise bölgede kimyasal madde elleçleyen tek tesis olan Yıldız’dır. Akpet şamandıra tesisinde ise hem LPG hem de akaryakıt yükü elleçlenmektedir. Kirazlık Körfezi şamandıra tesislerine gelen akaryakıt gemileri 183 metre ile 58 metre arasında değişmektedir. LPG tankeri 158 metre ile 64 metre, kimyasal tanker ise 96,7 metre ile 91,7 metre arasında değişmektedir. 2011 yılı verilerine göre bölgede en çok akaryakıt gemisi elleçleyen tesisler sırasıyla SADAŞ (56 adet), OMV (48 adet), Akpet (14 adet) ve Alpet (10 adet) şeklindedir. Bölgeye gelen LPG gemilerini elleçleyen tesisler sırasıyla, AYGAZ (65 adet), Milangaz (33 adet), Akpet (13 adet) şeklindedir. Akaryakıt elleçlenen tesislerde en hızlı yük operasyonu yapılan tesisler sırasıyla SADAŞ (14 saat), Akpet (1 gün 6 saat), OMV (1 gün 9 saat), Alpet (1 gün 13 saat) şeklindedir. LPG elleçlenen tesislerde en hızlı yük operasyonu yapılan tesisler sırasıyla Milangaz (23 saat), Aygaz (1 gün 2 saat) şeklindedir. Akpet tesisinden bu konuda veri alınamamıştır. Projede tesislere gelen gemiler yük tiplerine göre ayrılarak, akaryakıt ve LPG tankerlerinin geliş sıklıklarına hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sırasıyla; Gelen gemilerin gelişleri arasındaki zaman farklarının dağılımı dikkate alınmıştır. Gelen gemiler, LPG ve Akaryakıt olarak iki farklı dağılım altında incelenmiştir. Terminallerdeki planlanan yanaşma yerlerindeki kalış süresi için, akaryakıt ve LPG yükleri için gemi operasyon sürelerinin dağılımları dikkate alınmıştır. Gelecekteki yeni tesis ihtiyaçları ve pazarın büyümesi nedeniyle gemi trafiğindeki artış için kabul edilen öngörü, mevcut gemi trafiğinin % 100 fazlası olarak kabul edilmiştir.

Terminallerin Yanaşma Yeri Sayısının Simülasyon Yöntemiyle Tespiti

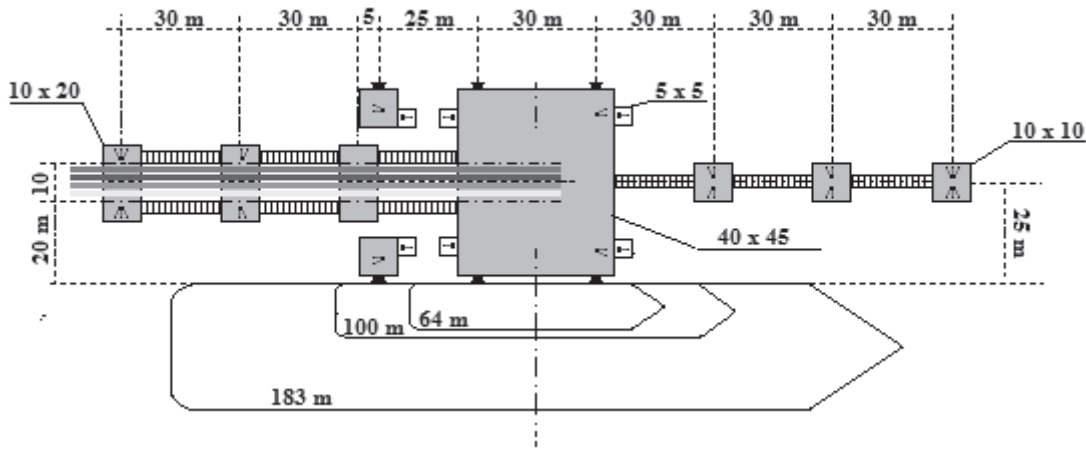
Projede bölgedeki gemi trafiği verileri kullanılarak bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Simülasyon çalıştırılarak gemiler için gerekli yanaşma yeri sayıları yük tiplerine göre ayrı ayrı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için gemi hareketleri ile ilgili algoritma ve akış diyagramı geliştirilerek, simülasyon programına veri girişleri yapılmıştır. Araştırmada öncelikle mevcut durumun verileri Promodelsimülasyon programında değerlendirilmiştir. Daha sonra, sahada yeni tesis kurma talebinde bulunan

tesisler ve gelecekte yük artış talepleri de dikkate alınarak, gerekli olana yanaşma yeri sayısı tespit edilmiştir. 128 gemi için Akaryakıt Terminalinde iki yanaşma yeri tercih edildiğinde; iki yanaşma yerinin etkin bir yönetim anlayışı kapsamında yeterli olabileceği tespit edilmiştir. 111 gemi için LPG Terminalinde iki yanaşma yeri tercih edildiğinde; iki yanaşma yerinin yeterli olabileceği tespit edilmiştir.

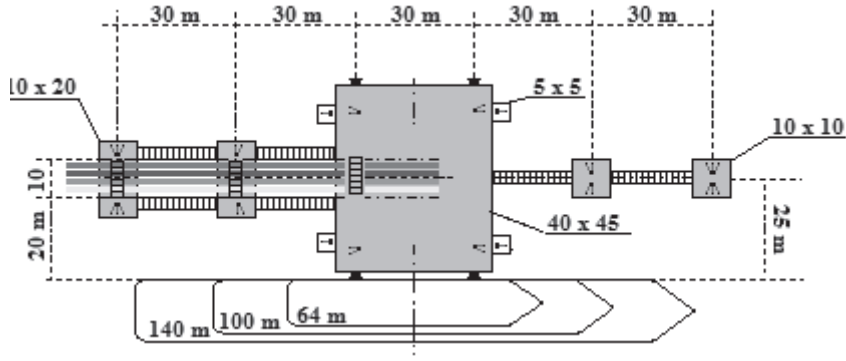
Samsun Kirazlık Körfezi Terminallerinin Tasarımı İçin Ön Çalışma

Terminal planlanması sırasında en önemli kriterlerin başında, terminal için tasarım gemilerinin belirlenmesi ve bu gemilerin tam boy değerleridir. Samsun Kirazlık Körfezi Terminallerine gelen gemilerin yük tiplerine göre, tam boy ortalamaları, maksimum, minimum değerleri, ve tam boy mod ortalama değerleri hesaplanmıştır. Akaryakıt tankerlerinin aritmetik ortalama tam boy değerleri 113 m. iken, mod ortalama değeri 93 m. olarak tespit edilmiştir. LPG tankerlerinin aritmetik ortalama tam boy değerleri 93 m. iken, mod ortalama değeri 77 m ve 100 m. olarak tespit edilmiştir. Samsun Kirazlık Körfezi Terminallerine gelen akaryakıt tankerlerinin tam boyları ile ilgili dağılımlar hesaplanmıştır.

Terminal tasarımı ile ilgili olarak öncelikle OCIMF'in (The Oil Companies International Marine Forum.) terminaller ile ilgili standartları dikkate alınarak tasarım çalışmaları yapılmıştır. Tasarımlarda öncelikle yukarıdaki yük tipine göre tankerlerin tam boyları değerlendirilmiştir. Tespit edilen tam boylara ait dağılımlar dikkate alınarak, tankerlerin paralel yanaşma mesafeleri belirlenmiştir. OCIMF'in (2008) Bağlama Ekipmanları Rehberinde tankerlerin terminallerde yaslayacağı usturmaçalar arasındaki mesafenin, gemi tam boyunun 0,25 – 0,4'ü olacağı belirtilmektedir. Bu ölçütün referans alınarak terminallerin tüm gemilerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde geliştirilmesinin güç olacağı tespit edilmiştir. En büyük akaryakıt gemisinin tam boyu 183 metre iken, terminalde geliştirilecek en kısa yaslama mesafesinin, yaklaşık olarak 46 metre olarak geliştirilmesi gerekmektedir. Bu durumda en kısa yaslama mesafesi, bölgeye gelen 64metre tam boyundaki gemiler için uygun olmamaktadır. En kısa yaslama mesafesinin tüm gemilere uygun olacak şekilde tasarlanması için iki adet tasarım geliştirilmiştir. Bu tasarımlar Şekil 2 ve 3 de gösterilmektedir. Şekillerde gösterilen terminal tasarımları, sadece terminal büyüklüğü ile ilgili bilgi vermek amacıyla tasarlanmıştır. Bu tasarımlar nihai bir tasarım olmayıp süreç içerisinde geliştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 2 Terminal Planı (A).



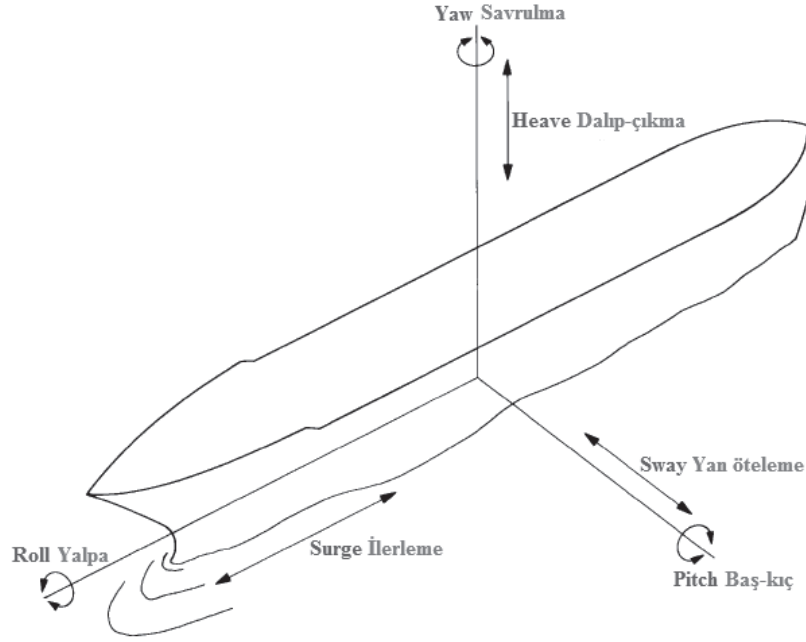
Şekil 3 Terminal Planı (B).

Gemilerin Emiyetli Yük Elleçlemesi İçin Gemi Hareket Limitlerinin Analizi

Gemiler, deniz yüzeyi hareketlerine bağlı olarak zorlayıcı etkilere maruz kalır. Bu etkiler gemi teknesinin yatay ve dikey eksen üzerinde hem dönme hem de öteleme hareketleri yapmasına neden olur. Deniz yüzeyindeki dalga hareketlerinin etkisi ile tekne üzerinde oluşan hareketler, geminin terminalde bağlı durumdayken yük elleçleme operasyonuna emniyetli bir şekilde devam ettirilmesini engelleyebilir (OCDI, 2009). Yanaşık durumdaki geminin dalgalar nedeniyle oluşan salınım hareketleri, sadece geminin değil aynı zamanda terminalin de emniyetini tehdit edebilir.

Deniz yüzeyinin etkisine bağlı olarak oluşan hareketlerin tanımları aşağıda sıralanmaktadır (Alarçin, 2005). Şekil 4’de gemi hareketlerinin oluşumları ve İngilizce karşılıkları görülmektedir.

İlerleme	:	Boyuna ekseninde geminin ileri ve geri doğrusal hareketi,
Yan öteleme	:	Enine ekseninde geminin her iki yöndeki doğrusal hareketi,
Savrulma	:	Geminin düşey ekseninde etrafındaki dönel veya açılma hareketi,
Dalıp-çıkma	:	Düşey ekseninde geminin her iki yöndeki doğrusal hareketi,
Yalpa	:	Geminin boy ekseninde etrafında yaptığı dönme hareketi,
Baş-kıç	:	Geminin enine ekseninde kıçta ve başta açılma hareketi.



Şekil 4 Gemi Hareket Bileşenleri Gösterimi ve İngilizce Türkçe Karşılıkları (BSI, 2000)

Gemilerin yanaşık durumda iken emniyetli olarak yük operasyonlarına devam edebilmeleri amacıyla gemi hareketlerinin maksimum değerleri belirlenmiştir. Bu maksimum değerler ile ilgili İngiliz Standartları, Deniz Yapıları, 1. Bölüm Genel Kriterler için Uygulama Rehberinde belirlenmiş olan maksimum gemi hareketleri değerleri Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1 Emniyetli Çalışma Durumu İçin Maksimum Gemi Hareketleri Kriterleri Hakkında Rehber (BSI, 2000).

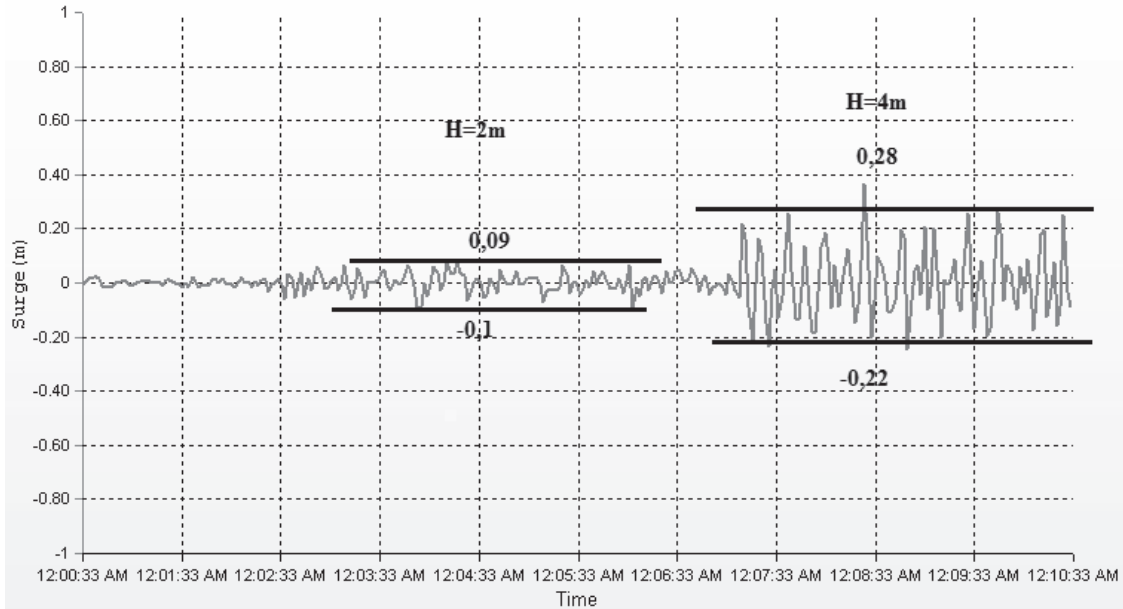
Gemi Tipi	Yük Eleçleme Ekipmanı	Gemi Hareketi					
		İlerleme Surge (m)	Yan Öteleme Sway (m)	Dalıp-çıkma Heave (m)	Savrulma Yaw (derece)	Baş-kıç Pitch (derece)	Yalpa Roll (derece)
Koster	Gemi kreyni	1,0	1,2	0,6	1	1	2
	Sahil kreyni	1,0	1,2	0,8	2	1	3
Kuru Yük	-	2,0	1,5	1,0	3	2	5
Dökme Yük	Kreyn	2,0	1,0	1,0	2	2	6
	Eleveytör	1,0	0,5	1,0	2	2	2
	Konveyör	5,0	2,5	-	3	-	-
P. Tankeri	Yükleme Kolu	0,5 – 2,0	0,5 – 2,0	-	-	-	-

Tablo 1 incelendiğinde değişik gemi tiplerinin değişik yük elleçleme ekipmanları ile gerçekleştirdiği operasyonlarında daha önceden bahsedilen gemi hareket bileşenlerine ait maksimum değerler görülmektedir.

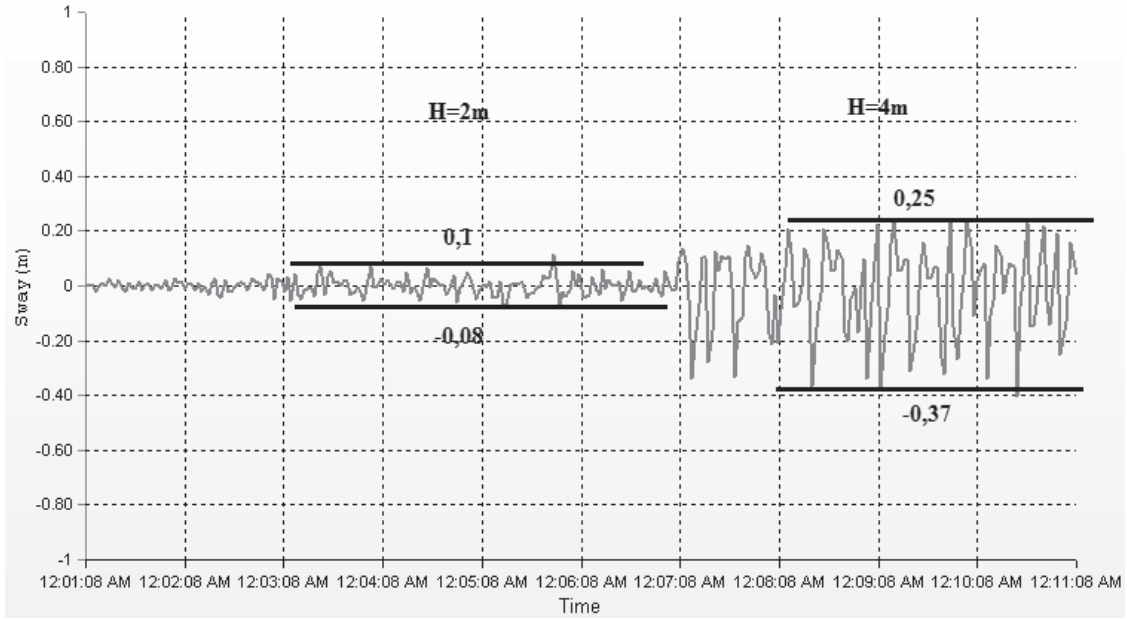
Proje sahası içerisinde kullanılacak olan hedef gemilerin sahadaki meteorolojik şartlar altında terminale yanaşık konumda iken emniyetli yük operasyonu durumu için yukarıdaki satanarlara göre incelenmesi amacıyla Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Köprüsütü Simülatörü kullanılmıştır.

Simülasyonda en küçük model gemi olarak 110 m'lik gemi modeli kullanılmıştır. Model gemi, simülasyon ortamında hazırlanan terminale yanaştırılarak baştan ve kıçtan halatlar yardımıyla bağlanarak, her bir halada 6'şar tonluk yükler uygulanmıştır. Simülasyon programı çalıştırılarak gemi halatları üzerindeki güçlerin dengelenmesi beklenmiştir. Sistem dengeye gelerek gemi emniyetli bir şekilde yanaştırıldıktan sonra, gemiye dalga kuvveti uygulanmaya başlamıştır. Dalga yönü olarak öncelikle pruva istikametinden gelen dalga yönü test edilmiştir. Dalga yükseklik değerleri 1'er metre artırılarak geminin hareket bileşenleri incelenmiştir. Daha sonra dalgaların 10'ar derece aralıklı olarak geminin 20⁰ sancak ve iskele istikametinden uygulanmasına başlanılmıştır. Bu sırada tüm gemi hareket bileşenlerine ait veriler kayıt altına alınmıştır.

Proje sahası içerisinde konumlandırılacak olan terminal, özellikle hakim dalga yönü referans alınarak yapılandırılacağı için, proje sahası içerisinde en ekstrem dalga yönünün geminin 20⁰ sancak ve iskelesinden gelebileceği kabul edilmiştir. Aşağıda Şekil 5 ve 6'da gemi hareket bileşenlerinden sadece "ilerleme" ve "yan öteleme" bileşenlerine ait grafikler gösterilmektedir.



Şekil 5 Model Geminin 2 m ve 4m Dalga Yüksekliklerinde İlerleme (Surge) Hareketi Grafiği.



Şekil 6 Model Geminin 2 m ve 4m Dalga Yüksekliklerinde Yan Öteleme (Sway) Hareketi Grafiği.

Gemi simülasyon modelinin hareket bileşenleri, grafiklerde oluşan üst ve alt değerleri arasındaki fark hesaplanarak Tablo 2’de BSDeniz Yapıları, 1. Bölüm Genel Kriterler için Uygulama Rehberi, maksimum gemi hareketleri kriterleri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 2 İngiliz Standardları Deniz Yapıları, 1. Bölüm Genel Kriterler İçin Uygulama Rehberi Maksimum Gemi Hareketleri İle Simülasyon Test Sonuçlarının Karşılaştırması.

Gemi Tipi	Yük Eleçleme Ekipmanı	Gemi Hareketi					
		İlerleme Surge (m)	Yan Öteleme Sway (m)	Dalıp-çıkma Heave (m)	Savrulma Yaw (derece)	Baş-kıç Pitch (derece)	Yalpa Roll (derece)
Koster	Gemi kreyni	1,0	1,2	0,6	1	1	2
	Sahil kreyni	1,0	1,2	0,8	2	1	3
Kuru Yük	-	2,0	1,5	1,0	3	2	5
Dökme Yük	Kreyn	2,0	1,0	1,0	2	2	6
	Eleveytör	1,0	0,5	1,0	2	2	2
	Konveyör	5,0	2,5	-	3	-	-
P. Tankeri	Yükleme Kolu	0,5 – 2,0	0,5 – 2,0	-	-	-	-
H= 2 m		0,19	0,10	0,17	1,10	0,1	3,5
H= 4 m		0,50	0,37	0,63	2,74	1,8	22,7

Tablo 2’de görüldüğü gibi; dalga yüksekliğinin 2 m ve 4 m olduğu değerlerde, “ilerleme” ve “yan öteleme” değerleri petrol tankerleri için belirlenen limitler içerisinde kaldığı, 4 m yüksekliğindeki dalgalarda limitleri aşmadığı görülmektedir. Bunun yanında “ilerleme” ve “yan öteleme” hareketlerinin dışındaki hareket bileşenlerinde diğer gemi tipleri için belirlen hareket kriterleri ile karşılaştırıldığında kabul edilen limit değerlerin dışına çıkılabileceği görülmektedir. Bu sebeple 2 m dalga yüksekliği değerinde model geminin terminale yanaşık vaziyette iken operasyonu durdurması,

kolları sökmesi ve ayrılma manevrası için hazır konumda beklemesi gerektiği kanaatine varılmıştır. Bundan daha büyük gemi tipleri için bu durumun ayrıca denenmesi gerektiği, bununla birlikte terminal için yük operasyonu sınır değerinin 2 m dalga yüksekliği olması gerektiği kanaatine varılmıştır.

Sonuç

Bu çalışmada projenin devam etmesi nedeniyle özellikle projenin maliyeti ve proje yeri seçimi konularına değinilmemiştir. Bunun yanında proje ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda özellikle de yanaşma yeri ihtiyacı konusunun çok dinamik bir değişken olduğu tespit edilmiştir. Simülasyon çalışmaları ile tespit edilmeye çalışılan yanaşma yeri sayısınınaslında gemi sayısı ile tespit edilmesinin hatalı olabileceği, süreç içerisinde kıyı tesislerinin taşıma taleplerini daha büyük kapasiteli gemilerde konsolide edilerek gemi sayılarında azalma olurken, taşınan kapasitelerde artışlar oluşabileceği tespit edilmiştir. Bu durum birim başına düşen taşıma maliyetlerini de azaltacaktır. Projenin sağlayacağı faydalar sıralanacak olursa;

- Proje sahasında kurulacak yeni terminaller, yeni yatırımcıların da pazara girmesine olanak sağlayacaktır.
- Şamandıra tesislerinin konsolidasyonu ile kazanılacak kıyı alanında ihtiyaç duyulabilecek yeni yatırımlar için imkanlar oluşacaktır.
- Mevcut durumda gece karanlığında şamandıra tesislerinin aydınlatılamaması nedeniyle yapılamayan yanaşma ve kalkma manevralarının yeni tasarlanacak terminallerde 24 saat yapılabilmesi sağlanacaktır.
- Kurulacak terminallerin profesyonel olarak yönetilmesi, işletme maliyetlerini düşürdüğü gibi zaman kayıplarını da engelleyerek, kıyı alanlarının etkin kullanılmasını sağlayacaktır.
- Şamandıraya bağlı durumdaki gemilerin acil durumlarda kaçmak ve uzaklaşmak için zorlandığı durumlarda yeni yapılacak terminalerde otomatik bırakma kancaları kullanılarak gemilerin terminalden hızlı bir şekilde uzaklaşması sağlanabilecektir.
- Çevre emniyeti açısından, terminal ve gemilerde meydana gelebilecek bir petrol sızıntısında terminaller üzerine yerleştirilecek olan acil müdahale ekipmanları ile petrol kirliliklerine rahatlıkla mücadele edilebilecektir.
- Mevcut durumda taşıma hizmetinde kullanılan gemiler farklı düzeylerde emniyet standartlarına sahip olduğu belirtilmektedir. Şu anda yüksek standartlarda planlanan terminallerin, mevcut tankerlerin emniyet standartlarını yükseltmelerini sağlayacaktır.
- Şamandıra bağlama düzenlerinde gemi demirleri kullanılarak gerçekleştirilen ve yaklaşık olarak bir saat süren yanaşma ve kalkış manevraları, yeni terminalerde çok daha süreler içerisinde gerçekleştirilebilecektir.
- Şu anda her şamandıra tesisinin sahile uzanan bir veya birkaç adet deniz dibine döşeli boru hattı bulunmaktadır. Bu proje sayesinde terminalle sahil arasında tek bir boru hattı güzergahı tespit edilmesi planlanmaktadır.

Bunun yanında projede çözüm bekleyen konular da bulunmaktadır. Terminalden sahile pompalanacak olan yükün sahilde kolektörler yardımıyla tesislere ayrılması planlanmaktadır. Bu işlemler gümrük formaliteleri açısından çözülmesi gereken bir sorun oluşturmaktadır. Proje ile ilgili olarak çözülmesi gereken en önemli konu ise

projenin finansmanı konusudur. Bu konuda yap-işlet-devret çözümü, projenin en kısa sürede hayata geçirilmesi için önerilebilecek bir alternatiftir.

Teşekkür Bu projenin hayata geçirilmesinde öncelikle Aliğa Liman Başkanlığı'na projeyi destekleyen IDO İstanbul Deniz Otobüsleri San. ve Tic. A.Ş.'ne, projenin sahibi UDHB, Tersaneler ve Kıyı Yapıları Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Kaynaklar

Alarçın F. (2005) Gemi Hareketlerinin Dinamik Analizi ve Adaptif Yaklaşımlarla Kontrolü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayımlanmamış Doktora Tezi. İstanbul.

BSI (2000), BS 6349-1. Maritime Structures, Part 1: Code of Practice for General Criteria. British Standards Institution, London.

DLH (2007) Kıyı Yapıları ve Limanlar Planlama ve Tasarım Teknik Esasları. T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryollar, Limanlar, Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü. Yüksel Proje. Ankara.

OCDI (2009), The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan. Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan.

OCIMF (2008) Mooring Equipment Guidelines 3rd Ed. Oil Companies International Marine Forum, Witherby Seamanship International.

Sinyalize Arterlerde Taşıt Takip Aralığının İncelenmesi: Denizli Örneği

Cenk Ozan*, **Halim Ceylan***, **Soner Haldenbilen***

cozan@pau.edu.tr halimc@pau.edu.tr shaldenbilen@pau.edu.tr

*Pamukkale Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı
Kınıklı Yerleşkesi 20070 Denizli
Tel: (258) 296 34 15

Öz

Trafik mühendisliğinin en temel konularından birisi olan taşıt takip aralıkları, denetimsiz kavşak ve dönel kavşak kapasite analizleri, tali yol taşıtlarına ait kabul aralıklarının belirlenmesi, sinyalize kavşaklarda kırmızı sürede oluşan kuyruklanmanın ve yeşil sürede bu kuyruklanmanın boşalmasının incelenmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Sinyaliz arterlerde, taşıt takip aralığının hesaplanması, kavşak koordinasyonunda kullanılabilir. Bu amaçla, çalışmada sinyalize bir arterde şerit bazlı zaman cinsinden taşıt takip aralığı hem kavşak girişi hem de kavşak çıkışında hesaplanmıştır. Ayrıca, sinyalize bir arter üzerinde zaman cinsinden taşıt takip aralıklarının istatistiksel analizi yapılarak, elde edilen dağılımlar arasında Kolmogorov-Smirnov uygunluk testine göre en uygun dağılım saptanmış ve parametreleri hesaplanmıştır.

Anahtar sözcükler: Zaman cinsinden taşıt takip aralığı, istatistiksel analiz.

Giriş

Trafik mühendisliğinin en temel konularından birisi taşıtlar arasındaki takip aralıklarının modellenmesidir. Trafik akımındaki taşıt takip aralığı değerleri; denetimsiz kavşak ve dönel kavşak kapasite analizleri, tali yol taşıtlarına ait kabul aralıklarının belirlenmesi, sinyalize kavşaklarda kırmızı sürede oluşan kuyruklanmanın ve yeşil sürede bu kuyruklanmanın boşalmasının incelenmesi, sinyalize kavşaklardaki gecikme ve kuyruk uzunluğunun incelenmesi gibi çalışmalarda yer bulmaktadır. Ayrıca, taşıt takip aralığı değerleri koordine kavşaklarda da kullanılabilir. Özellikle platon hareketi sırasında takip aralığının belirlenmesi bir sonraki kavşakta sinyal sürelerinin zamana bağlı olarak düzenlenmesini sağlayacaktır.

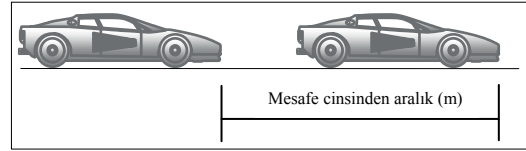
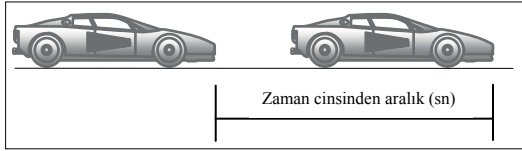
Birbirini takip eden taşıtlar arasındaki takip aralığı değeri iki şekilde ifade edilebilir; a) mesafe cinsinden takip aralığı (s) ve b) zaman cinsinden takip aralığı değeridir (h). Şekil 1’de görüldüğü üzere, mesafe cinsinden takip aralığı (s), öncül taşıtın ön tamponu ile takip eden artçıl taşıtın ön tamponu arasındaki mesafedir. Şekil 2’den anlaşılacağı gibi, zaman cinsinden takip aralığı (h) ise öncül taşıtın ön tamponunun belirli bir noktayı geçtiği anla, takip eden artçıl taşıtın ön tamponunun aynı noktayı geçtiği an arasındaki zaman farkıdır. Zaman cinsinden takip aralığı değeri, mesafe cinsinden takip aralığı değerine oranla çalışmalarda daha fazla dikkate alınmaktadır (Tanyel, 2001). Bunun

sebebi: İnceleme yapılan trafik akımına ait zaman cinsinden takip aralığı değerlerinin ortalaması biliniyor ise söz konusu akıma ait hacim değeri bulunabilmektedir. Zaman cinsinden takip aralığı değeri ile hacim değeri arasında aşağıdaki doğrusal ilişki bulunmaktadır.

$$\bar{h} = \frac{1}{q} \quad (1)$$

burada, q , hacim (taşıt/zaman), \bar{h} , ortalama zaman cinsinden takip aralığı (saniye) değeridir. Benzer bir ilişki yoğunluk ile mesafe cinsinden takip aralığı arasında da bulunmaktadır. Ancak hacim değeri, trafiği tanımlamak için daha anlamlı ve daha kolay ölçülebilir bir parametredir.

Trafik çalışmalarında kullanılan veriler genellikle arazi üzerinde çıplak göz ve çeşitli ekipmanlar kullanılarak ya da video kamera yardımı ile çekim yaparak elde edilmektedir. Mesafe cinsinden takip aralığı verilerini bu gözlemler yardımı ile elde edebilmek zaman cinsinden takip aralığı değerini belirleyebilmekten çok daha zordur. Mesafe cinsinden takip aralığı değeri, hız sabit kabul edilerek hız ve zaman cinsinden takip aralığı değerleri yardımıyla hesaplanabilir (Tanyel, 2001).



Şekil 1 Zaman cinsinden aralık (saniye).

Şekil 2 Mesafe cinsinden aralık (metre).

Trafik akımlarının modellenmesinde iki ana modelleme tekniği kullanılmaktadır: Bunlar; Makroskopik trafik akım ve Mikroskopik trafik akım modelleridir.

Makroskopik trafik akım modellerinde, trafik hız (u), yoğunluk (k) ve hacme (q) bağlı olarak tanımlanmaktadır. Bu şekilde bir tanımlamada, akım bir bütün olarak ele alınır ve belirli zaman aralıklarında taşıt sayımları, hız ölçümleri ve/veya yoğunluk ölçümleri yapılarak trafik akımı tanımlanmaya çalışılır.

Mikroskopik modelde ise, yol üzerindeki taşıtların hareketleri tanımlanmaktadır. (Luttinen, 1996) Bu modelde, her taşıtın ayrı ayrı davranışları ele alınmakta ve taşıt hareketinin bazı genel karakteristikleri incelenmektedir. Trafik hacminin düşük olduğu durumlar dışında her taşıtın hareketi, önündeki taşıtla sınırlanmaktadır. Bu sınırlamalar, taşıt hareketlerinin temel karakteristikleriyle ilgili olduğundan, taşıt takibi teorisi kullanılarak incelenebilir (Inose ve Hamada, 1975).

Her iki modelde de çeşitli istatistiksel dağılımlar kullanılmaktadır. Makroskopik modellerde, Poisson, Binom veya Negatif Binom dağılımları kullanılırken; Mikroskopik modellerde taşıtlar arasındaki aralıkları incelemek amacıyla, Negatif Üssel, Ötelenmiş Negatif Üssel, Gamma, Erlang, Pearson Tip III gibi dağılımlar kullanılmaktadır (Tanyel, 2001).

Bu çalışmada, Denizli Kent merkezi Ulus caddesi Havuzluköşk kavşağı ile Tiyatro kavşağı arasındaki sinyalizasyon arter üzerinde kamera ile kayıtlar alınmış ve kamera kayıtlarından tespit edilen zaman cinsinden taşıt aralıklarının istatistiksel analizi yapılmıştır.

Taşıtlar Arasındaki Takip Aralığının İstatistiksel Analizi

Bir taşıtın hareketinin tahmin edilmesinde değişik sürücü davranışları sebebiyle çok sayıda değişkenle ilgilenilmesi gerekmektedir. Bu değişkenler içerisinde en önemli olanı, birbirini takip eden taşıtlar arasındaki aralıktır. Taşıtlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin istatistiksel olarak incelenmesi, taşıt hareketlerinin tanımlanabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Tanyel, 2001). Zaman cinsinden aralık değerlerinin istatistiksel olarak incelenmesi, iki ana istatistiksel dağılım türü kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bunlar: Basit istatistiksel dağılımlar olarak adlandırılan Negatif Üssel, Ötelenmiş Negatif Üssel, Gamma, Erlang, Pearson Tip III, Lognormal dağılımları ve Karmaşık istatistiksel Dağılımlar ise Hypereksponensiyel, Hyperlang, M/D/1 kuyruk modeli, Genelleştirilmiş Kuyruk Modeli ve Yarı-Poisson Modeli olarak sıralanabilir (Çalışkanelli vd., 2012).

Taşıtlar arasındaki aralıkları temsil etmek için seçilen dağılımların hepsi (negatif üssel dağılım dışında) orijinden başlayıp aralık boyutundaki küçük artımlara karşı olasılık değeri hızla artan, orijine yakın bir noktada en büyük değerine ulaşan simetrik olmayan dağılımlardır (Çalışkanelli, 2010). Gedizlioğlu (1979), bu ortak özelliği göz önünde tutarak taşıtlar arasındaki aralıkların lognormal dağılım ile de temsil edilebileceğini söylemiştir. Zaman cinsinden takip aralığı modellerinin teorik değerlendirilmesinde, uygunluk, kullanılabilirlik ve geçerlilik unsurları dikkate alınmaktadır (Luttinen, 1996).

Basit dağılımlarla ilgili en önemli problem, zaman cinsinden takip aralığı değerleri dağılımının zirve ve kuyruk kısımlarını tanımlamalarındaki yetersizliktir. Akımın çok düşük olduğu durumlarda taşıtlar genelde birbirlerini büyük aralıklarla (uzak mesafeli) takip etmektedir. Ancak düşük akım koşullarında bile birbirlerini küçük aralıklarla (yakın mesafeli) takip eden taşıtlar bulunmaktadır. Bu durum trafik akımı içerisinde seyretmekte olan iki tür taşıt grubu olduğunu göstermektedir. Bunlar; serbest hareket eden taşıtlar ve grup halinde hareket eden taşıtlar olarak sınıflandırılabilir. Bu tip iki taşıt grubuna sahip bir akımın istatistiksel olarak modellenmesinde, basit istatistiksel dağılımlar yetersiz kalmaktadırlar. Bu durumda hem serbest hem de grup halinde hareket eden taşıtları tanımlayabilen bir dağılıma ihtiyaç duyulmaktadır (Çalışkanelli, 2010). Genel yaklaşım, iki gruptaki taşıtların bulunduğu bir akımın zaman cinsinden aralıklarının modellenmesi için iki olasılık dağılım modelinin birleşmesinden meydana gelen yeni bir dağılımın kullanılmasıdır. Bu dağılımlar, karmaşık dağılımlar olarak adlandırılırlar ve genel bağıntıları Denklem (2)'deki şekilde yazılabilir (Luttinen, 1996):

$$f(t) = \theta f_1(t) + \alpha f_2(t) \quad (2)$$

burada; θ , akım içindeki bağımlı taşıt oranını; $f_1(t)$, olasılık yoğunluk fonksiyonunu; α akım içindeki serbest taşıt oranını ve $f_2(t)$ 'de serbest taşıtlar arasındaki takip aralıklarının olasılık yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir.

Zaman cinsinden taşıt takip aralıklarının belirlenmesi mikroskobik trafik simülasyonlarına ve trafik güvenlik analizlerine yardımcı olmaktadır (Ha vd., 2010). Taşıtlar arasındaki takip aralıklarının belirlenmesi sinyalizasyon olmayan (kontROLSÜZ) kavşakların kapasitesinin belirlenmesinde önemli faktörlerdendir. Ayrıca, boşluk kabulü teorisinde, kontROLSÜZ kavşaklarda tali yoldaki taşıtın anayola emniyetli bir şekilde geçebilmesinde gerekli minimum boşluk değeri olan kritik boşluk tahmini için de takip aralıklarının belirlenmesi, karar verme aşamasına geçmeden göz önünde bulundurulması gereken etmenlerdendir (Xu ve Tian, 2008; Brilon, W. Koenig, Troutbeck, 1997). Sinyalizasyon (kontrollü) kavşaklarda ise takip aralıklarının belirlenmesi için kullanılan dağılımlar, sinyalizasyon planının oluşturulmasında ve meydana gelebilecek gecikmeleri minimize etmede kullanılmaktadır (Ha vd., 2010).

Zaman cinsinden taşıt takip aralıkları ile ilgili sinyalizasyon olmayan kavşaklar, sinyalizasyon kavşaklar ve dönel kavşaklar için geçiş noktalarına ait en uygun dağılım modelini belirlemek amacıyla pek çok çalışma yapılmıştır (Murat ve Gedizlioğlu, 2007). Cowan (1975) mesafe cinsinden aralık değeri üzerinde çalışmalar yapmış, serbest akım ve zorlamalı akım koşullarını inceleyen modeller önermiştir. Cowan M3 modeli, sinyalizasyon olmayan kavşakların incelenmesinde yaygın bir şekilde kullanılan bir modeldir. Luttinen (1996) mesafe değerleri verilerini tanımlamak ve onları teorik dağılımlarla karşılaştırmak amacıyla 4 aşamadan oluşan tanımlama işlemini önermiştir. Gedizlioğlu (1979) Türkiye'deki kontROLSÜZ kavşaklar da sürücülerin takip mesafesi kabulünü analiz etmiş ve düşük kapasiteye sahip yollarda takip mesafesi kabulünün belirlenmesi için bir yöntem önermiştir. Tanyel ve Yayla (2003) yüksek trafik hacmine sahip sinyalizasyon ve sinyalizasyon olmayan kavşaklardaki zaman cinsinden aralık değerlerini göz önüne almışlardır. Türk sürücülerin davranışları üzerinde tartışmış dönel kavşak ve sinyalizasyon olmayan kavşaklarda zaman cinsinden aralık değerlerini en iyi Cowan M3 dağılımının temsil ettiğini belirlemişlerdir. Griffiths ve Hunt (1991) kentsel alanlardaki karışık trafik hacimlerini analiz etmişler ve bu analizler de yayaların karşıdan karşıya geçiş ve araçların park manevralarının engellemelerini de dikkate almışlardır. Mei ve Bullen (1993) otoyollardaki yüksek hacim değerlerini göz önüne almış ve bu hacim değerlerine en uygun dağılımın ötelenmiş log-normal dağılım olduğunu belirlemişlerdir. Akçelik ve Chung (1994) sinyal kontrollü ve dönel kavşakları yüksek trafik hacmi durumları (500-2500 taşıt/saat) için incelemiş, negatif üssel ve ötelenmiş negatif üssel dağılımlarının yerine birleşik üssel dağılım modelini önermişlerdir. Çalışkanelli vd. (2012) yaptıkları çalışmada, İzmir'deki önemli sinyalizasyon arterleri üzerinde yer alan altı farklı noktada taşıtlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin dağılımını, araç türlerine ve şerit özelliklerine göre değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonuçlarında, incelenen basit dağılımlardan negatif üssel dağılımın lognormal dağılıma kıyasla taşıtlar arasındaki aralıkları temsil etmekte daha başarılı olduğu, karmaşık istatistiksel dağılımlardan Cowan M3 dağılımının veri gruplarına uygulanabilir olduğu belirtilmiştir.

Verilerin Toplanması

Gözlemler Denizli kent merkezi Ulus caddesi üzerindeki Havuzluköşk kavşağı ile Tiyatro kavşağı arasındaki sinyalizasyon arter üzerinde yapılmıştır. Bu sinyalizasyon arter üzerinden geçen taşıtlar iki adet video kamera ile kayıt altına alınmıştır. Kamera kayıtları Havuzluköşk kavşağından Tiyatro kavşağına olan yönde alınmıştır. Bu yönde trafik üç şerit üzerinden işlemektedir. Gözlem yapılan sinyalizasyon arter ve kameraların yerleşim konumları Şekil 3'de görülmektedir. Kamera kayıtları her şeritten sabah zirve

saatleri içinde 60 ile 80 dk olarak bir gün için alınmıştır. Taşıt takip aralıklarının video kamera kayıtlarından hesaplanabilmesi için bir bilgisayar programından yararlanılmıştır. Bu bilgisayar programı, senkronize bir sayaç yardımı ile iki taşıt arasındaki taşıt takip zaman aralığını tespit etmektedir. Sayaç, öndeki taşıtın ön tamponu ile takip eden taşıtın ön tamponunu referans olarak zaman cinsinden aralık değerlerini belirlemektedir.



Şekil 3 Gözlemlerin yapıldığı Denizli kent merkezindeki Ulus caddesi.

Gözlem noktalarında, her şeritten gözlem sırasında geçen taşıt sayısı, taşıt kompozisyonu ve ağır taşıt yüzdeleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’den görüldüğü üzere, sağ şerit üzerinden geçen taşıt sayıları diğer şeritlere göre azdır. Sağ şerit üzerinde park etmiş taşıtlar bu şeridin hacim/kapasite oranını düşürmektedir. Bu nedenle, sağ şerit üzerindeki taşıt takip aralıkları değerlendirme dışı bırakılmıştır. Zaman cinsinden taşıt takip aralık değerleri, gözlem yapılan noktalarda sol ve orta şerit üzerinden, taşıt tür ayrımı gözetmeksizin değerlendirilmiştir. Ayrıca, veriler, eğilimi olmayan veri grupları elde etmek için 20 dk’lık gruplara ayrılarak değerlendirilmiştir.

Tablo 1 Gözlem yapılan noktalara ait taşıt sayı ve kompozisyonları.

Gözlem noktası	Şerit	Otomobil	Ticari taşıt	Otobüs	Kamyon ve Kamyonet	Diğer	Toplam
Kamera 1	Sol-sabah	169	23	2	8	3	205
		82 %	11 %	1 %	4 %	2 %	
	Orta-sabah	234	44	4	32	0	314
Sağ-sabah	65	29	4	1	1	100	
	65 %	29 %	4 %	1 %	1 %		
Kamera 2	Sol-sabah	373	136	12	16	7	544
		69 %	25 %	2 %	3 %	1 %	
	Orta-sabah	234	26	3	0	1	264
Sağ-sabah	105	45	6	3	3	162	
	65 %	28 %	3 %	2 %	2 %		

Verilerin Değerlendirilmesi

Gözlem yapılan noktalarda her şeritten elde edilen 20 dk'lık taşıt takip aralık değerlerinin temel istatistik değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 Taşıt takip aralıklarına ait temel istatistiksel değerler.

Gözlem noktası	Şerit	Veri grubu	Veri sayısı	Ortalama	Standart sapma	En büyük aralık	En küçük aralık	En çok tekrarlanan	Ortanca	Varyans
Kamera 1	Sol	1	57	20,58	30,17	86,10	0,50	12,40	3,50	910,41
		2	55	21,05	29,89	87,70	0,60	1,10	3,00	893,12
		3	50	23,85	36,82	174,20	0,30	0,90	2,60	1355,94
		4	42	22,08	32,37	140,30	0,40	2,10	2,75	1048,02
	Orta	1	90	13,09	14,85	65,70	0,60	1,20	4,75	220,45
		2	94	12,68	16,79	84,40	0,60	1,00	3,75	282,00
		3	73	16,44	19,24	82,30	1,10	3,20	5,60	370,01
		4	56	16,05	18,16	75,10	1,10	1,20	6,25	329,82
Kamera 2	Sol	1	181	6,60	7,26	44,20	0,50	1,00	4,10	52,74
		2	193	6,23	6,74	37,50	0,70	1,50	3,60	45,44
		3	169	7,41	7,52	32,40	0,40	2,60	4,10	56,49
	Orta	1	94	12,68	17,54	78,90	0,40	0,50	4,35	307,54
		2	100	12,03	14,47	57,20	0,30	1,80	4,65	209,51
		3	69	18,26	21,62	85,20	0,30	0,80	7,00	467,29

Gözlem yapılan noktalarda her şeritten elde edilen taşıt takip aralık değerlerinin istatistiksel analizi EasyFit yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Her iki kamera kayıtlarından elde edilen zamana bağlı taşıt takip aralıklarının dağılımları belirlenmiştir. Elde edilen dağılımlara veri sayısının az olması nedeniyle Kolmogorov-Smirnov uyumluluk testi uygulanmıştır. Kolmogorov-Smirnov uyumluluk testi sonuçları dikkate alınarak en uygun dağılım saptanmış ve parametreleri hesaplanmıştır. Aşağıda sırasıyla kamera 1 ve kamera 2 konumundaki sol ve orta şeritler için taşıt takip aralıklarının uyumluluk testlerine göre en uygun dağılım ve dağılım parametreleri verilmektedir.

Tablo 3'de kamera 1 konumundaki sol şerit taşıt takip aralıklarının Kolmogorov-Smirnov uyumluluk testi sonuçları verilmektedir. Tablo 3'den görüldüğü üzere, kamera 1 konumundaki sol şerit taşıt takip aralıklarının Kolmogorov-Smirnov uyumluluk testine göre ilk üç veri grubu için 2 parametrelili Levy dağılımı, 4. veri grubu için de 3 parametrelili Fatigue Life dağılımı en uygun dağılım olarak belirlenmiştir.

Tablo 3 Kamera 1 sol şerit taşıt takip aralıkları için dağılımların uyumluluk testi sonuçları.

Veri grubu	Veri sayısı	Dağılım	Kolmogorov-Smirnov İstatistik
1	57	Levy (2P)	0.10701
2	55	Levy (2P)	0.12076
3	50	Levy (2P)	0.12903
4	42	Fatigue Life (3P)	0.13919

2 parametrelili Levy dağılımının Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) ve Eklenik Dağılım Fonksiyonu (EDF) Denklem (3) ve (4)'de verilmektedir.

$$f(x) = \sqrt{\frac{\sigma}{2\pi}} \frac{\exp\left(-0.5\sigma/(x-\gamma)\right)}{(x-\gamma)^{3/2}} \quad (3)$$

$$F(x) = 2 - 2\Phi\left(\sqrt{\sigma/(x-\gamma)}\right) \quad (4)$$

Burada, σ ölçek, γ lokasyon parametresi, Φ ise Laplace integralidir. 3 parametrelili Fatigue Life dağılımının OYF ve EDF'nu Denklem (5) ve (6)'da verilmektedir.

$$f(x) = \frac{\sqrt{(x-\gamma)/\beta} + \sqrt{\beta/x-\gamma}}{2\alpha(x-\gamma)} \cdot \phi\left(\frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{\frac{x-\gamma}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x-\gamma}}\right)\right) \quad (5)$$

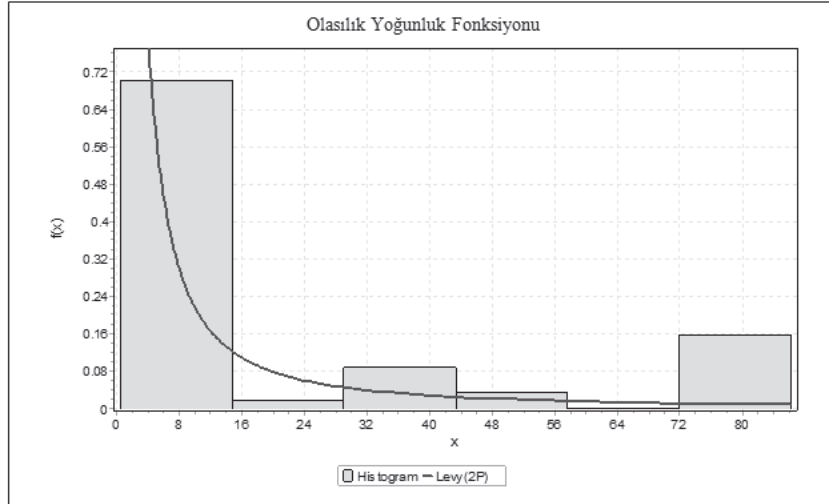
$$F(x) = \Phi\left(\frac{1}{\alpha}\left(\sqrt{\frac{x}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x}}\right)\right) \quad (6)$$

Burada, α biçim, β ölçek ve γ lokasyon parametresidir. ϕ standart normal dağılımın OYF'nu ve Φ laplace integralidir. 2 parametrelili Levy dağılımı ve 3 parametrelili Fatigue Life dağılımı hakkında detaylı bilgiye Johnson vd.'nin (1994) yapmış oldukları çalışmadan erişilebilir. Kamera 1 konumundaki sol şerit taşıt takip aralıkları için elde edilen dağılım parametreleri Tablo 4'de verilmektedir.

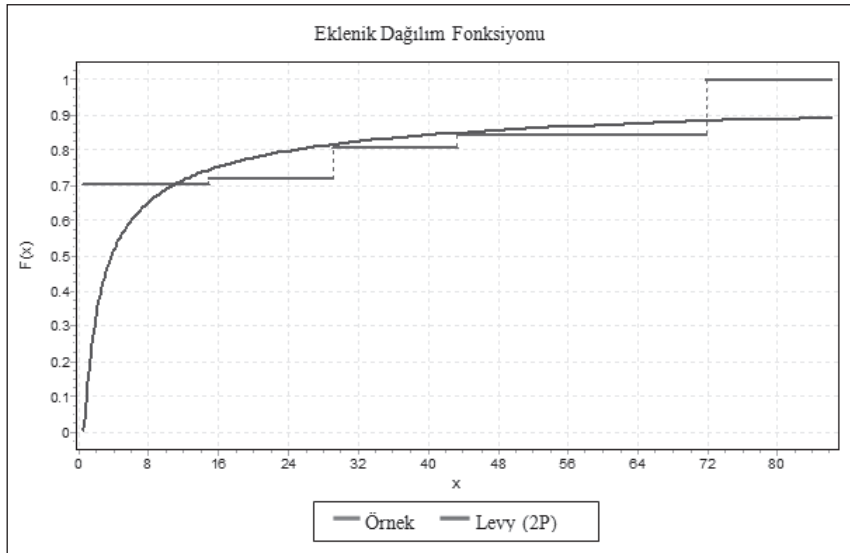
Tablo 4 Kamera 1 sol şerit taşıt takip aralıkları dağılımlarının parametreleri.

Veri grubu	Veri sayısı	Dağılım	Dağılım parametreleri			
			α	β	γ	σ
1	57	Levy (2P)	-	-	0.29714	1.5526
2	55	Levy (2P)	-	-	0.41323	1.5378
3	50	Levy (2P)	-	-	0.10166	1.6986
4	42	Fatigue Life (3P)	2.6592	4.9607	0.267	-

Kamera 1 konumundaki sol şerit taşıt takip aralıkları için 1. veri grubuna ait 2 parametrelili Levy dağılımının OYF ve EDF grafikleri sırasıyla Şekil 4 ve 5'de verilmektedir.



Şekil 4. Kamera 1 sol şerit 1. veri grubuna ait 2 parametrelili Levy dağılımının OYF.



Şekil 5 Kamera 1 sol şerit 1. veri grubuna ait 2 parametrelili Levy dağılımının EDF.

Tablo 5'de kamera 1 konumundaki orta şerit taşıt takip aralıklarının aralıklarının Kolmogorov-Smirnov uyumluluk testi sonuçları verilmektedir. Tablo 5'den görüldüğü üzere, kamera 1 konumundaki orta şerit taşıt takip aralıklarının Kolmogorov-Smirnov uyumluluk testine göre 1. veri grubu için 3 parametrelili Fatigue Life dağılımı, 2. veri grubu için Burr dağılımı, diğer iki veri grubu için de Beta dağılımı en uygun dağılım olarak belirlenmiştir.

Tablo 5 Kamera 1 orta şerit taşıt takip aralıkları için dağılımların uyumluluk testi sonuçları.

Veri grubu	Veri sayısı	Dağılım	Kolmogorov-Smirnov İstatistik
1	90	Fatigue Life (3P)	0.0912
2	94	Burr	0.13185
3	73	Beta	0.12779
4	56	Beta	0.11185

Burr dağılımının OYF ve EDF'nu Denklem (7) ve (8)'de verilmektedir.

$$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right)^{k+1}} \quad (7)$$

$$F(x) = 1 - \left(1 + \left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right)^{-k} \quad (8)$$

Burada; k , α parametreleri biçim parametreleri, β ölçek parametresidir. Beta dağılımının OYF'nu Denklem (9)'da verilmektedir.

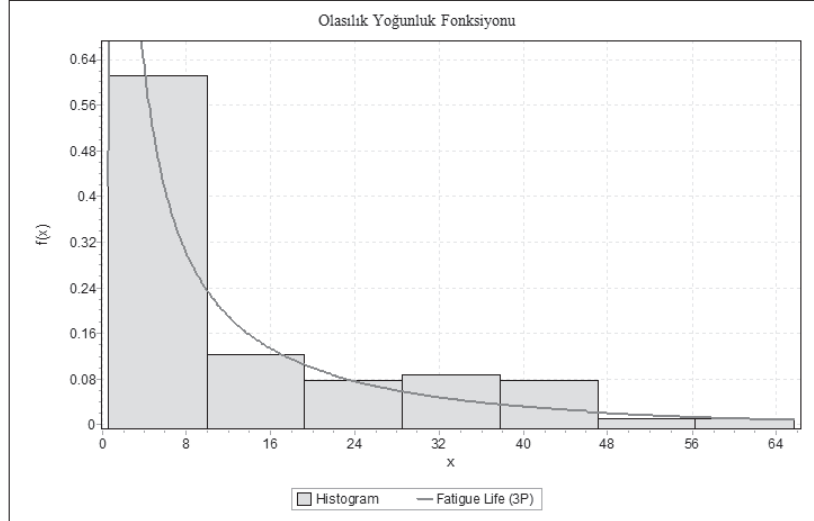
$$f(x) = \frac{1}{B(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{(x-a)^{\alpha_1-1} (b-x)^{\alpha_2-1}}{(b-a)^{\alpha_1+\alpha_2-1}} \quad (9)$$

Burada; α_1 ve α_2 biçim parametreleri, a ve b sınır parametreleridir. Burr dağılımı ve Beta dağılımı hakkında detaylı bilgiye Kotz vd.'nin (2004) yılında yapmış oldukları çalışmadan erişilebilir. Kamera 1 konumundaki orta şerit taşıt takip aralıkları için elde edilen dağılım parametreleri Tablo 6'da verilmektedir.

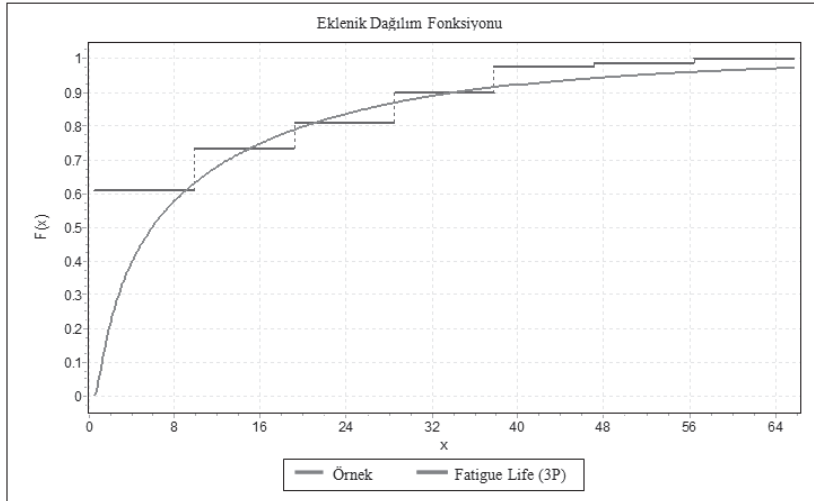
Tablo 6 Kamera 1 orta şerit taşıt takip aralıkları dağılımlarının parametreleri.

Veri grubu	Veri sayısı	Dağılım	Dağılım parametreleri							
			α	β	γ	k	α_1	α_2	a	b
1	90	Fatigue Life (3P)	1.603	5.582	0.35312	-	-	-	-	-
2	94	Burr	4.0027	1.3345	-	0.17153	-	-	-	-
3	73	Beta	-	-	-	-	0.32671	1.4032	1.1	90.53
4	56	Beta	-	-	-	-	0.3388	1.338	1.1	82.61

Kamera 1 konumundaki orta şerit taşıt takip aralıkları için 1. veri grubuna ait 3 parametrelili Fatigue Life dağılımının OYF ve EDF grafikleri sırasıyla Şekil 6 ve 7'de verilmektedir.



Şekil 6 Kamera 1 orta şerit 1. veri grubuna ait 3 parametrelî Fatigue Life dağılımının OYF.



Şekil 7 Kamera 1 orta şerit 1. veri grubuna ait 3 parametrelî Fatigue Life dağılımının EDF.

Tablo 7’de kamera 2 konumundaki sol şerit taşıt takip aralıklarının aralıklarının Kolmogorov-Smirnov uyumluluk testi sonuçları verilmektedir. Tablo 7’den görüldüğü üzere, kamera 2 konumundaki sol şerit taşıt takip aralıklarının Kolmogorov-Smirnov uyumluluk testine göre ilk iki veri grubu için 3 parametrelî Fatigue Life dağılımı ve 3. veri grubu için de 3 parametrelî Ters Gaussian dağılımı en uygun dağılım olarak belirlenmiştir.

Tablo 7 Kamera 2 sol şerit taşıt takip aralıkları için dağılımların uyumluluk testi sonuçları.

Veri grubu	Veri sayısı	Dağılım	Kolmogorov-Smirnov İstatistik
1	181	Fatigue Life (3P)	0.03213
2	193	Fatigue Life (3P)	0.04012
3	169	Ters Gaussian (3P)	0.06082

3 parametrelili Ters Gaussian dağılımının OYF ve EDF'nu Denklem (10) ve (11)'de verilmektedir.

$$f(x) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi(x-\gamma)^3}} \exp\left(-\frac{\lambda(x-\gamma-\mu)^2}{2\mu^2(x-\gamma)}\right) \quad (10)$$

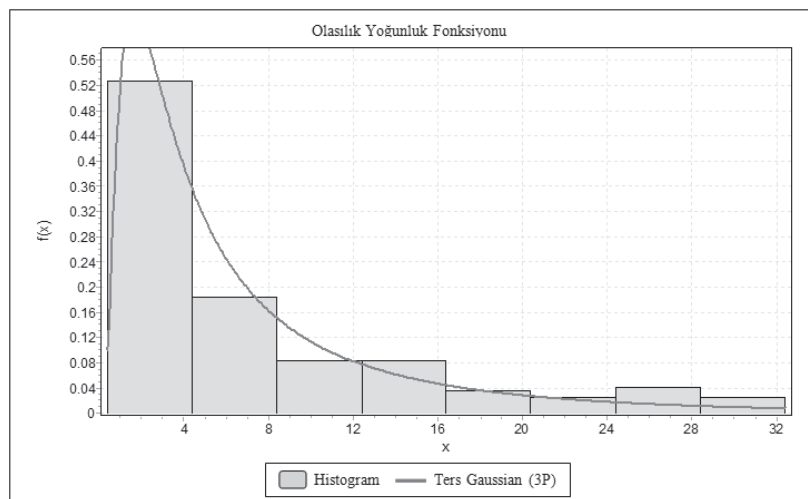
$$F(x) = \Phi\left(\sqrt{\frac{\lambda}{x-\gamma}}\left(\frac{x-\gamma}{\mu}-1\right)\right) + \Phi\left(-\sqrt{\frac{\lambda}{x-\gamma}}\left(\frac{x-\gamma}{\mu}+1\right)\right) \exp(2\lambda/\mu) \quad (11)$$

Burada; λ ve μ parametresi, γ lokasyon parametresi ve Φ ise Laplace integralidir. 3 parametrelili Ters Gaussian dağılımı hakkında detaylı bilgiye Forbes vd.'nin (2011) yapmış oldukları çalışmadan erişilebilir. Kamera 2 konumundaki sol şerit taşıt takip aralıkları için elde edilen dağılım parametreleri Tablo 8'de verilmektedir.

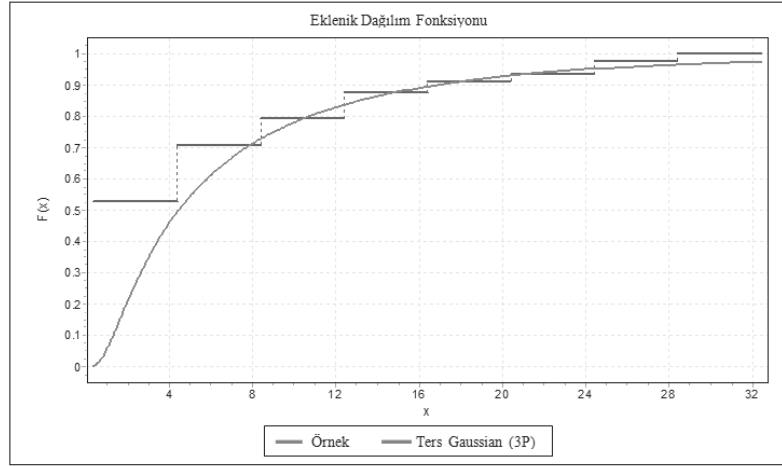
Tablo 8 Kamera 2 sol şerit taşıt takip aralıkları dağılımlarının parametreleri.

Veri grubu	Veri sayısı	Dağılım	Dağılım parametreleri				
			α	β	γ	λ	μ
1	181	Fatigue Life (3P)	1.1356	3.9147	0.17188	-	-
2	193	Fatigue Life (3P)	1.2438	3.2721	0.42998	-	-
3	169	Ters Gaussian (3P)	-	-	-0.12917	5.6023	7.541

Kamera 2 konumundaki sol şerit taşıt takip aralıkları için 3. veri grubuna ait 3 parametrelili Ters Gaussian Life dağılımının OYF ve EDF grafikleri sırasıyla Şekil 8 ve 9'da verilmektedir.



Şekil 8 Kamera 2 sol şerit 3. veri grubuna ait 3 parametrelili Ters Gaussian dağılımının OYF.



Şekil 9 Kamera 2 sol şerit 3. veri grubuna ait 3 parametrelili Ters Gaussian dağılımının EDF.

Tablo 9’da kamera 2 konumundaki orta şerit taşıt takip aralıklarının aralıklarının Kolmogorov-Smirnov uyumluluk testi sonuçları verilmektedir. Tablo 9’dan görüldüğü üzere, kamera 2 konumundaki orta şerit taşıt takip aralıklarının Kolmogorov-Smirnov uyumluluk testine göre 1. veri veri grubu için 3 parametrelili Fatigue Life dağılımı, 2. veri grubu için Pearson 5 dağılımı ve 3. veri grubu için de 4 parametrelili Genelleştirilmiş Gamma dağılımı en uygun dağılım olarak belirlenmiştir.

Tablo 9 Kamera 2 orta şerit taşıt takip aralıkları için dağılımların uyumluluk testi sonuçları.

Veri grubu	Veri sayısı	Dağılım	Kolmogorov-Smirnov İstatistik
1	94	Fatigue Life (3P)	0.06341
2	100	Pearson 5	0.08601
3	69	Gen. Gamma (4P)	0.11395

Pearson 5 dağılımının OYF ve EDF’nu Denklem (12) ve (13)’de verilmektedir.

$$f(x) = \frac{\exp(-\beta/x)}{\beta \Gamma(\alpha) (x/\beta)^{\alpha+1}} \quad (12)$$

$$F(x) = 1 - \frac{\Gamma_{\beta/x}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \quad (13)$$

Burada; α biçim ve β ölçek parametreleridir. Γ ise Gamma fonksiyonudur. 4 parametrelili Genelleştirilmiş Gamma dağılımının OYF ve EDF’nu Denklem (14) ve (15)’de verilmektedir.

$$f(x) = \frac{k(x-\gamma)^{k\alpha-1}}{\beta^{k\alpha} \Gamma(\alpha)} \exp\left(-((x-\gamma)/\beta)^k\right) \quad (14)$$

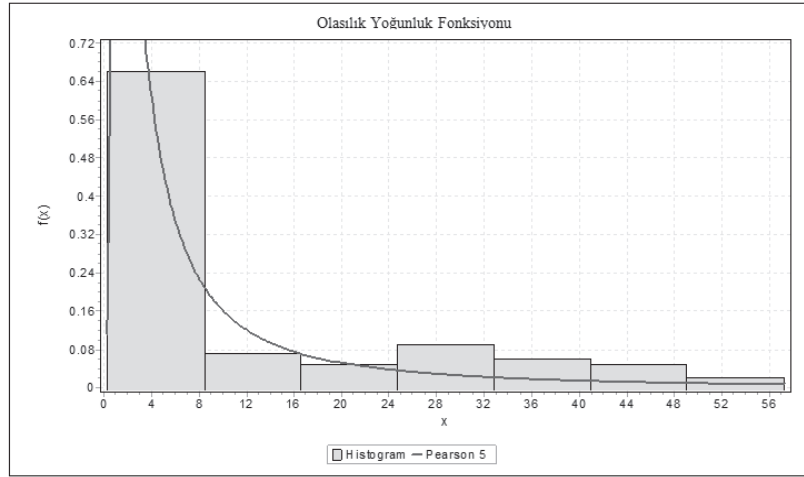
$$F(x) = \frac{\Gamma_{((x-\gamma)/\beta)^k}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \quad (15)$$

Burada; k ve α biçim parametresi, β ölçek parametresi, γ lokasyon parametresidir. Γ ise Gamma fonksiyonudur. Pearson 5 dağılımı ve 4 parametrelili Genelleştirilmiş Gamma dağılımı hakkında detaylı bilgiye Forbes vd.'nin (2011) ve Kotz vd.'nin (2004) yapmış oldukları çalışmalardan erişilebilir. Kamera 2 konumundaki orta şerit taşıt takip aralıkları için elde edilen dağılım parametreleri Tablo 10'da verilmektedir.

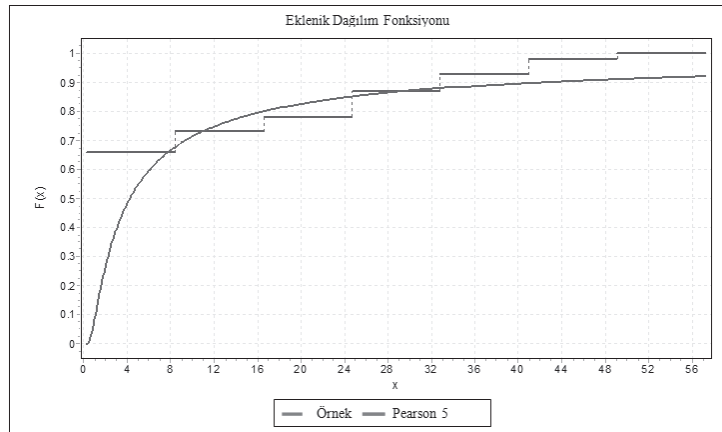
Tablo 10 Kamera 2 orta şerit taşıt takip aralıkları dağılımlarının parametreleri.

Veri grubu	Veri sayısı	Dağılım	Dağılım parametreleri			
			α	β	γ	k
1	94	Fatigue Life (3P)	2.0192	4.0483	0.24137	-
2	100	Pearson 5	0.78152	2.0452	-	-
3	69	Gen. Gamma (4P)	0.77048	21.64	0.3	0.80776

Kamera 2 konumundaki orta şerit taşıt takip aralıkları için 2. veri grubuna ait Pearson 5 dağılımının OYF ve EDF grafikleri sırasıyla Şekil 10 ve 11'de verilmektedir.



Şekil 10 Kamera 2 orta şerit 2. veri grubuna ait Pearson 5 dağılımının OYF.



Şekil 11 Kamera 2 orta şerit 2. veri grubuna ait Pearson 5 dağılımının EDF.

Sonuçlar

Bu çalışmada, Denizli kent merkezi Ulus caddesi üzerinde bulunan Havuzluköşk kavşağı ile Tiyatro kavşağı arasındaki sinyalize arter üzerinde zaman cinsinden taşıt takip aralıklarının istatistiksel analizi yapılmıştır. Bu sinyalize arter üzerinden geçen taşıtlar iki adet video kamera ile kayıt altına alınmıştır. Kamera kayıtları Havuzluköşk kavşağından Tiyatro kavşağına olan yönde alınmıştır. Kamera kayıtları her şeritten sabah zirve saatleri içinde 60 ile 80 dk olarak bir gün için alınmıştır. Daha sonra, büro ortamında kamera kayıtlarından trafik hacmi, trafik kompozisyonu ve taşıt takip aralıkları belirlenmiştir. Kamera kayıtlarından elde edilen veriler değerlendirildiğinde, sağ şerit üzerinden geçen taşıt sayısının diğer şeritlere göre az olduğu belirlenmiştir. Bu şerit üzerinde park etmiş taşıtların bu şeridin hacim/kapasite oranını düşürmesi bu şerit üzerinden diğer şeritlere göre daha az sayıda taşıt geçmesine neden olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple sağ şerit üzerindeki taşıt takip aralıkları değerlendirme dışı bırakılmıştır. Zaman cinsinden taşıt takip aralık değerleri, gözlem yapılan noktalarda sol ve orta şerit üzerinden, taşıt tür ayrımı gözetmeksizin değerlendirilmiştir. Ayrıca, veriler, eğilimi olmayan veri grupları elde etmek için 20 dk'lık gruplara ayrılarak değerlendirilmiştir.

Gözlem yapılan noktalarda her şeritten elde edilen taşıt takip aralık değerlerinin istatistiksel analizi EasyFit yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Her iki kamera kayıtlarından elde edilen zamana bağlı taşıt takip aralıklarının dağılımları belirlenmiştir. Elde edilen dağılımlara veri sayısının az olması nedeniyle Kolmogorov-Smirnov uyumluluk testi uygulanmıştır. Kolmogorov-Smirnov uyumluluk testi sonuçları dikkate alınarak en uygun dağılım saptanmış ve parametreleri hesaplanmıştır.

Yapılan analizler sonucunda; kamera 1 konumundaki sol şerit taşıt takip aralıklarının ilk üç veri grubu için 2 parametrelili Levy dağılımı, 4. veri grubu için de 3 parametrelili Fatigue Life dağılımı; kamera 1 konumundaki orta şerit taşıt takip aralıklarının 1. veri grubu için 3 parametrelili Fatigue Life dağılımı, 2. veri grubu için Burr dağılımı, diğer iki veri grubu için de Beta dağılımı; kamera 2 konumundaki sol şerit taşıt takip aralıklarının ilk iki veri grubu için 3 parametrelili Fatigue Life dağılımı ve 3. veri grubu için de 3 parametrelili Ters Gaussian dağılımı; kamera 2 konumundaki orta şerit taşıt takip aralıklarının 1. veri grubu için 3 parametrelili Fatigue Life dağılımı, 2. veri grubu için Pearson 5 dağılımı ve 3. veri grubu için de 4 parametrelili Genelleştirilmiş Gamma dağılımı en uygun dağılım olarak belirlenmiştir.

Sinyalize kavşaklarda zaman cinsinden taşıt takip aralıklarının belirlenmesi ile taşıt etkileşimleri; her yaklaşım koluna ait faz sürelerinin ayarlanması ile minimuma indirgenebilecektir. Sinyalize kavşaklarda taşıt takip aralıkları, sinyalizasyon planlarının oluşturulmasında ve meydana gelebilecek gecikmelerin minimize edilmesinde kullanılabilir. Sinyalize kavşaklarda kırmızı sürede oluşan kuyruklanma ve yeşil sürede bu kuyruklanmanın boşalması, gecikme ve kuyruk uzunluğu daha detaylı olarak incelenebilecektir. Ayrıca, sinyalize arterler üzerindeki zaman cinsinden taşıt takip aralıkları kavşak koordinasyonunda kullanılabilir. Özellikle, platon hareketi sırasında belirlenen taşıt takip aralığı bir sonraki kavşakta sinyal sürelerinin zamana bağlı olarak düzenlenmesini sağlayabilecektir.

Çalışmada gözlemlerin sadece örnek vermek amacıyla yapıldığı; bu nedenle veri sayısının kısıtlı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Farklı trafik koşullarında ve daha

uzun süreli gözlemlerle elde edilebilecek daha fazla veriyle yapılacak çalışmaların, ülkemizdeki zaman cinsinden taşıt takip aralıklarının dağılımı, bu dağılımların hangi dağılıma uyduğu ve bu dağılımın ülkemizde kullanım olanakları hakkında daha geniş bilgi verebileceği düşünülmektedir.

Teşekkür Bu çalışmaya veri toplama aşamasında verdikleri destekten dolayı Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğrencileri Serkan Akçay, Yunus Ay, Savaş Polat, Serkan Salman ve Ümit Tadik'e yazarlar teşekkür etmektedirler.

Kaynaklar

Akçelik, R. and Chung, E. (1994) Calibration Of The Bunched Exponential Distribution Of Arrival Headways. Road & Transport Research, 3, 42-59.

Brilon, W., Koenig, R., and Troutbeck, R. (1997) Useful estimation procedures for critical gaps. Proceedings of the Third International Symposium on Intersections Without Traffic Signals, Portland, Oregon, USA, pp. 71.

Cowan R. C. (1975) Useful Headway Models. Transportation Research, 9, 6, 371–375.

Çalışkanelli, S. P. (2010) Sinyalizasyon Sistemlerinden Ayrılan Araçların Takip Aralığı Dağılımının İncelenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 118s.

Çalışkanelli, S. P., Aydın, M. M., Sabuncuoğlu, M. A., Özkul, S. ve Tanyel, S. (2012) Sinyalize Arterlerdeki Araç Takip Aralıklarının İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16-2, 227-237.

Forbes, C., Evans, M., Hastings N., and Peacock, B. (2011) Statistical Distributions, Fourth Edition, Wiley Publication, John Wiley & Sons Inc., 230 pp.

Gedizlioğlu, E. (1979) Denetimsiz kavşaklarda yanyol sürücülerinin davranışlarına göre pratik kapasite saptanması için bir yöntem. Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, İstanbul, 123s.

Griffiths J. D. and Hunt J. G. (1991) Vehicle Headways In Urban Areas. Traffic Engineering & Control, 32, 10, 458–462.

Ha, D., Aron, M. and Cohen, S. (2010) Time Headway Variable And Probabilistic Modeling. Summer Meeting TFFC. University Paris-Est The French National Institute For Transport Network And Safety Research, INRETS. 07-09 July, Paris, pp. 23.

Inose, H. and Hamada, T. (1975) Road traffic flow. Tokyo: University of Tokyo.

Johnson, N. L., Kotz, S., and Balakrishnan, N. (1994) Continuous Univariate Distributions, Vol. 1, Second Edition, Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons Inc., 761 pp.

Kotz, S., Balakrishnan, N., and Johnson, N.L. (2004) Continuous Multivariate Distributions, Models and Applications, Vol 1, John Wiley & Sons, 752 pp.

Luttinen, R. T. (1996) Statistical Analysis of Vehicle Time Headways. Otaniemi, 193 pp.

Mei M. and Bullen A. G. R. (1993) Lognormal Distribution For High Traffic Flows. Transportation Research Record, 1398, 125–128.

Murat Y.Ş. and Gedizlioğlu E. (2007) Investigation Of Vehicle Time In Turkey. Proceedings Of The ICE - Transport, No. 2, 73 –78.

Tanyel, S. (2001) Türkiye’deki Dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 153s.

Tanyel, S. and Yayla, N. (2003) A Discussion On The Parameters Of Cowan M3 Distribution For Turkey. Transportation Research Part A: Policy And Practice, 37(2), 129-143.

Xu. F. and Tian, Z. Z. (2008) Driver Behavior and Gap-Acceptance Characteristics at Roundabouts in California. Journal of the Transportation Research Board, TRB, Issue Number:2071, Publisher: Transportation Research Board, 117-124.

Sinyalize Kavşaklardaki Başlangıç Tepki Süresinin İncelenmesi

S. Pelin Çalışkanelli

Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak.
İnşaat Müh. Böl., Buca/İZMİR
Tel: (232) 301 70 38
E-Posta: pelin.caliskanelli@deu.edu.tr

Mustafa Özuysal

Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak.
İnşaat Müh. Böl., Buca/İZMİR
Tel: (232) 301 70 38
E-Posta: mustafa.ozuysal@deu.edu.tr

Figen Coşkun

Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak.
İnşaat Müh. Böl., Buca/İZMİR
Tel: (232) 301 70 02
E-Posta: figen-1989@hotmail.com

Serhan Tanyel

Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak.
İnşaat Müh. Böl., Buca/İZMİR
Tel: (232) 301 70 18
E-Posta: serhan.tanyel@deu.edu.tr

Öz

Sinyalize kavşakların kapasitesinin hesaplanmasında araçların birbirlerini takip aralıkları, hızları, sinyal süreleri gibi birçok parametre etkili olmaktadır. Kavşak kapasitesine etki eden önemli bir faktörde, sürücülerin sürüş özellikleridir. Sürücülerin sosyal, ekonomik ve kültürel düzeylerinin sürüş özelliklerini etkilediği ve bölgesel faktörlerin sürüş alışkanlıkları üzerinde belirgin bir etkisinin olduğu düşünülmektedir. Çalışmada, İzmir’de gözlem yapılan 9 adet sinyalizekavşakta, kırmızı ışıpta ilk sırada bekleyen sürücülerin ışığın yeşile dönmesi ile harekete geçmeleri arasındaki süre olarak tanımlanan “başlangıç tepki/reaksiyon süresi” değerleri ölçülmüştür. “Başlangıç tepki süresi” birçok kuyruk dağılım modelinde kullanılan ve özellikle doygun akım ve başlangıç kayıp zamanının hesaplanmasında etkin olan bir parametredir. İncelemelerde 1429 araçtan toplanan başlangıç tepki süresi değerinin ortalama 1,39 saniye (standart sapma 0,93 saniye) olduğu bulunmuştur. Ayrıca bu değer üzerinde etkili olan faktörler regresyon analizi yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmanın son aşamasında başlangıç tepki süresinin doygun akım üzerindeki etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçların İzmir’deki sinyalize kavşakların kapasitesine etkisi vurgulanmıştır.

Anahtar sözcükler: sinyalize kavşak, başlangıç tepki süresi, doygun akım, regresyon analizi.

Giriş

Günümüzde özellikle büyükşehirlerde, şehiriçi yollarda oluşturulan kavşakların büyük bir çoğunluğu sinyalizasyon sistemi ile yönetilmektedir. Trafik akımlarının belirli bir plana göre sırayla hareket etmelerini sağlayan sinyalize kavşaklar şehiriçitrafik akımlarının en çok gecikmeye uğradığı yol kesimleridir. Sinyalize kavşakların tasarımının doğru yapılması, devre ve faz planlarının doğru oluşturulması, sinyalizasyon

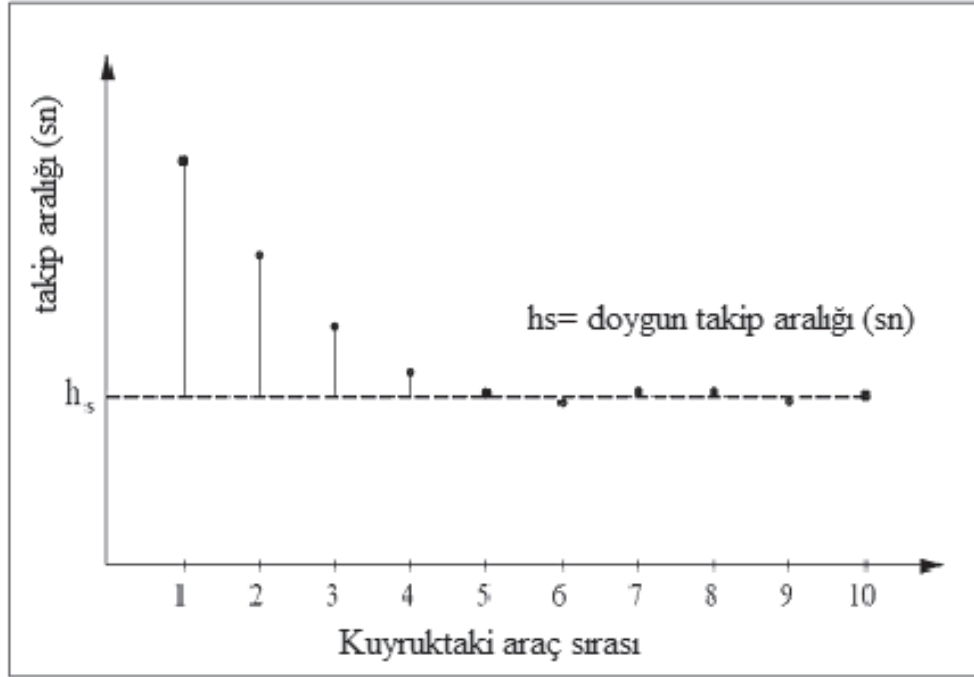
sistemlerinin etkin kullanılabilmesi ve gecikmelerin minimum düzeyde olması açısından büyük önem taşımaktadır. Kavşak kapasitesine etki eden önemli faktörden biri de, sürücülerin sürüş özellikleridir. Sürücülerin sosyal, ekonomik ve kültürel düzeylerinin sürüş özelliklerini etkilediği ve bölgesel faktörlerin sürüş alışkanlıkları üzerinde belirgin bir etkisinin olduğu düşünülmektedir. Kavşak dur çizgisini ihlal eden, kavşak doluyken kavşağa girmeye çalışan ve şerit çizgilerine dikkat etmeyen sürücüler, kavşak kapasitesinin önemli oranda düşmesine, dolayısıyla trafik sıkışıklığının, gecikmelerin ve çevre kirliliğinin artmasına yol açmaktadırlar. Yukarıda da açıklanmaya çalışıldığı gibi sinyalizasyon kavşakların kapasite ve performanslarında sadece tasarım özellikleri değil, sürücü davranışları da büyük önem taşımaktadır. Sürücü özelliklerinin ve sürüş alışkanlıklarının bir göstergesi olan vesinyalizasyon kavşaklardaki başlangıç kayıp zaman, doymuş akım ve etkin yeşil sürenin belirlenmesinde kullanılan “başlangıç tepki/reaksiyon süresi” bilgileri önemli bir davranış faktörü olarak ön plana çıkmaktadır.

Sinyalizasyon kavşak dur çizgisinde, kırmızı ışık süresi boyunca beklemekte olan araçlar sinyalin yeşile dönmesi ile hareket etmeye başlar. Kuyrukta ilk sırada duran araçlar harekete başlamadan önce kuyruğun arkasılarında yer alan araçlara oranla daha fazla süreye ihtiyaç duyarlar. Genellikle ilk 3 ila 6 aracın maruz kaldığı kabul edilen bu gecikme miktarına başlangıç gecikmesi adı verilir (Bester ve Meyers, 2007). Başlangıç gecikmesi, reaksiyon süresi ile son derece yakın ilişkilidir. Başlangıç tepki/reaksiyon süresi, sürücünün yeşilin yanmasından itibaren, ışığın değiştiğini fark ederek, aracını hareket ettirdiği ilk ana kadar geçen süre olarak tanımlanabilir (HCM, 2010). Genellikle ışıklı engellere karşı oldukça kısa olan reaksiyon süresi kavşak özelliklerine ve şerit özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir (Çalışkanelli, 2010). Bunun yanı sıra kişiden kişiye değişen reaksiyon süresi aynı kişi için yaşına, yorgunluk derecesine, alkollü olup olmamasına ve psikolojik durumuna bağlı olarak da farklılıklar gösterebilir (Yayla, 2004).

Doymuş akım oranı, başlangıç gecikmesine uğrayan araçların ve gecikme miktarlarının belirlenmesindeki zorluklar sebebiyle tanımlanması zor bir kavramdır. Genel beklenti kuyruk boşalımı sırasında araçlar arasındaki takip aralıklarının ikinci araçtan itibaren düştüğü ve 4üncü ya da 5inci araçtan itibaren sabit kaldığıdır. Şekil 1’den de görülebileceği gibi ilk aracın arkasında hareket eden araçların takip aralıkları ikinci araçtan itibaren düşmeye başlar ve yaklaşık beşinci araçtan itibaren sabit kalır (HCM, 2000). Araçlar arasında sabit kaldığı kabul edilen ve kavşaktan bir saat içinde geçirilebilecek olan maksimum araç sayısını belirlemek amacıyla kullanılan bu sabit değere doymuş takip aralığı adı verilir. Doymuş takip aralığına bağlı olarak, doymuş akım değeri;

$$S = 3600 / h_s \quad (1)$$

şeklinde hesaplanır. Burada S; doymuş akım (araç/saat), h_s ; ortalama doymuş takip aralığı (saniye) değeridir.



Şekil 1 Kuyruktaki sıra numarasına bağlı olarak takip aralığı değerlerinin değişimi.

Başlangıç tepki süresi, kuyruk boşalım akım oranı, kuyruk boşalım hızı ve kuyruk boşalım zaman aralıklarının modellenmesinde etkin olarak kullanılabilir (Akçelik, 1999):

$$V_s = V_n [1 - e^{-m_v(t-t_r)}] \quad (2)$$

$$Q_s = Q_n [1 - e^{-m_q(t-t_r)}] \quad (3)$$

$$h_s = \frac{h_n}{[1 - e^{-m_q(t-t_r)}]} \quad (4)$$

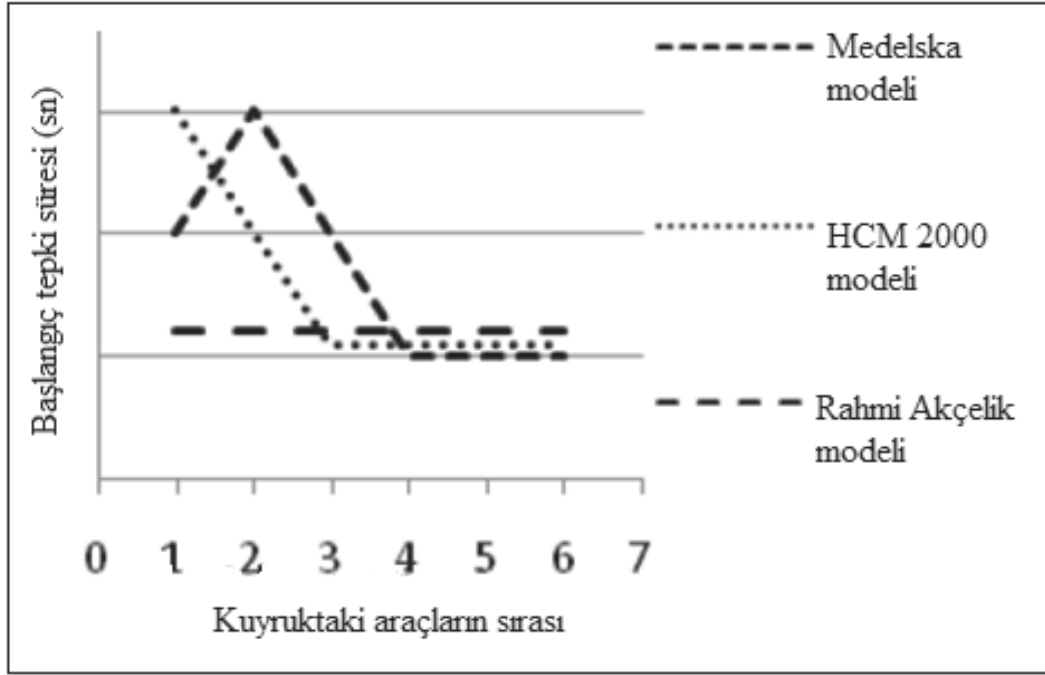
Bu bağıntılarda t ; yeşil sürenin başlangıcından itibaren geçen süreyi (saniye); t_r ; başlangıç tepki süresini) (saniye); V_s ; t anındaki kuyruk boşalım hızını (km/saat); V_n , en yüksek kuyruk boşalım hızını (km/saat); Q_s , t anındaki kuyruk boşalım akım oranını (araç/saat); Q_n , en yüksek kuyruk boşalım akım oranını (araç/saat); h_s , t anındaki kuyruk boşalım takip aralığını (saniye), h_n , en küçük kuyruk boşalım takip aralığını (saniye); m_v , kuyruk boşalım hız modeline ait bir parametreyi ve m_q kuyruk boşalım akım oranı modelindeki bir parametreyi ifade etmektedirler. Yine bilindiği üzere $h_s = 3600/Q_s$ ve $h_n = 3600/Q_n$ şeklinde de bulunabilmektedir.

Yukarıdaki bağıntılar incelendiğinde, özellikle “ h_n ” değerinin, doymun akıma karşılık gelen zaman cinsinden aralık değeri olduğu görülebilmektedir. “ h_n ” değeri başlangıç tepki süresine bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Akçelik, 1999):

$$h_n = t_r + d_a - t_s \quad (5)$$

Burada “ d_a ”, araçların hızlanması süresindeki ortalama gecikme süresini (saniye), “ t_s ” ise başlangıç kayıp süresini göstermektedir “ d_a ” ve “ t_s ” değerleri, sinyalden ayrılan araçların trafik akımı üzerindeki etkileri açısından önemli parametreler olmakla birlikte bu çalışma kapsamında hesaplanma yöntemleri üzerinde durulmayacaktır.

Reaksiyon süresi ile ilgili çalışmalar arasında farklı yaklaşımlarda bulunan araştırmacılarda bulunmaktadır. Medelska 1972 yılındaki, sinyal dur çizgisinde, duruştan harekete geçen araçları incelediği çalışmasında en fazla zamana ikinci aracın ihtiyaç duyacağını belirtmiştir (Yang ve Chung, 2012). İkinci sıradaki aracın hem yeşil süreyi hem de önündeki aracın hareketini takip edeceği için kuyruktaki diğer araçlara nazaran daha fazla gecikeceğini belirten araştırmacı, yeşil faz boyunca beşinci araçtan sonraki her aracın eşit aralıklarla hareket edeceğini anlatmıştır (Yang ve Chung, 2012). Şekil 2’de farklı araştırmacılar tarafından kabul edilen kuyruktaki araç sırasına bağlı olarak reaksiyon sürelerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 2 Kuyruktaki sıra numarasına bağlı olarak reaksiyon sürelerinin değişimi (Yang ve Chung, 2012).

Gözlem Yapılan Kavşaklar

Çalışma kapsamında İzmir’de bulunan dokuz adet sinyalize kavşakta gözlem yapılmıştır. Veriler kronometre yardımıyla, hava koşullarının uygun olduğu (yağışsız) hafta içi günlerinde ve genelde trafiğin en yoğun olduğu 18:00-19:00 saatleri arasında toplanmıştır. İncelenen her yaklaşım kolu için en az 1 saat süre ile gözlem yapılmıştır. İnceleme yapılan kavşaklara ait özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1 Gözlem yapılan kavşaklara ait özellikler.

Kavşak Adı	Bulunduğu İlçe	Şerit Sayısı	Şerit Tipi	Sinyal Süreleri (sn)	Şerit Genişliği (m)
Tansaş Kavşağı**	Bornova	3	3 D	k+s:25+2, y:45, s:3	3,00
Boğaziçi Kavşağı	Konak	5	D	k+s:37+2, y:38, s:3	3,00
			D	k+s:37+2, y:38, s:3	4,00
			SL	k+s:60+2, y:12, s:3	3,40
			SL	k+s:60+2, y:15, s:3	4,35
			SG	k+s:60+2, y:15, s:3	4,35
Mithatpaşa Cad.Göztepe Giriş Kavşağı	Konak	3	D	k+s:25+2, y:40, s:3	4,95
			D	k+s:25+2, y:40, s:3	4,35
			1SL-SG	k+s:45+2, y:20, s:3	4,35
Mithatpaşa Cad. Göztepe Çıkış Kavşağı	Konak	3	D	k+s:30+2, y:36, s:3	4,45
			D	k+s:12+2, y:53, s:3	3,75
			SL	k+s:24+2, y:41, s:3	3,75
BucaKoop. Girişi-1 Kavşağı	Buca	6	2D	k+s:48+2, y:30, s:3	3,35
			SL	k+s:70+2, y:7, s:3	4,95
			SG	k+s:35+2, y:43, s:3	4,90
BucaKoop. Girişi-2 Kavşağı	Buca	6	D	k+s:12+2, y:68, s:3	3,30
			2D	k+s:60+2, y:25, s:3	3,00
			SL	k+s:78+2, y:7, s:3	3,50
			SG	k+s:78+2, y:7, s:3	3,50
			D	k+s:13+2, y:72, s:3	3,85
Dokuz Eylül Rektörlük Kavşağı**	Konak	6	D	k+s:43+2, y:42, s:3	3,85
			SG	k+s:45+2, y:20, s:3	3,70
			SL	k+s:45+2, y:20, s:4	3,00
			D	k+s:25+2, y:40, s:3	3,50
			D	k+s:25+2, y:40, s:3	3,00
MKS.Bulvarı-Göztepe Giriş K.**	Konak	3	D	k+s:25+2, y:40, s:3	3,50
			D	k+s:25+2, y:40, s:3	3,00
MKS.Bulvarı-Göztepe Çıkış K.**	Konak	3	D	k+s:25+2, y:40, s:3	3,50

- D: doğru geçiş şeridi, SG: sağa dönüş şeridi, SL: sola dönüş şerididir.

Verilerin Elde Edilmesi

Reaksiyon süresi verileri; inceleme yapılan yaklaşım kollarında, kuyrukta ilk sırada duran araçlar için toplanmıştır. Sürücülerin, sarı ışığın yanması ile ilk harekete geçişleri arasındaki süre üzerinde etkili olabilecek faktörler araştırılmış ve en etkili faktörler regresyon analizi yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Her veri grubu için aşağıdaki özellikler belirlenmiştir:

- Araç tipi (otomobil, minibüs, küçük-ağır araç, kamyon, otobüs, körüklü otobüs),
- Şerit tipi (sağ şerit, sol şerit, orta şerit),
- Dönüş tipi (sağa dönüş, sola dönüş, doğru geçiş),
- Şerit genişliği,
- Sinyal özellikleri, (yeşil süre, devre süresi)
- Sürücünün cinsiyeti

Çalışma kapsamında toplanan 1429 adet reaksiyon süresi verisinden 126 tanesi bayan sürücülere aittir. Bayan sürücülere ait reaksiyon sürelerinin ortalaması 1,47 saniye ve standart sapma değeri 0,84 saniyedir. Bayan sürücülere ait araçların hepsi otomobil tipi araçlardır. Erkek sürücülere ait verilerin araç tiplerine bağlı olarak ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 Erkek sürücüler için reaksiyon süresi değerlerine ait temel istatistikler.

Araç Tipi	Otomobil	Minibüs	K-ağır araç	Otobüs	Körüklü otobüs	Kamyon
ORTALAMA	1,38	1,40	1,57	1,64	1,78	1,60
STANDART SAPMA	0,94	0,74	0,78	0,78	0,99	0,61
VERİ SAYISI	986	101	69	48	39	60

Erkek ve bayan sürücülere ait veriler bir arada ele alındığında başlangıç tepki sürelerinin ortalaması 1,39 saniye, standart sapması ise 0,93 olarak hesaplanmıştır. (Tablo 2’de verilen değerler kırmızı sinyalin sönmesi ve araçların ilk harekete geçişleri arasındaki zaman farkını ifade etmektedir. Kuyruğun ilk sırasında duran araçlar için araç tipinden bağımsız olarak toplanmıştır.)

Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışmanın ilk aşamasında reaksiyon süresi üzerinde etkili olduğu düşünülen faktörler araştırılmıştır. Regresyon analizi yardımıyla ilişkileri araştırılan değişkenler Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’ün en sol kolonunda araştırılan değişkenlere ait kısaltmalar verilmiştir. Şerit tipi, dönüş tipi ve araç tipi değişkenleri kendi içinde alt değişkenlere ayrılmaktadır.

Analizlerde öncelikli olarak modelleme çalışmalarında kullanılması düşünülen bağımsız değişkenler ile reaksiyon süresi arasındaki korelasyon ilişkisi araştırılmıştır. Regresyon analizine alınarak modelde kullanılacak bağımsız değişkenler ile reaksiyon süresi arasında iyi bir korelasyon ilişkisi olması beklenmektedir. Korelasyon katsayısının büyük olması (1’e mümkün olduğunca yakın) değişken ile reaksiyon süresi arasındaki ilişkinin yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca korelasyon katsayısının anlamlılığının 0,05’den küçük olması iki değişken arasında kabul edilebilir doğrusal bir ilişki olduğunu düşündürmektedir.

Tablo 3 Reaksiyon süresi üzerinde etkisi araştırılan değişkenler.

<i>L_{sag}</i>	Şerit Tipi	Sağ Şerit
<i>L_{sol}</i>		Sol Şerit
<i>L_{tek}</i>		Tek Şerit
<i>D_{sag}</i>	Dönüş Tipi	Sağa Dönüş
<i>D_{sol}</i>		Sola Dönüş
<i>T_{mini}</i>	Araç Tipi	Minibüs
<i>T_{hag}</i>		K.Ağır Araç
<i>T_{bus}</i>		Otobüs
<i>T_{kbus}</i>		Körüklü Otobüs
<i>T_{kam}</i>		Kamyon
<i>C_{ns}</i>	Cinsiyet	
<i>G_{nsl}</i>	Şerit Genişliği	
<i>K_{rm}</i>	Kırmızı Süre	
<i>D_{vrS}</i>	Devre Süresi	

Tablo 4’de reaksiyon süresi ile reaksiyon süresi üzerinde etkili olduğu düşünülen değişkenler arasındaki korelasyon ve anlamlılık değerleri verilmiştir. Değişkenlere birebir bağlı olarak verilen korelasyon ve anlamlılık değerleri incelendiğinde özellikle cinsiyet (sürücünün erkek olması durumu), kırmızı süre, kırmızı sürenin devre süresine oranı, devre süresi, araç tipi (körüklü otobüs) ve sola dönüş parametrelerinin reaksiyon süresi ile doğrusal açıdan daha yüksek ilişkide olduğu söylenebilir.

Modelleme aşamasında reaksiyon süresi ile yüksek doğrusal ilişkiye sahip olduğu düşünülen değişkenler kullanılan analiz programı yardımıyla f değerlerine bakılarak birer birer regresyon analizine dahil edilmiştir. Bağımsız değişkenler f değerinin 0,05’den küçük ve eşit olması durumunda modele dahil edilmiş, f değerinin 0,100’den büyük ve eşit olması durumunda modelden çıkarılmıştır. Yapılan analizler sonucunda önerilen bağıntı aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$R_s = 0,0255D_{vrS} - 0,0130K_{rm} + 0,2424L_{tek} + 0,4676T_{kbus} - 0,1911C_{ns} \quad (6)$$

Burada; R_s ; reaksiyon süresi, D_{vrS} ; devre süresi; K_{rm} ; kırmızı süre, L_{tek} ; yolun tek şeritli olması, T_{kbus} ; araç tipinin körüklü otobüs olması, C_{ns} ; cinsiyet (sürücünün erkek olması) durumlarını ifade etmektedir. Oluşturulan modele ait regresyon katsayısı $R^2=0,865$ olarak hesaplanmıştır. Yine modele ilişkin yapılan F-testi analizinde F-değeri 892,455 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde hesaplanan regresyon katsayısının 1’e oldukça yakın ve F-testi değerinin de oldukça yüksek olduğu söylenebilir.

Tablo 4 Reaksiyon süresi ile ilişkisi araştırılan bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon ve anlamlılık değerleri.

Bağımsız Değişken			Reaksiyon Süresi
ŞERİT TİPİ	Lsag	Korelasyon Kts	-0,0215
		Anlamlılık	0,4059
	Lsol	Korelasyon Kts	0,0114
		Anlamlılık	0,6591
	Ltek	Korelasyon Kts	-0,0172
		Anlamlılık	0,5049
DÖNÜŞ TİPİ	Dsag	Korelasyon Kts	-0,0176
		Anlamlılık	0,4956
	Dsol	Korelasyon Kts	-0,1010
		Anlamlılık	0,0001
ARAÇ TİPİ	Tmini	Korelasyon Kts	-0,0270
		Anlamlılık	0,2955
	Tkag	Korelasyon Kts	0,0393
		Anlamlılık	0,1283
	Tbus	Korelasyon Kts	0,0331
		Anlamlılık	0,1997
	Tkbus	Korelasyon Kts	0,0664
		Anlamlılık	0,0101
	Tkam	Korelasyon Kts	0,0346
		Anlamlılık	0,1811
Cns(Erkek Sürücü)	Korelasyon Kts	-0,0884	
	Anlamlılık	0,0006	
Gns1	Korelasyon Kts	0,0014	
	Anlamlılık	0,9570	
Krm	Korelasyon Kts	-0,1335	
	Anlamlılık	0,0000	
DvrS	Korelasyon Kts	-0,0537	
	Anlamlılık	0,0376	

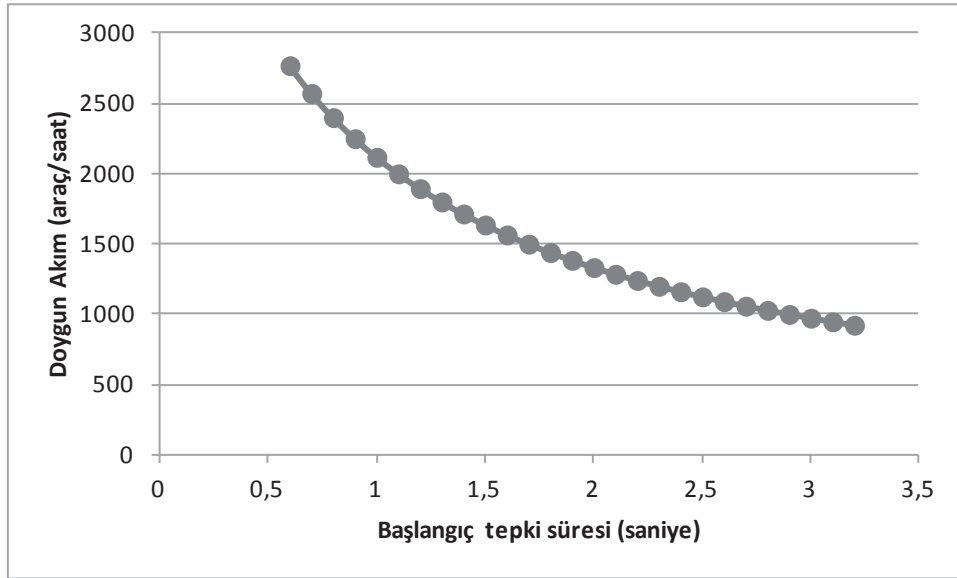
Tablo 5’de modele dahil edilen parametrelere ait regresyon katsayıları verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde, reaksiyon süresi üzerinde en yüksek etkinliğe sahip değişkenlerin devre süresi ($t = 25,8703$, anlamlılık = 0,0000) ve kırmızı süre ($t = -9,3786$, anlamlılık = 0,0000) olduğu belirlenmiştir. Devre süresi sürücülerin reaksiyon sürelerini arttırıcı bir etken olarak görülmektedir. Kırmızı sürenin artmasının, sürücülerini sabırsızlığa itmesi sebebiyle reaksiyon süresini azaltıcı bir etki yarattığı düşünülmektedir. Ayrıca şerit tipi reaksiyon süresi üzerinde etkili olan parametrelerden birisidir. Model sonuçlarına göre yolun tek şeritli olması durumunda reaksiyon süresi uzamaktadır. Bu durum sürücülerin yan şeritlerinde bulunan sürücülerin davranışlarından etkilendiğini ve sağında ya da solunda araç bulunmaması durumunda daha temkinli davrandıklarını göstermektedir. Analizler sürücü cinsiyetinin de reaksiyon süresi üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Sürücünün erkek olması, reaksiyon süresini azaltıcı bir etken olarak ortaya çıkmaktadır.

Tablo 5 Model değişkenlerinin parametre istatistikleri.

Bağımsız değişkenler	B katsayısı	Standart hata	t	Anlamlılık
DvrS	0,0255	0,0010	25,8703	0,0000
Krm	-0,0130	0,0014	-9,3786	0,0000
Ltek	0,2424	0,0464	5,2286	0,0000
Tkbus	0,4676	0,1287	3,6329	0,0003
Cns (Erk. S.)	-0,1911	0,0643	-2,9711	0,0030

Başlangıç Tepki Süresi ve Doygun Akım İlişkisinin Araştırılması

Başlangıç tepki süresinin önemini vurgulamak amacıyla, doyum akım üzerindeki etkisini bir örnekle açıklamakta yarar görülmüştür. Bu amaçla, (5) bağıntısından doyum akımda hareket eden araçlar arasındaki en küçük takip aralığı değeri, farklı “ t_r ” değerleri için hesaplanmıştır. Bağıntıda yer alan “ d_a ” değeri 2,8 saniye, “ t_s ” değeri ise 2.1 saniye olarak alınmıştır. Sonuçlar Şekil 3’de verilmektedir. Gözlemler başlangıç tepki süresinin yoğun olarak 0,62~3,22 saniye aralığında değiştiğini göstermiştir. Hesaplar da bu aralık dikkate alınarak yapılmıştır.



Şekil 3 Başlangıç tepki süresine bağlı olarak elde edilen doyum akım değerleri.

Gözlemler sonucunda, başlangıç tepki süresinin ortalamasının 1,39 saniye, standart sapmasının ise 0,93 olduğu görülmüştür. Ortalama değere karşılık gelen doyum akım değeri, 1722 araç/saat olarak hesaplanmıştır. Bu değer, uluslararası standartlar dikkate alındığında düşük sayılabilecek bir değerdir. Genel kabul olarak başlangıç tepki süresi, 1,0 saniye olarak alınırsa, doyum akım değeri 2118 araç/saat olarak hesaplanabilir. Bu da İzmir kentindeki sürücülerin tepki sürelerinin uzunluğu sebebiyle şerit başına yaklaşık %20’lik bir kapasite kaybının olduğunu göstermektedir.

Sonuçlar

Çalışmada, İzmir’de gözlem yapılan 9 adet sinyalizasyon kavşağında, kırmızı ışıkta ilk sırada bekleyen sürücülerin “başlangıç tepki/reaksiyon süresi” değerleri ölçülmüştür. “Başlangıç tepki süresi” birçok kuyruk dağılım modelinde kullanılan ve özellikle doymuş akım ve başlangıç kayıp zamanının hesaplanmasında etkin olan bir parametredir. İncelemelerde 1429 araçtan toplanan başlangıç tepki süresi değerinin ortalama 1,39 saniye (standart sapma 0,93 saniye) olduğu bulunmuştur. Reaksiyon süresi verileri değerlendirilirken aracın modeli, üretim yılı vs.. gibi bir çok parametrenin başlangıç/kalkış süresini etkileyebileceği unutulmamalıdır. Ancak bu çalışma kapsamında araçların mekanik özellikleri, modelleri ve üretim yılları gibi bilgiler toplanamamış, yalnızca araç cinsine bağlı olarak sınıflandırma yapılabilmektedir.

Reaksiyon süresi üzerinde etkili olan parametreler regresyon analizi yöntemi ile araştırılmıştır. Analizler sonucunda devre süresi, kırmızı süre, şerit tipi, yolun tek şeritli olması durumu ve cinsiyet faktörünün reaksiyon süresi üzerindeki etkisi oluşturulan model yardımıyla ifade edilmeye çalışılmıştır. Devre süresi sürücülerin reaksiyon sürelerini arttırıcı bir etken olarak görülmektedir. Kırmızı sürenin artmasının, sürücülerin sabırsızlığa itmesi sebebiyle reaksiyon süresini azaltıcı bir etki yarattığı düşünülmektedir. Model sonuçlarına göre yolun tek şeritli olması durumunda reaksiyon süresi uzamaktadır. Bu durum sürücülerin yan şeritlerinde bulunan sürücülerin davranışlarından etkilendiğini ve sağında ya da solunda araç bulunmaması durumunda daha temkinli davrandıklarını göstermektedir. Analizler sürücü cinsiyetinin de reaksiyon süresi üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Sürücünün erkek olması, reaksiyon süresini azaltıcı bir etken olarak ortaya çıkmıştır.

Çalışmanın son aşamasında başlangıç tepki süresinin doymuş akım üzerindeki etkisi incelenmiştir. Gözlemlerden elde edilen ortalama reaksiyon süresi değerine karşılık gelen doymuş akım değeri, 1722 araç/saat olarak hesaplanmıştır. Bu değer, uluslararası standartlar dikkate alındığında düşük bir değerdir. Genel kabul olarak başlangıç tepki süresi, 1,0 saniye olarak alınırsa doymuş akım değeri 2118 araç/saat olarak hesaplanabilmektedir. Bu durumda İzmir’deki sürücülerin tepki sürelerinin uzunluğu sebebiyle şerit başına yaklaşık %20’lik bir kapasite kaybının olduğu söylenebilir.

Elde edilen bulguların kapasite analizlerinde, sinyal sürelerinin belirlenmesinde ve mikro simülasyonlarda kullanılabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

Akçelik, R., Besley, M., and Roper, R. (1999). Fundamental relationships for traffic flows at signalized intersections. ARRB Transportation Research Ltd., Research Report ARR 340.

Bester, C. J, and Meyers, W. L. (2007). Saturation flow rates. In Proceedings of the 26th Southern African Transport Conference, Pretoria. pp.560-568,

Çalışkanelli, S. P. (2010) Sinyalizasyondan Ayrılan Araçların Takip Aralığı Dağılımının İncelenmesi, Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Medelská, V. (1972) Príspevok k určovaní hodnoty vstupných časov vozidel stupujících do vetelneriadenej kriřovatky, Silniční obzor, 5.

Yang, S., and Chung, E. (2012) Driver Response Time of Queuing Vehicles at Urban Signalized Intersections. Procedia Social and Behavioral Sciences, (43), pp. 169-177.

Yayla, N. (2004). Karayolu Mühendisliği. İstanbul, Birsen Yayınevi.

Transportation Research Board (TRB). (2000). Highway capacity manual. Washington, D.C. Transportation Research Board, National Research Council.

Transportation Research Board (TRB). (2010). Highway capacity manual. Washington, D.C. Transportation Research Board, National Research Council.

Sinyalize Arterlerde Araç Takip Aralıklarının Mesafeye ve Devre Süresine Bağlı Değişimi

Figen Coşkun,

Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak.
İnşaat Müh. Böl., Buca/İZMİR
Tel: (232) 301 70 38
E-Posta: figen-1989@hotmail.com

Kübra Çelik

Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak.
İnşaat Müh. Böl., Buca/İZMİR
Tel: (232) 301 70 38
E-Posta: celik_kubra@hotmail.com

S. Pelin Çalışkanelli

Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak.
İnşaat Müh. Böl., Buca/İZMİR
Tel: (232) 301 70 02
E-Posta: pelin.caliskanelli@hotmail.com

Serhan Tanyel

Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak.
İnşaat Müh. Böl., Buca/İZMİR
Tel: (232) 301 70 18
E-Posta: serhan.tanyel@deu.edu.tr

Öz

Çalışmada İzmir'deki sinyalize arterlerden elde edilen verilerden yararlanarak, serbest araç oranının mesafeye ve akım yukarı sinyale ait yeşil süre/Devre süresi oranına bağlı değişimi modellenmeye çalışılmıştır. Modelleme aşamasında araçların takip aralıklarının Cowan M3 dağılımına uyduğu kabul edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda sol şeritteki serbest araç oranının, diğer şeritlere oranla daha düşük olduğu; dolayısıyla daha fazla araç tarafından kullanıldığı anlaşılmıştır. Ayrıca hesaplar, “ α ” değerinin, beklenildiği gibi, sinyalden uzaklaştıkça arttığını göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Zaman cinsinden takip aralığı, Cowan M3 dağılımı, regresyon analizi

Giriş

Sinyalize arterler üzerinde hareket eden araçlar arasındaki zaman cinsinden aralıkların modellenmesi, arter üzerinde yer alan denetimsiz kavşak katılımlarının kapasite ve başarımlarının hesaplanmasında ayrıca yakın mesafeli kavşakların etkileşimlerinin, özellikle gecikmelerin hesaplanmasında önem taşımaktadır. Bir sinyalden ayrılan araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin dağılımının, herhangi bir kesintiye uğramamış trafik akımlarındaki aralık dağılımlarından farklı olması beklenebilir. Bir sinyalden ayrılan araçların takip aralıklarının, sinyalden uzaklaştıkça artması, ancak bir sonraki sinyale yaklaştıkça azalması öngörülmektedir. Burada akım içindeki serbest araç oranının belirlenmesi, söz konusu davranışın modellenmesinde hesaplanması gereken öncelikli parametreler arasındadır.

Akım içinde hareket eden araçlar kendi aralarında bağımlı veya bağımsız (serbest) araçlar olarak sınıflandırılabilirler. Dawson ve Chimini'ye (1968) göre bir aracın serbest hareket eden araç olarak kabul edilebilmesi için aşağıdaki şartları sağlaması gerekmektedir:

1. Zaman cinsinden takip aralık değeri, "uygun" bir uzunlukta olmalıdır.
2. Serbest araç, hızını öndeki araca göre ayarlamamak için, rahatça geçiş yapabilmelidir.
3. Geçiş işlemi tamamlandıktan sonra bile, serbest aracın hala bağımsız bir birim olarak hareket edebilmesi için uygun bir hızı koruyabilmesi gerekir.

Diğer araçlar ise bağımlı (takip eden) araçlar olarak adlandırılabilirler. Aslında araç grupları, dört farklı kategoride toplanabilirler:

1. Serbest araçlar,
2. Takip edenler,
3. Serbest araçtan, takip eden araç konumuna geçenler,
4. Geçiş hareketine başlayan araçlar (Luttinen, 1996).

Ancak son üç kategoride bulunan araçları birbirlerinden ayırmak güç olduğundan, serbest hareket eden ve grup halinde hareket eden olmak üzere iki ana grup kabul edilmiştir.

Genel yaklaşım, iki gruptaki araçların bulunduğu bir akımın zaman cinsinden aralıklarının modellenmesi için iki olasılık dağılım modelinin birleşmesinden meydana gelen bir dağılımın kullanılması yönündedir. Yapılan literatür çalışmalarında, çeşitli ülkelerde yapılan araştırmalarda en fazla kabul gören dağılımlardan birisinin, Cowan M3 dağılımı olduğu belirlenmiştir.

$$F(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 - \alpha e^{-\lambda(t-\Delta)} & t \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Formülde " α ", serbest hareket eden araç oranı, λ düzeltme katsayısı; Δ , birbirini takip eden araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değeridir. λ değeri aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir:

$$\lambda = \frac{q\alpha}{1 - q\Delta} \quad (2)$$

Burada "q", akım içindeki hareket eden araç sayısıdır (araç/saniye).

Sinyalizasyon noktasına yakın farklı mesafedeki noktalarda (sinyal dur çizgisine uzaklığı 50 m - 300 m) akım içindeki serbest hareket ettikleri kabul edilen araç oranının belirlenmesi çalışma açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle kırmızı ışık sonrası araçların bir grup halinde harekete başladıkları gözlemlenmektedir. Bu araçlar, "serbest hareket eden araçlar" olarak adlandırılabilir. Akım içinde ayrıca diğer araçlardan bağımsız olarak kendi hızlarını belirlemek isteyen sürücüler olacaktır. Bu durum, sinyalden uzaklaştıkça daha belirgin bir hal alabilir.

Serbest araç oranı " α ", Cowan M3 dağılımının yapısını etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Ana akım içindeki serbest araç sayısının doğru olarak belirlenmesi; Cowan M3 dağılımının gözlenen dağılıma uygunluğunu da belirleyen önemli bir unsurdur. Bunun yanı sıra, birden fazla bağıntıyla hesaplanabilmesi, bu parametrenin daha detaylı bir şekilde incelenmesi gereğini ön plana çıkarmaktadır.

Serbest araç oranının belirlemek amacıyla birçok araştırmacı farklı modeller önermiştir. Önerilen modeller; üssel ve doğrusal modeller olarak iki ana grupta toplanabilir. İlk olarak Tanner (1962), serbest araç oranını, aşağıdaki doğrusal bağıntıyla vermiştir:

$$\alpha = 1 - \Delta \cdot q \quad (3)$$

Akçelik ve Chung (1994) serbest araç oranının bir üssel eğriye uyduğunu öne sürmüşlerdir:

$$\alpha = e^{-b \cdot \Delta \cdot q} \quad (4)$$

Bağıntaki “b” parametresi kesintisiz akımlar için “0,5”, dönel kavşaklar içinse “2,5” olarak önerilmiştir.

Akçelik ve Chung (1994) tarafından önerilen üssel modele benzer bir model sinyalize arterler için Brilon (1988) tarafından geliştirilmiştir. Brilon çalışmasında Akçelik ve Chung’dan farklı olarak; değişik şeritlerdeki araçlar arasındaki minimum zaman cinsinden aralık değerinin (Δ) eşit olduğu kabulünü yapmıştır. Bu kabul ışığında, akım içindeki araç sayısı ile gözlenen serbest araç oranları arasında direkt bir ilişki aranabileceği belirtilmiş ve model buna bağlı olarak geliştirilmiştir:

$$\alpha = e^{-Aq} \quad (5)$$

Burada “A” parametresi 6 ile 9 arasında değişen bir sabittir. Sullivan ve Troutbeck (1997) Brilon’la aynı kabulü yapmış ancak değişik şeritlerin (sağ, orta veya sol) ve değişik şerit genişliklerinin serbest araç oranının belirlenmesinde etkili olduğunu vurgulamışlardır. Sullivan ve Troutbeck (1997) tarafından önerilmiş olan modeller aşağıda verilmektedir:

	L < 3,0 m için	$\alpha = e^{(-6.5q)}$	(6.a)
<i>Sağ şerit</i>	3,0 ≤ L ≤ 3,5 m için	$\alpha = e^{(-5.25q)}$	(6.b)
	L > 3,5 m için	$\alpha = e^{(-3.4q)}$	(6.c)
<i>Sol şerit</i>	3,0 ≤ L ≤ 3,5 m için	$\alpha = e^{(-7.5q)}$	(7)
<i>Orta Şerit</i>	3,0 ≤ L ≤ 3,5 m için	$\alpha = e^{(-5.25q)}$	(8)

Burada L metre cinsinden şerit genişliğidir. Formüller incelendiğinde şerit genişliğinin 3,0m ile 3,5m arasında değişmesi koşulları için orta şerit ve sağ şeride ait bağıntıların aynı olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, orta şerit için yeterli sayıda veri toplanamamış olması ve sağ şerit için önerilen bağıntıların orta şerit içinde geçerli olabileceği kabulünün yapılmasıdır.

Çalışkanelli ve Tanyel (2010), “ α ” parametresi için Tablo 1’de verilen bağıntıları önermişlerdir. Tablodan da görülebileceği gibi, Çalışkanelli ve Tanyel’in modellerinde

de orta şerit bulunmamaktadır. Onlar da Sullivan ve Troutbeck gibi orta şerit verisinin az olması sebebiyle orta şerit verilerini sağ şerit verileriyle birlikte değerlendirmişlerdir.

Tablo 1 Şerit tipine bağlı olarak serbest araç oranları (Çalışkanelli ve Tanyel, 2010).

Şerit Tipi	Model Adı	Bağıntı
<i>Sağ Şerit</i>	MK1	$\alpha = e^{(-5,35q)}$
	MK2	$\alpha = 1 - 1,01\Delta q$
	MK3	$\alpha = (1 - \Delta q) / (1 - (1 - 0,95)\Delta q)$
<i>Sol Şerit</i>	MMd1	$\alpha = e^{(-5,99q)}$
	MMd2	$\alpha = 1 - 1,11\Delta q$
	MMd3	$\alpha = (1 - \Delta q) / (1 - (1 - 1,35)\Delta q)$

Sinyalize bir arterde yakın mesafeli iki kavşak arasındaki etkileşimin belirlenmesinde, kavşaklar arasındaki mesafenin de etkili olduğu düşünülebilir. Sullivan ve Troutbeck (1994), sinyal çıkışından olan uzaklığa bağlı olarak serbest araç oranının hesaplanabilmesi için aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir:

$$\alpha = e^{-Aq} (1 - Ce^{-Bx}) \quad (9)$$

(9) nolu bağıntı incelendiğinde, bağıntının ilk kısmının (5) nolu bağıntı ile aynı olduğu görülmektedir. Nitekim Sullivan ve Troutbeck (1997) “A” parametresinin “6” alınabileceğini belirtmişlerdir. Bağıntıda bulunan “x” değişkeni, metre cinsinden mesafedir. “B” parametresi için 0,0068 değeri önerilmiştir. “C” parametresi ise incelenen sisteme ait bir parametre olup 0,05~0,25 arasında bir değer almaktadır.

Çalışma kapsamında İzmir’deki ana arterlerde yapılan gözlemlerden yararlanarak elde edilen zaman cinsinden takip aralıkları, kavşaklar arası uzaklık ve akım yukarı sinyale ait yeşil süre/Devre süresi oranı ile ilişkilendirilerek modellenmeye çalışılmıştır.

Gözlem Verilerinin Elde Edilmesi

Çalışmada, “ α ” parametresinin mesafeye bağlı olarak değişiminin belirlenmesi amacıyla Mustafa Kemal Sahil Bulvarı Karataş Kavşağı, Buca Koop. 2 Kavşağı, Çankaya Kavşağı ve Balçova’da yer alan İnciraltı kavşağı ile Balçova Çağdaş Taksi kavşağı arasında kalan kesimlerde yapılmış olan video kamera çekimlerinden yararlanarak sinyal dur çizgisinden 20 m, 40 m, 60 m, 70 m, 80 m, 130 m, 140 m, 160 m,

220 m, 240 m, 270 m, 290 m ve 380 m uzaklıklarda belirlenen kesitlerden zaman cinsinden aralık verileri toplanmıştır. Ayrıca her kesitin bir sonraki sinyale olan uzaklıkları da ölçülmüştür. Kesitlerin alındığı arter üzerindeki sinyalizasyonlara ait yeşil, kırmızı faz süreleri ile devre süreleri de ayrıca kaydedilmiştir.

Video kamera ile yapılan çekimler büroda değerlendirilmiş, şerit bazında araçlar arasındaki zaman cinsinden aralık değerleri elde edilmiştir. Veriler, 10~15 dakikalık veri gruplarına ayrılmıştır. Bunun amacı, eğilim (trend) olmayan veri grupları elde etmektir. Sonuç olarak toplamda analizler için 185 veri grubu elde edilebilmiştir. Bu veri gruplarına ait Cowan M3 dağılımının parametreleri, "En Küçük Kareler" yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Cowan M3 dağılımı ve parametrelerinin belirlenmesi hakkında detaylı bilgi için Luttinen'in (1996, 1999); Troutbeck'in (1997) ve Tanyel ve Varlıorpak'ın (2000) çalışmalarından yararlanılabilir.

Verilerin Değerlendirilmesi

Video kamera ile yapılan çekimlerin detaylı incelenmesi sonucunda, " α " parametresinin hesaplanmasında etkili olabilecek değişkenler aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

1. Trafik hacmi (q) (araç/saniye);
2. Araçlar arasındaki en küçük takip aralığı (Δ) (saniye);
3. Akım yukarısında bulunan sinyale olan uzaklık ($L_{\text{akım yukarı}}$) (m);
4. Akım aşağısında bulunan sinyale uzaklık ($L_{\text{akım aşağı}}$) (m);
5. Akım yukarısında yer alan sinyale ait yeşil zaman, devre süresi oranı ($y_{\text{sl}}/Drvs_{\text{akım yukarı}}$);
6. Akım aşağısında yer alan yukarıdaki sinyale ait yeşil zaman, devre süresi oranı ($y_{\text{sl}}/Drvs_{\text{akım aşağı}}$);
7. Şerit özelliği (sol, orta ve sağ şerit olması durumu, ŞT).

İncelenen sinyalizasyon arter kesiminde gözlem yapılan akım yukarı ve akım aşağı sinyallere ait devre ve faz sürelerinin birbirleriyle koordineli olması trafik akımı içindeki araçların en az gecikme ile sistemden ayrılmasını sağlayabilecektir. Bu sebeple $y_{\text{sl}}/Drvs_{\text{akım yukarı}}$ ve $y_{\text{sl}}/Drvs_{\text{akım aşağı}}$ değerlerinin modele eklenmesinde yarar olduğu düşünülmüştür. Diğer yandan çalışmanın bir diğer amacı da mesafeye bağlı olarak serbest araç oranının belirlenmesidir. Sinyalden ayrılan araçlar, eğer başka bir engelle karşılaşmazlarsa, belirli bir mesafeden sonra birbirlerinden bağımsız olarak hareket etmek isteyeceklerdir. Bu durum başlangıçta sinyalden ayrılan ilk araçlar arasında görülecek ve belirli bir mesafe sonra (örneğin 1km ve sütü gibi) akım incelendiğinde araçların takip aralıklarının tamamen rastgele olduğu diğer bir değişle negatif üssel dağılımla tanımlanabileceği görülebilecektir. Ancak eğer trafik akımı sinyalden ayrıldıktan sonra yine bir sinyalle karşılaşıyorsa kuyruğa katılan araçların yaptıkları frenleme manevrası sebebiyle akım içindeki serbest araç oranında bir düşüş olması beklenebilir. Bu sebeple $L_{\text{akım yukarı}}$ ve $L_{\text{akım aşağı}}$ değişkenleri de modelleme aşamasında dikkate alınmıştır.

Yukarıda sıralanan değişkenlerden hangilerinin modelde kullanılabileceğinin anlamlı olduğunun belirlenmesi amacıyla Mallow'un Cp istatistiği yöntemi öncelikli olarak kullanılmıştır. Mallow'un Cp istatistiği, en küçük kareler kullanılarak tahmin edilmiş bir regresyon modelinin uyumunu değerlendirmek için kullanılır. Bir modelin

oluşturulmasında kullanılabilir bir bağımsız değişkenler kümesi içinden model için en uygun değişkenlerin seçilmesi amacıyla tercih edilebilen bir yöntemdir. Hesaplarda, sol şerit için 3, orta şerit için 2 ve sağ şerit için 1 değerleri kabul edilmiştir. Bu yöntemden elde edilen sonuçlar Tablo 2'de görülmektedir. Tablo'da kutu içinde gösterilen satır, modelde kullanılması uygun olabilecek parametreleri veren satırdır. Bu satırın seçilme sebebi, Mallow'un Cp istatistiği ile modelde kullanılabilir bağımsız değişken sayılarının birbirlerine eşit olmasıdır.

Tablo incelendiğinde, " α " parametresinin belirlenmesinde yukarıda sıralanmış olan parametrelerden sadece Akım aşağı sinyale ait yeşil zaman, devre süresi oranının ($ysl/Drvs_{akım\ aşağı}$) modele dahil edilmeyebileceği anlaşılmaktadır. Buna göre gerçekleştirilmiş olan çoklu regresyon analizinin sonuçları Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3 incelendiğinde şerit tipinin (sol, orta veya sağ), önceki sinyale ait $ysl/Drvs$ oranının ve $\Delta*q$ "trafik hacim (araç/saniye)" değerlerinin " α " parametresinin belirlenmesinde önemli bir rol oynadıkları görülmektedir. Tabloda regresyon analizi verilmiş olan bağıntı aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\alpha = 0,585591 - 0,00033L_{akımyukarı} - 0,00052L_{akımaşağı} - 0,05897\text{ŞT} \quad (10)$$

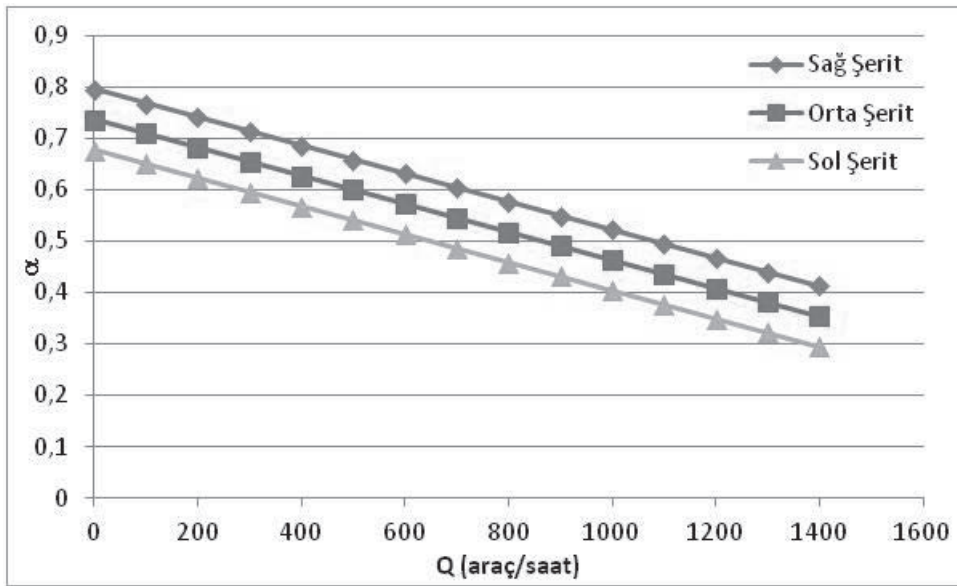
$$+ 0,529183 \frac{ysl}{Dvrs_{akımyukarı}} - 0,54672\Delta q$$

Tablo 2 Mallow'un Cp istatistiği sonuçlarını gösteren tablo.

Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	Mallows C-p	S	Şerit Öncelikli Sinyal (Sinyal kayyallaşma) Uartt zlt aeg k = / / lu2 CC d iz ; ka ool ksrrt (loaaa mllnn*) k = 11 q X
1	57,3	57,0	182,7	0,11811	
1	14,6	14,1	544,9	0,16698	X
2	67,6	67,2	97,1	0,10314	X X
2	66,1	65,7	109,7	0,10548	X X
3	74,7	74,2	39,0	0,091446	X X X
3	68,8	68,3	88,4	0,10141	X X X
4	77,5	77,0	16,6	0,086327	X X X X
4	77,0	76,5	20,9	0,087296	X X X X
5	79,1	78,6	5,0	0,083433	X X X X X
5	78,5	77,9	10,2	0,084648	X X X X X
6	79,1	78,4	7,0	0,083669	X X X X X

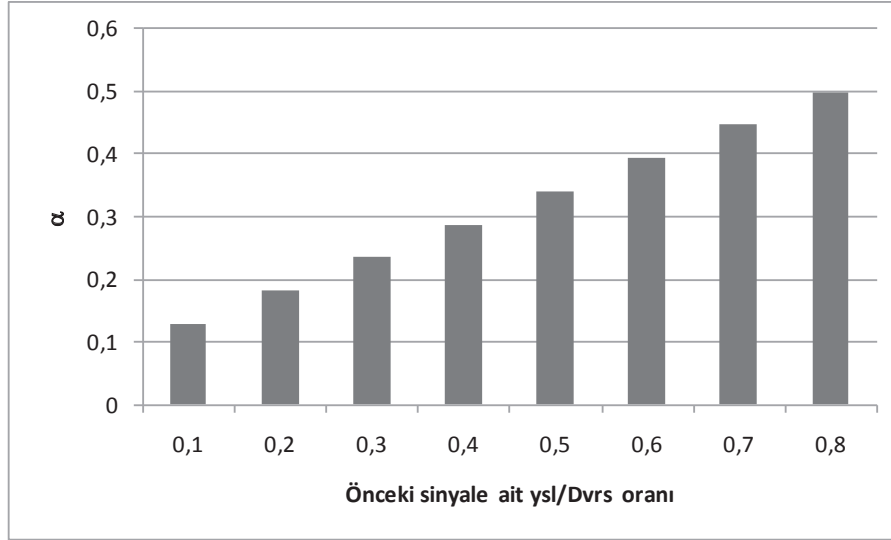
Tablo 3 Çoklu regresyon analizi sonuçları.

Regresyon İstatistikleri								
Çoklu R	0,889644							
R Kare	0,791467							
Ayarlı R Kare	0,785609							
Standart Hata	0,083433							
Gözlem	184							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F			
Regresyon	5	4,702803	0,940561	135,116	1,16E-58			
Fark	178	1,239082	0,006961					
Toplam	183	5,941885						
	Katsayılar	Standart Hat	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük %95	Yüksek %95
Kesişim	0,585591	0,036691	15,96017	3,58E-36	0,513187	0,657996	0,513187	0,657996
Önceki Sinyale Uzaklık (m)	-0,00033	7,89E-05	-4,23788	3,62E-05	-0,00049	-0,00018	-0,00049	-0,00018
Sonraki sinyale uzaklık (m)	-0,00052	8,35E-05	-6,18076	4,23E-09	-0,00068	-0,00035	-0,00068	-0,00035
Şerit Tipi (sağ=1; orta=2; sol=3)	-0,05897	0,006785	-8,69122	2,3E-15	-0,07236	-0,04558	-0,07236	-0,04558
Önceki Sinyale ait ysl/Dvrs oranı	0,529183	0,053885	9,820682	1,83E-18	0,422848	0,635518	0,422848	0,635518
Δ^*q (araç/saniye)	-0,54672	0,034803	-15,709	1,88E-35	-0,6154	-0,47804	-0,6154	-0,47804

Şekil 1 " α " parametresinin şerit tipine göre değişimi.

Şekil 1'de " α "nın şerit tipine bağlı değişimi görülmektedir. Şekilden sol şeritteki serbest araç oranının diğer şeritlere oranla daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuç, sol şeridin daha fazla araç tarafından tercih edildiğini gösteren önemli bir çıkarımdır. Ancak çalışma kapsamında araç kompozisyonu dikkate alınmamıştır. Otobüs gibi ağır araçların oluşturacakları zaman cinsinden aralık değerlerinin otomobillere göre daha fazla olacağı açıktır.

Şekil 2'de ise " α "nın önceki sinyale ait ysl/Dvrs oranına bağlı değişimi görülmektedir. Şekilden de görülebileceği üzere önceki kavşaktaki yeşil süresinin toplam devre süresi içindeki payı arttıkça araçlar iki kavşak arasında birbirlerinden daha az etkilenecek hareket etmektedirler.

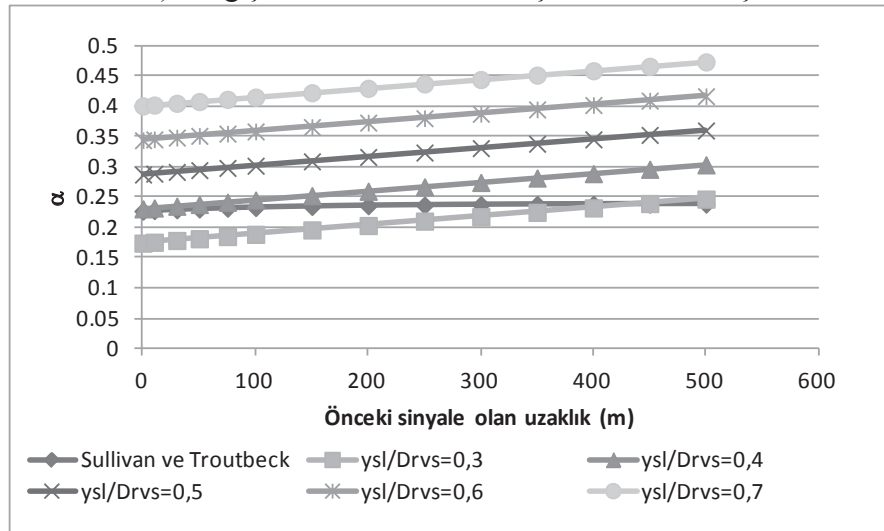
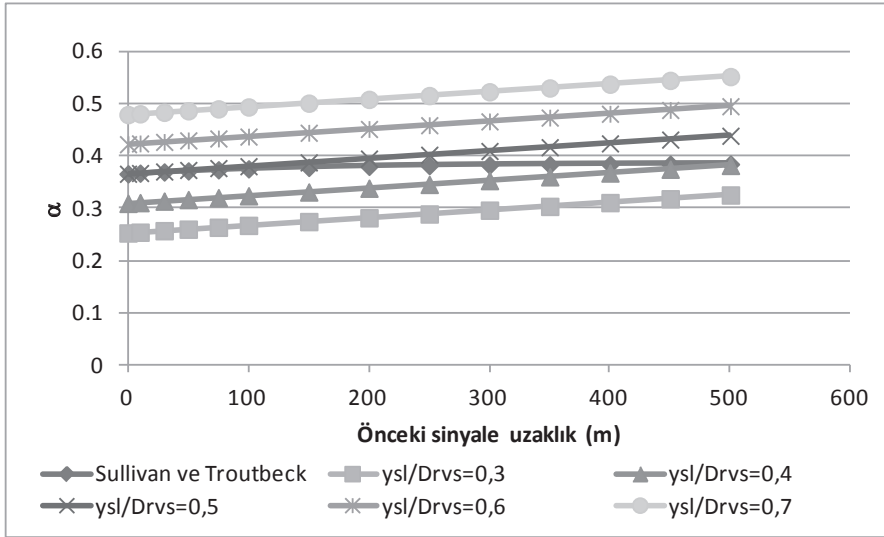
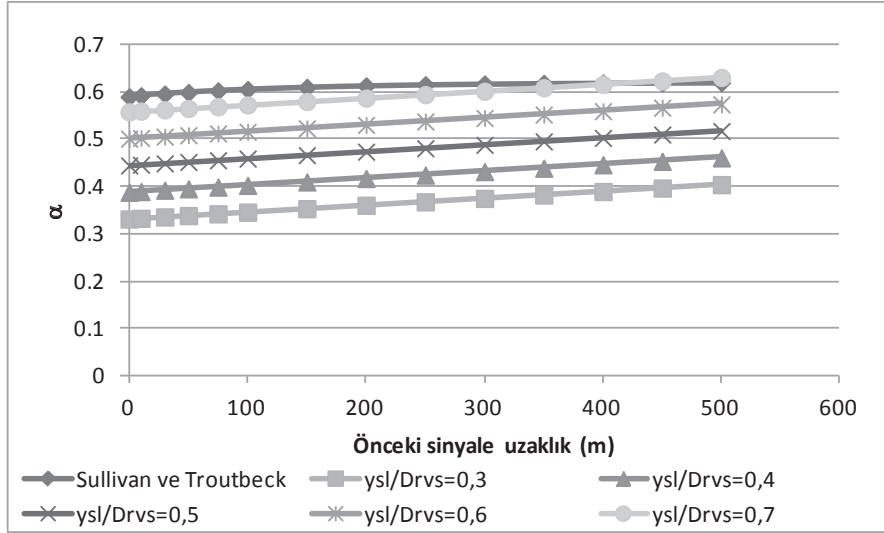


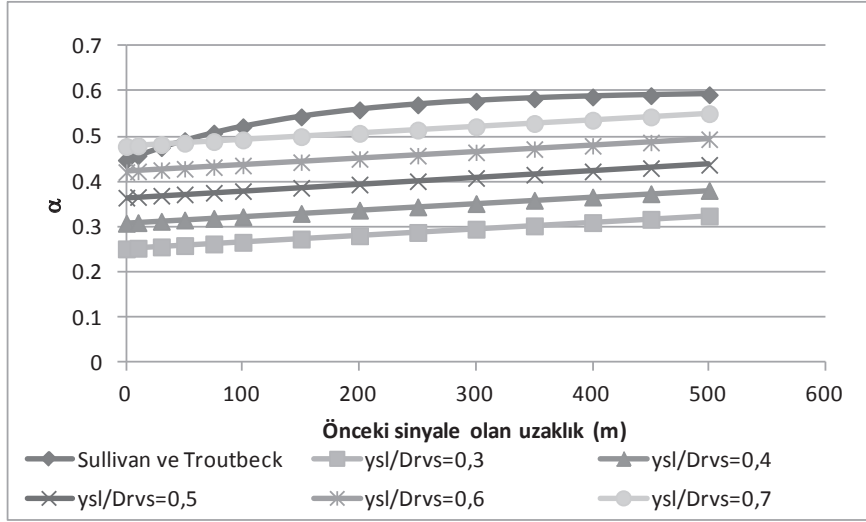
Şekil 2 " α " parametresinin önceki sinyale ait ysl/Dvrs oranına bağlı değişimi.

Çalışmada ayrıca, bir önceki kavşağa olan uzaklığa bağlı olarak " α " değerinin değişimi incelenmiştir. Bu aşamada Troutbeck ve Sullivan (1994) tarafından önerilmiş olan bağıntı ile de karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 3'te sağ şeritteki araçlar için ve Şekil 4'te de sol şeritteki araçlar için " α "nın mesafeye bağlı olarak değişimi görülmektedir. Şekiller incelendiğinde düşük trafik akımlarında Sullivan ve Troutbeck (1994) tarafından önerilmiş olan bağıntının, bağıntı (10)'dan elde edilen değerlere göre daha yüksek sonuçlar verdiği; ancak trafik akımı arttıkça bağıntıyla daha düşük değerler hesaplandığı görülmektedir.

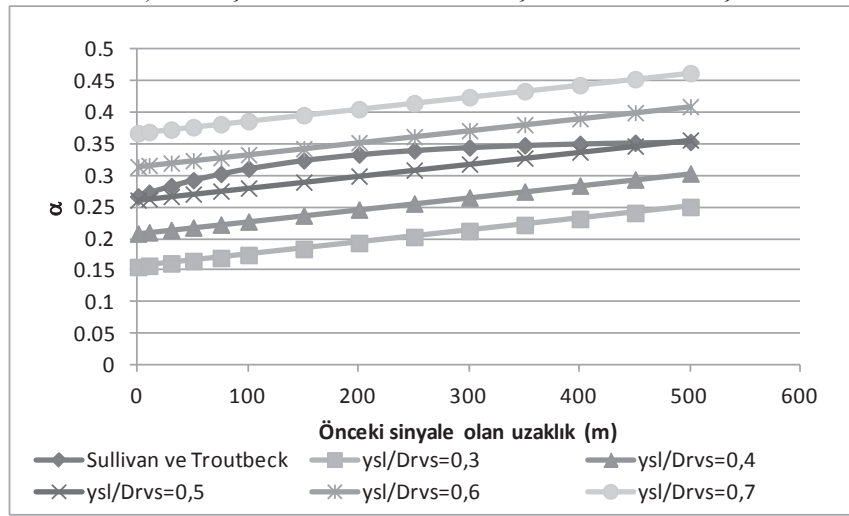
Çalışmada ayrıca elde edilen " α " bağıntısı, Çalışkanelli ve Tanyel (2010) tarafından bulunmuş ve Tablo 1'de verilmiş olan bağıntılarla da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için sağ ve sol şeritlerdeki trafik akımlarının 0 ile 1200 araç/saat arasında değiştiği ve akım yukarı ve akım aşağı trafik sinyallerine ait yeşil süre/devre süresi oranının 0,7 olduğu kabul edilmiştir. Akım içindeki en küçük takip aralığı değeri (Δ) ise her iki şerit için de 2,0 saniye olarak seçilmiştir. Sağ ve sol için elde edilen sonuçlar Şekil 5 ve 6'da görülmektedir.

Şekiller incelendiğinde, çalışma kapsamında elde edilmiş olan bağıntının, üstel bağıntılar olan MK1 ve MMd1 bağıntılarından daha yüksek, MK2, MK3, MMd2, ve MMd3 bağıntılarına oranla çok daha düşük sonuçlar verdiği görülmektedir. Değerler ancak 1000 taşıt/saat gibi yüksek hacim değerlerine erişildiğinde benzer sonuçlar vermektedir.

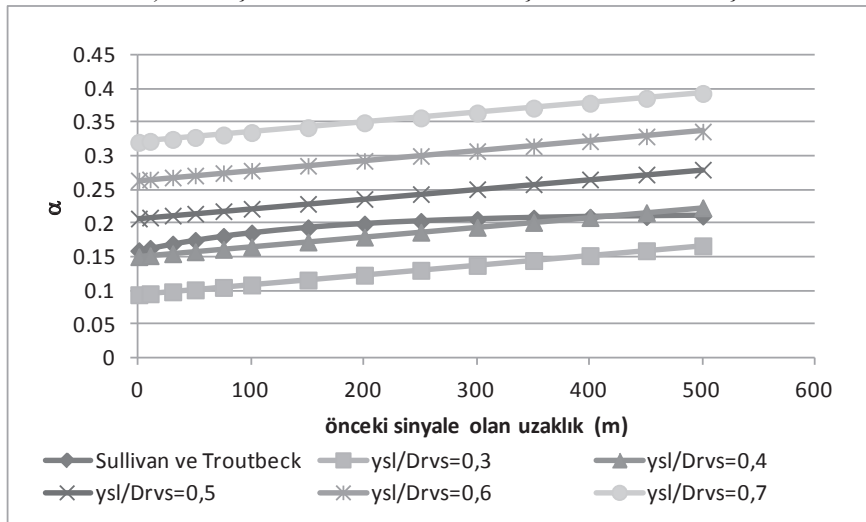
Şekil 3 Sağ şeride ait “ α ” değerleri.



a) Sol şerit hacminin 250 araç/saat olması koşulu.

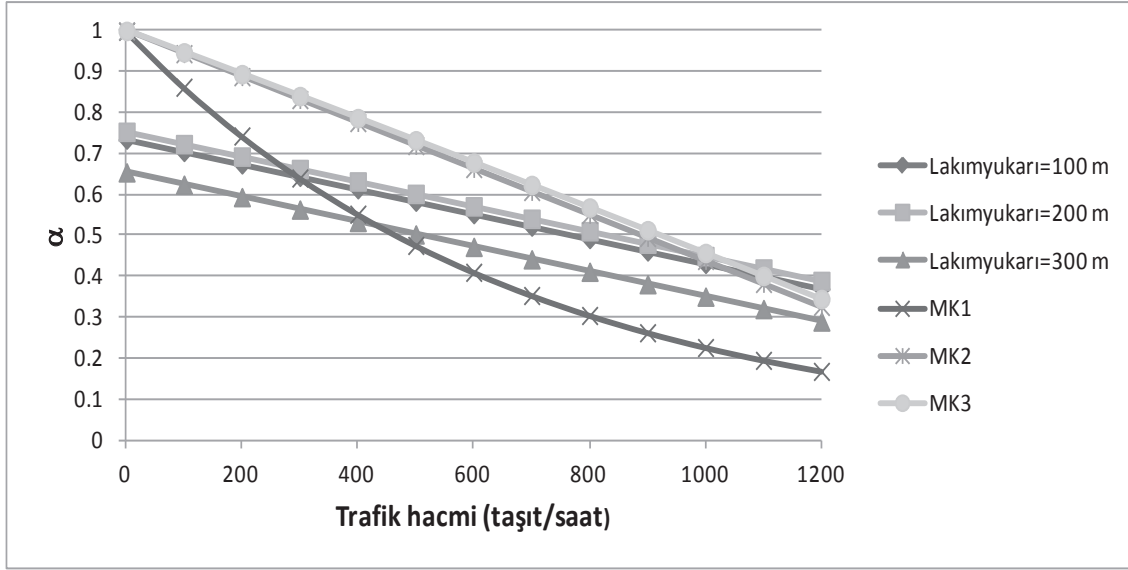


b) Sol şerit hacminin 500 araç/saat olması koşulu.

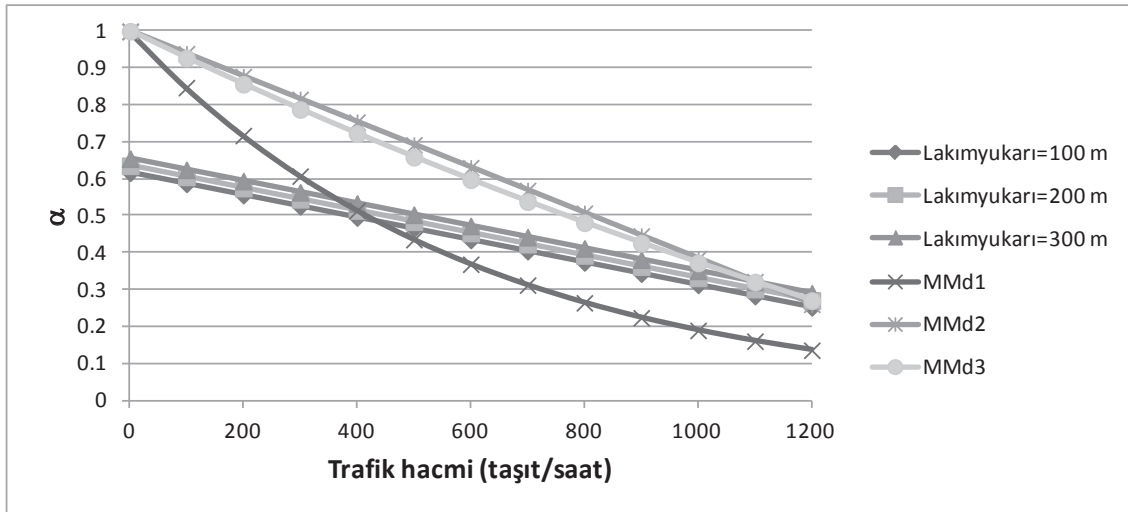


c) Sol şerit hacminin 750 araç/saat olması koşulu.

Şekil 4 Sol şeride ait " α " değerleri.



Şekil 5 Sağ şerit için önerilen model ile Çalışkanelli ve Tanyel (2010) tarafından önerilmiş olan modellerin karşılaştırılması



Şekil 6 Sol şerit için önerilen model ile Çalışkanelli ve Tanyel (2010) tarafından önerilmiş olan modellerin karşılaştırılması

Sonuç ve Öneriler

Çalışma kapsamında İzmir'deki sinyalizasyon arterlerinden elde edilen verilerden yararlanarak, serbest araç oranının mesafeye ve akım yukarı sinyale ait $ysl/Dvrs$ oranına bağlı değişimi modellenmeye çalışılmıştır. Elde edilen model kullanılarak sol, orta ve sağ şerit için ayrı ayrı serbest araç oranları hesaplanabilmektedir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda sol şeritteki serbest araç oranının, diğer şeritlere oranla daha düşük olduğu; dolayısıyla daha fazla araç tarafından kullanıldığı anlaşılmıştır. Ayrıca hesaplar, " α " değerinin, beklenildiği gibi, sinyalden uzaklaştıkça arttığını göstermiştir.

Elde edilen modelin, araçların akım aşağı konumda bulunan sinyale yaklaşımlarının ve gecikme parametresinin tahmininde kullanılması mümkündür. Ancak modelin kuyruk boşalımı (platoon dispersion) analizlerinde kullanılması mevcut haliyle mümkün gözükmemektedir. Cowan M3 dağılımının parametrelerinden birisi olan en küçük takip aralığı (Δ) değerinin modellenmesi, söz konusu analizlerde daha etkin bir yöntem olarak karşımıza çıkabilir.

Teşekkür Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Grubu'nun desteklemiş olduğu **110M677 No'lu TÜBİTAK** projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya verdikleri destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Akçelik, R. & Chung, E. (1994), Calibration of the bunched exponential distribution of arrival headways, Road & Transport Research, 3, 42-59.

Brilon W. (1988) Intersections without traffic signals. Recent Developments in Calculation Methods for Unsignalized Intersections in West Germany(Brilon W., Ed.), pp. 111-153. Springer-Verlag, Berlin.

Çalışkanelli, S. P., & Tanyel, S. (2010). Investigation of vehicle bunching at signalized arterials in Turkey. Canadian Journal of Civil Engineering, 37 (3), 380-388.

Dawson, R. F., and Chimini, L. A. (1968). The hyperlang probability distribution: A generalized traffic headway model. Highway Research Record, 230: 1-14.

Luttinen, R. T. (1996), Statistical analysis of vehicle time headways, Teknillienkorkeakoulu, Liikennetekniikka, Julkaisu, Otaniemi

Luttinen, R. T. (1999), Properties of Cowan M3 headway distribution, Transportation Research Board 1999 Annual Meeting Preprints, TRB, Washington D.C., USA

Sullivan, D. P., and Troutbeck, R. J. (1994).The use of Cowan's M3 distribution for modelling urban traffic flow.Traffic Engineering & Control, 35(7/8): 445-450.

Sullivan, D. P., and Troutbeck, R. J. (1997).An exponential relationship for the proportion of free vehicles on arterial roads.Transportation Research, Part A, 31(1): 21-33.

Tanner, J. C. (1962), A theoretical analysis of delays at an uncontrolled intersection, Biometrika, 49 (1-2), 163-170

Tanyel S. & Varlıorpak Ç. (2000), Cowan M3 Dağılımının Trafik Akımlarının Modellenmesinde Kullanımı, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Sayı: 3 Sh. 35-49.

Troutbeck, R. (1997), A review on the process to estimate the Cowan M3 headway distribution parameters, Traffic Engineering & Control, 38(11), 600-603.

İzmir Metro İnşaatındaki Altyapı Sistemlerinin Yenilenmesi, Düzenlenme Aşamaları ve Çalışma Maliyetlerinin Sosyoekonomik ve Yatırım Aracı Olarak Değerlendirilmesi

Gürhan Özsamancı

76 Sokak No : 49 Kat: 3 Da :13 Işık Apartmanı Güzelyalı / İzmir

Tel : (232) 463 53 52

E-Posta : gurhanozsamanci@hotmail.com

Öz

Bu yazının ana amacı, hafif raylı sistem ve metro çalışmalarında, altyapı inşaatlarının asıl masraflarının bir bütün olarak ele alınması ve incelenmesidir. Bu masraflar, ihale kapsamı dışında, kamuoyuna ilan edilmeyen masraflardır. İnşaat hattı boyunca yaşayan ve çalışan vatandaşların, işletme sahiplerinin hesaplanabilir/hesaplanamaz tüm kayıpları da 3.derece etkilenen bir kesim olarak değerlendirilip, masraflara katılmalıdır.[1] Bunlarda, bu inşaat çalışmalarının salt masraflarının yanı sıra, sosyal çıktılarına da içerir. Metro inşaatlarının bütçeleri, hükümette ve belediyelerde finansal bir değerdir.[2] Bu sebepten yatırım bütçeleri, finansal bir yatırım aracı olarak algılanabilir. Bu bütçeler, merkezi kurum bütçelerinde önemli bir paya sahiptirler. Bu kadar büyük ölçekli bir ekonomik değer, mali yatırım aracı olarak kullanılabilirliği, resmi olarak mümkün değildir. Ancak bütçenin tamamı ekonomik bir değer olarak algılanabilir. Bunun için çok çeşitli, mevduat, döviz vb, yatırım metotları vardır ve bu yazıda bunlardan bazılarına değinilecektir. Metro çalışmalarında, kamulaştırma, projelendirme ve uygulama aşamaları bir bütün olarak değerlendirildiğinde, metre bazında maliyet analizi yapılabilir ve bu maliyetin zamana bağlı olarak değişimi açıkça incelenebilir.

Anahtar Sözcükler : Hafif Raylı Sistem, Metro,Maliyet, Masraf, Yatırım

Giriş

Ulaşım, insan doğasının en önemli ekonomik aktivitelerinden ve ihtiyaçlarından. Büyükşehirlerin ve metropollerin değişmez öğelerinden biri de ulaşım. Ulaşım ağları, şehirlerin coğrafik ve topografik özelliklerine, yerel ihtiyaçlara ve gelecek gelişim stratejilerine göre tasarlanır. (Tramvay, yeraltı treni, köprü vb .) Ulaşım yatırımları, mevcut problemliliğin iyileştirilmesi, mevcut sisteme yeni teknolojik gelişmelerin yansıtılması ve kentlerin “ulaşım ana planları” ‘ da yer alan gelecek trafik senaryolarına göre yeni oluşturulan sistemleri içerir.19. yüzyılın sonlarından başlayarak, hafif raylı sistemler (HRS) ve yeraltı ulaşım sistemleri, Çin, Brezilya, Avrupa, Rusya, A.B.D, İngiltere ve Kanada’da yaygınlaşmaya başlamıştır.[3] Bu hızlı gelişimin temelinde ilk etapta ticaret –mesela madenlerin çıkarımı ve merkezlere ulaştırılması gerekliliği- gelse de, modern şehirlerin özellikle de savaş sonrası tekrardan imar edilmesi, özellikle yüzölçümü geniş ülkelerde uzun mesafelerin kısaltılması gelmekteydi. Yol yapım maliyetleri daha ucuz ve daha düşük işçi maliyetleri içermesine ve daha hızlı tamamlanmasına karşın, konfor, kalite, zaman içerisinde tükenme süreleri

değerlendirildiğinde, HRS ve metro yapımları , sosyal geri dönüşleri ve fayda – maliyet değerleri ile tolere etmektedir. [4]

Türkiye’de metro çalışmaları, T.C Ulaştırma Bakanlığı ve yerel hükümet olarak bilinen belediyeler eli ile yürütülmektedir. Bu sebepten, metro ve HRSler toplum yararına yapılan kamu hizmetleridir.[5] Metro ve HRS inşaat süreçleri, teknolojik değişiklikler ve yenilikler ile gün be gün kısalsa da; belirli bir plan dâhilinde bir inşa süresi almaktadır. Bu süreç zarfında, inşaat bölgesinde yaşayan vatandaşlar ve işletme sahipleri doğrudan etkilenmektedir. Ayrıca bu etkilenenler, kamu hizmetinin götürüldüğü nihai kullanıcılarıdır.

Bu durumda inşaatların gözle görünemeyen ancak, inşaat döneminde ekonomiye yansıyan bazı maliyetlere sebep olduğunu ortaya koymaktadır. Devlet yani hükümetlerin mali bütçesi yeterli olmasına karşın sürekli olarak mevcut bir metro inşaat teknolojisini devlet hizmeti olarak vermek gibi bir bütçe kolu bulunmamaktadır. Bu durumda devlet, yapmak ve işletmek istediği tesislerin, yapıların veya metro gibi ulaşım sistemlerinin tasarlanması, projelendirilmesi gibi çalışmaları kendi bünyesindeki kurum, kuruluş ve personel ile yaptığı gibi kamu dışından da hizmet alımı ile yaptırabilir. İnşaatlar için bu sistem ihale usulü ile gerçekleştirilir. Türkiye’de henüz metro sistemlerinin işletmesi tamamen özelleştirilmemiş, yarı yarıya kamu sayılabilecek iktisadi iştirakler olan yerel şirketlerce yürütülmektedir. Bu şirketler BİT, belediye iktisadi teşebbüsleridir.[6]

Dünya ve Türkiye’de Metro ve HRS’lere Genel Bir Bakış

Sanayi devriminden sonra Avrupa devletleri, merkezlerde veya üretim alanlarındaki hammadde ihtiyacının karşılanması adına ve üretim sonrası dağıtım sağlanması için buharlı trenleri kullanmaya başladılar. Çünkü henüz asfalt yol kavramı oluşmamıştı. Beton yol çok masraflıydı. Elektrik tesisatının yayılmaya başlaması ile metrolar 19.yüzyılın sonlarında faaliyete geçmeye başladılar. Bu anlamda, işletilmeye başlatılan ilk metro hattı 6 km’lik bir hat için Londra’daydı. (1863 ‘de açılmıştır.) Ayrıca Londra Metrosu, elektrik sistemin kullanıldığı en eski yeraltı sistemidir.[7]

Bugün Dünyanın birçok yerinde, modern ekipmanlar ile donatılmış, yüksek hızda metro ve HRSler kullanılmaktadır. Eski alt ulaşım sistemleri ise moderne edilmektedir. Eski zamanlarda hat uzunluğu önem arz ediyordu. Çünkü mesafe arttıkça yapım maliyetleri de artmaktaydı. Bu prensip bugünde değişmemesine rağmen uzun mesafelerin birleştirilmesi mali geri dönüşleri arttırmaktadır.

Uzun mesafelere örnek olarak Dubai ve Newyork Metroları verilebilir. Dubai Metrosu, tek hat üzerinde şu an işletilen en uzun metro hattıdır. Hattın “kırmızı” ve “yeşil” olmak üzere iki parça halinde toplam uzunluğu 75 km’dir. Farklı hatları ile en uzun metro ağına sahip ülke ise 434 km’lik ağ ile Şanghay’dır.11 uzun hat ile bu rota çizilir.468 adet istasyonla Newyork Metrosu en fazla istasyona sahip olan metrodur. Bugün dünyanın nerede ise tamamına yakınında metro ve HRS ulaşım sistemlerinin vazgeçilemez bir parçası konumundadır. İnşaa edilmiş ve işletmeye alınmış yeraltı ulaşım sistemi sayısı dünya üzerinde yaklaşık 140 civarındadır.[8]

Türkiye’de metro tipinde ilk ulaşım sistemi, Osmanlı Devleti döneminde İstanbul’da 1875 yılında açılan Tünel (füniküler) sistemidir. Galata ile Pera arasında kot farkından

kaynaklanan mesafeyi, bir aracın aşağı inerken diğerinin yukarı çıkması ilkesi ile çalıştırılan sistem, 1910 yılında elektrikle çalışmaya başlamıştır. Ancak raylı ulaşım ağının gelişimi aynı dönemlerde, yabancı firmaların yap – işlet – sahip ol modeli (Orijinal ismi”BOO: Build-Operate-Own”) kurdukları farklı demiryolları ile sağlandı.[9] Cumhuriyet sonrası, demiryolları millileştirilmeye başlandı.Ancak 1950lere gelindiğinde, 1923-1933 arasındaki demiryolu gelişimindeki ivmelenme kaybedilmiş ve petrol yan ürünü olan asfalt vb . zemin kaplaması ile yolların kaplanması ile demiryolu 2. hatta bazı yerlerde 3.plana düşmüştür. Taşıt kullanımı ve ulaşımı yaygınlaştırılmış ve teşvik edilmiştir.[10]

1980 sonrası, uygulanmaya başlanan liberal politikalar sayesinde, ulaşım mantığı da değişmeye başlamıştır. Devlet yolları, otoyol statüsüne çıkarılırken, şehir içinde otobüs vb ulaşım ağının yetersizliği yeni bir şehiriçi sistemin yani metro sistemlerinin bir alternatif olarak düşünülmesini sağlamıştır. 1980lerin sonunda, Türkiye’de ilk metro ağı Aksaray- Kartaltepe arasında İstanbul’da işletilmeye başlanmıştır. Takip eden yıllarda mevcut hat uzatılmış, yeni hatlarda açılmaya ve planlamaya devam edilmiştir. Bugünde yeni hatların inşası devam etmektedir. Ankara’da “Ankaray” ve “Ankara Metrosu” birbirine paralel farklı uzunluklarda iki ay hat olarak işlemektedir.[11] Adana’da, Samsun’da, Eskişehir’de, Kayseri’de, Bursa’da, Konya’da metro, tramvay ve HRS bulunmakta ve işletilmektedir. Mevcut sistemler yenilenmekte, farklı hatlar projelendirilmekte ve inşaa edilmektedir. HRSler ve metro sistemleri bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Ulaşım elemanı olarak metro sistemleri, Türkiye’nin 3.büyük metropolü olan İzmir’de de 2000 yılından itibaren yerini almıştır.

İzmir Metrosu İnşaat Aşamaları ve Maliyetlerin Değerlendirilmesi

1990ların başında İzmir Büyükşehir Belediyesi tarafından, şehrin ulaşım ağını güçlendirecek ve 2000li yıllara taşıyacak olan ulaşım ana planı hazırlanmıştır. Temel amaç ve hedef, şehrin doğu- batı uzantısında en uzak metropol noktalarını birleştirmek ve kuzey- güney aksının da bu hat ile kesiminin sağlanması ve bu şekilde, ulaşım da bütünlük sağlanmasıydı. 1993’de başlanan ilk aşama inşaatı yaklaşık 5,5-6 yıl gibi bir sürede tamamlanmıştır ve 2000 yılında seferler başlatılmıştır. Bu ilk aşama 11,2 km uzunluğunda, 10 istasyonu içeren bir bölümdü. [12]

İlk aşamanın tamamlanması ile ulaşım da bir reform gerçekleştirilerek, uzun hatlar en aza indirilip ve eskiye nazaran azaltılmıştır. Metro bir aktarma sistemi görevi vermeye başlamıştır. Sonraki aşamalar şu şekilde planlanmıştır: Üçyol- F.Altay ve Ege Üni. Has. –Evka 3 tür.

Bunların dışında başka bölgeler ve hatlar içinde ulaşım ana planında yer almasına karşın, onayı gelmeyen projeleri burada açıklanmamıştır. Evka 3- Ege Üni Has. Hattı, ilk bölümün doğu aksındaki ilk durağı pozisyonundadır, Ege Üniversitesi içinde yapılan bir istasyon ile üniversite öğrencilerinin Bornova İstasyonunu kullanımına alternatif yaratılmış ve Hastane istasyonun yükü azaltılmıştır.2 İstasyonu içeren bölüm, genele entegre olarak bir bütün olarak işletilmektedir. 2012 yılı Aralık itibariyle de İzmirspor ve Hatay İstasyonları işletmeye alınmış ve batı aksında mevcut ana hatta bağlantı sağlanmıştır. Açılan bu 2 istasyonla birlikte toplamda 14 istasyon faal olarak kullanılmaktadır. Mevcut istasyonlardan Halkapınar İstasyonu, ana otobüs aktarma merkezi durumundadır. Evka 3 istasyonu doğu aksı aktarma istasyonudur. Konak istasyonu ise vapur ve şehir içinde kalan yakın mesafelere ve diğer yerlere ulaşacak

otobüs yolcuları için aktarma görevini üstlenmiştir. Metro hattına, kuzey-güney aksında destek veren modernize edilmiş 80 km'lik uzunluğu ile Türkiye'deki en uzun şehiriçi banliyö sistemi olan İZBAN ile metro yolcuları Halkapınar İstasyonunda aktarma yapmaktadır. Yapılmakta olan Hilal istasyonu ile buradan da metro aktarması sağlanacaktır. İZBAN sisteminin güney aksında Havalimanı İstasyonu bulunmaktadır. Bu banliyö sistemi metro standartlarına uygun şekilde donatılmıştır.[13]

Araştırmanın temel konusunu inşaat süreci halen devam etmekte olan, Üçyol-F.Altay metro hattının, Poligon, ve F.Altay istasyon inşaat bölgeleri oluşturmaktadır. Bu bölgeler sosyo-ekonomik değerler de göz önünde bulundurularak bir değerlendirmeye tabii tutuldu. Bu değerlendirmede temel hedef fayda- maliyet analizidir.[14] Çünkü inşaat sürecinin bitiminde, metro sisteminin getirisi gözle görünür şekilde bölgeye hareket getirecektir. Seçilen bölge tam olarak, Poligon İstasyon inşaatının başlangıç noktası olan Hıfzıssıhha Meydanı ile, F.Altay İstasyonu inşaatının bulunduğu F.Altay Meydanı arasındadır. Bu çalışma yapılırken bazı kantitatif veriler not edilmiş ve bu değerlere ulaşmak adına o yöre halkına ve işletme sahiplerine bazı sorular yöneltilmiştir. Bu sorular aşağıda belirtilmiştir:

1. Her iki sınır noktaları arasındaki (Toplam 1450 metre uzunluğunda) yol yani İnönü Caddesi üzerindeki 182 adet apartman incelendi. Bu 182 apartman Konak ve Karabağlar İlçelerinde yer almaktadır. Caddenin kuzeyi Konak, güneyi Karabağlar ilçesidir.
2. Apartmanların altında bulunan toplamda 342 adet farklı işletme tek tek ziyaret edildi.
3. Bu işletmeler, sektörlere göre analiz edildi. 52 farklı kategoride işkolu kayıt altına alındı. Bazı benzer işletme türleri aynı tür olarak not edildi.
4. Her işletme sahibine / dükkân işletmecisine;
“Metro çalışmalarının başlaması ile İnönü Caddesi ‘nin kapanış tarihi olan 18.06.2010 ile 18.12.2011 tarihi arasında yani 1,5 yıllık dönemde müşteri potansiyelindeki değişim ne şekilde gerçekleşmiştir?” sorusu yöneltildi.
5. Emlakçılara; “Dükkân ve mesken kiralari ile satışlar fiyatlarındaki değişim ne şekilde gerçekleşmiştir?” ve “İnşaat sonrası bu fiyatlar ne şekilde değişebilir?” soruldu.

Öncelikle işletmeler bir bütün olarak ele alındığında, sadece THY işletmesinin müşteri sayısındaki artışa doğru orantılı olarak cirosundaki artış dışında hiçbir işletme inşaat öncesine göre müşteri potansiyelini arttıramamıştır. THY istisnasında da; uçak bileti fiyatlarında zaman zaman izlenen indirim politikası gelmektedir. Gıda sektöründe, hazır veya dondurulmuş gıda satıcıları ile taze / günlük ürün satan dükkânlar, geçmiş dönem göre müşteri potansiyellerinin azalmasından şikâyetçilerdir. Bunun temel sebebi, inşaat alanı olan 1450 metrelik hattın, Hıfzıssıhha Meydanı- Poligon Kavşağı ile Güzelyalı Tansaş –F.Altay Meydanı arasındaki bölümün tamamen kapalı olmasıdır. Caddenin her iki tarafı birbirinden ayrılmıştır. Tam karşıdaki bir noktaya geçiş için kimi yerlerde yüzlerce metre fazladan gidilmektedir.

Otobüs güzergâhları değiştirildiğinden, otobüs yolcusu, müşteri olarak değerlendirildiğinde bir kayıp olmuştur. Yaya yürüyüş alanındaki daralma, birçok işletmenin işyerini devretmesine, kapatmasına sebep olmuştur. Bu yürüyüş yolları zorunlu olmadıkça tercih edilmemektedir. Bunun yanı sıra bazı büyük ölçekli –marka isim hakkı alan- firmalar yatırım amaçlı da olsa dükkân açmışlardır. Uzun ölçekli yatırım olarak bu girişimler değerlendirilir. En büyük problem ise, caddenin açılışı ile ilgili söylenen tarihlerdir. Verilen zaman taahhütleri spekülasyonlara sebep olmuş,

açılması beklenen dönem öncesi dükkân kira ve satış bedellerinin artmasına ve açılmadığı zamanda fiyatların eski seviyesine gerilemesine sebep olduğu gözlenmiştir.

Konut kira ve satışlarında ise, emlakçıların verdiği bilgiler dikkat çekici ve beklenenden çok farklıdır. Yukarıdaki açıklamadan farklı olarak, hat üzerindeki mesken kira ve satışlarında gözle görünür bir düşüş yaşanmış, metro yani modern bir ulaşım ağının bölgeye geliyor olmasının artıştan ziyade zarar verdiği gözlenmiştir. En az 30-35 yaşlarındaki apartmanların zeminlerinin / temellerinin bu inşaat çalışmasından etkilendiği gibi negatif bir düşünce hâkim olmuştur. Kiralık emlak sayısında artış gözlenirken, kiralayan sayısı gün be gün azalmıştır. Emlak satışı ise bundan daha ileri düzeyde azalma yaşamıştır.

Bu süreç zarfında İnönü Caddesi'nin sadece bu bölümünde değil; Göztepe / İlahiyat Kavşağı Mevkii, Hatay /Nokta /Renkli bölgelerinde de inşaat çalışmaları sürdürülmeye devam etmiştir. Asıl metro inşaatı devam ettirilirken, inşaat bölgesinde yer almayan cadde kısımlarında ise üst ve altyapıda yenileme faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, elektrik, internet, içme suyu, yağmur drenaj sistemi vb. sistemler elden geçirilmiş, yenilenmiş ve yol üstü tesisat yeraltına alınmıştır. Kaldırımlar yenilenmiş, granit taş döşenmiş, kaldırımlar engellilerin kullanımına elverişli şekle getirilmiştir. Aşağıdaki tabloda metre, metrekare ve metreküp bazında altyapı ve üstyapı için uygulanan proseslerin ücretleri aşağıda tabloda verilmiştir.

Alt ve Üst Yapı Yapım Maliyetleri

Açıklama	Birim	Miktar	Birim Fiyat	Tutar
Kaldırım				
Beton Kırımı	m ³	1.25	30.00	37.50
Hafriyat Yapılması	m ³	0.75	10.00	7.50
Tuvenan Dolgu	m ³	0.50	8.00	4.00
Kum Dolgu	m ³	0.20	25.00	5.00
Kırmaş Serilmesi	m ³	0.25	20.00	5.00
BS16 Grobeton	m ³	0.50	75.00	37.50
Granir Bordür Döşenmesi	mt	1.00	63.00	63.00
Granit Taş Kaplama Yapılması	m ²	5.00	84.00	420.00
Sulama Tesisatı	mt	1.00	10.00	10.00
Elektrik Aydınlatma	mt	1.00	56.25	56.25
Elektrik Şebeke	mt	1.00	43.75	43.75
Orta Refüj				
Beton Kırımı	m ³	0.13	30.00	3.75
Hafriyat Yapılması	m ³	0.08	10.00	0.75
Tuvenan Dolgu	m ³	0.05	8.00	0.40
Kırmaş Serilmesi	m ³	0.03	20.00	0.50
BS16 Grobeton	m ³	0.05	75.00	3.75
Granir Bordür Döşenmesi	mt	1.00	63.00	63.00
Granit Taş Kaplama Yapılması	m ²	0.50	84.00	42.00
Yol Gövdesi				
Yağmursuyu Hattı	mt	1.00	37.50	37.50
Asfalt	m ³	0.56	288.00	161.28
Diğer Kurumlara ait Altyapı Çalışmaları	mt	1.00	50.00	50.00
				1052.43

Burada bazı yuvarlamalar ile Kasım 2011 tarihinde alınan verilere bakılarak 1052 TL İnönü Caddesi'nde yapılan çalışmalarının maliyetidir.[15] Bu bedeli, birim cadde yenileme bedeli olarak isimlendirilebilir.. Ve bu sadece alt ve üst yapıdaki bazı değişiklikleri içermektedir. Metro yapım maliyetini içermemektedir. Ayrıca işçi masrafları da dâhil edilmemiştir. Seçilen referans bölgesine ait, Hıfzıssıhha Meydanı ile Fahrettin Altay Meydanı arası, bazı sayısal değerleri aşağıda listelenmiştir.

1. İnönü Caddesi'nin uzunluğu: **6500 metre**
2. Göztepe, Poligon F. Alay istasyon inşaat alanlarının uzunluğu: **2835 metre**
3. Hıfzıssıhha ve Üçkuyular Meydanları arası Uzunluk: **1450 metre** (referans alınan hat uzunluğu)
4. İnönü Caddesi için alınan genişlik: **8,5 metre**
5. İnönü Caddesi yenileme birim bedeli: **1052 TL**
6. “ “ “ ihale bedeli: **16. 300.000 TL**
7. İnönü Caddesi Göztepe, Poligon ve F. Altay inşaat yapımı ihale bedeli: **66.964.494 TL** (6. ve 7. Maddeler tabele bedelleridir.)

Bu veriler kullanılarak yapılan işlemler ve sonuçları aşağıda sıralanmış ve açıklanmıştır:

* İnönü Caddesi'nde birim kesitin yenileme çalışması maliyeti: $8,5 \text{ mt} \times 1052 \text{ TL} =$
8942 TL

* Hıfzıssıhha ve Üçkuyular Meydanları arasındaki bölgenin yenileme maliyeti :
 $8942 \text{ TL} \times 1450 \text{ mt} =$ **12.965.000 TL/mt**)

* Tabela bedeline göre İnönü Caddesi'nin yenilene çalışmasının metre bazında kesit maliyeti:

$(16.300.000 \div 6500 \text{ mt} =$ **2507 TL/mt** ve birim maliyeti $2507 \text{ TL} \div 8,5 \text{ mt} =$ **295 TL/mt**

* Tabela bedeli ile Hıfzıssıhha ve Üçkuyular Meydanları arasındaki yol yenileme çalışmalarının maliyeti: $2507 \text{ TL} \times 1450 \text{ mt} =$ **3.636.153 TL/mt**

Burada çok basit bir matematik hesabı yapılmıştır. Yalnızca dört işlem ile alınan bilgi ve birim bazındaki bedel, cadde kesitine çevrilmiş sonrasında da seçilen referans hattı için hesaplanmıştır. Benzer ifade ile de tabela bedelindeki toplam maliyette birim bazına indirgenmiştir. Birim bazında $1052 \text{ TL} - 295 \text{ TL} =$ **757 TL** fark gözlenmektedir. Buna personel gideri eklenmemiştir. Ancak personel gideri İzmir Büyükşehir Belediyesi'nden alınan veriler kullanılarak yapılan hesaplamada yer almamaktadır. Personel gideri olarak bu hesaplanan tutarın tamamı eklendiğinde bile aradaki fark **5.693.594 TL** dir. Bu da tabela bedelinin % 43 üne tekabül etmektedir.

Tabela bedellerine göre o bölgedeki metro çalışmasının birim maliyeti: $66.964.494 \div$
 $2850 \text{ metre} =$ **23.496 TL/mt**

Hıfzıssıhha Meydanı ile Üçkuyular arası hat için inşaat bedeli metre bazında : 23.496
 $\text{TL} \times 1450 \text{ metre} =$ **34.069.654 TL/mt** dir.

Sonuç olarak bu kaba hesaplama $34.069.654 \text{ TL} + 12.965.900 \text{ TL} =$ **47.035.554 TL** referans aldığımız inşaat hattının, bütün inşaat çalışmalarının yapım bedelini oluşturmaktadır. Bu bedellere ihale kapsamındaki tüm bedeller dâhildir.

Metro vb. Çalışmalara, Çalışma Sahalarına Sosyal Yaklaşım

Metro çalışmaları, eğer ki bir şehir en başından imar ve inşa edilmiyorsa-deprem, doğal afet, savaş vb.- şehir hayatı devam ederken gerçekleştirmek çok güçtür. Devam eden günlük ve alışlagelmiş bir hayatın, en ufak şekilde aksaması o bölgede yaşayan ve o hat üzerindeki yolları kullanan bütün vatandaşları ilgilendirir ve etkilemektedir. Örnek olarak, Poligon İstasyonu'nun inşasının gerçekleştirilebilmesi için, ana arter olan İnönü Caddesi'nin bir bölümü kapatılmıştır. Buna bağlı olarak;

*Bütün otobüs hatları iptal edilmiş ve sadece, Buca, Konak ve Halkapınar yönüne giden ve daha sık sefer sıklığı olan servis araçları işlemeye başlamıştır. (970 / Buca, 980 / Konak, 989 / Halkapınar)

*Sadece bir durak mesafesinde (400 metre), Hıfzıssıhha Meydanı'ndan, Poligon Kavşağına kadar olan bölgeyi kat edebilmek için, 76. , 43. , 25. , 34. nolu sokaklar otobüsün geçişi için kullanılmıştır. Bu bölgede oturan vatandaşların evlerinin önlerinden otobüs ve cadde trafiğinin geçiyor olması, çevre kirliliğinin artmasına sebep olmuştur. Zemin zarar görmüştür. Gürültü kirliliği artmıştır.

Caddenin kapalı olması, yaya yollarının uzamasına ve değişmesine sebep olmuştur. Yürüyüş zamanı artmış, bu da psikolojik / fizyolojik bazı kötü geri dönüşleri vardır. Cadde üstündeki dükkânların müşteri de azalmıştır. Yerel değil de, büyük ölçekli ve finansmanı şirket merkezinden karşılanan işletmeler ayakta kalmakta zorluk çekmemiştir. Bu işletmeler özellikle, mülk sahibi olanlar ve bankalardır. Apartman sakinleri ise inşaat gürültüsü, ses ve tozdan çok etkilenmektedir. İnşaat süreçlerinin uzun sürmesi veya taahhüt edilen sürede tamamlanamaması veya daha az sürede bitmesi beklentisi sürekli olarak vatandaşların, yerel yönetim veya inşaatı yüklenici devlet kurumları ile karlı karşıya getirmektedir. Bunun sonucu olarak dükkânların iş akışı değişmiş, kar marjları azalmış hatta masraflarını karşılayamaz hale gelmiştir.

İnşaat döneminde, inşaatın yüklenici kurumu, özellikle belediyeler, o hat üzerindeki dükkânlara kira yardımı, su faturalarında indirim, tabela vergilerinde muafiyet veya indirim sağlayabilirler. Ancak bu gibi sübvansiyon yöntemleri şu an kanunen mümkün olmamaktadır. Bu şekilde yatırım bütçeleri artmasına karın, halkın bazı tepkileri önlenmiş olacaktır.

Yatırım Bütçelerinin Finansal Bir Araç Olarak Değerlendirilmesi

Ekonomiyi, iktisatçılar, kıt kaynakların en tasarruflu şekilde kullanılması olarak tanımlarlar. Yaratılmayan yeni bir kaynak için, ekonomi de en doğru yöntem eldeki maddi / ekonomik değer en doğru şekilde değerlendirilebilir ve korunabilmesidir. Finansal yatırım yapmak hem çok kolay hem de çok zordur. Çünkü doğru zamanda, doğru metodu seçmek çok önemlidir. Burada ekonomik değer varlığından da bahsetmek gerekmektedir. Değeri, paraya çeviren değer, likidite olarak isimlendirilir. Yatırım aracının, banknota dönüştürülebilme şekli yatırımın yönünü etkiler. Bu ekonomik yatırımlara,

*Altın gibi emtia yatırımı,

*Döviz yatırımı,

*Mevduat Hesabı yatırımı örnek verilebilir.

Seçilen referans hattı için ortaya çıkan maliyetin, 47.035.554 TL, yukarıda yazılan 3 farklı yatırım metodu ile değerlendirilseydi ne kadar maddi getirisi / götürüsü olacaktır? Öncelikle Bu hesaplama için bu yatırım araçlarının, çalışmanın başlangıç ve hesaplanan tarih olarak başlangıç ve bitiş tarihlerindeki değerleri not edilmelidir.

Altın değerlendirilmesi, ons / dolar bazında yapılmaktadır. 1 Troya onsu = 31.1034768 grama denk gelmektedir.[16] Altın en çok kullanılan yatırım aracıdır."Güvenilir Liman" olarak adlandırılan altın Hindistan 'da, Türkiye'de yatırım için önemli bir yere sahiptir. Altın talebinde, özellikle yaz aylarında artış olmaktadır.1970lerdeki petrol krizinde ardından altın fiyatları yükselişe geçmiş ve ara dönemlerde ufak / geçici inişler dışında sürekli olarak artış göstermiştir. Bu tespit yazının ilk hazırlandığı dönem ile şu an farklılık göstermektedir. Yaklaşık 1 yıla yakın bir süredir altın sürekli değer kaybetmektedir. Altının ons fiyatının inşaat sürecinin başlangıç ve hesaplanma tarihinden önceki son iş günündeki değerleri aşağıdadır [17]:

18 Haziran 2010	16 Aralık 2011
999\$	1598 \$

Aynı dönem için döviz değerleri de aşağıda belirtilmiştir[18].

	18 Haziran 2010	16 Aralık 2011
Euro	1.9282 TL	2.4492 TL
Dolar	1.5574 TL	1.8785 TL

47.035.554 TL yapım bedelinin inşaat başlama tarihi olan 18.06.2010 tarihindeki döviz değerleri; 47.035.554 TL = **30.201.331\$** ve 47.035.554 TL = **24.393.503 Euro** dur.

Hesaplamanın yapıldığı 18.12.2011 tarihindeki değerlere göre döviz değerleri Türk Lirasına çevrildiğinde ise 30.201.331 \$ = **56.642.596 TL** ve 24.393.503 Euro = **59.744.577 TL** sonuçları elde edilir. Dolar bazında **9.607.042 TL - %20 artış**, ve Euro bazında **12.709.023 TL - %27 artış** gözlenmektedir. Buradan elde edilen sonuç, döviz yatırımı 18 aylık dönemde doğru bir yatırım aracı olarak kullanılabilir.

Dolar değerleri kullanılarak, altının ons değerinden yararlanarak ne kadar altın alınabileceğini aşağıda hesaplanmıştır: 18.06.2010 tarihinde 47.035.554 TL = 30.201,331\$ ve bu değer ile 30.201.331 \$, 30231 Ons eder. 30231 Ons, 18.12.2011 itibarıyla **48.309.138 \$** eder ve 48.309.138 \$ = **90.748.715 TL** dir. Altın yatırımı, **43.713.161 TL - %92 artış** sağlamıştır. Bu değer, rekor denilebilecek bir getiridir ve neredeyse bütün yatırım değeri kadar bir meblağı kar olarak sağlamıştır.

Son yatırım modeli olarak mevduat hesapları incelenmiştir. Bu metot, en güvenilir metottur. Çünkü herhangi bir ekonomik dalgalanma vb dış etkiye maruz kalmaz. Ancak mevduat hesaplarındaki en büyük etki merkez bankasının faiz oranlarındaki müdahalesidir. Bu devletin, para ve ekonomi politikasıdır. Mevduat anaparayı korur ancak faiz oranları 1990lara göre çok düşük oranlara çekilmiştir. Mevduat faizlerinin gün geçtikçe düşmesi, bankaların farklı yöntemler ile müşterilere mevduatı cazip hale getirmeye başlamasına sebep olmuştur. Buna en iyi örnek, internet bankacılığıdır. İnternet şubelerinden yapılan, yatırım işlemlerinde 2-3 puanlık faiz oranı artışları daha cazip gelmektedir. 18.06.2010 tarihinde T.C Ziraat Bankası tarafından verilen faiz oranı

%9.75 iken, 18.12.2011 tarihinde bu oran **%7.25**'e çekilmiştir[19]. Faiz oranı düşmesine rağmen, gelir elde edilmesi iktisatta "azalan verimler kanunu" ile açıklanır. Verilen **%9.75** ve **% 7.25** faiz oranlarının ortalaması **% 8,5** faiz oranının yatırım aracı olarak kullanırsa; 47.035.554 TL , **% 8,5** faiz oranı ile 18 aylık dönem 3.998.022 TL faiz geliri sağlar. Bu Paranın **% 15** gelir vergisi kesintisi yapılmaktadır. Bu kesinti anaparanın getirisi üzerinden yapılır. Kesinti tutarı, **599.703 TL** dir ve net kazanç **3.398.319 TL** dir.Bu getiri ana bütçe toplamının **% 7,2** 'si kadar artışa denk gelmektedir.

Genel Değerlendirme

Teknik ve mali, yatırım boyutu kadar, toplumsal sonuçlarının da incelenmesi gereken metro çalışmaları, bir bölge halkının yaşamında; inşaat öncesinde ve sonrasında etki yaratmaktadır. İnşaat dönemleri uzadıkça maliyetler artmaktadır, bu da çalışma başında belirlenen bedellerin değişmesine sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra inşaat hattında, işletme ve dükkân sahipleri, müşteriler, o bölgede ikamet edenler etkilenen grubu oluşturmaktadır. Gözle görünen / görünmeyen bütün bedeller de, metro yatırım maliyetlerine eklenmelidir. Bu şekilde bir metro çalışmasının bütün maliyetleri hesaplanabilir.

Yatırım bütçelerinin büyüklüğü göz önüne alındığında, hukuki mevzuat uygun olması durumunda, bu bütçelerin finansal yatırım aracı olarak değerlendirilmesi de çok ilginç sonuçlar doğurabilmektedir. Süreç incelendiğinde, hangi yatırım aracının daha güvenilir veya hangisi daha fazla getirisi olabileceği sonucuna da varılabilmektedir.

Kaynaklar

[1] UITP May 2001, Diversion of Public Utilities for the Construction of Light Rail and Tramway System.

[2]<http://www.izmir.bel.tr/UploadedPics/FaaliyetRaporlari/2012/2012FaaliyetRaporu.pdf>

[3] [8]

<http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/shanghai-now-the-worlds-longest-metro.html>

<http://mta.info/nyct/facts/ffsubway.htm>

<http://www.mosmetro.ru/>

New York State Comptroller. "A Guide for Evaluating the Metropolitan Transportation Authority's Proposed Capital Program for 2000 Through 2004". www.osc.state.ny.us. Retrieved July 7, 2008.

Shanghai now the world's longest metro". 4 May 2010. Retrieved 4 May 2010.

<http://gulfnnews.com/news/gulf/uae/traffic-transport/dubai-metro-makes-a-mark-1.863978>

[4] [14]

Transportation Cost and Benefit Analyses -2 (www.vtpi.org)

Macmillan İktisat Serisi Fayda-Maliyet Analizi D.W.Pearce 1973 page :50-56

<http://www.sjsu.edu/faculty/watkins/cba.htm> (cost benefit analysis)

Cost- Benefit Analyses of Investments in Airport Infrastructure : A practical Approach Jose-Doramas Jorge, Gines De Rus

[5] Public Goods and Externalities: The Case of Road Walter Bloa and Political Factor Antoli Castalls

Public Goods and Externalities: The Case of Road Walter Bloa and Political Factor Antoli Castalls.

[6] <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspix?MevzuatKod=1.5.5393&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=>

[7] <http://www.tfl.gov.uk/modalpages/2625.aspx>

[9] Effect of Diversification of Operation Cost on Infrastructure BOT Proje Investment Decision and Analysis of Option
Governance Issues in Financing of Public Private Partnership Organizes in Network Infrastructure Industries K.A.A. Devepriye

[10] <http://www.mevzuatdergisi.com/2004/04a/02.htm>

[11] <http://www.ankarametrosu.com.tr/worldrail.html>

[12] <http://www.izmirmetro.com.tr/>

[13] <http://www.izban.com.tr/>

[15] İzmir Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Daire Başkanlığı 1. Altyapı Şefliği

[16] <http://www.troy-ounce.com/>

[17] <http://www.izko.org.tr/> İzmir Kuyumcular Odası

[18] www.tcmb.gov.tr Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası

[19] T.C Ziraat Bankası Alsancak Şubesi

Yüksek Hızlı Tren Hatlarında Balast Kalınlık Değişiminin Hat Üzerinde Oluşan Dinamik Kuvvetler Üzerindeki Etkileri

N. Özgür Bezgin, Mustafa Karasahin

İstanbul Üniversitesi, Avcılar Yerleşkesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul

ozgur.bezgin@istanbul.edu.tr, mkarasahin@istanbul.edu.tr

Öz

Çağdaş ulaşım gereksinimleri ile ulaştırma mühendisliğinin bilimsel ve teknik kapsamı da genişlemiş ve derinleşmiş durumdadır. İnşaat mühendisliği kapsamında yer alan ileri yapısal tasarım ve yapıların zemin ile mekanik etkileşimleri konuları, bir ulaştırma yapısının doğru tasarımı, doğru inşası ve etkin işletilebilmesi için ulaştırma mühendisliğinin kapsamında ve bir bütünlük içerisinde ele alınması gerekmektedir.

Yüksek hızlı tren hatlarının alt yapılarını oluşturan unsurların, onlarca tonluk kütleyle sahip trenin, 250 km/saat ve üzerinde hızlarda güvenli ve güvenilir bir şekilde hareketini sağlayabilmeleri, hat boyunca göreceli olarak milimetre sınırında şekil değiştirme değerlerine sahip olacak şekilde inşa edilmeleri ile mümkün olmaktadır.

Yüksek hızlı tren hatlarının altyapıları, tasarımlarına esas oluşturan tren yüklerinin ve seyir hız değerlerinin birleşik etkisi nedeniyle, hareketsiz durumda veya düşük hızlarda hareket eden bir trenin hat altyapısı üzerinde oluşturacağı kuvvetlerden daha yüksek değerlerde dinamik kuvvetlere maruz kalırlar. Altyapıyı oluşturan katmanların hat boyunca kalınlık değerlerinin değişimi, hızlı tren hareketi nedeniyle oluşacak dinamik kuvvetleri etkilemesi bakımından önemli bir tasarım ve uygulama konusudur.

Sunulan bu çalışma içerisinde, hızlı tren hatlarında oluşan dinamik kuvvetlerin oluşum nedenleri arasında yer alan teker düzlükleri ve altyapı katman kalınlık değerleri teorik temellerden hareketle ifade edilmiştir. Uygulamada karşılaşılan, balast ve balast altı tabakaların hat boyunca değişken kalınlıklarda seriminin tren hareketi ile oluşan dinamik kuvvetlere yüksek ve olumsuz etkileri rakamsal olarak vurgulanmıştır. İfade edilen olumsuzluğu sınırlamak üzere hat boyunca balast katman kalınlığının değişim sınırı önerilmiş ve hat altyapısından kaynaklı sorunların, yüksek hızlı tren işletmesine ve ulaştırma planlamaları üzerine etkileri belirtilerek, yüksek hızlı tren hatlarının bütünsel tasarımına dair öneriler getirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Hızlı trenler, balast, balast altı, dinamik etki, katman kalınlığı.

Giriş

Ulusal ve uluslararası düzeyde sosyal, iktisadi ve ticari ilişkiler günümüzde ivmelenerek artmaktadır. Sürmesi beklenen bu artış neticesinde ihtiyaç duyulan ulaşım yapılarının, farklı şehirler ve ülkelerden insanların ve üretilen değerlerin güvenli, tercih edilir ve güvenilir bir şekilde hareketlerini sağlayacak şekilde planlanmaları, tasarlanmaları, üretilmeleri, inşa edilmeleri ve bakım altında tutulmaları gerekecektir.

Yüksek hızlarda seyahat edebilen trenlerin üretilmeleri ve bu trenlerin yüksek hızlarda seyahat edebilecekleri alt-yapı gerekliliklerinin sağlanabilmesi ile günümüzde demiryolu taşımacılığı, belirli mesafeler içerisinde insanların toplu seyahat ve toplu nakliyat ihtiyaçlarını karşılamada diğer ulaşım seçeneklerine göre tercih edebileceği bir yöntem haline almaktadır.

Ülkemizde 250 km/saat tasarım hızına sahip trenler ve bu trenleri taşıyacak altyapıya sahip hatlar, yüksek hızlı tren hatları olarak tanımlanmıştır (TCDD, 2013).

Dünya’da yolcu ve yük taşımacılığında kullanılan trenlerin dingil yükleri ve seyir hızlarına yönelik yapılan bir araştırma kapsamında oluşturulan Tablo1’de, tren altyapılarının tasarımlarına esas oluşturacak farklı yük ve hız değerleri belirtilmektedir (UIC, 2005).

Tablo 1 İşletilmekte olan hatların üzerinde hareket eden trenlerin kullanım amaçlarına göre yük ve hız dağılımları (UIC, 2005).

Kullanım amacı	İşletme hızı (km/saat)	Dingil yükü (Ton)
Yüksek hızlı yolcu taşımacılığı	140 - 275	11 - 20
Karma kullanım altında normal hızlarda yolcu taşımacılığı	90 - 140	16 - 20
Karma kullanımda normal hızlarda genel yük taşımacılığı	En fazla 110	20 - 22
Ağır yük taşımacılığı	En fazla 80	26 - 37,5

Yüksek hızlı demiryolu altyapısının tasarımında, dingil yükünün durağan halindeki statik kuvvet etkisi ile birlikte yüksek hızlarda tren hareketinin yaratacağı dinamik etkilerin de dikkate alınması gerekmektedir.

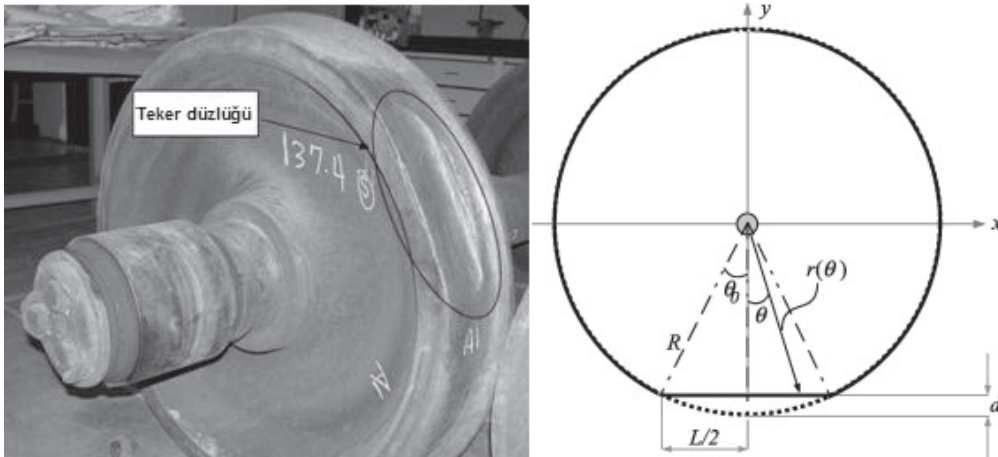
Yüksek Hızlı Trenlerin Dinamik Kuvvet Etkileri

Tren seyir hızının yükselmesi ile dizinin oluşturduğu yükün statik kuvvet değerinin dinamik etkileri ortaya çıkmakta ve demiryolu altyapısına etki etmeye başlamaktadır. Bu etkinin ortaya çıkmasında, taşıt tekerleklerinin yüksek hızlarda birim saniyede dönüş sayılarının ve dolayısı ile dönüş frekanslarının artması sonucu taşıt tekerleği ile ray ara yüzeyinde var olabilen “düzensizlikler” ile ray boyunca altyapıdan kaynaklı “görelî oturma değerlerinin” yarattığı dinamik darbe kuvvetinin de zamana bağlı bir kuvvet fonksiyonu haline dönüşmesi rol oynamaktadır. Basit bir benzetme yapılacak olursa,

ahşap bir masa yüzeyine yavaşça bırakılan sert ve ağır bir kütle, yüzey üzerinde herhangi bir hasar oluşturmazken aynı kütle masa yüzeyine temas etmeden bırakılsa, yüzeyden bırakıldığı mesafeye oranla yüzeyde hasar oluşturabilir. Bunun nedeni, dinamik durumda, kütlenin sahip olduğu enerjinin tamamının masanın yüzeyi tarafından soğurulmasıdır.

Tren Teker Düzlüklerinden Kaynaklı Dinamik Etkiler

Tren tekerleği ile ray ara yüzeyinde oluşabilen önemli bir düzensizlik, “teker düzlükleri (flatspots)” adı verilen ve tren tekerleği çeperinde zamanla aşınma ile oluşabilen düz kısımlardan oluşmaktadır. Bu düz kısımların uzunlukları (L) ve tekerin dairesel çeperinden uzaklaşma mesafeleri veya bir başka deyişle “düzlük adımı” (d) zamanla artar ve dolayısıyla tren hareketiyle birlikte yarattıkları dinamik etki de artar. Düzlüklerin oluşmasında önemli bir etken teker ve ray arasında seyir başlangıçlarında ve ani fren esnalarında meydana gelebilen dinamik sürtünme durumudur. Zira L uzunluğunda ve d adımında oluşan teker düzlüğü, tekerin taşıdığı yükün statik değerini, tekerin her dönüşü ile raya, düzlüğün geometrik değerleri ve tekerin dönüş sıklığı (frekansı) ile doğru orantılı bir değer ile yükselterek uygular. Taşıt tekerleklerinde bir düzlük bulunması ve hızının yüksek olması durumunda, düz kesim raya çarptığı anda tekerleğin taşıdığı statik yük sanki ray üzerine düz kısım derinliği (d) kadar bir yükseklikten bırakılıyormuş gibi bir etki yaratmaktadır. Bu nedenle oluşumları sıkı bir şekilde takip edilmelidir. Örneğin, 250 km/saat hızda hareket eden ve teker çapı 920 mm olan bir trenin tekeri saniyede $n = 69,4/\pi * 0,92 = 24$ defa dönmektedir. Bu tekerlerde bir tekerlek düzlüğü varsa, bu durumda altyapı üzerine, düzlükten ve hızdan dolayı tren tekeri tarafından saniyede 24 defa dinamik kuvvet uygulanmaktadır. UIC tarafından yayınlanan 510-2 numaralı rapora göre çapı 630 mm ile 1.000 mm arasında değişen tren tekerlerinde izin verilen en yüksek düzlük adım derinliği 1,4 mm’dir. Şekil 1’ de ileri derecede oluşmuş bir düzlüğe sahip tren tekeri (TSB, 2007) ve bu düzlüğe sahip tekerin profil eskiz görüntüsü (Brizuela, 2011) sunulmaktadır.



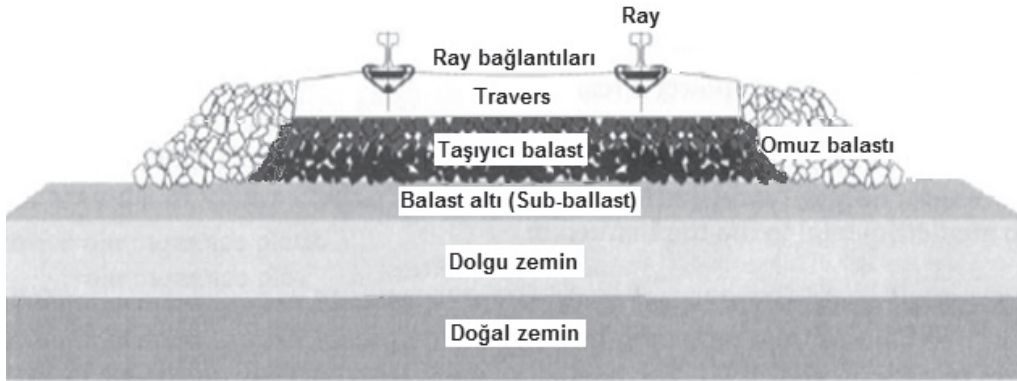
Şekil 1 Aşınma ile oluşmuş teker düzlüğü ve profil eskizi (TSB, 2007 ve Brizuela, 2011).

Tren Altyapı Katmanlarının Kalınlık Değerlerinden Kaynaklı Dinamik Etkiler

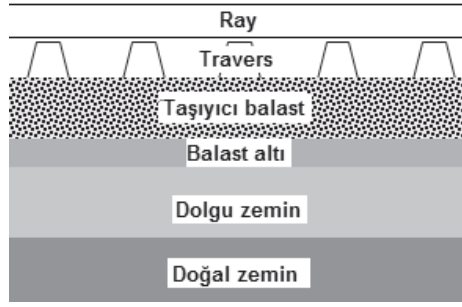
Bir yüksek hızlı tren hattının taşıyıcı yapısı birçok unsurdan teşkilidir. Demiryolu araçlarının üzerinde hareket ettiği raylar, alaşımli çelikten imal edilmiş olup, çoğunlukla yüksek mukavemetli betondan önüretimli ve öngerilmeli traversler üzerine tespit edilmişlerdir. Tespit malzemeleri, aşınmaya ve yorulmaya dirençli ve belirli esneklik değerlerine sahip çelik ve elastomerik unsurlardan oluşup rayları traversler ile irtibatlandırmaktadırlar. Balastlı hatlarda, travers altında yer alan balast tabakası, 30-60 mm tane boyutlarında, aşınma ve basınç dayanımı yüksek bazalt, granit, gnays, sert kireçtaşı türü kayalardan elde edilmiş kırmataşlardan oluşur. Traversin aktardığı yükleri taşıyan ve alt tabakalara aktaran, hattın ilgili noktalarında gerekli deverin oluşturulmasının sağlandığı bu katmanın kalınlığı 25-30 cm arasında olmalıdır. Balast tabakasının altında, “balast-altı (subbalast)” olarak anılan, en büyük tane boyutu 25 mm olan ve çoğunlukla 1 ve 2 numaralı mıcırdan teşkil 10-20 cm kalınlıkta bir tabaka bulunmaktadır. Balast altı tabakasının altında, güzergah gereksinimine göre dolgu malzemesi ve son olarak da doğal zemin yer almaktadır. Traversler, balast katman içerisine gömülü olup, bu sayede hem taban sürtünmesi hem de yatay kısıtlanma etkisi ile taşıtın hareket halinde iken oluşturduğu yatay etkilere karşı kararlılık sağlayabilmektedir. Şekil 2’ de balastlı bir demiryolu hattına örnek olarak gösterilebilecek bir perspektif fotoğraf, Şekil 3’ de balastlı bir demiryolu hattının en-kesiti, Şekil 4’ de ise hat ortasından alınmış boy-kesiti görülmektedir.



Şekil 2 Balastlı bir yüksek hızlı tren hattı (URL).



Şekil 3 Balastlı bir yüksek hızlı tren hattı en kesiti.



Şekil 4 Balastlı bir yüksek hızlı tren hattı boy kesiti.

Demiryolu hattını oluşturan tüm unsurların muhtelif yükler altında şekil değiştirme özelliklerinden ve geometrik özelliklerinden kaynaklı birer “birim-mukavemet” (stiffness) özelliği bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında ilgilendiğimiz yük ve şekil değiştirme durumu, dingil yükünden kaynaklı ve tekerlekler tarafından ray aracılığı ile hat altyapısına aktarılan “düşey yükler” ve bu yükler altında, önceki paragrafta ifade edilen katmanların “düşey sıkışma” miktarlarıdır.

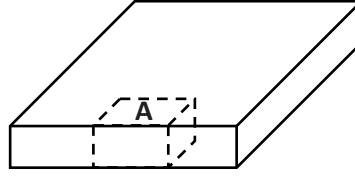
Hızlı tren hattını, raylar ,traversler ve balast tabakasından oluşan hat üst-yapısı ile balast, balast-altı, dolgu ve doğal zeminden oluşan hat alt-yapısı olarak ifade edebiliriz. Çelik ve betondan teşkil üstyapı unsurlarının jeolojik malzemedan teşkil altyapı unsurları tarafından taşınmakta olduğu hızlı tren hatlarında bahsedilen alt-yapı unsurları, alt-yapı tabaka kalınlıkları ve tabakaları oluşturan taneli (granüler) malzemenin tekil mekanik özellikleri ile tane boyutları ve sıkışma değerleri ile ilgili olarak ortaya çıkan bütünsel katman mekanik özellikleri ile birlikte ortaya çıkan bir “birim-mukavemet” (stiffness) değerine sahiptir. Bir yapısal unsurun birim mukavemeti, o yapısal unsurun bir birimlik şekil değiştirmeye karşı oluşturduğu kuvvet miktarıdır. Bu çalışma kapsamında ele alınan yapısal unsur balast, balast-altı, dolgu ve doğal zemin katmanları olup, bu katmanların birim mukavemet değerleri de katmanların birim sıkışmaları sonucunda uygulanan yükler altında oluşturdukları tepkisel kuvvet değerleridir.

İyi sıkışmış bir katmanın (sıkışabileceği en üst mertebenin en az %95’ine kadar sıkışmış) *birim yüzey alanının birim mukavemet değerini* (k), katmanı oluşturan *malzemenin esneklik katsayısı* (E) (*elastik modülü*), *Poisson oranı* (ν) ve *katman derinliği* (L) ile ilişkisini takip eden eşitlik ile ifade etmek mümkündür:

$$k = \frac{E}{(1+\nu)*L} \quad (1)$$

Bu eşitlikten açıkça görülmektedir ki, bir elastik katmanın birim alanının birim mukavemet değeri, katmanın derinliği “ L ” ile ters orantılı bir ilişki içerisinde dir. Elastik özelliği bulunan zemin katmanlarının düşey yükler altında şekil değiştirme değerlerinin tespitinde sıklıkla, katmanın birim mukavemetini temsil eden bir yay sabiti değerinden yararlanılır. Bu yay sabiti, üst-yapıya destek veren alt-yapının belirli bir alanının, düşey yüklere karşı gösterdiği birim mukavemet değerini içerir. Bu durumda, Şekil 5’ de temsilen görülen ve “ k ” değerine sahip “ D ” kalınlığında bir zemin katmanının içerisinde yer alan ve belirli bir *yüzey alanına* (A) sahip aynı kalınlıkta bir *bölgenin birim mukavemet* (K) değerini takip eden satırda yer alan eşitlik ile ifade edebiliriz:

$$K = k * A \quad (2)$$

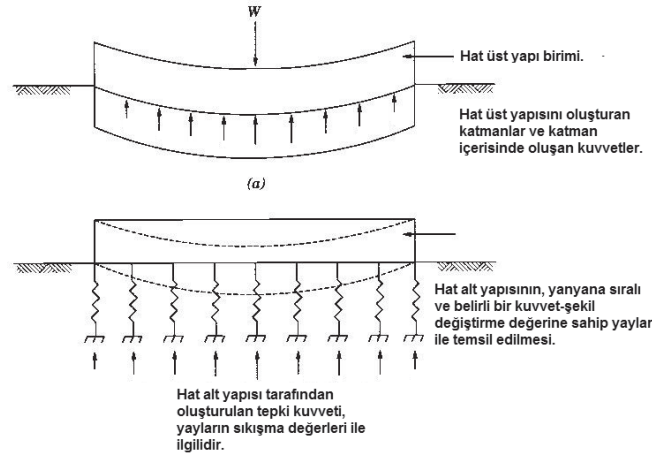


Şekil 5 Bir zemin katmanında A yüzey alanına sahip bir bölge.

Duran bir trenin veya oluşturduğu dinamik etkinin ihmal edilebilir olduğu düşük bir hızda ilerleyen trenin tekerlekleri ile ray ve sonrasında travers aracılığı ile zemin katmanlarına aktarılan *statik yük kaynaklı kuvvet değeri* “*F*” ile ifade edilse, bu kuvvetin etkisi altında sıkışacak zeminin sıkışma miktarı, ilgili zemin bölgesinin *K birim mukavemet değeri* ile ilgili olarak takip eden satırdaki gibi ifade edilebilir:

$$\Delta_{sta} = \frac{F}{K} = \frac{m \cdot g}{K} \quad (3)$$

Hat üstyapısına destek veren hat altyapısının, uygulanan üstyapı kuvvetleri altında şekil değiştirerek üstyapıyı taşıyıcı tepki kuvvetleri oluşturma mekanizmaları, altyapıyı oluşturan katmanların birim mukavemet değerlerini temsilen “yay” birimleri ile Şekil 6’ da görüldüğü gibi ifade edilebilir. Burada yayların *birim mukavemet (K)* değeri, yayın temsil ettiği zemin bölgesinin üstyapı ile *arayüz alanı (A)*, zeminin türü ve “*k*” değeri ile ilgilidir.



Şekil 6 Bir zemin katmanının birim mukavemet değerine sahip yaylar ile temsil edilmesi.

Tren hızı artmaya başladıkça, ray ve tekerlek arasındaki etkileşim, darbe etkisi yaratan teker ve ray yüzeyi kaynaklı şekil bozuklukları veya zemin bozukluklarından kaynaklı değişken zemin oturma değerleri nedeniyle, mevcut statik kuvvetlerden darbeler halinde dinamik kuvvetler doğurmaya başlamaktadır. Bu dinamik kuvvetlerin şiddeti, tren hızından kaynaklı tekerlek dönüş sıklığının artması, teker ve ray ara yüzeyinde şekilsel kusurların artması ve hat boyunca kuvvetler altında oturma değerlerinin değişken olması ile artmaktadır. Herhangi bir birim mukavemet değerine sahip bir yapının yüzeyine bırakılan bir kütlenin oluşturabileceği dinamik kuvvetin o kütlenin statik kuvveti ile ilişkisi takip eden satırda yer alan eşitlik ile ifade edilebilir:

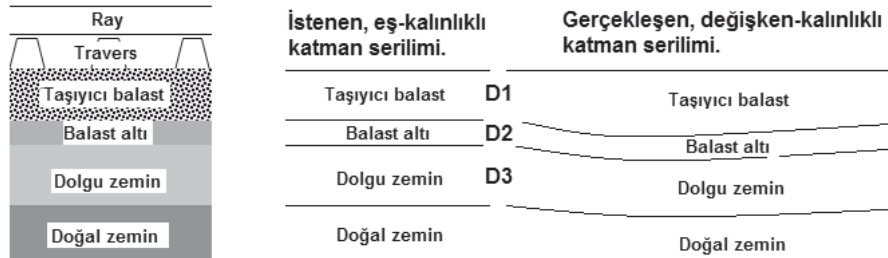
$$F_{din} = F_{sta} \left(1 + \sqrt{\frac{2h}{\Delta_{sta}} + 1} \right) = mg \left(1 + \sqrt{\frac{2h}{\Delta_{sta}} + 1} \right) = mg \left(1 + \sqrt{\frac{2h \cdot K}{mg} + 1} \right) \quad (4)$$

Bu eşitlikte, K birim mukavemet değerine sahip bir yüzey üzerine etki eden dinamik kuvvet, yüzeyine etki ettiği yapının *birim mukavemet* değeri (K) ile doğru orantılı, kütlelinin statik kuvvet değerinin o yüzey üzerinde oluşturacağı *şekil değiştirme değeri* (Δ_{sta}) ile ters orantılı ve kütlelinin etki ettiği *yüzey üzerinden etki mesafesi* (h) ile doğru orantılı bir ilişki içerisinde. Bu denklem içerisinde yer alan “ h ” değeri, dinamik etki yaratan yükün etki mesafesinin aynı yükün statik etkisi ile oluşturduğu Δ_{sta} değerine göre ölçülmektedir.

Demiryolu Üstyapı ve Altyapı Tabakalarının Kalınlık Değişiminin Dinamik Etkileri

Bir hızlı tren hat üstyapısını taşımak üzere oluşturan alt-yapı katmanlarının hat boyunca eşit kalınlık değerlerinde (D_n , $n=1,2,3$) serilimi, katman kalınlıklarının katman birim mukavemet değerleri üzerindeki etkisi ve hızlı tren hat tasarımında dinamik kuvvetlerin önemi dikkate alındığında çok önemlidir (Teixeria, 2006).

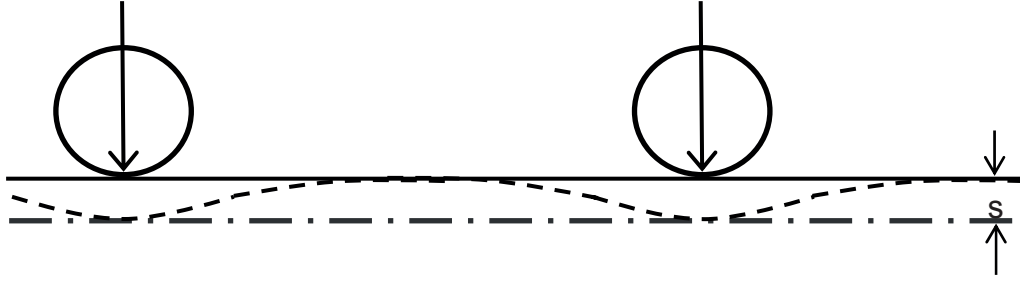
Ancak uygulamada, hat boyunca yüksek derecede değişkenlik gösterebilen zemin koşulları ve doğal zemin şartlarından kaynaklı oturmalar zaman zaman yeterince dikkate alınmadığı için hat üstyapısı altında yer alan balast, balast-altı ve dolgu katmanlarının kalınlık değerlerinin Şekil 7’ de görüldüğü gibi hat boyunca muhafaza edilemediği durumlar oluşabilmektedir.



Şekil 7 Hızlı tren hat altyapısının oluşturulan katmanların kalınlıklarının temsili gösterimi.

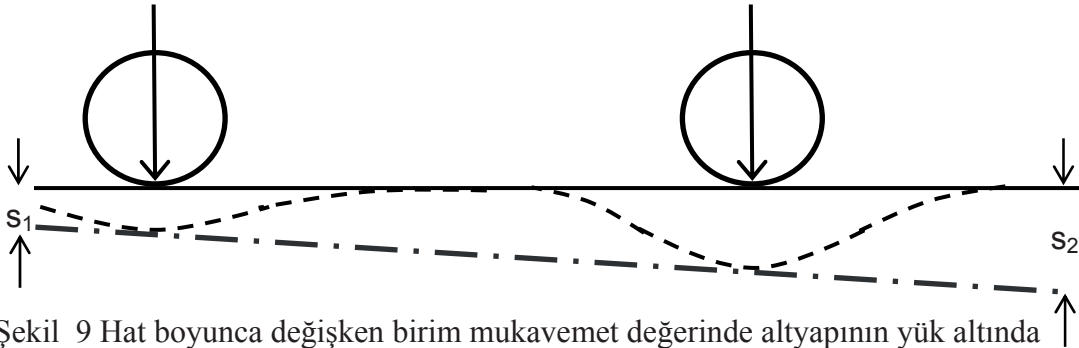
Hat altyapısı içerisinde, tren statik ve dinamik kuvvetlerinin taşınmasında etkin görev üstlenen balast ve balast-altı katmanlarının kalınlık değerlerinin hat boyunca değişken olmasında, bu katmanların dinamik kuvvet oluşumunda ne denli etkin rol oynayabileceklerinin bilinmemesi ve doğal zeminde oluşan oturmalar neticesinde hat üstyapı seviyesinin sağlanabilmesi için balast ve balast-altı katmanlarının denetimler esnasında denetimsiz bir şekilde takviye edilerek kalınlaştırılması önemli bir nedendir.

Şekil 8’ de bir ray üzerinde sağa doğru hareket eden tren tekerleklerinin ray-teker ara yüzeyinde aktarılan kuvveti ile ray üst kotundan oluşan sehimi ölçeksiz olarak temsil edilmiştir. Bu eskizde, hat altyapısına dair unsurlar belirtilmemiş olup, vurgulanan sadece altyapıyı oluşturan unsurların sabit kalınlıkta serilmeleri ve sıkıştırılmaları ile ortaya çıkan birim mukavemet değerlerinin hat boyunca aynı olmaları neticesinde uygulanan kuvvet altında oluşan sehim değerlerinin de tekerin ray üzerindeki her anında Δ ile belirtilen sabit bir değerde olacağıdır.



Şekil 8 Hat boyunca sabit birim mukavemet değerinde altyapının yük altında temsili.

Ancak, balast ve balast-altı katmanların hat boyunca kalınlık değerlerinin değişken olması durumunda, hat üzerinde seyreden teker yükünün oluşturduğu oturma miktarı s_n , balast ve balast-altı katman kalınlığının değiştiği her noktada (n) farklı olacaktır. Bu durum, yüksek birim mukavemetli zeminden düşük mukavemetli zemine geçişi temsil edecek biçimde Şekil 9’ da sunulmuştur.



Şekil 9 Hat boyunca değişken birim mukavemet değerinde altyapının yük altında temsili.

Yüksek hızla hareket eden trenler için tasarlanmış ve inşa edilmiş bir hat boyunca altyapı birim mukavemet değerinde bir değişkenlik söz konusu ise, değişimin gerçekleştiği noktalarda hat altyapısı üzerine farklı dinamik kuvvetler etki eder.

Şekil 1’de ifade edilen “ d ” düzlük adımı ve Şekil 9’da ifade edilen farklı birim mukavemetlerden dolayı oluşan sehim farklılığı ($h = s_2 - s_1$), denklem (4)’ de aktarılan dinamik kuvvet eşitliğinde yer alan “ h ” değerini ifade eder.

Tasarım değeri itibarı ile 30 cm kalınlıkta ve “ $\nu = 0,35$ ” değerine sahip bir balast katmanının, birim alan başına birim mukavemet değeri:

$$k = \frac{E}{(1+\nu)*L} = \frac{E}{(1+0,35)*0,3} = 2,5. E \left(\frac{\text{Kuvvet}}{\text{Uzunluk}} \right) / \text{Alan}$$

(5)

Bu balast katmanı, hat boyunca farklı kalınlıklarda serilecek olsa ortaya çıkacak olan k değerleri Tablo 2’ de aktarıldığı gibi bir değişim gösterecektir. Buradan çıkan önemli bir sonuç, hızlı tren hat altyapısını oluşturan balast katmanının tasarım kalınlığında hat boyunca gerçekleşecek 5 cm mertebesinde bir değişim, değişimin gerçekleştiği mesafe boyunca hattın birim alan başına birim mukavemet değerinde ortalama %17 bir değişim farklılaşma yaratacaktır. Balast katmanının, tasarım kalınlığından %100 oranında farklı bir değere sahip olması ise katmanın k değerini, referans değerinin 2 katına çıkarmakta veya yarısına indirmektedir.

Altyapı birim mukavemet değişimi nedeniyle, hat boyunca altyapı üzerinde oluşan dinamik kuvvet değişimi, sadece “ k ” değerindeki değişim nedeniyle değil, aynı zamanda Şekil 9’ da belirtilen sehim değişimi h nedeniyle de değişmektedir. Doğrusal ve elastik bir sistem içerisinde kuvvet ve sehim arasındaki doğrusal oranın birim mukavemet “ K ” ve dolayısı ile birim alan başına birim mukavemet “ k ” olması gerçeğinden yola çıkarak, k değişimi nedeniyle oluşan sehim değişimi “ h ” değerleri ile bu iki değerlerin ortak dinamik etkisini de inceleyecek olursak Tablo 2’ de sunulan değerler ortaya çıkar.

Tablo 2 Tasarım kalınlığı 30 cm ve Poisson oranı $\nu=0,35$ olan iyi sıkışmış bir balast katmanının uygulamada farklı kalınlıklarda serilmesi ile balast katmanının birim alan başına birim mukavemet (k) ve sehim değişimi (h) değerlerindeki değişim.

L (cm)	L = 30' a göre kalınlık değişimi	k	L = 30' a göre k % değişimi	L = 30' a göre h % değişimi	Balast kalınlık değişiminin dinamik etkisi	Küme
15	50%	4,9.E	200%	200%	400%	1
20	67%	3,7.E	150%	150%	225%	
25	83%	3,0.E	120%	120%	144%	
30	Referans	2,5.E	Referans	Referans	Referans	2
35	117%	2,1.E	86%	117%	100%	
40	133%	1,9.E	75%	133%	100%	
45	150%	1,6.E	67%	150%	100%	
50	167%	1,5.E	60%	167%	100%	
55	183%	1,3.E	55%	183%	100%	
60	200%	1,2.E	50%	200%	100%	

Tablo 2’ de aktarılan sonuçlara göre, belirli bir seviyede birim mukavemet değerine sahip bir katmandan daha yüksek birim mukavemetli bir katmana geçiş durumunda (1 numaralı küme), dinamik kuvvetler dikkate değer bir şekilde artmakta ve altyapı üzerine beklenenden daha yüksek değerlerde bir dinamik kuvvet aktarılmaktadır. Diğer taraftan, belirli bir seviyede birim mukavemet değerine sahip bir katmandan daha düşük birim mukavemetli bir katmana geçiş durumunda (2 numaralı küme), dinamik kuvvet üzerinde bir etki bulunmamakla birlikte aniden artan sehim nedeniyle tren seyrinde bir kararlılık (stabilite) sorunu oluşabilecektir. Bu nedenle, hat boyunca hattın kuvvetler altında şekil değiştirme niteliği veya bir başka deyişle birim mukavemetinin değişiminin kabul edilebilir bir düzeyde ve mümkün olduğunca eş dağılımlı (homojen) olmasına dikkat edilmelidir.

Sonuç

Hızlı tren alt yapısının balast ve balast-altı bileşenlerinin kalınlık değerleri, hızlı tren hareketi neticesinde oluşan dinamik kuvvet değerlerini etkilemektedir. Fikirselsel olarak uygun şartlarda (ideal şartlarda) istenen, yüksek hızlı tren alt yapısını oluşturan balast ve balast-altı katmanlarının hat boyunca eş kalınlıkta serilmeleridir. Bu koşulun sağlanabilmesi de özellikleri dikkatli bir şekilde tespit edilmiş doğal zeminin gereğinde kuvvetlendirilerek ve uygun dolgu malzemesi ile güzergaha uygun hale getirilerek hazırlanmasıdır.

İnşaat halinde hat boyunca görelî oturmaların oluşabilmesi ve bu nedenle güzergah üst kotunu gereken değerde tutabilmek için katman kalınlıklarının hat boyunca yer yer artırılması kaçınılmazdır. Ancak önemli olan konu, bir yüksek hızlı tren projesinde izin verilebilecek hat boyunca katman kalınlık artışı değerinin (cm kalınlık/ metre hat) ne olacağıdır. Hat üzerinde dinamik etkilerin sadece hat alt yapısını oluşturan katmanların kalınlıklarından dolayı oluşmayıp, tren teker düzlüklerinden de oluşabileceği göz önüne alınırsa, yapılan çözümlerle sunulan değerlerden yola çıkarak, UIC kapsamında önerilen dinamik yük katsayıları gözetildiğinde, 250 km/saat hızda seyreden bir yüksek hızlı tren hattı için izin verilebilecek en yüksek balast katmanı kalınlık değişiminin hat boyunca her 100 metrede en fazla 7 cm olarak sınırlanması önerilmektedir.

Bir yüksek hızlı tren hattının başarısı, hat üst yapısının ve hat alt yapısının birlikte ve tasarımın yapısal olarak gerektirdiği şekilde çalışabilmesine bağlıdır. Hat alt yapısını oluşturan balast, balast-altı ve dolgu katmanları, asla basit bir boşluk doldurma ve hafriyat meselesi olarak görülmemeli ve üst yapının tasarımında gereken milimetrik hassasiyet algısı ile nitelikli mühendisler ve ekipler tarafından gerçekleştirilmelidir. Hat altyapısından kaynaklanan sorunlar, çoğunlukla hattın tasarım hızından daha düşük hızlarda kullanılmasını veya hattın tadilat için geçici olarak hizmet dışı bırakılmasını gerektirmektedir. Böylelikle ortaya çıkan hız ve zaman kayıpları, yüksek hızlı tren ile hedeflenen ulaşırma yoğunluğu değerinin düşmesine, yüksek hızlı tren hattının hizmet yönünden konvansiyonel hat düzeyine düşmesine ve ulaşırma kayıplarına yol açmaktadır. Bu anlamda, bir hattın ancak bütünsel başarısından söz edilebileceği için hattın bütünsel inşa sorumluluğunun da tek bir kurum tarafından üstlenilmesinin doğru olduğu düşünülmektedir.

Kaynaklar

Brizuela, vd. (2011). New Ultrasonic Techniques for Detecting and Quantifying Railway Wheel-Flats. Transportation Research Part C Vol 19 , Issue 6 975–984

Teixeira, López-Pita,(2006). Improvements in High-Speed Ballasted Track Design. Proc. Transportation Research Record, No.1943, Washington D.C., pp:43-49

Transportation Safety Board of Canada, Railway Investigation Report -R07M0017 (2007), Main Track Derailment.

UIC: 2005 –A Survey of Current Wheel and Rail Interference Design Practices.

URL: <http://www.kaysergroup.co.uk/sleepers.html>

Yüksek Hızlı Tren Hatlarında Kullanılan Beton Traverslerin Zamana Bağlı Boyut Değişimlerinin Travers Ölçülerine Etkisi

Özgür Bezgin

İstanbul Üniversitesi, Avcılar Yerleşkesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul
ozgur.bezgin@istanbul.edu.tr

Öz

Bir mühendislik ürünü olarak yüksek hızlı tren hatlarını oluşturan unsurların tasarımlarının, üretimlerinin ve inşalarının, alışlagelmiş inşaat mühendisliği eserleri için yeterli olabilen ölçü hassasiyet değerlerinden daha hassas değerler içerisinde gerçekleştirilmeleri gerekmektedir.

Yüksek hızlı tren dinamiğinin gerektirdiği ve milimetre ölçeğinde olan tasarım ve üretim payhadleri (toleransları) ile balastlı yüksek hızlı tren hat üst yapısının temel unsurunu oluşturan B70 sınıfı betonarme traverslerin omuz ve ekartman ölçüleri birçok yüksek hızlı tren projesinde +2mm ve -1mm olarak belirtilmiştir.

Ekartman ölçüsünün tasarım değerinden düşük olması tren teker budeninin ray ile sürtünme haline geçerek trenin raydan çıkması ile sonuçlanmasına, ekartman ölçüsünün tasarım değerinden yüksek olması ise tren seyrinin yatayda titreşimli hale gelmesine ve hat üst yapısına ait unsurların hizmet ömürlerinin kısılmasına yol açabilmektedir.

Yüksek mukavemetli betondan üretilen öngerilmeli beton traverslerin, yüksek öngerme kuvvetleri altında, nem ve sıcaklık şartları değişken açık hava koşullarında en az 40 sene hizmet vermeleri beklenmektedir. Ancak beton, kimyası ve fiziksel yapısı itibariyle mekanik kuvvetlerin ve çevresel koşulların etkileri altında boyutsal değerlerinin zamana bağlı olarak değişebildiği bir malzemedir.

Teorik hesaplamalar göstermektedir ki öngerilmeli beton traversler, yüksek öngerme kuvvetleri ve çevresel şartlar altında, üretim payhadlerini aşacak düzeyde boyut değiştirebilmektedirler. Birkaç milimetre olabilen bu zamana bağlı boyut değişikliklerinin tasarım esnasında öngörülmesi ve üretim koşullarına yansıtılmalarının gerektiği düşünülmektedir. Bu nedenle traversin, tasarımının gerektirdiği ölçülere sahip olabilmesi için, traversin üretildiği beton malzemesinin sadece mukavemet değerlerinin değil aynı zamanda sünme ve büzülme özelliklerinin de bilinmeleri ve tasarıma uygulanmaları gerekmektedir.

Anahtar sözcükler: Yüksek hızlı tren, travers, beton, öngerilme, sünme, büzülme, ekartman, kalite kontrol.

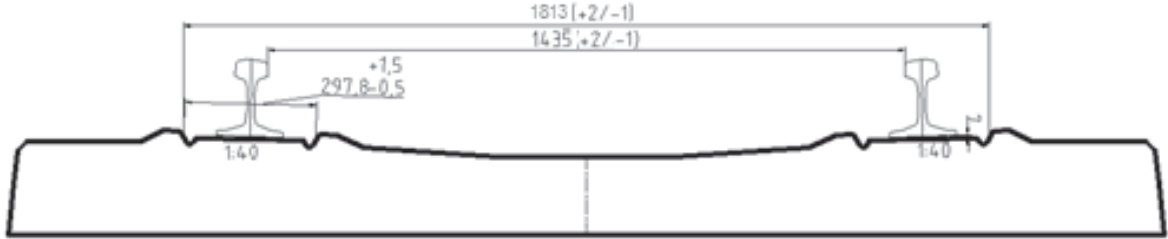
B70 Sınıfı Öngerilmeli Beton Traverslerin Temel Ölçüleri

Yüksek hızlı yolcu tren hatlarında sıklıkla kullanılmakta olan B70 sınıfı traversler, uzun hat yöntemi ve karusel yöntemi ile üretilmektedirler. Hızlandırılmış günlük üretim için yüksek mukavemetli beton ile üretilmesi gereken öngerilmeli traversler, son mukavemet değerlerine erişmeden 35 Ton'luk bir öngerilme kuvvetine maruz kalırlar.

Üretim yöntem ve planlamasına bağlı olarak 12 saat ile 48 saat arasında nem ve sıcaklık küreüne tabii tutulan traversler sonrasında ray bağlantı unsurları ve raylar ile irtibatlandırılarak saha üzerinde paneller halinde yerleşime hazır hale getirilirler. Omuz genişliği 1813 mm olan B70 sınıfı traverslerin 1:40 eğimli oturma alanlarına tespit edilmiş olan UIC 60 türü raylar arası mesafe değeri 1.435 mm olmaktadır. Avrupa Normlarına uygun olarak TCDD hat kabul koşulları kapsamında uzunluğu 2.600 mm olan ve Şekil 1'de sunulan B70 sınıfı traversin ekartman ve omuz ölçüleri ile payhadleri Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1 B70 Travers ölçü değerleri ve ilgili payhadleri.

Açıklama	Ölçü	Payhaddi
Travers omuz genişliği	1813 mm	+2 mm, -1 mm
Ray oturma yerindeki omuz genişliği	298 mm	+1,5 mm, -0,5 mm
Ray oturma yüzeyi eğimi	1:40 eğim	$\pm 0,25^\circ$



Şekil 1 B70 Travers esas ölçüleri ve payhadleri.

Yüksek hızlı bir hattın inşasında hatta dair belirleyici olan önemli bir ölçü, hat ekartman ölçüsüdür. Bu önem, ekartman aralığının hızlı tren seyir güvenliği, seyir konforu ve zaman içinde üst yapı yıpranma değerini etkilemesinden ileri gelmektedir. Ekartman ölçüsünün tasarım değerinden düşük olması Şekil 2'de görülen tren teker budeninin ray ile sürtünme haline geçerek trenin raydan çıkması ile sonuçlanabilmesine, ekartman ölçüsünün tasarım değerinden yüksek olması ise tren seyrinin yatayda titreşimli olabilmesine yol açmaktadır (Samuels, 2008).

Diğer taraftan, ön germe kuvveti altında beton travers, yıllar boyunca maruz kalacağı çevresel şartlar ile bulunduğu bölgenin özelliklerine bağlı olarak Tablo 1'de belirtilen payhaddi değerlerine eşit değerlerde kısılabilmektedir.



Şekil 2 Tren teker budeni ile ray irtibatının temsili ile profil resmi (Samuels, 2008).

Betonda Zamana Bağlı Değişimler

Öngörülmesi beton bir traversde öngerme kuvvetinin aktarımının ardından üç farklı nedenden dolayı boyut değişimi meydana gelir. Bunlardan ilki, beton yeterli bir önmukavemete ulaştığında öngerilme kuvvetlerinin aktarılmasını takiben travers üzerinde, travers betonunun o anki mevcut esneklik katsayısı değeri ve kesit alanı ile orantılı olarak anında meydana gelen esnek kısılmadır. Bir başka deyişle beton travers, uzunluk eksenini boyunca ağırlık merkezinden uygulanan kuvvet doğrultusu boyunca kısalır.

Beton traversler, hat üstyapı panelleri halinde yerleşimlerini takiben değişim değeri aylara ve senelere azalarak yayılan bir kısalma sürecine girer. Beton içerisinde zamana bağlı olarak meydana gelen boyut değişimi, betonun “sünme” (creep) ve “büzülme” (shrinkage) olarak adlandırılan iki niteliği nedeniyle meydana gelir. Her iki beton niteliği de, betona üretim esnasında uygulanan sıcaklık ve nem değeri ve süreleri (kür) ve betonun hizmet (servis) anında maruz kaldığı bağıl nem değeri ve değişimleri ile yakından ilgilidir.

Yüksek hızlı tren projeleri için sağlanması gereken onbinlerce traversin üretimi, bekletilmesi (stoklanması) ve ihtiyaç duyulduğu an sahaya paneller halinde sunulabilmesi için üretimlerinde mekanize önüretimli yöntemler kullanılmaktadır. Gereken kür, betona aktarılan yapısal öngerme kuvvetlerine betonun esnek sınırlar içerisinde dayanabilmesine yetecek kadar olmakta ve sonrasında kullanıma sunulan traversler, nihai dayanımlarına hizmet öncesinde sahada ulaşmaktadırlar. Ancak, 28 günde tasarım dayanımlarına ulaşan beton traverslerin sünme ve büzülme etkileri altında boyutsal değişimleri ancak birkaç sene içerisinde son bulmaktadır. Sıradan bir beton ürün için önemsenmeyecek milimetre mertebesinde değişimler, üretim payhadlerinin milimetre mertebesinde olduğu öngörülmesi betonarme traverslerde çok büyük bir öneme sahip olmaktadır.

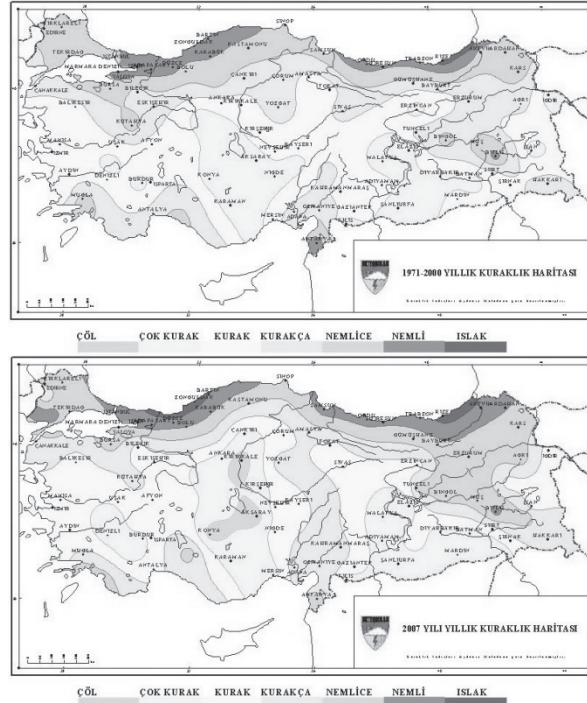
Yüksek hızlı tren hattının yer aldığı coğrafya ve hat boyunca meydana gelebilecek iklimsel değişimler neticesinde nem farklılıkları, traversin zamana bağlı davranışını etkilemektedir. Kuzey Avrupa'nın nemli iklimlerinde hizmet veren yüksek hızlı tren hatları için tasarlanan traversin zamana bağlı boyutsal değişimleri, ılıman ve nispeten kurak Anadolu ikliminde yer alan veya çöl ikliminin hakim olduğu kurak Kuzey Afrika ve Arap Yarımadası'nda hizmet vermesi planlanan yüksek hızlı tren hatları için tasarlanan traverslerin zamana bağlı davranışlarından farklı olacaktır.

Diğer taraftan, traversin hizmet ömrü boyunca maruz kalacağı iklimsel koşullar da değişken olabilmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen ve Şekil 3'ün sol tarafında sunulan, Türkiye Cumhuriyeti için 1971 – 2000 seneleri arasında

toplanan veriler ile oluşturulan yurt genelinde bağıl nem haritasında görüldüğü gibi, İç Anadolu’ da yer alan bölgelerin bağıl nem koşulları “çok kurak” değerinden, Şekil 3’ün sağ tarafında sunulan ve 2007 senesi için toplanan veriler ile oluşturulan bağıl nem haritasında belirtildiği gibi “çöl” değerlerine yaklaşmaktadır. Tablo 2’de, haritalar üzerinde ifade edilen kuraklık düzeyleri ile ilişkili bağıl nem değerleri belirtilmiştir.

Tablo 2 Bağıl nem değerlerinin temsil ettiği iklimsel ortam niteliği (MGM).

Nem durumu	Bağıl rutubet
Çöl	<50%
Çok kurak	50%
Kurak	60%
Kurakça	70%
Nemlice	80%
Nemli	90%
Islak	100%



Şekil 3 Türkiye kuraklık haritaları (MGM, 1971-2000) ve (MGM, 2007)

Bu iki harita incelendiğinde, 10 sene gibi kısa bir süre içerisinde etkin iklimsel değişimler gerçekleşebilmektedir. Bir diğer anlamda bugün, gündemde olan ve gündeme gelecek olan birçok yüksek hızlı tren projemizin yer aldığı bölge olan İç Anadolu bölgemizin iklimsel koşulları, 40 sene olarak öngörülen travers hizmet ömrü boyunca değişebilecektir. Planlanan yüksek hızlı tren hatlarının, öngörüldüğü gibi hizmet verebilmeleri için hattın alt yapı ve üst yapı unsurlarının da bu süreler içerisinde, değişken hizmet koşulları öngörülerek tasarlanmaları gerekmektedir.

Yüksek hızlı tren hatlarında kullanılan öngerilmeli yüksek mukavemetli beton traverslerin yer alacağı bölgenin nem değerleri ve değer değişimleri, traversin uzunluğunu milimetrik olarak kısaltmakla kalmayıp, aynı zamanda içerisinde yüksek miktarda öngerme kuvveti bulunan bu traverslerin kısaltmaları nedeniyle öngerme kuvvet kayıplarının da artmasına yol açmaktadır. Bağıl nem oranının yüksek olduğu bir

bölgede, belirli bir öngerme kuvvet değeri altında üretilmiş bir travers içerisinde sünme ve büzülmeden dolayı 1 sene içerisinde meydana gelecek kısıalma ve öngerme kuvvet kaybı, aynı traversin çok kurak ve bağıl nem oranı düşük bir bölgede kullanılmasıyla traversde meydana gelecek kısıalma ve bu kısıalma ile ilgili öngerme kuvvet kaybı değerinden daha düşük olacaktır. Detaylarını, kısa bir makale içerisinde sunmanın mümkün olmadığı bu olgunun mertebesini özetle belirtecek olursak, nemli Kuzey Avrupa coğrafyasında yer alan bir hattı oluşturan traverslerde 5 senelik kayıplar %10 – %15 olabilirken, kuraklaşan İç Anadolu'da %25 – %30, çöl ikliminin hakim olduğu coğrafyalarda ise %35 – %40 mertebesinde olabilmektedir. Bu kayıpların gerçekleşmesinde, sunulan çalışma kapsamında ele alınan sünme ve büzülme olgularının katkısı büyüktür.

Bağıl Nem Oranına Bağlı Boyutsal Değişimlerin Matematiksel Değerlendirilmesi

Beton zaman içerisinde şekil değişimine uğramaktadır. Uygulanan yüklerden kaynaklı mekanik şekil değiştirmelerin haricinde, malzeme fazında ve malzeme yoğunluğunda meydana gelen değişimlerden ötürü zaman içinde boyut değişimleri meydana gelmektedir. Zamandan bağımsız olmayan bu değişimin ifadesi, zaman ile etkilenen nitelik değişkenlerinin (parametrelerin) çokluğundan ötürü, deneysel katsayılar ile desteklenmiş doğrusal olmayan bağıntılar halindedir. Zamana bağlı değişimin ifadesi, teorik bir değerlendirmenin uzun vadeli deneysel bulgular ile düzeltilmesi ve desteklenmesi ile ortaya konabilir. Zamana bağlı olarak değişen beton nitelikleri içerisinde temel nitelikte olanlar takip eden satırlarda sıralanmıştır:

1. Betonun son mukavemet değeri.
2. Betonun son mukavemet değerine ulaşım hızı.
3. Betonun bulunduğu ortamın rutubet ve sıcaklık koşulu ve bu koşulun zaman içindeki seyri.

Sünme

Betonda gözlenen sünme davranışını, betonun mukavemet niteliklerine ve çevresel şartlara göre kavramsal olarak özetleyen niteliksel etkileşimler halinde ifade edecek olursak:

- i. A (Zamana bağlı sünme katsayısı) = B (Sünme katsayısı) * C (Sünmenin zamana bağlı değişimi)
- ii. B (Sünme katsayısı) = b_1 (Bağıl nemin sünmeye etkisi) * b_2 (Beton mukavemetinin sünmeye etkisi) * b_3 (Yük aktarımı esnasında beton yaşının sünmeye etkisi)

Betonun toplam sünme kısılması, betonun elastik kısılmasının, temel sünme katsayısı ile çarpılması sonucu bulunur.

$$\epsilon_{sünm} = [A] \cdot \left(\frac{\sigma_{basınc}}{E_{beton}} \right) \quad (1)$$

Belirtilen bu niteliklerin, nicelik içeren bağıntılar halinde ifade edilmesinde EN-1992-1 yer alan eşitlikler kullanılabilir:

$$[A]: \quad \varphi(t, t_0) = [\varphi_0] \cdot \beta_c(t, t_0) \quad (2)$$

$$[B]: \quad \varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \beta(t_0) \quad (3)$$

$$[C]: \quad \beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t-t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3} \quad (4)$$

$\beta_c(t, t_0)$ = Sünmenin zaman ile değişimini ifade eden katsayı, RH = Bağıl nem oranı (Relative humidity), β_H = Bağıl nem oranına ve temsili eleman boyutuna bağlı katsayı, t_0 = Betonun, yüklemeye esnasında ortam sıcaklığı ile ayarlanmış yaşı (Gün), t = Betonun yaşı (Gün).

$$\beta_H = 1.5[1 + (0.012RH)^{18}]h_o + 250\alpha_3, \alpha_3 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.5} \quad (5)$$

$$t_o = t_T \cdot \left(\frac{9}{2+t_{o,T}^{1,2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5, \quad t_T = \sum_{i=1}^n e^{-\left(\frac{4000}{273+T(\Delta t_i)} - 13.65 \right)} \cdot \Delta t_i \quad (6)$$

$$\alpha = \left\{ \begin{array}{l} 1 \quad [\text{R sınıfı çimento: CEM 42,5R, CEM 52,5N, CEM 52,5R}] \\ 0 \quad [\text{N sınıfı çimento: CEM 32,5R, CEM 42,5N}] \\ -1 \quad [\text{S sınıfı çimento: CEM 32,5N}] \end{array} \right\} \quad (7)$$

t_T = ısı etkisinin yansıtıldığı etkin beton yaşı, $T(\Delta t_i)$ = Δt_i sürecinde C° cinsinden sıcaklık, Δt_i =T sıcaklığının hakim olduğu gün sayısı, h_o = Beton elemanın temsili boyutu, f_{cm} =Beton silindir ortalama değeri, f_{ck} =Beton silindir karakteristik değeri

$$(b1): \quad \varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1-RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_o}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 \quad \alpha_1 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.7}, \alpha_2 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.2}, h_o = \frac{2A_c}{u} \quad (8)$$

RH = Bağıl nem oranı, h_o = Beton kesitinin temsili boyutu = $\frac{2A_c}{u}$, u = Beton kesit çevresi

$$(b2): \quad \beta(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad (9)$$

$\beta(f_{cm})$ = Sünme katsayısı üzerine beton mukavemetinin etkisi, f_{cm} = 28 gün sonunda betonun ortalama basınç mukavemeti

$$(b3): \quad \beta(t_o) = \frac{1}{(0,1+t_o^{0,2})} \quad (10)$$

$\beta(t_o)$ = Sünme katsayısı üzerine, yüklemeye anındaki beton yaşının etkisi.

Büzülme

Betonda gözlenen büzülme davranışını, betonun mukavemet niteliklerine ve çevresel şartlara göre özetleyen niteliksel ve niceliksel etkileşim takip eden satırda belirtilmiştir:

A (Toplam büzülme) = **B** (Kuruma büzülmesi) + **C** (Eksi basınç büzülmesi)

$$(B): \text{ Kuruma büzülmesi : } \varepsilon_{cd,0} = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} \quad (11)$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t-t_s)}{(t-t_s)+0,04 \sqrt{h_o^3}}, \quad \varepsilon_{cd,0} = 0.85 \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{-\left(\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}} \right)} \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} \quad (12)$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] \quad (13)$$

f_{cm} = Ortalama basınç mukavemet değeri, $f_{cm0}=10$ Mpa, k_h = Beton temsili boyuna bağlı bir katsayı, RH = Bağıl nem, $RH_0=100$, t_s =Kür sonu anı ($t_s =0,5$ Gün), t = Zaman (Gün)

$$\alpha_{ds1} = \begin{cases} 3 \text{ S sınıfı çimento} \\ 4 \text{ N sınıfı çimento} \\ 6 \text{ R sınıfı çimento} \end{cases} \quad \alpha_{ds2} = \begin{cases} 0.13 \text{ S sınıfı çimento} \\ 0.12 \text{ N sınıfı çimento} \\ 0.11 \text{ R sınıfı çimento} \end{cases} \quad (\text{Çimento türü ile ilgili bir katsayı})$$

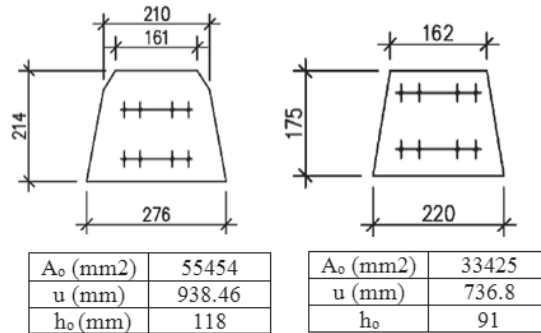
$$\beta_{RH} = \begin{cases} 1,36 \\ 1,12 \\ 0,76 \end{cases} = \begin{cases} (RH 50) \\ (RH 65) \\ (RH 80) \end{cases} \quad \epsilon_{cd,0} = \begin{cases} 0,00045 \\ 0,00038 \\ 0,00025 \end{cases} = \begin{cases} (RH 50) \\ (RH 65) \\ (RH 80) \end{cases}$$

$$(C) \text{Eksi basınç büzülmesi : } \epsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \epsilon_{ca}(\infty), \beta_{as}(t) = 1 - e^{(-0,2t^{0,5})}, \epsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10)10^{-6}$$

(14)

Bağıl Nem Oranına Bağlı Boyutsal Değişimlerin Rakamsal Uygulaması

35 Ton öngerme kuvveti altında bulunan bir beton travers kesitinin %50, %65 ve %80 bağıl rutubet değerleri ile zamana bağlı etkiler altında kısılma davranışını teorik olarak irdeleyelim. Bu kesit, herşeyden önce öngerme kuvvetleri altında 0,45 mm'lik bir elastik kısılmaya maruz kalacaktır. Travers kesiti, travers boyunca değişmektedir. Zamana bağlı kısılmaların hesabında, mevcut en düşük ve en yüksek kesit alanları göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmış ve daha sonra travers boyunca kesit alanının ağırlıklı ortalama değerine göre tespit edilmiştir. Şekil 1'de belirtilen traversin ray altı ve travers orta kesitleri sırasıyla Şekil 4'ün solunda ve sağında gösterilmiştir.



Şekil 4 Travers kesitleri.

Sünme

EN 1992 – 1' de belirtilen teorik ilkeler bu traversin üretim ve kullanımda maruz kalacağı iklimsel koşullar altında uygulanırsa takip eden satırlarda sunulan işlemler neticesinde

Kür süresi: 7 saat (0,3 gün)

Kuvvet aktarımına kadar bekleme süresi: 5 saat (0,2 gün)

$$t_o = 0,3 \cdot e^{-\left(\frac{4000}{[273+50]}\right) - 13,65} + 0,2 \cdot e^{-\left(\frac{4000}{[273+28]}\right) - 13,65} = 1,35$$

$$t_o = t_{o,t} \cdot \left(\frac{9}{2+t_{o,T}^{1,2}} + 1 \right)^\alpha = 1,35 \cdot \left(\frac{9}{2+1,35^{1,2}} + 1 \right)^1 = 4,9 \geq 0,5$$

$$\beta(t_o) = \frac{1}{0,1+t_o^{0,2}} = 0,678 \text{ (R sınıfı çimento-CEM 52,5 R)}$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{73}} = 1,97$$

$$\text{Travers merkez bölgesi: } h_o = \frac{2 \times 33425}{736,8} = 91$$

$$\text{Ray altı bölgesi: } h_o = \frac{2 \times 55454}{938,4} = 118$$

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_o}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2$$

$$\alpha_1 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} = \left[\frac{35}{65 + 8} \right]^{0,7} = 0,598, \quad \alpha_2 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} = \left[\frac{35}{65 + 8} \right]^{0,2} = 0,863$$

$$RH = 50, \quad \varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_o}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 = \left[1 + \frac{1 - \frac{50}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{91}} \cdot 0,598 \right] \cdot 0,863 = 1,44 \text{ (Orta bölge)}$$

$$RH = 50, \quad \varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_o}} \cdot \alpha_1 \right] \cdot \alpha_2 = \left[1 + \frac{1 - \frac{50}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{118}} \cdot 0,598 \right] \cdot 0,863 = 1,39 \text{ (Ray altı)}$$

$$\varphi(t, t_o) = \varphi_o \cdot \beta_c(t, t_o) = [\varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \beta(t_o)] \cdot \beta_c(t, t_o)$$

$$RH = 50, \quad \text{Travers orta bölge : } \varphi_o = 1,44 \times 2,08 \times 0,678 = 2,03$$

$$RH = 50, \quad \text{Ray altı bölgesi : } \varphi_o = 1,39 \times 2,08 \times 0,678 = 1,96$$

Elde edilen bu sünme katsayı değerleri ve elastik kısalma değerleri ile toplam sünme değerleri bulunacaktır.

Büzülme

$$\mathbf{A} \text{ (Toplam büzülme)} = \mathbf{B} \text{ (Kuruma büzülmesi)} + \mathbf{C} \text{ (Eksi basınç büzülmesi)}$$

$$\mathbf{(B): Kuruma büzülmesi : } \varepsilon_{cd,0} = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0}$$

$$f_{cm} = \text{Ortalama basınç mukavemet değeri} = 65 + 8 = 73 \text{ MPa}$$

$$f_{cm0} = 10 \text{ MPa}$$

$$k_h = \text{Beton temsili boyuna bağlı bir katsayı, } h_o = 118 \text{ için } k_h = 0,97$$

$$RH = \text{Bağıl nem}$$

$$RH_o = 100$$

$$t_s = \text{Kür sonu anı (} t_s = 0,5 \text{ Gün)}$$

$$t = \text{Zaman (Gün)}$$

$$\alpha_{ds1} = \begin{cases} 3 \text{ S sınıfı çimento} \\ 4 \text{ N sınıfı çimento} \\ 6 \text{ R sınıfı çimento} \end{cases} \quad \alpha_{ds2} = \begin{cases} 0,13 \text{ S sınıfı çimento} \\ 0,12 \text{ N sınıfı çimento} \\ 0,11 \text{ R sınıfı çimento} \end{cases} \quad (\text{Çimento türü ile ilgili bir katsayı})$$

$$\beta_{RH} = \begin{cases} 1,36 \\ 1,12 \\ 0,76 \end{cases} = \begin{cases} \text{RH } 50 \\ \text{RH } 65 \\ \text{RH } 80 \end{cases} \quad \varepsilon_{cd,0} = \begin{cases} 0,00045 \\ 0,00038 \\ 0,00025 \end{cases} = \begin{cases} \text{RH } 50 \\ \text{RH } 65 \\ \text{RH } 80 \end{cases}$$

(C)Eksi basınç büzülmesi :

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty), \quad \beta_{as}(t) = 1 - e^{(-0,2t^{0,5})}$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10)10^{-6}$$

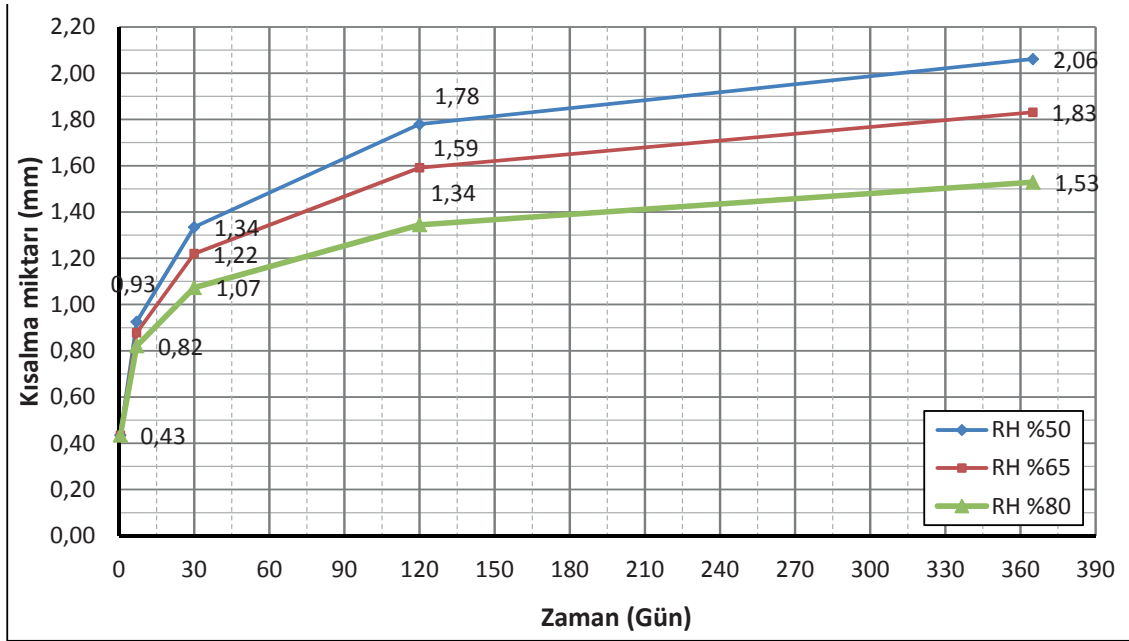
RH = Bağıl nem (%), RH₀ = 100

f_{ck} = 65 MPa (Silindir basınç mukavemeti)

$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0,0001375$

Sünme, Büzülme ve Elastik Kısalmalarının Toplam Etkisi

Elastik kısılma değerinin, sünme ve büzülme etkileri ile birlikte, 1 sene içerisinde değişimi Şekil 5' de belirtilmiştir.



Şekil 5 Toplam kısılmanın, nem değerleri ile zamana bağlı değişimleri (Bezgin, 2008).

Elde edilen bu rakamsal sonuçlar göstermektedir ki, elastik kısılma değeri ile başlayan zamana bağlı kısılma, sünme ve büzülme etkileri ile ilerlemektedir. Farklı bağıl nem koşulları altında oluşan toplam kısılma değerleri, travers ekartmanı için izin verilen -1mm payhaddi değerine yaklaşabilmekte veya aşabilmektedir.

Sonuç

Bu çalışma içerisinde, betonun, zamana bağlı şekil değiştirme özelliğinden kaynaklı kısılma değerlerinin, yüksek hızlı tren hatlarını oluşturan üstyapı unsurlarının düşük, üretim hassas payhaddi değerlerine eşit miktarlara ulaşabileceği aktarılmaya çalışılmıştır.

Yüksek hızlı tren hatlarının yer aldığı coğrafya içerisinde iklim koşullarının zaman içerisinde değişebileceği ve bunun sonucunda bölgesel bağıl nem değerlerini değişebileceği aktarılmıştır. Bölgesel nem oranlarında zamana bağlı kalıcı değişimin, betonun zamana bağlı sünme ve büzülme kaynaklı şekil değiştirme değerlerini etkileyebileceği belirtilmiştir. Bu değişimin mertebesinin, kurak iklimden çok kurak ve

çöl iklim koşullarına geçişte yaklaşık %20 olabileceği aktarılmıştır. Hat üst yapısını oluşturan betonarme unsurların mekanik tasarımlarının ötesinde hattın yer alacağı iklimsel koşullar altında davranışının tespit edilerek tasarıma dahil edilmesinin önemi vurgulanmak istenmiştir.

Bir yüksek hızlı tren hattının hat üst yapısının mekanik tasarımında, hattı oluşturan yüksek mukavemetli beton unsurların zamana bağlı sünme ve büzülme özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Gerçekleştirilecek bir malzeme tasarım sürecinde, betonun mekanik özelliklerinin tespitine yönelik araştırmalar ile birlikte, seçilen beton hammaddeleri ile yapısal olarak karar kılınan betonun, farklı nem koşulları ve basınç kuvvetleri altında davranışının tespiti için öncelikle, hattın yer alacağı güzergahın içerisinde bulunduğu iklimsel koşullar sıcaklık ve nem değerleri bakımından tespit edilip, bu koşulların zaman içerisindeki değişimleri bilimsel olarak öngörülmelidir. Ancak bu bilimsel öngörüler yardımıyla tasarımda kullanılacak betonun zamana bağlı nitelikleri laboratuarda sınanabilecektir.

Zamana bağlı değişim değerleri bu şekilde tahmin edilen beton malzemesinden üretilen beton traverslerin üretim kalıp ölçüleri de öngörülen zamana bağlı değişim değerlerini içerecek şekilde tasarlanarak, kalıptan çıkan ürünlerin hizmet (servis) koşulları altında istenen ölçü payhadleri (toleranslar) içerisinde yer almaları sağlanabilecektir. Bu yaklaşım, farklı coğrafi ve iklimsel bölgelerden oluşan ülkemizde olduğu gibi, bölgeler arası konumlanan mevcut ve planlanan yüksek hızlı tren hat güzergahlarını oluşturan üst yapı unsurlarının, hattın gerektirdiği boyutsal gereklilikleri sağlaması için önemlidir. Travers üretiminde uygulanmakta olan yöntemlerde travers boyutlarının, zamana bağlı beklenen değişimlere göre ayarlanması mümkündür.

Yüksek hızlı tren hat üst yapı tasarımında yurdumuzun bölgesel iklimsel şartları özel olarak dikkate alınmalıdır ve hazır tip-tasarımlar bilinçsizce uygulanmamalıdır.

Teşekkür İstanbul Üniversitesi inşaat mühendisliği bölümü, Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı Sn. Prof. Dr. Mustafa Kardeş'in ve Zemin Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı Sn. Prof. Dr. Feyza Çinicioğlu'na saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

Bezgin, O.N, Yılmaz, V., B70 Traverslerin Zamana Bağlı Değişimleri, 2008

Eurocode – 2 – Design of Concrete Structures, Kasım 2002

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 1971 – 2000 ve 2007, Türkiye Kuraklık Haritaları

Samuels, M.J., (2008), The Freight Railroad Renaissance, Transportation Infrastructure

Yüksek Hızlı Tren Hatları için Tasarlanan Beton Traverslerin Modellenmesi ve Tetkik Aşamaları

N. Özgür Bezgin, Mustafa Karasahin

Istanbul Üniversitesi, Avcılar Yerleşkesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul
ozgur.bezgin@istanbul.edu.tr, mkarasahin@istanbul.edu.tr

Öz

Çağdaş ulaşım gereksinimleri ile ulaştırma mühendisliğinin bilimsel ve teknik kapsamı da genişlemiş ve derinleşmiş durumdadır. Bir ulaştırma mühendisi, tasarım ve işletme sorumluluklarını üstlendiği bir yüksek hızlı tren hattına dair farklı teknik bileşenler ile bu bileşenlerin hat performansı üzerine etkileri hakkında etkin derecede bilgi sahibi olmak durumundadır.

Üretilen yüksek mukavemetli betondan teşkil önerilmeli traversler, hizmet ve hizmet ötesi yükler için tasarlanmaktadır. Traversin tasarımı, etki eden yüklerin sınıfı ve bu yük sınıflarında traverssten beklenen davranış için farklı olmaktadır. Traversler, statik ve dinamik kuvvetlere maruz kalmaktadırlar ve bu nedenle tasarımlarında ve tetkiklerinde, statik ve dinamik yükler altında davranışları irdelenmektedir.

Bu çalışma içerisinde, balastlı yüksek hızlı tren hatlarında kullanılmakta olan B70 sınıfı traverslerin içerisinde, hat üst yapısından gelen ve statik eşdeğerlik yoluyla irdelenen düşey hizmet kuvvetleri neticesinde oluşan gerilmeler ve bu gerilmelerin güvenli değerlere indirgenebilmeleri için uygulanan önermenin gerekçesi ile hizmet ötesi yük sınıfları için tasarım gerekleri aktarılacaktır.

Anahtar sözcükler: Yüksek hızlı tren, travers, önerme, hizmet yükü, statik benzeşim

Giriş

Yüksek hızlı trenler için inşa edilen balastlı hatlarda günümüzde çoğunlukla önerilmeli yüksek mukavemetli betondan üretilen traversler kullanılmaktadır. Mühendislik hassasiyeti yüksek olan ve bir zaman dilimi içerisinde yüksek miktarlarda üretilmesi gereken bu traversler, yapısal nitelikleri itibariyle zemin ile sürekli etkileşim içerisinde bulunan taşıyıcı bir giriş olarak tanımlanabilirler.

Yüksek hızlı tren altyapısını oluşturan unsurlar, trenin statik dingil yükü ile trenin hızı ile birleşik bir dinamik düşey yük etkisi altında kalırlar. Traversin tasarımında esas alınan yük etkileri, düşey yüklerden kaynaklı dinamik etkiler olup, traversin irtibat bölgelerinin yerel tasarımında, tren hareketinden kaynaklı yatay etkiler de dikkate alınmaktadır.

Travers üzerine etki eden bu kuvvetler neticesinde traversin yapısal olarak direnç göstermesi ve ayrıca çatlak oluşumunun, etki eden yükün sınıfsal derecelendirilmesine göre engellenmesi veya sınırlanması gerekmektedir.

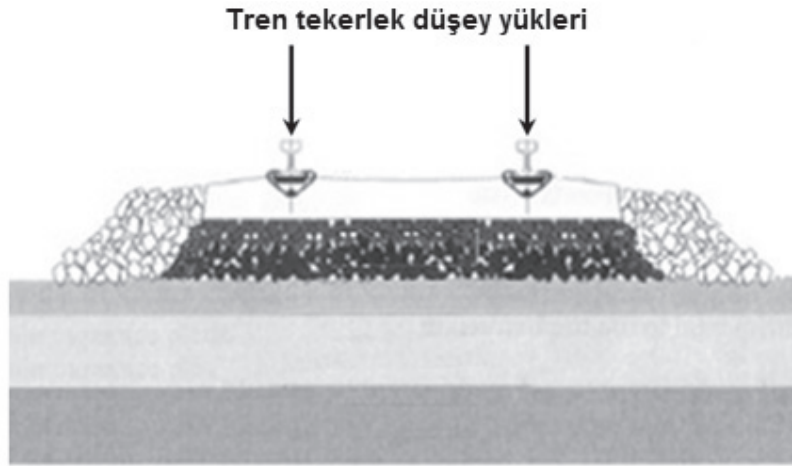
Travers Üzerine Etki Eden Statik Düşey Kuvvet Değerleri

Hızlı ve yüksek hızlı tren hatlarının tasarıma esas düşey kuvvetler, tren statik ağırlığı ve hızı ile orantılıdır. Uluslararası Demiryolları Birliği (Union Internationale des Chemin – UIC) tarafından belirtilen birleşik yük ve hız değerleri Tablo 1’ de sunulmuştur.

Tablo 1 UIC – 713R’ye göre birleşik dingil ağırlığı ve tren hız değerleri.

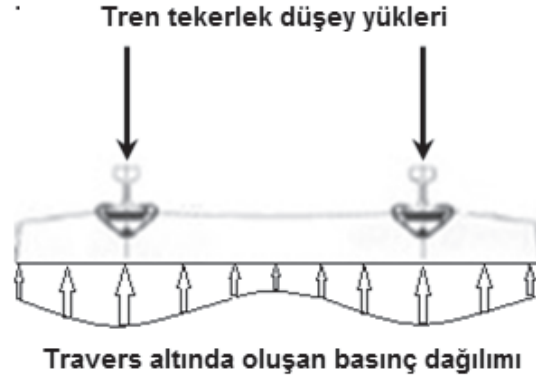
Dingil yükü			
Hız	180 kN	225 kN	250 kN
120 km/h	X	X	X
200 km/h	X	X	
300 km/h	X		

Şekil 1’ de eskizi sunulan hat en kesiti üzerinde, tren tekerlekleri tarafından travers üzerine uygulanan düşey yükler görülmektedir.



Şekil 1 Travers üzerine uygulanan düşey tren tekerlek yükleri.

Uygulanan bu düşey yük altında travers, üzerinde yer aldığı altyapı ile etkileşim halinde eğilerek, uygulanan yüklere karşı bir tepki oluşturacaktır. Oluşan bu tepki, balast ve balast-alt katmanlarında oluşan basınç gerilmeleri şeklinde, travers tarafından uygulanan yüke aksi yönde eş kuvvet oluşturacak halde, Şekil 2’ de görüldüğü gibi oluşacaktır. Uygulanan statik hizmet düzeyi yükü, dinamik etkiyi yansıtan bir katsayı ile yükseltılarak statik benzeşim yoluyla travers tasarım hizmet düzeyi yükünü oluşturmaktadır.

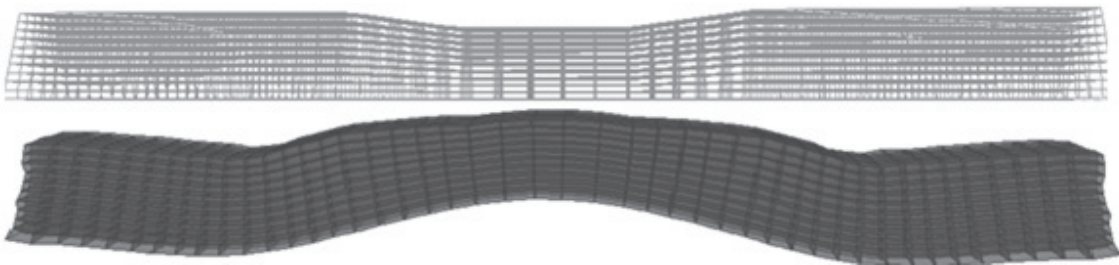


Şekil 2 Travers üzerine uygulanan düşey yükler altında oluşan basınç değişimi.

Sıradaki bölümde, hizmet yükleri altında bulunan ve önçekme kuvveti içeren traversin yapısal davranışının incelenmesine yönelik sonlu elemanlar yöntemi uygulayan SAP programı ile hazırlanan rakamsal model ile yapılan detaylı çalışma (Bezgin, 2008) içeriğinden derlenen bazı sonuçlar sunulacaktır.

B70 Sınıfı Yüksek Mukavemetli Öngermeli Traversin Hizmet Koşullarında Tasarımı

250 km/saat hızda, 17 Ton'luk dingil yük değeri ile 140 km/saat hızda 22,5 Ton'luk dingil yük değeri için tasarlanmakta olan bir öngermeli beton traversin, komşu traverslerle arasında 0,4 – 0,6 arasında değişen ve 0,5 olarak tespit edilen bir yük dağıtım katsayısı ile 2,4 olarak tespit edilen (Bezgin, 2008) bir dinamik yük katsayısı uygulanarak düşey yükler altındaki şekil değişikliğini, Şekil 3' de sunulan sonlu eleman matematiksel modelin tetkik sonucu ile görebiliriz. Yük dağıtım katsayısının tespiti, dinamik kuvvet katsayısının tespiti ve rakamsal modelin matematiksel olarak oluşturulması, bu çalışma kapsamına sığmayacak ve ayrı birer çalışmanın konusu olacak içeriklere sahiptirler ve bu nedenle sadece sonuç değerleri belirtilmiştir. Şeklin üst kısmında görülen ve tekerlek yüküne maruz kalmamış olan travers, yük altında, şeklin alt tarafında yer alan eğilmiş duruma gelmektedir. Milimetre düzeyinde gerçekleşen şekil değişikliklerini görünür kılabilmek için 500 kat büyütülerek oluşturulan bu görüntüde raylar tarafından aktarılan düşey yükler neticesinde, tabanı balast katmanı tarafından tamamen desteklenmiş olan traversin eğilmesini görmekteyiz.



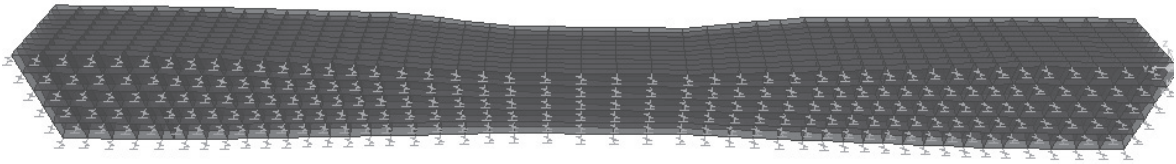
Şekil 3 Tekerlek yüklerine maruz kalmış, balast tabakası tarafından desteklenen traversin 500 kat büyütülmüş şekil değiştirmiş hali (Bezgin, 2008).

Şekil 4' de ise, balast katmanı tarafından desteklenen bir traversin, düşey yükler altında şekil değiştirmesinin 100 kat büyütülmüş hali görülmektedir.



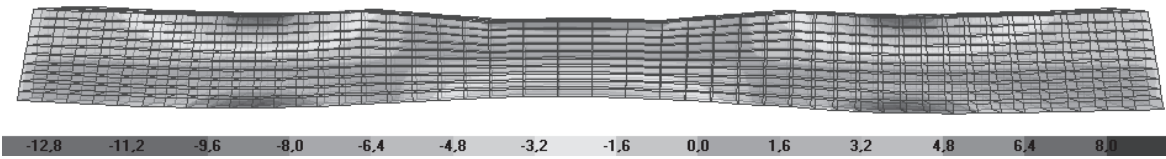
Şekil 4 Tekerlek yüklerine maruz kalmış, balast tabakası tarafından desteklenen traversin 100 kat büyütülmüş şekil değişimi (Bezgin, 2008).

Şekil 5’ de, balast katmanının birim mukavemet değeri tanımlanarak, esnek birer yay olarak travers tabanında tanımlanmış halini görmekteyiz. Yay olarak temsil edilmekte olan balast katmanı ile travers, tekerlekten gelen ve ray aracılığı ile aktarılan düşey yükler altında Şekil 3 ve 4’ de gösterildiği hallerde davranmaktadır. Bu yay sabitlerinin tespiti de, gerek sunulan çalışmanın ana konusu ve işlemlerinin uzunluğu nedeniyle bu makale içerisine dahil edilememiştir.

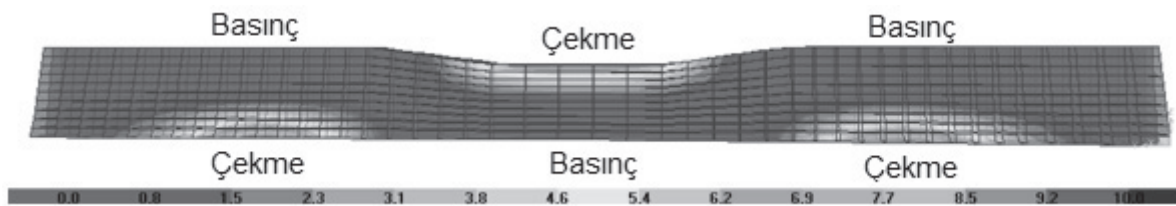


Şekil 5 Travers altında balast tabakasının temsil edilmesi (Bezgin, 2008).

Şekil 3 ve 4’ de sunulan düşey yükler altında eğilmiş traversin şekil değişikliği ile doğrudan ilgili olarak travers içerisinde Şekil 6’ da sunulan eğilme gerilmeleri meydana gelmektedir. Şeklin hemen altında yer alan cetvelde MPa biriminde, eksi değerli basınç gerilmeleri ile artı değerli çekme gerilmeleri görülmektedir. Travers içerisinde eğilme kaynaklı çekme gerilmelerine net görebilmek için basınç gerilim bölgelerini tek bir kümeye indirgeyerek Şekil 7’de sunulan gerilme haritasını inceleyebiliriz. Burada, oluşan tüm basınç gerilmeleri tek renk ile belirtilmiş ve çekme gerilmelerinin bulunduğu bölgeler vurgulanmıştır. Zira eğilmeye karşı beton ile tasarımda temel mühendislik sorununu oluşturan gerilme türü çekmedir. Şekilde rahatlıkla görülebileceği gibi travers ortasında üst yüzeyde ve ray hizasında travers altında eğilme kaynaklı çekme gerilmeleri, ray altı bölgelerinde travers üstlerinde ve travers ortasında alt yüzeyde ise eğilme kaynaklı basınç gerilmeleri meydana gelmektedir.



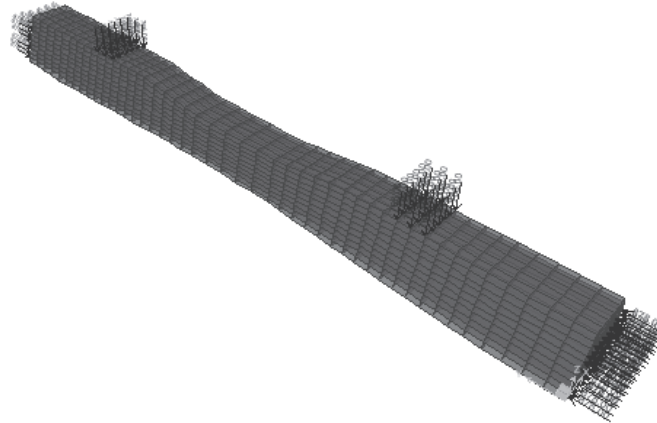
Şekil 6 Travers boyunca düşey yüklerden kaynaklı eğilme gerilme dağılımı (Bezgin, 2008).



Şekil 7 Travers boyunca düşey yüklerden kaynaklı eğilme gerilme dağılımı (Bezgin, 2008).

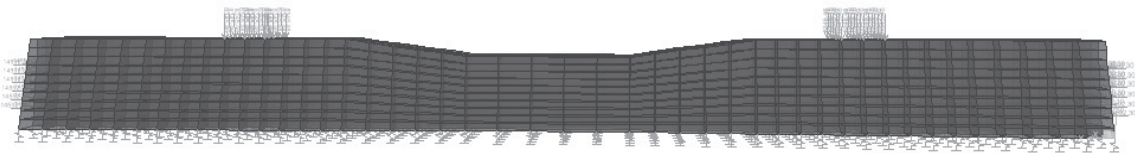
Beton, basınç altındaki dayanımı, çekme altındaki dayanımının çok üzerinde olan bir malzeme olarak çekme gerilmelerine karşı donatılması gereken veya çekme gerilme oluşumunun engellenmesi gereken bir malzemedir. Diğer taraftan beton, donatılsa dahi, maruz kaldığı çekme gerilmesi çekme mukavemetini aştığında “kılcal” ölçülerde çatlayabilen bir malzemedir. Kastedilen çatlama genişlik mertebesi milimetrenin $\sim\%10$ 'udur. Yüksek hızlı tren taşıyan beton traverslerde, hizmet koşulları altında kılcal çatlakların oluşumuna, çatlakların traverslerin hizmet ömürlerini kısaltacağından ve traverslerin eğilme altındaki birim mukavemetlerini (stiffness) azaltacağından izin verilmez. Bu nedenlerden dolayı, düşey yükler altında traverslerde oluşan eğilme kaynaklı çekme gerilmelerinin öngerme adı verilen ve travers boy eksenince uygulanan bir basınç kuvveti ile giderilmesi gerekmektedir.

Şekil 8' de perspektif görüntüsü sunulan ve düşey tekerlek yükleri altında bulunan traversin ağırlık merkezi boyunca etki eden bir kuvvet merkezine sahip öngerme kuvvetlerinin, traversin her iki ucundan travers boyunca uygulanmasının temsili görülmektedir. Bu kuvvetler, üretim yöntemine bağlı olarak travers uçlarında veya travers uçlarından içeri doğru 15 – 20 cm' lik bir mesafe içerisinde tamamen aktarılmış olurlar. Öngerme kuvvetleri, düşey yükler neticesinde meydana gelen eğilmeden kaynaklı çekme gerilmelerine eşdeğerde ancak zıt yönde bir gerilme uygulayarak çekme gerilmelerini gidermekte veya kabul edilebilir bir düzeye indirgemektedirler.



Şekil 8 Düşey tekerlek yükleri ve öngerme altında travers (Bezgin, 2008).

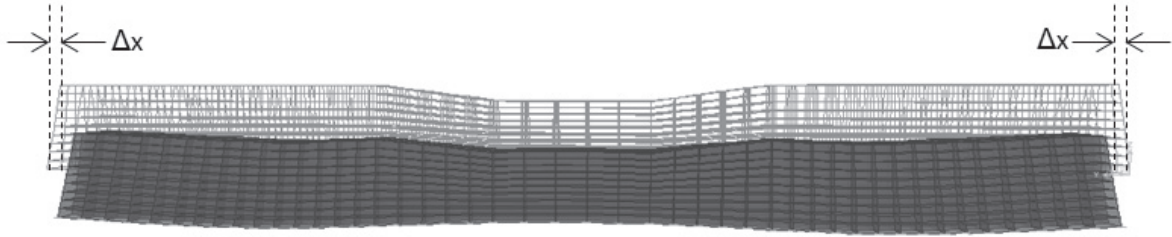
Şekil 9' da, ray oturma noktasında düşey kuvvetler ile ağırlık merkezi seviyesinde boy eksenine de öngerme kuvveti altında kalan bir traversin, balast ve balast-altı katmanın düşey destekleyici etkisini ifade eden yaylar üzerinde boy yükseklik görüntüsü sunulmaktadır.



Şekil 9 Düşey tekerlek yükleri ve öngerme altında balast üzerinde yer alan traversin boy-yükseklik görüntüsü (Bezgin, 2008).

Şekil 9' de görülen etkiler altında traversin, 100 kat büyütülmüş şekil değiştirme durumu Şekil 10' da sunulmaktadır. Şekil 4'e kıyasla öngerme kuvvetinin etkisi ile boy eksenince her iki ucundan bir miktar (Δx) kısalan traversin ray altı ve travers ortası

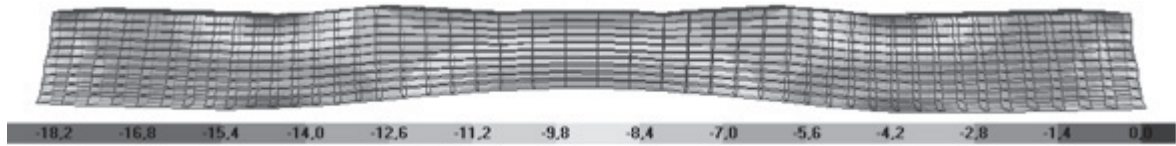
eğrilikleri de Şekil 4' e kıyasla, uygulanan öngerme kuvveti tarafından bir miktar giderilmiştir.



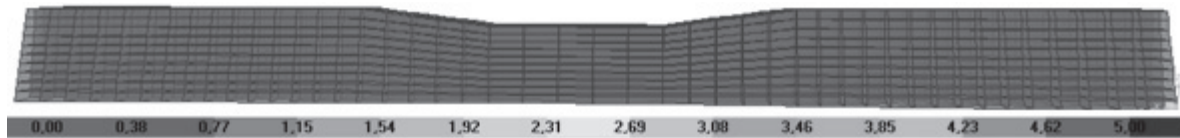
Şekil 10 Öngerme altında traversin x100 şekil değiştirmiş hali (Bezgin, 2008)

Öngerme kuvveti tarafından azaltılan travers eğriliği sonucu travers içerisinde oluşan gerilme durumu Şekil 11' de sunulmuştur. Şekil 6 ile kıyaslandığında, çekme gerilmelerinin olduğu bölgeler, uygun konumda ve değerde aktarılan öngerme kuvveti etkisi ile öngerme kaynaklı basınç altına alınmıştır. Şekil altında yer alan cetvelin sağ ucunda görülen 0,0 MPa değeri, uygulanan öngerme sonucu Şekil 6' nın sağ ucunda yer görülen 8 MPa değerindeki çekme gerilmesinin giderilmiş olmasını belirtmektedir.

Sunulan uygulamada aktarılan öngerme kuvveti, hizmet yükleri altında oluşan çekme gerilmelerinin oluşmasına izin vermeyecek şekilde seçilmiştir. Şekil 12' de, hizmet seviyesinde tespit edilen tasarım yük değerlerine göre seçilen öngerme altında traversin bütünde 0,0MPa ve üzerinde oluşan tüm basınç gerilmeleri tek küme içerisinde görülmektedir.



Şekil 11 Öngerme ve hizmet yükleri altında oluşan basınç gerilmeleri (Bezgin, 2008).



Şekil 12 Öngerme ve hizmet yükleri altında basınç gerilmelerinin tek renk ile temsili (Bezgin, 2008).

Travers Üzerinde Hizmet Durumu Ötesinde Kuvvet Etkileri

Yüksek hızlı tren hatları için tasarlanan öngerilmeli beton traversler, farklı yük seviye sınıfları altında farklı mekanik davranışlar gösterecek şekilde tasarlanır. Traversin içerisinde yer aldığı hat üzerinde hareket edecek olan trenin statik dingil yüklerinin, tren hareket hızı ve dinamik etkileşim nedeniyle oluşan dinamik etkilerle, statik eşdeğerlik yöntemi ile artırılması sonucu bulunan değerler, traversin maruz kalacağı hizmet (servis) yük değerlerini oluşturmaktadır. Bu dinamik etkilerin tespitinde kullanılabilen “Eisenmann yaklaşımı”, “Değiştirilmiş Eisenmann yaklaşımı”, “AREA-American Railway Engineering Association yaklaşımı” vd. yaklaşımlar ile dinamik modelleme yöntemleri, farklı teorik temellerden yola çıkarak oluşturulmuş yapılara sahiptirler.

Ancak esas itibariyle hizmet yükleri, statik dingil yüklerinin, farklı tekerlek-ray-altyapı etkileşimlerinin tren hızı ve tekerlek çapı kapsamında değerlendirerek tespit edilen dinamik katsayılar ile artırılması sonucu bulunur.

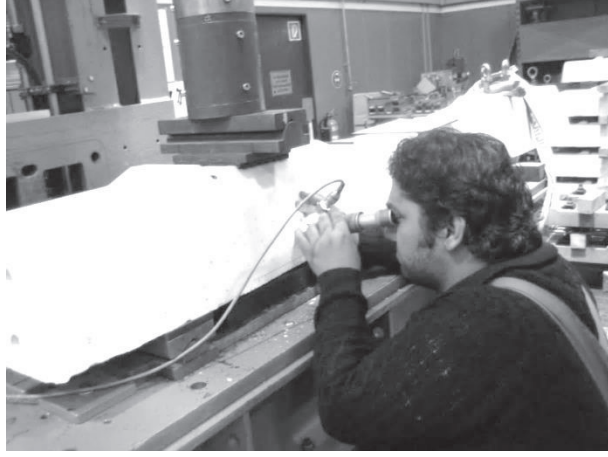
Bilindiği gibi beton çekme mukavemeti, basınç mukavemetinin yanında düşük bir değerde bulunmaktadır. Betonda lif kullanımı ile bu durum önemli bir miktar iyileştirilmiş olmakla birlikte, çoğunlukla lifsiz üretilen yüksek mukavemetli travers betonlarının çekme mukavemeti, basınç mukavemetlerinin ~%5' i mertebesinde bulunmaktadır. Yine bilindiği gibi beton, çekme gerilmelerine karşı çelik donatılar ile takviye edildiği hallerde dahi çekme etkileri altında kılcal düzeyden başlayarak çatlamaktadır. Hizmet yükleri altında, denetim altında ve kılcal olarak nitelenen çatlakların oluşumuna standart yer üstü betonarme yapılarda izin verilebilirken, esas itibariyle bir zemin elemanı olan ve hizmet ömrü boyunca çevresel şartlara aşırı yük koşulları altında maruz kalacak yüksek mukavemetli beton traverslerde hizmet yükleri altında çatlak oluşumuna izin verilmemektedir. Tahmin edilen hizmet yükleri altında travers betonunun çekme gerilmelerine maruz kalarak çatlamaması istenmektedir ve bu koşulun sağlanmasına dair bir çalışma örneği önceki bölümde sunulmuştur.

Diğer taraftan, yükleme koşullarının hizmet düzeyinin ötesine geçebilmesi her türlü yapı elemanı için geçerli bir durumdur. Yapının tasarım ömrü boyunca maruz kalacağı yüksek olasılıklı ve sıradan hizmet yüklerinin yanında, düşük olasılıklı ve sıradışı yüklerin de oluşması söz konusudur.

EN 13230 şartlarına göre 1. Yük seviyesi olan “hizmet yük koşulunun” ötesinde tren hareketinde kaynaklı 2. Yük seviyesi olan “rastgele darbe etkileri (random impact loads)” veya “istisnai yükler” ile 3. Yük seviyesi olan “sıradışı kaza kaynaklı darbeler (exceptional accidental impacts)” veya “arizi yükler” kapsamında yük seviyeleri bulunmaktadır. Sıradan uygulama koşullarının çok ötesinde kuvvet etkileri yaratan bu yükleme durumlarında traversten beklenen yapısal davranış, hizmet yükleri altındaki davranıştan farklıdır. 1. Seviyeden sonra artan yük etkileri altında traverste oluşabilen çatlağın kapanması ve 2. Seviyenin sonunda traverste oluşacak kalıcı bir çatlağın genişlik değerinin kılcal seviyede 0,05 mm olması beklenirken traversin 3. Seviyede uygulanacak yük değerleri altında taşıma haddi(kapasitesi) seviyesinde direnç göstermesi beklenmektedir.

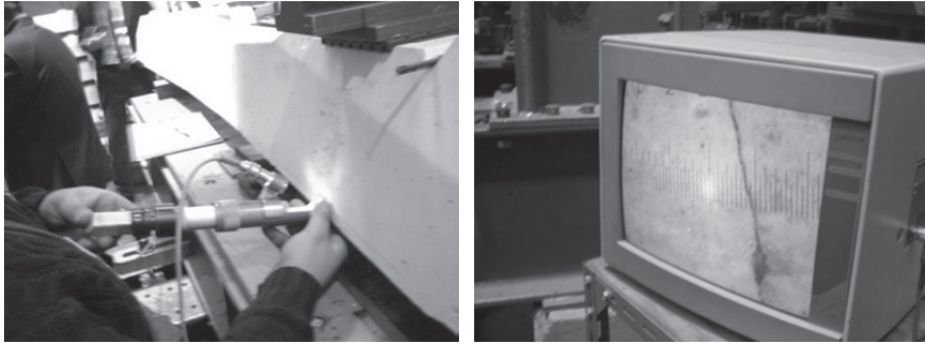
Hizmet koşulları altında traversten beklenenler kullanım konforu ve kesit kaybı olmaksızın esnek (elastik) davranışken, aşırı yükleme koşullarında beklenenler kullanım güvenliği ve denetimli plastik davranıştır. EN 13230 tetkik koşulları kapsamında yer alan statik tetkiklerin bu çalışmada bahsedilen üç aşamasından bu bölümde sunulan son iki tanesi, hizmet düzeyini aşmış traversin davranışına yöneliktir.

Şekil 13' de, 2. aşamada bir traverste tetkik edilmekte olan çatlaklar gözlenmektedir. Burada, yük altında oluşan çatlağın değeri ve yük sonrasında çatlağın kapanıp kapanmadığı gözlenmektedir. Çatlağın kapanmasını sağlayan etken, beton travers içerisinde henüz plastik seviyeye ulaşmamış öngörme kuvveti taşıyan yüksek mukavemetli çelik halatların mevcudiyetidir. Normal donatılı bir kesitte herhangi bir öngörme kuvvetinden ve dolayısı ile oluşan bir çatlağın kapanabilmesinden bahsedilemezken, öngermeli travers içerisinde, 1. ve 2. aşama arasında artan kuvvet ile oluşan çatlak, zorlamanın kaldırılması ile kapanmakta ve kılcal seviyeye inmektedir. Bu duruma bir benzetme olarak, açılan bir kapının yaylı bir sistem ile geri kapanması durumu kullanılabilir.

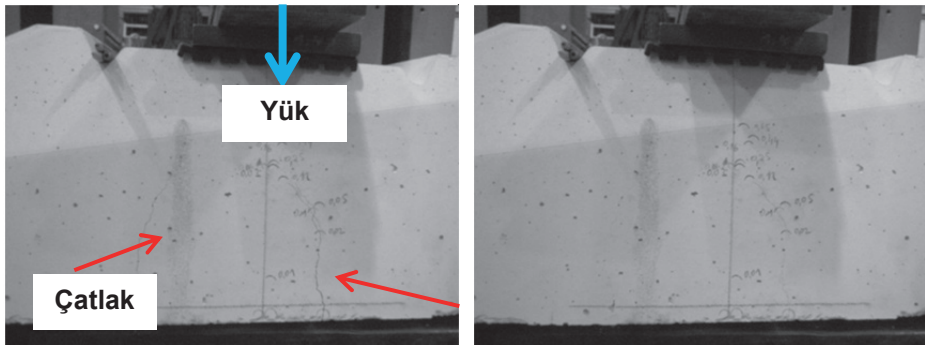


Şekil 13 Öngerme kuvveti altında bir traversin ray altı bölgesinde 2. Seviye yük sınırı altında oluşan çatlağın genişliğinin incelenmesi (TUM, 2008).

Şekil 14’ de, 2. Seviye yük koşulunun tamamlanmış bir traverste oluşan 0,05 mm mertebesinde bir çatlağın x25 değerinde büyüteç ile ölçümünü ve görüntüsünü gösterilmektedir. Şekil 15’ de, sol resimde, ray altı bölgesinde 2. ve 3. aşama yük koşulları arasında bir kuvvet değeri altında oluşan bir çatlağın, yükün kaldırılması ile sağda sunulduğu gibi kapanarak kılcal düzeye indirgenmesi gösterilmektedir.



Şekil 14 Öngerme altında bir traversin ray altı bölgesinde 2. Seviye yük altında oluşan çatlağın yük altında açık hali (solda) ve yük kaldırıldığında kılcal hali (TUM, 2008).



Şekil 15 Öngerme altında bir traversin ray altı bölgesinde 3. Seviye yük altında oluşan çatlağın yük altında açık hali (solda) ve yük kaldırıldığında kapalı hali (TUM, 2008).

Tablo 2’ de, önceki sayfalarda bahsedilen yükleme koşullarına göre B70 sınıfı bir traversin tasarımı ve kabulü için gereken kuvvet değerleri görülmektedir. Bu tetkik değerleri, ilgili standartta belirtilen deney düzeneği ile altyapı koşullarından bağımsız ve

altyapı koşulunun en kötü haline, yani: “altyapının etkin olmadığı” bir duruma göre belirlenmiştir. Bu kuvvet değerleri, travers bir kiriş olarak değerlendirilerek ilgili noktaya uygulanmaktadır. Normal şartlar altında “balast tarafından destekli” ve 17 Ton statik dingil yüküne sahip bir trenin, eş dingil dağılımında tekerleklerine gelen 8,5 Ton yükün, dinamik halde komşu traversler arasında ray aracılığı ile en fazla %30 dağıtım katsayısı ile azaltılarak ve 1,6 – 2,4 arasında olabilen bir dinamik katsayı ile artırılarak ulaşacağı 9,6 Ton – 14,4 Ton dinamik değerleri, (statik benzeşim yolu ile) 1. Seviyede uygulanan 15,3 Ton’ luk değer ile kıyaslırsak, uygulanan bu değer zorlayıcı zemin koşullarında gerçekleştirilecek ve kapsayıcı bir değer olduğu görülebilir.

Tablo 2 EN 13230 şartlarına göre ray-altı aşamalı statik tetkik değerleri.

			Uygulanan düşey kuvvet (Ton)
TCDD	1. aşama sınırı	F_{r0}	15,3
	2. aşama sınırı	$F_{r0,05}$	27,6
	3. aşama sınırı	F_{rb}	38,3

Öte yandan Tablo 2’ de görülen 2. ve 3. aşama yük değerleri, 8,5 Ton’ luk bir statik hizmet tekerlek yükünün oluşturacağı ortalama 17 Ton’ luk dinamik tekerlek yük değeri ile kıyaslandığında, istisnai yüklerin etkileri için ortalama 1,6 ve arıza yükler için ise ortalama 2,3 değerlerinde bir güvenlik katsayısı uygulandığını görmekteyiz. Bu şartlar kapsamında, hizmet düzeyinin ötesinde gerçekleşen yük koşulları altında dahi traversin, hattın güvenliği için yapısal bütünsellik içerisinde direnç gösterebilmeleri beklenmektedir.

Sonuç

Hızlı ve yüksek hızlı trenler, oluşturdukları yük değerleri ile alışlagelmiş hatlarda (konvansiyonel hatlarda) hareket eden trenlerden farklıdır. Gerek tren hareketinin yüksek hızlı olmasından ötürü oluşturduğu kuvvet etkileri, gerekse yapısal bir kusur sonucu oluşabilecek bir kazanın şiddeti ve gerekse hattın hizmet dışı kalması ile sonuçlanacak herhangi bir sorun nedeniyle oluşacak maddi kayıplar, yüksek hızlı tren hatlarının tasarımlarını, bakımlarını ve işletmelerini, çok boyutlu ve bileşenli bir mühendislik konusu haline getirmektedir.

Artan tren hızları ile ilgili olarak, hattın yer aldığı bölge içerisinde belirli bir zaman dilimi içerisinde insan hareketliliği artmaktadır. Bu hareketliliğin artışı, hız, zaman, “güvenilirlik”, emniyet, rahatlık (konfor) gibi kavramların önemini artırmaktadır. Günümüzdeki durumuna kıyasla 2.000’ li yılların başlangıcına kadar düşük hızlarda ve seyrek bir halde var olan yolcu tren taşımacılığımızda belki çok da önemli olmayan bu kavramların önemi bugün bambaşka bir noktadadır.

Bir ulaştırma yapısı olan yüksek hızlı tren hatlarının, fikir evresinden kullanım ve işletme evrelerine kadar tüm aşamalarında yer alan bileşenlerinin, belirli derinlikte ve detayda, konunun bütünsel sorumluluğuna sahip olan tüm mühendisler ve işletmecilerce bilinmesi gerekmektedir.

Sadece yapısal olarak düşünölen ve hattın işletmesi veya ulaştırma öngörüsü ile ilgisi olmadığı düşünölen bir teknik detayın sonuçları, hem işletmeyi hem de ulaştırma öngörüsünü boşa çıkarabilir.

Bu çalışmada, bir YHT hattının önemli bir üst yapı bileşeni olan yüksek mukavemetli öngermeli traversin hizmet yükleri altında tasarımı ve EN 13230 1-2 kapsamında hizmet ve hizmet ötesi koşullar için ray-altı statik tetkik şartları aktarılmıştır.

Teşekkür İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı Sn. Prof. Dr. Feyza Çinicioğlu'na saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

Bezgin, O. N. (2008) YHT - B70 Travers Tasarım ve Tetkik Ana Raporu, TCDD.

UIC 713-R (2004) Design of Monoblock Concrete Sleepers.

Technische Universität München-TUM (2008) B70 Tetkik Rapor, No: 2493.

TS EN 13230 1-2, Demiryolu Uygulamaları, Genel Kurallar ve Yekpare Traversler.

Yeni Tasarlanacak Kentiçi Raylı Sistemlerde Gürültü ve Vibrasyonun En Azlanması İçin Temel Çözüm Yöntemleri

Ilgaz Candemir
İnş. Y. Mühendisi
ilgazcandemir@hotmail.com

Özet

Raylı sistemler; projelendirilmeleri uzun zaman alan ve titiz imalat süreci isteyen mühendislik çalışmalarıdır. Ülkemizde gün geçtikçe özellikle kent içi raylı sistemlerin uzunlukları artmaktadır. Yüksek bütçeli ulaştırma projelerinin tasarımında gürültü, titreşim ve vibrasyon konularının kötü etkilerinden kurtulmak için olmazsa olmaz mühendislik çözümleri vardır. Raylı sistemlerde akustik saha çalışmaları kapsamında gerçekleşen ve uygulaması yapılan çalışmalar bu makale bahsedilecektir. Gelişme kısmında tanımlanacak ve sonuçları değerlendirilecek olan kupon çalışma başlıkları; balast altı şilte, ses perdeleri, gömülü ray uygulamaları, özel bağlantı malzemeleri, Ray profiline yapılacak bakımlar, otomatik ray yağlama olacaktır.

Anahtar Kelimeler; gürültü ve titreşim, balast altı şilte, gömülü ray sistemleri, ray profiline bakım, otomatik yağlama sistemleri; ses perdeleri, özel ray bağlantı malzemeleri

Giriş

Geçtiğimiz senelerde değişen Yeni Mevzuat düzenlemesiyle belediyelerin rantabl raylı sistem projelerini, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı'nın gerçekleştirdiği Türkiye'de şu bir gerçektir ki Kent İçi Raylı Sistem üretimi büyük bir ivme kazanmıştır.

Kent İçi Raylı Sistemlerde Güncel Durum, 2013

Çoğunlukla Belediyelerimizin sahibi olduğu kent içi raylı sistemlerin tek hat uzunluğu bugün yaklaşık dört yüz elli km'nin biraz altındadır. Devam eden imalatlar göz önüne alınırsa 2013 yılı sonunda bu rakam beş yüz kilometreyi geçecektir. Bir nostalji yapılacak olunursa daha 2000 yılında sadece altmış altı tekhat kilometre kent içi raylı sisteme sahiptik. Bugün beş yüz km'den bahsedebiliyoruz.

Çok basitçe; 2000 yılında sadece 4 şehirde raylı sistem var iken bugün Türkiye'de 11 farklı kentte kent içi raylı sistem vardır. Kent içi raylı sistemler bir nevi çağ atlamış; son 13 yıl içinde dokuz kat büyümüştür. Yaptığımız çalışmalar neticesinde 2020 senesi için Türkiye'de 17 kentte raylı sistem olacağını mevcut tekhat yol uzunluğunun da 1050 km'yi geçeceğini hesaplıyoruz.

Peki bu büyüme; teknik açıdan Avrupa Birliği'nin demiryolu ile ilgili tasarımlarını karşılamakta mıdır? Özellikle gürültü ve vibrasyona karşı ne gibi önlemler alınmaktadır, mevcut ve yeni gelecek raylı sistemlerin şartnamelerinde gürültü ve vibrasyona karşı belli tasarım kriterleri konulmakta mıdır?

Bu çalışmada gürültü ve vibrasyon problemlerine karşı raylı sistemlerin hangi temel yöntemleri kullanması gerektiğinden bahsedilecektir.

Gürültü ve vibrasyona karşı çok farklı uygulamalar mümkündür; bazılarında aşağıda yer verilmiştir.

1. Balast altı Şilte; Ray altı ped, travers altı ped... vs.
2. Gömülü ray uygulamaları
3. Özel bağlantı malzemeleri
4. Yüzer döşeme uygulamaları
5. Ses perdeleri
6. Efektif Ray taşıma bakımı
7. Otomatik ray yağlama uygulamaları yapılabilir.

Balast Altına Şilte Sermek

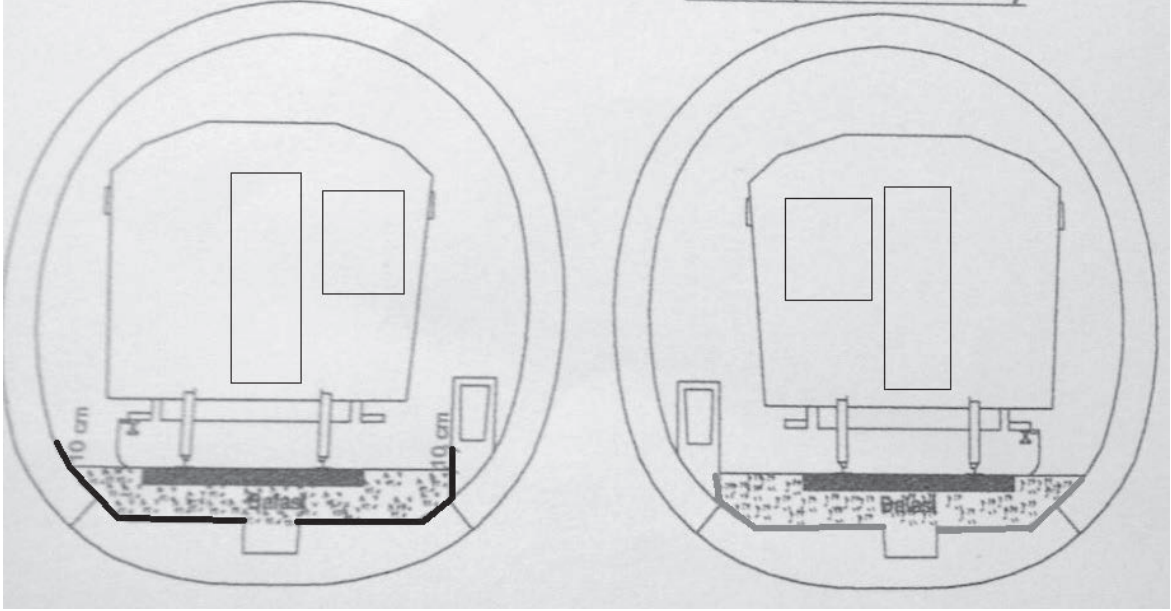
Şilte diğer adıyla mat balast tabakasının altına yerleştirilerek üstyapıdan gelen titreşimleri ve gürültüyü sönmeler. Demiryolu projelerinde kullanımları 1970'lere dayanan şilte uygulamaları ilk olarak Fransa, İsviçre Avusturya, Almanya ve İtalya'da kullanılmıştır. Metro, Hafif Raylı Sistem, Banliyö ve demiryollarında yoğun kullanımı vardır. Üstyapı tasarımına göre farklı kalınlık ve yoğunlukta üretilirler. Her projeye göre ayrı kalınlık hesabı yapılır. Ana malzeme kauçuk ve mantar kökenlidir. Bir genelleme yapmak gerekirse, metrolarda genelde on-on beş milimetre kalınlıklar tercih edilmektedir. Daha ince veya kalın şilte kullanımının ana kriterlerinden biri de çevredeki binaların uzaklığıdır. Şiltede mutlaka koruma amaçlı bir geotekstil keçe de bulunmaktadır. Metrekarede 10 kg ile 20 kg arası ağırlıkları değişebilir. Dayanım, Kopma, uzama, yırtılma, sıkıştırma, yaşlandırma, ses yutum testlerinden geçerler. Dalgalı veya düz olarak üretilirler. Montajları oldukça kolaydır.

Balast altı şilte titreşim sönmeme mekanizmasında önemli bir rol oynadığı gibi ayrıca balasttan zemine iletilen kuvvetlerin homojen şekilde iletilmesine de katkıda bulunduğu bilinmektedir.

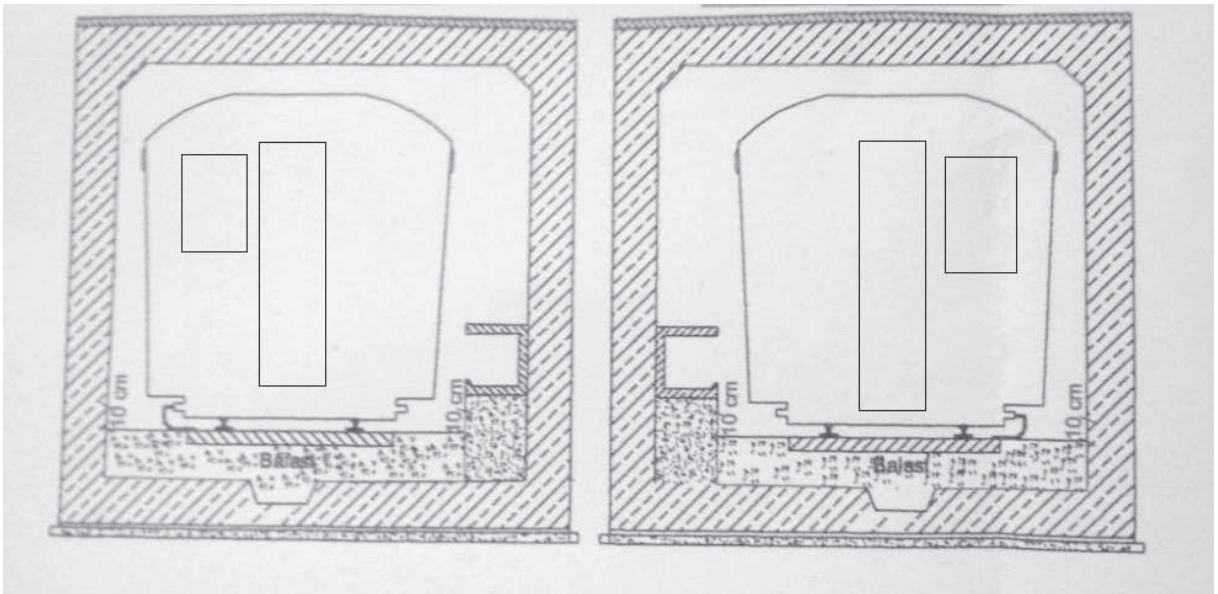
Ray altı ped, travers altı ped uygulamaları da özellikle kent içi raylı sistemlerde özellikle Avrupa'da kullanılmaktadır. Ülkemizdeki projelerde son on beş yılda balast altı şilte kullanılmaya başlanmıştır.

Örnek vermek gerekirse Ankara Metroları projelerinde de balast altı şilte uygulaması yapılmış, proje üzerinde yapılan çalışmalar sonunda güzergahtaki kritik noktalar tespit edilmek suretiyle üç ayrı kalınlıkta balast mat kullanılmasına karar verilmiştir.

Kızılay-Çayyolu Hattında kritik olarak belirlenen noktalarda yapılan saha ve ofis çalışmaları sonunda metro hattının konutlara yaklaştığı bölgelerde titreşimin minimize etmek için önlem alınmıştır. Mevcut yapı stoğunun metroya güzergahına olan mesafeleri incelenmiş, özellikle insanların akşam-sabah arası evlerinde geçirdikleri süre boyunca işletmeden gelecek titreşimlerden doğacak rahatsızlıkları en azlamak için farklı kalınlık ve kesitte mat uygulamasına karar verilmiştir.



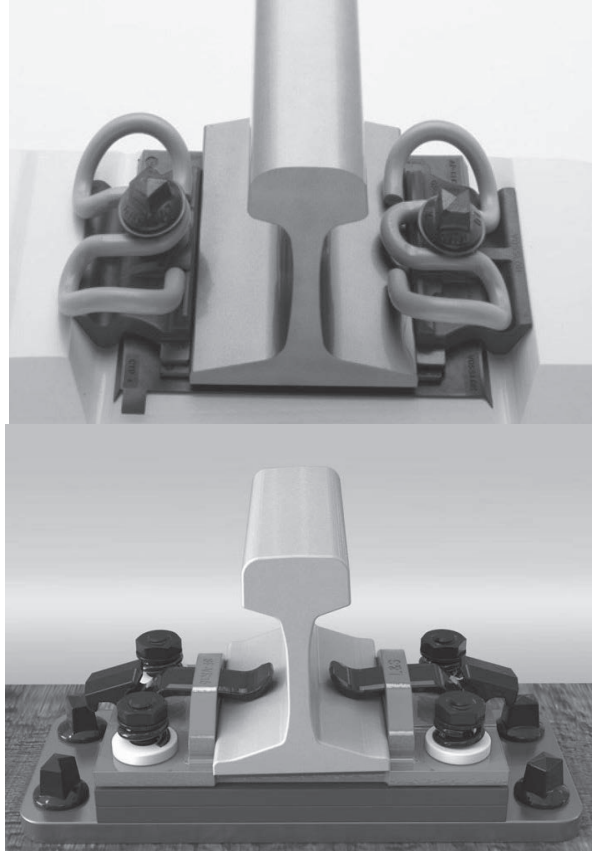
Şekil 1 Solda Ankara Metro delme tünellerde kullanılan 10dBv yutum kapasitesine sahip mat uygulaması kesitine yer verilmiştir. Sağ kesitte ise yutum kapasitesi aynı olmakla beraber uygulanan mat kesiti farklıdır.



Şekil 2 Yine Ankara Metro titreşim açısından kritik seviyede olabilecek aç-kapa tünellerde kullanılan 50Hz üzeri frekans bölgesinde 6 dBv düşüm sağlayacak mat uygulaması yapılmıştır.

Özel Bağlantı Malzemeleri Kullanmak

Raylı sistemlerde bir başka kreatif çözümdedir; gürültü ve titreşimin fazla olduğu özel yapılarda standart bağlantı malzemesi yerine özel bağlantı elemanları kullanmaktır. Bu elemanların titreşim sönümlenme kabiliyetleri diğer standart pedli veya gergi kısıkaçlı elemanlara göre daha fazladır. Özellikle tünellerde beton hatlarda, köprülerde kullanımları yaygındır.



Şekil 3 İstanbul Metro’da yapılan yeni hatlarda kullanılan W14 sınıf bir bağlantı malzemesi görülürken, sağda çift pedli şok emici özelliği olan özel bir bağlantı malzemesi görülmektedir.

Özellikle 16, 5 ton ve üstü aks yüklerinde dizayn edilirler. İçeriklerinde standart bağlantıya göre daha elastikiyet içeren elastomerler ve özel mekanik bağlantılar bulunur.

Raylı Kauçuk Materyal ile Çerçevelemek

Bugün Avrupa ve Uzakdoğu’da çok sık kullanılan bir raylı sistem yapım metodu olan balastsız üstyapı uygulamalarını, farklı inşaat metotları ile irdelemek mümkündür. Bu uygulamaların odağında da yüksek kalitede rayı saran ve çevreleyen reçine bazlı kauçuk malzemeler vardır. Bu malzemenin rayın etrafında kullanılmasının en önemli nedeni, gürültü, vibrasyon ve kaçak akım izolasyonudur.

Gürültünün daha odağında yok edilmesini ve vibrasyonu durdurmaya tasarlayan bu mantık özellikle kent içi ulaşım yapan sistemlerde tercih edilirler.

“Bağlantı malzemesiz sürekli ekartman ayarlı” sistemler Avrupa’nın şuanda kullandığı en hızlı gömülü ray inşaat metodudur. Özellikle tramvay sistemi inşaatlarında kullanılırlar. Ses ve vibrasyon izolasyonu ray etrafındaki” kauçuk ceket” ve alttaki ekstra ped ile en üst seviyededir. Rayı çevreleyen tasarım genelde tek veya üç parçadır en alt parçanın kalınlığı 10mm ile 35 mm arasında proje ihtiyaçlarına ve yerleşim yerlerinin yakınlığına göre değişir Bağlantı malzemelerinin olmayışı inşaat hızını artırır ve ilerideki olası bakımları minimize eder.

Avantajları arasında Gürültü seviyelerindeki kazanç ön plana çıkmaktadır.

1. En düşük seviyede gürültü -15 dBA kazanç, > -20 dBV kazanç (63, 80, 100, 120 Hz, 1/2 oktav bant)
2. Çabuk ve kolay montajları (günde 100 m ve üstü döşeme hızı)
3. Günlük montajda max 12 hat işçisi+ 2 kaynakçı
4. Minimum inşaat kalınlığı (245 mm’ye varan) sayesinde, daha az toprak işi ve zaman ve para tasarrufu(Bakınız Şekil 9)
5. Mükemmel Kaçak akım izolasyonu (EN 50122-2 +A1 normuna uygun)
6. Yüksek yatay stabilite
7. Her hava koşulunda montaj (örnek: Bursa ve Antalya)
8. Daha yavaş ondülasyon gelişimi

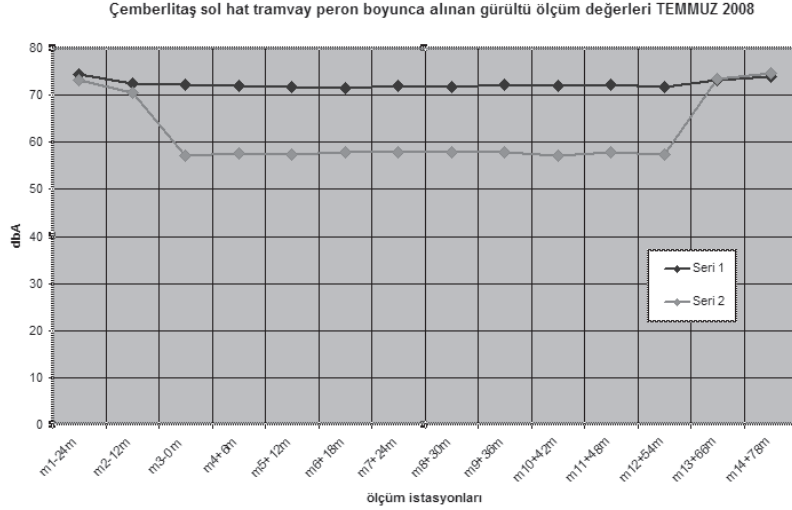
38 mm. çaplı galvaniz destekler, M12 civatalı masterlı düzenek sayesinde ekartman devamlı korunmaktadır, beton döküldükten sonra düzenek kolaylıkla çıkarılır, rayın etrafındaki ceket betonun içinde kalır. Yaklaşık bu sistem sayesinde de 20 dBA ‘e kadar kazanç elde edilir. Özellikle vibrasyonun kötü etkisi nedeniyle Avrupa’da tarihi binaların veya yapıların olduğu yerlerden geçen sistemlerde uygulamalar yapılmaktadır. Ülkemizde de Çemberlitaş ve Ayasofya yanından geçen tramvay hattında bu şekilde bir imalat yapılmıştır.



Şekil 4 Solda İstanbul’daki Çemberlitaş’tan bir uygulama yer alırken sağda prefabrik tramvay kirişleri görülmektedir.

Çemberlitaş kolonu için tarihi yarımada da yapılan bir uygulamada 54 metrede ölçümlenen değerler 14. 33 dBA 'lık bir kazanç ortaya koymaktadır. Ölçüm istasyonununun 24 metre ve 12 metre öncesi ve sonrasında da ölçüm alınarak fark anlaşılmaya çalışılmıştır. İstasyonda ise 6 m sık aralıkla ölçüm alınmıştır.

Tablo 1 Ölçümler gündüz 08:00-08:15-08:30 'de ve akşam 17:00-17:15-17:30da yapılip ortalamaları alınmıştır.



Makaslarda Elastikiyet ve Vibrasyon Önleyici Sistemler

Bilindiği gibi makaslar fiziki yapıları itibariyle demiryollarında en yüksek gürültüyü çıkaran elemanlardır, bu sebeple makasları da gürültü kirliliğine karşı izole etmek gereklidir. Ceket sistemi ile elastik reçine esaslı kauçuk kaplanan makaslar yerinde 18-20 dB'A'e varan kazanımlar elde edildiği görülmüştür. Sistemin montajı fabrika ortamında yapılır ama sahada sonuç edilmesi mümkündür, makasın tümü uygun kalınlıktaki (25mm ile 65mm kalınlığında)kauçuk ceketle kaplanır. Her türlü makasa uygulanması kolaydır.

Klasik yapım yöntemleri ile yapılan tramvay hatlarında zamanla üstyapı sorunları yaşanabilir. Bu tip hatlarda üst tabaka genelde asfalt veya taş kaplamadır; trafiğe bağlı 20-25 MGT sonunda sorunlar çıkarmaya başlar, gergi çubukları asfaltın içinde kırılır, yolun ekartmanı bozulur, ray altı taşları titreşim ve vibrasyon nedeniyle yerinden oynayabilir.

Üstyapı ve altyapıda elastik malzeme kullanımı ileride karşılaşmak istemeyeceğimiz büyük sorunları minimize eder, inşaat bütçelerini zorlamayacağı gibi ileride karşılaşılabilecek büyük makineli bakımları indirger, özellikle son bölümde bahsedilen elastik balastsız üstyapı inşa sistemleri inşaat maliyetlerinizi düşürür ve zamandan kazanmanızı sağlar; bakım maliyetlerini yarı yarıya düşürür ve yolcuya uluslararası standartlara uygun yolculuk imkanı ve konfor sağlar.

Günümüzde özellikle Avrupa ve Uzakdoğu'da başarılı yüzlerce örneği olan elastik malzemeden üretilen malzemelerin üstyapıda kullanılması veya balastsız üstyapı sistem inşaatlarında kullanılan elastik reçine esaslı kauçuk sönümleyiciler yakında şartnameler

ve yönetmeliklerle bir zorunluluk olma yolunda ilerlemektedir. Üstyapıda elastikiyetin ne kadar gerekli olduğunu bir kez daha vurgulamak doğru olacaktır. Özellikle kentlerdeki ana arterlere yakın tarihi eser niteliğindeki yapıların vibrasyondan arındırılması, eski omurgalarına birde raylı sistemin zararlı yan etkisi olan vibrasyonun aktarılmaması gerekmektedir. İstanbul ve diğer tarihi dokuların özellikle yoğun olduğu yerlerde, kentiçine sarkan demiryollarımızın ana hatlarında, eski çelik köprülerinde, tünel ve platformlarda, metro ve hafif raylı sistemlerimizde tünel ve viyadüklerde elastik çözümlere gidilmesi gürültü ve vibrasyonun önlenmesi açısından doğal bir ihtiyaç haline gelmiştir.

Ray Profiline Efektif ve Periyodik Bakım Uygulamak; Ray Taşlama

Ray taşlama bakımları günümüzde gelişmiş raylı sistemlerin periyodik olarak yaptığı hat bakım prosedürüdür ve özellikle ray yüzeyinde oluşan ondülasyonların, özürlerin elemine edilip gerektiğinde raya tekrar profilini kazandıran bir uygulamadır. Bu uygulamaların esas amacı rayın ekonomik ömrünün mümkün olduğunca uzatmaktır ve konforu artırmaktır.

Konforun artırılması mevcut gürültü ve vibrasyonun yok edilmesi veya minimize edilmesinden geçer. İşletme sırasında oluşan ray özürleri ve hatalarının minimize edilmesi periyodik olarak yapılacak ray taşlamaları ile mümkündür bu da istenen bir ray-teker ilişkisini de beraberinde getirecektir. Ray taşlama çalışması yaklaşık 6-12 dBA iyileşme sağlamaktadır.

Demiryollarında en kompleks üstyapı elemanları; makaslardır. Düz veya kurplu raylardan çok Makasların taşlanması büyük önem arz etmektedir. Yüzey satışı bozuk bir makas demiryollarında en büyük gürültüyü çıkaran elemandır. Titreşim altında olan bir makasın bağlantı malzemeleri veya bu yapıya ilintili olan diğer yapılar yaklaşık 20-30 MGT 'lik bir periyot sonunda sonunda ciddi seviyede bakıma ihtiyaç duyarlar. Yüzeydeki basma yüzeyi bozuk olan makaslarda tren geçişi ile tahrik olan bağlantı malzemeleri gevşer ve gürültü ve vibrasyon artar. Gevşek bağlantı malzemesi olan bir makas, normal bir makasa göre yaklaşık 6-13 dBA daha fazla gürültü yayar. Günümüzde Avrupa'da SNCF, DB AG, RENFE, ÖBB 'de yıllık trafik yükü yaklaşık 25-30 MGT olan hatlar yılda bir kez makaslarına koruyucu bakım taşlaması yapmaktadırlar. Bu aynı zamanda makasın efektif kullanım ömrünü de uzatır.

Ray taşlama bir bakım olduğundan diğer bahsedilen çözüm önerileri gibi görünen bir fiziki yapısı yoktur. Diğer sabit imalatların verimlilikleri artırmak veya bu imalatların olmadığı yerlerde rayın üzerindeki gürültü ve vibrasyon kaynaklarını yok ederek belli periyotta konforu artırır. Bu anlamda imalatı tamamlanan hatların işletmeye almadan, işletmedeki hatları ise üzerindeki trafiğe bağlı olarak önleyici yada bakım taşlamalarının yapılması; gürültü ve vibrasyona karşı alınacak en iyi rehabilitasyon yöntemlerinden birisidir.

Otomatik Ray Yağlama Sistemlerini Kullanmak

Taşıma sonrası iyileşen kesitlerin tekrar zorlanmaması için doğru yağlama yapmanın da gürültünün enazlanmasına extra katkısı olur. Bugün İstanbul başta olmak üzere birçok kentimiz raylı sistemlerin de otomatik ray yağlama pompaları kullanılmaktadır. Bu pompalar beton kaide üstüne veya hat yanındaki bir direk veya duvar üstüne monte edilir. Tren geçiş yoğunluğuna göre bir pompa birden fazla hattı yağlayabilir. Bu pompaların kullanımı sonucunda gürültünün ortalama 10 dBA ‘den fazla azaltıldığını ortaya konmuştur. Günümüzde araçtan yağlama seçeneklerinin ülkemizde de yaygınlaşarak tercih edilmesi gerekir. Açık alan veya tünel gibi devamlı kontrol edemediğiniz veya uzaklıktan dolayı gözleyemediğiniz yerlerde yapılan yağlamanın verimliliği düşüktür. Teknolojiyle beraber trenin kurba girdiğini anlayan “kurp sensörleri” gelişmiştir. Araçların altına takılan pompaların içindeki yağ; distribütör yardımıyla nozüllere ve oradan da teker ile rayın kesiştiği noktaya ulaşmaktadır. Yine bir başka önemli konuda doğru yağ seçimi olduğu unutulmamalıdır.

Günümüzde İstanbul başta olmak üzere birçok Kent içi Raylı sistem otomatik yağlama sistemlerini anahatta veya depolarında kullanmaktadır. İstanbulda kullanılan pompalar sonunda 15 dBA’den fazla kazanç sağlandığı ölçülmüştür.

MSS ile Hat üzerinde Vibrasyonu ve Gürültüyü engellemek

Literatürde kütle-yay sistemleri (MSS; mass-spring-systems) betonarme hat yolu yapısının içine yerleştirilmiş özel korumalı yayların üstüne de demiryolunun yerleşmesi ile oluşurlar böyle döşemelere yüzer betonarme döşemeler diyoruz. Bu sistemler lastik, kauçuk, mantar gibi elastik materyallerle altyapıdan izole olarak monte edilirler. Sistemin performansını etkileyen faktörlerin başında düşey frekans (Hz) değerinin yanında plak eğilme frekansı da önem kazanır. Yay sisteminin sertliğinin ayarlanması düşey frekansa bağlı yayın esnemesinde çok önemli bir faktördür. Bahsedilen bu döşemeler prekast olarak üretilebileceği gibi konvansiyonel olarak da hazırlanabilir. Prekast üretimlerin içine yerleştirilen yay sistemleri için açılan yuva delikleri önceden hazırlanır ve montaj kolaylığı sağlar. Sadece altyapıdan kaynaklanan bazı sorunlar için grout ihtiyacı duyarlar. Yerinde dökme sistemlerde ise bu yuvalar yerinde tesis edilirler fakat extra ölçüm ve beton işçiliği gerektirir. Vibrasyon ve ses sönmülemde çok ileri bir teknoloji olan kütle-yay sistemli yüzer döşemeler Tramvay, Hafif Raylı, Metro, Konvansiyonel Demiryolları, Kargo Hatları ve Hızlı Trende geniş yelpazede kullanılırlar. Helikal Çelik yaylar vibrasyon izolasyonu için ideal çözümlerden birisidir. Balastla karşılaştırılmayacak sönmüleme kapasiteleri vardır.

Avantajları; 1. yüksek yük taşıma kapasitesi, 2. yüksek elastikiyet, düşük sistem frekansı, 3. x, y, z yönleri için projeye özel rijitlik, 4. yük karşısında lineer davranış, 5. statik ve dinamik yüke dayanım, 6. montaj kolaylığı, özel durumlar için masrafsız kontrol olanağı, 7. yüz yıldan fazla kullanım imkanı olarak sıralanır.

Çelik yayların tasarımında ele alınan konuların başında yatay, düşey ve merkezkaç kuvvetleri yanında frenleme ve ivmelenme yükleri de gelmektedir. Deprem bölgelerindeki tasarımlarda deprem yükleri de hesaba katılmaktadır. Sönmüleme istenen her tip yol ve aks yükü için uygun frekans ölçüleri hesaplanabilmektedir. Yay

sistemlerinin dizaynı için farklı yüklemeler vardır. Sistemler çoğu zaman 25 ton aks yüküne göre UIC 71 'e göre konfigüre edilirler.

Yaylar demiryolu altında genellikle ray yönünde diziler halinde montaj edilir, Yayların aralıkları yukarıda belirtilen esasa göre dizayn edilir. Yay tipi ve aralıkları statik ve dinamik yüke bağlı aşağıdaki parametrelerden oluşur:

1. Betonarme döşemenin ağırlığı
2. Betonarme döşemenin rijitliği
3. Dizayn yükü ve tren sürati
4. İlgili yerin kurp yarıçapı, geometrisi
5. Altyapı detayları

Özellikle düşük frekans aralığında (4-8 Hz) verimliliği ve güvenilirliği kanıtlanan kütle-yay sistemleri daha 20 Hz'den yüksek frekanslarda 15-25 kazanç sağlamaktadırlar. Özellikle konut yanında yapılan raylı sistemlerde Uygulamaları bulunmaktadır ve montajları sonrasında ortalama 20 dBA kazanım elde edildiği kanıtlanmıştır. Henüz ülkemizde uygulaması yoktur.

Ses Perdeleri

Ses perdelerini ise ülkemizde raylı sistemler için oldukça yenidir. Kent içi raylı sistemlerin yarattığı gürültüyü yok etmek için kullanılan bir başka önlem paketidir. Çok farklı yapılar ve malzemeler ile tasarlanabilir. Görselliğin artması açısından şeffaf olanları yoğun kullanılmaktadır.

Günümüzde daha çokça karayollarında rastladığımız ses perdeleri Avrupa'da, Amerika'da ve Uzakdoğu'da demiryolları ve viyadükler boyunca ve özellikle istasyonlardaki pasajlarda veya büyük hollerin etrafında görmek mümkündür. Özellikle tekerlekten kaynaklanan keskin sesler için kullanılırlar,

Farklı kalınlıklarda 10mm-15mm-20mm kalınlıklarında farklı malzemedden üretilirler. Beton, çelik, alüminyum, pvc, pleksiglas, cam paneller yaygın uygulamalardır. Ahşap uygulamalarda vardır. Örnek başarılı uygulamalar arasında taşıyının mükemmel bir ses yalıtım malzemesi olduğunu ortaya koymuştur. Taş yününün çapraz geçişli sayısız elyaftan oluşan yapısı, tümüyle titreşimleri etkisiz hale getirmektedir. Bu benzersiz fibröz elyaf yapısı taş yünü en iyi ses emici inşaat malzemelerinden biri haline getirmektedir. Örnek bir uygulamada istenilen absorsiyona göre; 30mm-100mm taşıyın yapılacak seperator duvar içinde ses izolasyonu için kullanılır. Genellikle ray seviyesinden genellikle 2-3, 5 m yüksekliğinde hattın gereken taraflarına bazı durumlarda her iki yönde de tasarlanabilirler. Ses yutum kapasiteleri 5 dbA ile 20 dbA arası kazanım elde edilir.

Ses perdelerinde tasarımı etkileyen faktörler:

1. Duvar Yüksekliği
2. Gürültü kaynağı ile duvar arası mesafe
3. Duvar ile alıcı arası mesafe

4. Duvar uzunluğu
5. Duvar kalınlığı
6. Duvar materyali

Raylı sistemlerde ses perdesi uygulamaları da diğer uygulamalara paralel son yıllarda hareketlilik kazanmıştır.

Sonuç

Bugün büyük fotoğrafa bakıldığında kent içi raylı sistemler hak ettiği yere doğru hızla ilerlemektedir ama maalesef bütün Türkiye’de sadece bir Londra ya da Paris kadar kent içi raylı sistem ağı bulunmaktadır. Raylı sistem yapmak kadar önemli olan bir başka konuda ona gereken fonksiyonları verebilmek olduğu unutulmamalıdır. Büyük bütçeli raylı sistem projenizin uygulaması sırasında gürültü ve vibrasyon ile ilgili tedbirler gündeme tasarım sırasında gelmiyor ise veya şartnamede gürültü ve vibrasyona bir-iki satır yer ayrılıyor ise bu hususu bir kez daha bizlerin gözden geçirmesi gerekmektedir. Örneğin; bir kent içi raylı sistemi tasarlarken nasıl güzergah önceden etüt edilip, sabit tesisler ortaya çıkar ise; hat imalatı bittikten sonra gürültü ve vibrasyonda aynı oranda önceden değerlendirilmesi gereken önemli bir dizayn basamağıdır. Sonradan değerlendirilmesi palyatif veya projenizle uyuşmayan öğeler barındırır. Ekonomik olarak getireceği olumsuz yansımanın yanısıra, yolculuk konforu da önemli ölçüde bu olumsuzluktan etkilenecektir.

Kent içi raylı sistemlerde gürültü ve vibrasyonu önlemek için her projede kendine özgü önlemler alınabilir. Tramvay sistemi için farklı bir tasarım kullanılırken, bir metro tüneline farklı bir tasarım mümkündür. Ray altı pedler, travers altı pedler balast altı şilteler, gelişmiş Ray taşlama stratejilerinin planlanması, özel ray bağlantı elemanları, Gömülü ray sistemleri, özel noktalarda ve geçişlerde yüzer döşemelerden yararlanmak ve ses perdeleri günümüzde en çok kullanılan raylı sistem gürültü ve vibrasyonu önleme biçimleridir. Yeni şartnamelerde giriş bölümünde bahsedilen çözümlerden uygun olanlarının tariflenmesi, ilgili uluslararası standartlara atıfta bulunulması, hat güzergahına göre projelendirilmesi ve titiz uygulama; ilerleyen senelerde hepimizin yaşadığı bir konfora dönüşecektir.

Raylı sistemi ilgilendiren konularda ülkemizde de argeye yönelik çalışmalara teşvik verilmesi milli ve kamu menfaati yararına olacaktır. Avrupa, Amerika, Uzakdoğu, Avustralya ve Kuzey Afrika’da titreşim ve gürültü için Raylı Sistemlerde harcanan market payı bir yıl için yaklaşık bir milyar USD’nin biraz üstündedir. Özellikle Raylı sistemler üzerine sadece araştırma ve geliştirme faaliyetleri yapacak akademik çalışmalarla milli sanayiye destek verecek yol gösterici ve maddi olarak imkan sağlayan bir üst makam olması gerekliliğini de bu makalede yazmadan geçmek istemedik. Bu seviyede bu marketlerden teknik ve ürün alan değil ihracat yapan duruma geçmek gerekir.

Önümüzdeki 10 sene içinde ülke sathında 6000 km hızlı demiryolu imalatından projelendirilmekte ve bazı yabancı ülkelerle bu konularda işbirliği ve iyi niyet anlaşmaları imzalanmaktadır. İMO olarak üyelerimizin bu çalışmaların daima

merkezinde olması, kurulması gereken raylı sistemlere ait üst kurul ya da kuruluşlarda olmamız ve IMO çerçevesinde Kent İçi Raylı sistemler ve Demiryolları konularında aktif ve uzman bir danışma kurulu oluşturulması önümüzdeki 2023 ve 2035 vizyonunu yakalamak adına şart hale gelmiştir.

Kaynaklar

Bendtsen, H. 2009. Highway Noise Abatement: Planning Tools and Danish Examples. Reprint report: UCPRC-RP-2010-03

Candemir, Ilgaz, “Temmuz 2008 Teknik Gezi Balastsız Üstyapı 20/ Saha raporları Raporu, İspanya

Candemir, Ilgaz, “Teknik Gezi Balastsız Üstyapı 27b/ Saha raporları Raporu sayfa:2-3, Nordrhein Westfalya; Mart 2009

Candemir, Ilgaz, “ Aralık 2007 ve Şubat 2008 Teknik Gezi Balastsız Üstyapı 15- 18/ Saha raporları Raporu, Fransa-Belçika

Candemir, Ilgaz; Yapılarda ve Raylı Sistemlerde Elastikiyet ve Titreşim Kontrolü, IMO Bülten, yıl:20 Sayı:123

2002/49/EC (2002), “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” Çevre ve Orman Bakanlığı

İstanbul'da Işıklı Yaya Geçitlerinde Yaya Hızlarının İrdelenmesi

¹S. Şeyma Kuşakçı, ²Fulya Özsan

^{1,2}İstanbul Teknik Üni., Ulaştırma Mühendisliği Y. Lisans Öğrencisi, Ayazağa, İstanbul

¹Tel: 0 555 692 89 18, ²Tel: 0 536 832 75 55

¹E-Posta: seymakusakci@gmail.com, ²E-Posta: fulyaozsan@gmail.com,

³Kemal Selçuk Öğüt

³İstanbul Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Mühendisliği, Öğretim Üyesi, Ayazağa, İstanbul

³Tel: 0 543 795 43 10

³E-Posta: oguts@itu.edu.tr

Öz

Yaya geçitleri tasarlanırken dikkate alınması gereken en önemli unsurlardan biri geçitlerdeki yaya hızlarıdır. Bu çalışma kapsamında, İstanbul'daki ışıklı yaya geçitlerinde yaya hızının ve buna etki eden öğelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. 5 ışıklı yaya geçidinde 725 yaya üzerinde yapılan gözlemlerde, 13-65 yaş aralığında, tek ve 2 kişilik gruplar halinde yürüyen ve yanında yürüyüş hızını etkileyecek yük bulundurmeyen yayalar incelenmiştir. Bu yayaların farklı uzunluklardaki yaya geçitlerinden geçiş süreleri ölçülerek hız değerlerine ulaşılmıştır. 725 yayanın ortalama hız değeri 1,50 m/sn, en yavaş % 15. hız değeri ise 1,25 m/sn olarak bulunmuştur. Cinsiyete göre ortalama hız değerleri ise, kadınlarda 1,46 m/sn, erkeklerde 1,53 m/sn olarak bulunmuştur. Elde edilen tüm veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiş, bunun sonucu olarak yaya hızlarının hangi etkenlere bağlı olduğu incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında tasarımda kullanılması gereken yaya hızı değeri en yavaş %15. değer olan 1,25 m/s olarak belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Yaya hızı, Işıklı yaya geçidi, Yaya yeşil fazı, Yaya geçidi yoğunluğu.

Giriş

Günümüzde gelişen teknoloji ile araç kullanımının yüksek boyutlara ulaşması ve gelişen şehir hayatı sonucunda şehirlerin kalabalıklaşması trafiği kontrol etmeyi zorlaştırmış, bunun sonucunda insanların trafikte kaybettikleri süre artmıştır. Araç kullanımındaki artış, trafik kazalarındaki artışı da beraberinde getirmiştir. Şehir içinde gerçekleşen araç-yaya kazalarının büyük kısmının yayaların karşıdan karşıya geçmesi sırasında yaşandığı görülmüş ve bu durumu en aza indirebilmek için yaya geçitleri oluşturularak yaya güvenliği sağlanmaya çalışılmıştır. Mühendisliğin her dalında olduğu gibi bu geçitleri tasarlarken de dikkat edilmesi ve gözönünde bulundurulması gereken birçok husus vardır. Özellikle ışıklı yaya geçitlerinde bu hususlardan en önemlisi yaya hızıdır. Tasarım için kullanılması gereken yaya hızı değerini saptamak

için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ancak ülkemizde yaya hızı standartlarını belirleyecek yeterince çalışmanın yapıldığını söylemek zordur. Ülkemizde kullanılan standartlar, genellikle uluslararası standartların tercümesi şeklindedir. Bu çalışmanın amacı yaya geçidini kullanan yayaların hızlarını ölçüp, tasarımda kullanılacak yaklaşık bir hızı ulaştırmaktır. Böyle bir hız değerine ulaşabilmek için öncelikle bu hızı değiştiren başlıca etkenlerin incelenmesi ve belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla çalışmada yaya hızına etki eden faktörleri göz önünde bulundurarak yaklaşık bir tasarım hızına ulaşmak hedeflenmiştir.

Konu ile İlgili Yapılmış Bazı Çalışmalar

Yaya geçitlerinde yaya hızlarının belirlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Tarawneh (2001), Ürdün'deki çalışmasında, trafik ışıklarının bulunduğu yaya geçitlerinde yayaların güvenli olarak karşıdan karşıya geçme sürelerini incelemiştir. Tarawneh bu çalışmasını 3500 yaya üzerinde, Ürdün'ün başkenti Amman'daki Büyük Amman Meydanı'nda 12 kavşakta yer alan 27 yaya geçidinde gerçekleştirmiştir. Bu kavşaklar, yol geometrilerinin çeşitlilik gösterdiği, ışıklı yaya geçitlerinin bulunduğu ve yayalar tarafından sık kullanılan merkezi bir bölgede yer almaktadır. Bu çalışmanın sonucunda; yaya hızının yaş ile değiştiği, cinsiyet, gruptaki kişi sayısı ve yolun genişliğinin yaya hızına etkisi olmadığı görülmüştür. %15. hız değerleri, kadın yayalar için 1,12 m/sn, erkek yayalar için 1,11 m/sn olarak hesaplanmış, genel tasarım hızı ise 1,11 m/sn olarak belirlenmiştir.

Bennett ve diğerleri (2001), Avustralya'da ışıklı kavşaklarda yaya davranışlarını araştırdıkları çalışmalarında Glen Waverley, Camberwell, Balwyn ve Melbourne City'de şehir dışında bulunan yüksek trafik hacmine sahip alışveriş merkezlerinin yer aldığı kesişim noktalarında yaya hızlarını incelemişlerdir. Çalışma, hafta sonu ve hafta içi olarak iki bölüme ayrılmış ve gözlemler, saat 12:00-16:00 arasında 50 devre üzerinde yapılmıştır. Çalışma sonucunda, hafta sonu, hafta içi olmasının, yaya yoğunluğunun ve yaya hareketini zorlaştıracak herhangi bir engelin, yaya geçitlerindeki yaya hızlarını etkileyen unsurlar olduğu belirlenmiştir. Genel tasarım hızı en yavaş %15. hız değeri göz önüne alınarak 1,24 m/sn, olarak belirlenmiştir.

Rastogi ve diğerleri (2001), Hindistan'da yaptıkları çalışmalarında yaya geçitlerinde kullanılması gereken tasarım hızına ulaşmayı amaçlamışlardır. Geçidi kullanan yayaların yaşı, cinsiyeti, tek başına ya da grup olarak geçişleri, bunların yanında geçilecek olan açıklığın uzunluğu, şerit sayısı ve yolun bölünmüş olup olmadığının yaya geçiş hızına etki eden önemli etkenler olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda ortalama yaya hızı 1,17 m/sn olarak bulunmuş fakat bu değer geçidin bulunduğu yere göre farklılıklar gösterdiği belirtilmiş, genel yaya tasarım hızı ise 0,95 m/sn olarak önerilmiştir.

Knoblauch ve diğerleri (2006), Richmond Virginia, Washington D.C., Baltimore Maryland ve Buffalo New York'ta, 16 yaya geçidinde yaya hızlarının çeşitli koşullara göre değişimini incelemişlerdir. Çalışma sırasında 13-65 yaş aralığındaki yayalar üzerinde cinsiyet, şehir, haftanın günleri, kaç kişiyle beraber geçildiği, hava durumu, yolun genişliği, trafik hacmi, devre ve faz süreleri gibi etkenler göz önüne alınarak yaya geçitlerinde yaya hızlarındaki değişim incelenmiştir. Yaya geçitleri, uzunluklarına göre dar (8,5-13 m), orta (13,1-15,6 m) ve geniş (15,7-31,7 m) olmak üzere 3 sınıfa ayrılmış ve buralarda en yavaş %15. yaya hızları sırasıyla 1,19, 1,26 ve 1,30m/sn olarak

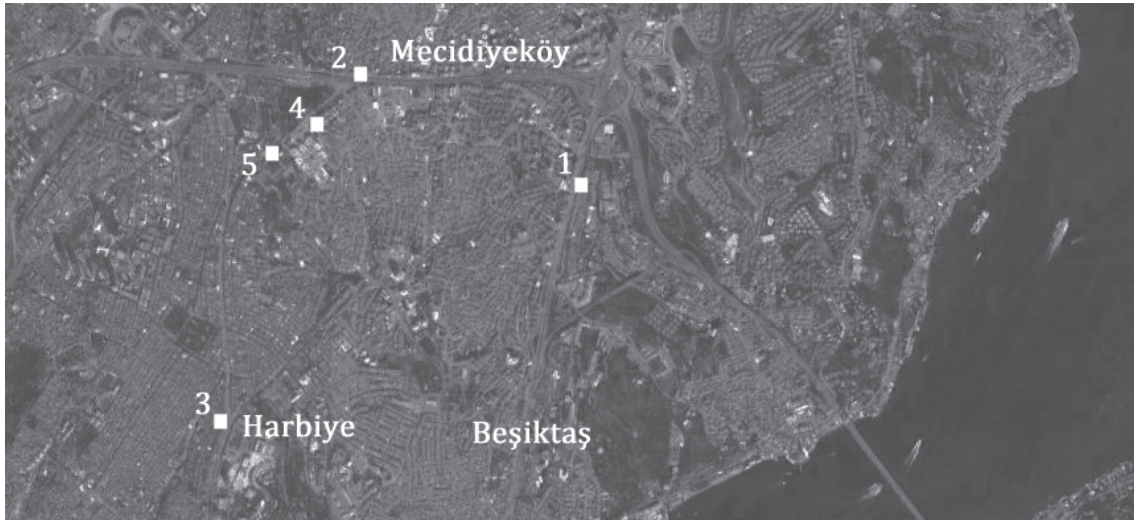
belirlenmiştir. Devre sürelerine göre bir değerlendirme yapıldığında ise kısa (60-70 sn), normal (71-109 sn) ve uzun (110-140 sn) olmak üzere devre süresi 3 sınıfa ayrılmış, sırasıyla her bir devre tipi için en yavaş %15. yaya hızları 1,29, 1,25 ve 1,21 m/sn belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, yaya hızlarının, yaya geçidi uzunluğuyla doğru orantılı, devre süresiyle ise ters orantılı olduğu gözlemlense de, bu ilişkilerin kesinliği doğrulanamamıştır.

Birçok araştırmacı normal dağılımda değerlerin %15. ve %85. değerleri arasında toplumu ifade ettiğini, bu değerlerin dışında kalan verilerin ise aykırı değerler olduğunu ileri sürmüştür. Bu nedenle toplumun çoğunluğunun güvenli tarafta kalması amacıyla çalışmamızda %15. hız değeri tasarım hızı olarak kabul edilmiştir. TS12174 ‘Şehir içi Yollar - Yaya Yolu ve Yaya Bölgeleri Tasarım Kuralları’nda ise ortalama yaya hızı değerinin 1,4 m/s olarak alınması önerilmektedir.

Saha Çalışması

Çalışma Alanları

Çalışmanın yapılacağı ışıklı yaya geçitleri; yaya yoğunluğu, yeşil ışık süresi, yol genişliği, orta ayırıcı bulundurma durumu gibi yaya hızına etki edebileceği düşünülen değişkenler göz önünde bulundurularak seçilmişlerdir. Çalışma için gerekli ölçümler 5 ayrı ışıklı yaya geçidinde gerçekleştirilmiştir. Bu yaya geçitleri İstanbul’daki Balmumcu, Mecidiyeköy ve Harbiyesemlerinde olup konumları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1 Çalışmadaki Yaya Geçitlerinin Konumları.

1 No’lu Yaya Geçidi (Y.G.), Beşiktaş ilçesi Balmumcu semtinde Barbaros Bulvarı ile Hoşsohbet Sokak’ın kesişiminde, bulvar üzerinde bulunan Atv binası önündeki 4 kollu kavşakta yer almaktadır. Yaya geçidinin üzerinde bulunduğu karayolu, 3,5 m şerit genişliğine sahip 2x3 özellikte çift platformlu bir yoldur. 2,3 m orta ayırıcı içeren yolun genişliği 23,3 m’dir. Yaya geçidinin genişliği 4,2 m, geçitteki devre süresi 100 sn, yaya fazı ise 28 sn’dir. Bu yaya geçidinin konumu Şekil 2’deki fotoğraf ile verilmiştir.



Şekil 2 Beşiktaş Balmumcu’da Bulunan Yaya Geçidinin Fotoğrafı.

2 No’lu Y.G. Şişli ilçesi Mecidiyeköy semtinde Büyükdere Caddesi ile Eski Osmanlı Sokak’ın kesişimindeki 4 kollu kavşakta, Büyükdere Caddesi üzerinde yer almaktadır. Bu cadde, 3,5 m şerit genişliğine sahip 5 şeritli, tek platformlu tek yön bir yoldur. Yol genişliği 17,6 m’dir. Yaya geçidi genişliği 4,2 m,geçitteki devre süresi 118 sn, yaya fazı ise 24 sn’dir.

3 No’luY.G. Şişli ilçesi Harbiye semtinde Halaskargazi, Cumhuriyet ve Vali Konağı caddelerinin kesişimindeki 3 kollu kavşakta, Halaskargazi Caddesi üzerinde yer almaktadır. Söz konusu cadde, Taksim Meydanı’na gidiş yönünde 3,2 m genişliği olan 3 şeride, dönüş yönünde ise 3,5 m genişliği olan 2 şeride sahip çift platformlu bir yoldur. 3,8 m orta ayırıcı içeren yolun genişliği 19,4 m’dir. Yaya geçidinin genişliği 4,2 m, geçitteki devre süresi 108 sn, yaya fazı ise 26 sn’dir.

4. No’lu Y.G.,Şişli ilçesinde bulunan Cevahir AVM’nin doğusundaki Aytekin Kotil (Fulya) Caddesi üzerinde olup bu cadde ile Büyükdere Caddesi’nin kesiştiği T kavşakta yer almaktadır. Söz konusu cadde, 4,75 m şerit genişliğine sahip 2x2 özellikte, çift platformlu bir yoldur. 1 m orta ayırıcı içeren yolun genişliği 20 m’dir ve orta ayırıcı yaya geçidinin başladığı yerde sonlanmaktadır. Bu nedenle, 4. Y.G. engelleyici orta ayırıcı bulundurmeyen bir geçit olarak değerlendirilmiştir. Geçitteki devre süresi 120 sn, yaya fazı ise 40sn’dir.

5 No’lu Y.G., Şişli ilçesinde Büyükdere Caddesi üzerinde bulunan Cevahir AVM’nin karşısındaki Rum Mezarlığı’nın yanında, Büyükdere Caddesi ile Prof. Nurettin Öktem Sokağı’nın kesişimi ile oluşan T şeklindeki kavşağın, Prof. Nurettin Öktem Sokağı üzerindeki kolunda yer almaktadır. 7,1 m açıklığına sahip, orta ayırıcı bulundurmeyen karayolu, tek şeritli ve tek yöndür. Yaya geçidi genişliği 4,2 m’dir. Geçitteki devre süresi 100 sn, yaya fazı ise 12 sn’dir.

Verilerin Elde Edilmesi

Temel olarak, yaya geçidini kullanan yayaların hız değerleri olan veri, yayaların bu yaya geçidini kat etme süresi olarak ölçülmüştür.

Verileri elde edebilmek için yapılan ölçümler 1 ve 2 No'lu Y.G.'de 4 gözlemci ile gerçekleştirilmiştir. İki gözlemci, yayaya yeşil yandığı sırada bir yayayı ya da grup halinde beraber yürüyen yayalardan birini seçerek yaya özelliklerini (yaş, cinsiyet, tek ya da 2 kişilik gruplar halinde yürüdüğünü) kaydedip kronometre yardımıyla geçidi ne kadar sürede geçtiklerini ölçmüştür. Bu sırada diğer iki gözlemci, iki yönde de geçidi kullanan yaya sayısını belirlemişlerdir. Diğer 3 yaya geçidinde ise ölçümler video kamera yardımıyla görüntülerin alınması ve daha sonra iki kişi tarafından izlenerek değerlerin belirlenmesi yöntemi ile yapılmıştır.

Her ölçümden önce geçitteki trafik ışıklarının devre süresi, yaya ve araç faz süreleri belirlenmiştir. Ölçülen yaya geçiş süresi, yaya yeşil ışığı yandığı sırada yaya adımını yola attığı zaman başlayıp, karşı kaldırıma çıkıncaya kadar geçen süredir. Geçiş süresi yalnızca yaya geçidi içinde karşıdan karşıya geçen yayalar için hesaplanmış, yolu eğri olarak geçerek yaya geçidi dışında geçişini sonlandıran ya da yaya geçidi dışında geçişe başlayan yayaların geçiş süresi dikkate alınmamıştır.

1 ve 2 No'lu Y.G.'de ölçümler, iki farklı günde, 100'er yaya sayılarak yapılmıştır. 1. No'lu Y.G.'de hafta içi 16:00-18:00 ve hafta sonu 18:00-20:00 saatleri arasında, 2 No'lu Y.G.'de ise hafta içi 19:00-21:00 ve hafta sonu 18:00-20:00 saatleri arasında ölçülmüştür. 3,4 ve 5 No'lu Y.G.'ler için ölçümler ise, her kavşak için tek günde yapılan sayımlarla elde edilmiştir, 3 No'lu Y.G. hafta içi 14:15-16:00 saatleri arasında, 4 No'lu Y.G. hafta içi 16:30-17:00, 5 No'lu Y.G. ise hafta sonu 19:00-20:15 saatleri arasında gözlenerek veriler elde edilmiştir..

Yayaların Özellikleri

Çalışma konusu yaya geçitlerinde toplam 725 yaya için yaya hızı ölçülmüştür. Ölçüm öncesi yapılan gözlemlerde, yaya geçitlerinden geçen çocuk ve yaşlı sayısının düşük olması nedeniyle, çalışma 13-65 yaş aralığındaki yayalar için yapılmıştır. Gözlenen yayaların 297'si kadın, 428'i erkektir. Çalışmada yanında yürüyüş hızını etkileyecek yük bulunduran ve 2 kişiden fazla gruplar halinde yürüyen yayaları temsil edecek örnek sayısı bulunamadığı için bu yayalar ölçüme dahil edilmemiştir.

Kadın ve erkek yaya hızları arasında istatistiksel bir farkın olup olmadığını belirlemek için t testi yapılmıştır. Tüm gözlem verisi için farklı varyanslı t istatistiği -3,31 olarak hesaplanmış ve bu değer %5 anlamlılık düzeyinde iki kollu kritik t değeri olan 1,96'dan büyük çıktığından istatistiksel olarak cinsiyetin yaya hızını etkilediği belirlenmiştir.

Buna karşılık cinsiyetin yaya hızına etkisi, her bir yaya geçidinde ayrı ayrı incelendiğinde (%5 anlamlılık düzeyinde iki kollu kritik t değeri 1,98), 1 ve 2 No'lu Y.G.'nde istatistiksel olarak etkisinin olduğu, başka bir deyişle yaya hızının cinsiyete göre değiştiği, (hesaplanan t değerleri sırasıyla -3,83 ve -3,09'dur), 3, 4 ve 5 No'lu Y.G.'nde ise, istatistiksel olarak yaya hızının cinsiyet ile değişmediği (hesaplanan t değerleri sırasıyla -1,23, -0,98 ve -0,01'dir) belirlenmiştir.

Cinsiyetin Yaya Hızına Etkisi

Yapılan ölçümler sonucu hız değerlerinin cinsiyete göre değiştiği ve erkeklerin hız değerlerinin kadınların hız değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Yaya geçitlerinde cinsiyetlere göre dağılım ve hız verileri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1 Geçitlerde Yayaların Cinsiyetlere Göre Dağılım ve Hız Verileri.

	Cinsiyet	Gözlem Sayısı		Hız Değerleri (m/sn)			
		Sayı	Oran	%15.	Medyan	Ortalama	S. Sapma
1 No'lu Y.G.	Kadın	63	0,44	1,19	1,37	1,35	0,14
	Erkek	79	0,56	1,26	1,44	1,45	0,17
2 No'lu Y.G.	Kadın	69	0,45	1,17	1,25	1,25	0,07
	Erkek	85	0,55	1,22	1,29	1,29	0,09
3 No'lu Y.G.	Kadın	52	0,46	1,38	1,56	1,59	0,25
	Erkek	61	0,54	1,35	1,59	1,66	0,35
4 No'lu Y.G.	Kadın	64	0,40	1,24	1,52	1,54	0,27
	Erkek	98	0,60	1,27	1,57	1,59	0,29
5 No'lu Y.G.	Kadın	49	0,32	1,33	1,63	1,65	0,31
	Erkek	105	0,68	1,35	1,64	1,65	0,29
Tamamı	Kadın	297	0,41	1,23	1,42	1,46	0,27
	Erkek	428	0,59	1,26	1,47	1,53	0,28

Orta Ayırıcının Yaya Hızına Etkisi

Tablo 2’de orta ayırıcı varlığının hız değerleri üzerindeki etkisi gösterilmiştir. 1 ve 3 No’lu Y.G. orta ayırıcı bulundururken, diğer yaya geçitlerinde orta ayırıcı bulundurmamaktadır.

Tablo 2 Yaya Geçitlerinde Orta Ayırıcı Varlığına Göre Hız Değerleri.

Orta Ayırıcı	Yaya Geçidi No	Hız Değerleri (m/sn)			
		%15.	Medyan	Ortalama	S. Sapma
Var	1 ve 3	1,30	1,45	1,51	0,26
Yok	2, 4 ve 5	1,26	1,43	1,50	0,29

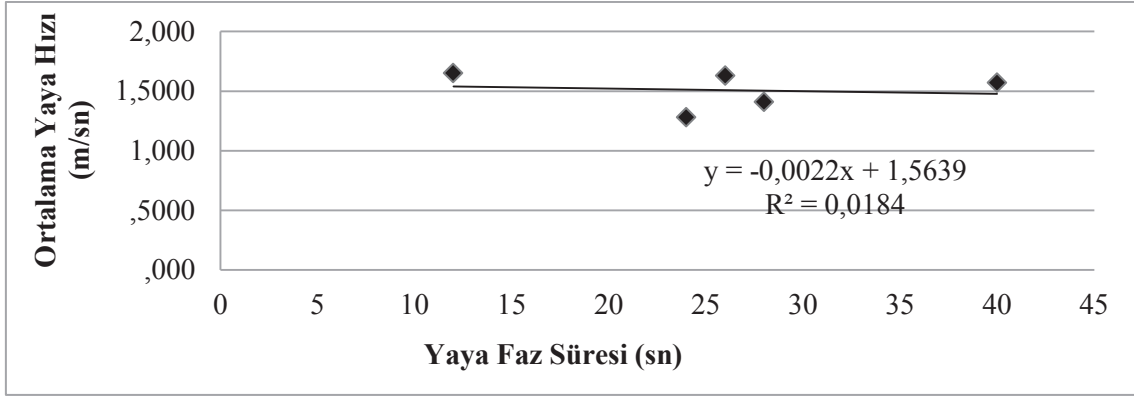
Bu verilere göre, orta ayırıcı bulunduran yaya geçitlerinde, bulundurmayan geçitlere göre yaya hızının daha yüksek olduğu görülmüştür. Hız değerlerinin orta ayırıcı bulundurma durumu ile ilişkisi olup olmadığını araştırmak için t testi yapılmıştır. Tüm gözlem verisi için farklı varyanslı t istatistiği 0,36 olarak hesaplanmış ve bu değer %5 anlamlılık düzeyinde iki kollu kritik t değeri olan 1,96’dan küçük çıktığından istatistiksel olarak orta ayırıcı varlığının yaya hızını etkilemediği belirlenmiştir.

Yaya Faz Süresinin Yaya Hızına Etkisi

Ölçüm yapılan yaya geçitlerinde yaya faz süreleri ile yaya hızları arasında bir ilişki olup olmadığını irdelemek için doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. İncelenen her bir yaya geçidindeki yaya fazı süreleri, yaya hızı özellikleri Tablo 3’te, yapılan regresyon analizi ise Şekil 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3 Yaya Faz Süreleri ve Hız Değerleri.

	Yeşil Fazı (sn)	Hız Değerleri (m/sn)			
		%15.	Medyan	Ortalama	S. Sapma
1 No'lu Y.G	28	1,23	1,42	1,41	0,16
2 No'lu Y.G	24	1,21	1,27	1,28	0,09
3 No'lu Y.G	26	1,36	1,57	1,63	0,31
4 No'lu Y.G	40	1,26	1,54	1,57	0,28
5 No'lu Y.G	12	1,35	1,63	1,65	0,29

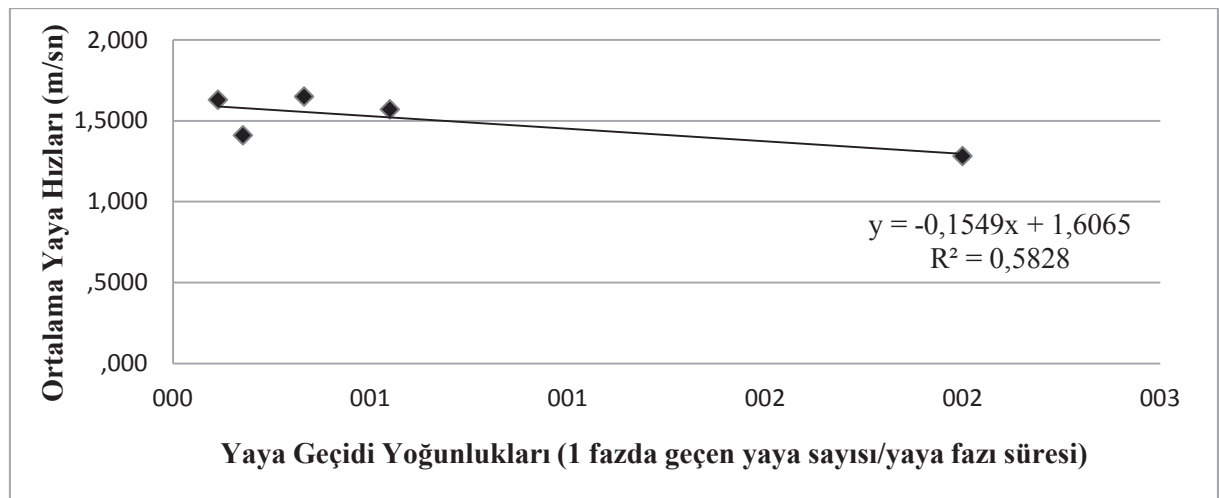


Şekil 3 Yaya Faz Süresi ve Hız Değerleri İlişkisi.

Şekil 3'te, yaya faz süresi ile yaya hızı arasında istatistiksel bir ilişki görülmemektedir.

Yaya Geçidi Yoğunluğunun Yaya Hızına Etkisi

Ölçüm yapılan 5 yaya geçidinde, 1 yaya fazında sırasıyla ortalama 5, 48, 3, 22 ve 4 yayanın geçtiği gözlenmiştir. “Yaya Geçidi Yoğunluğu”, her yaya geçidi için ayrı ayrı, geçen bu ortalama yaya sayılarının, yaya faz sürelerine oranlanması ile hesaplanmıştır. Örneğin 1 No'lu Y.G.'de, yaya fazı 28 sn olup ortalama 5 yaya geçmiştir. Bu yaya geçidinin yoğunluğu “ $5/28=0,18$ yaya/sn”dir. Hesaplanan yaya geçidi yoğunlukları ile yaya hızları arasındaki ilişkiyi irdeleyen regresyon analizi Şekil 4'te gösterilmiştir.

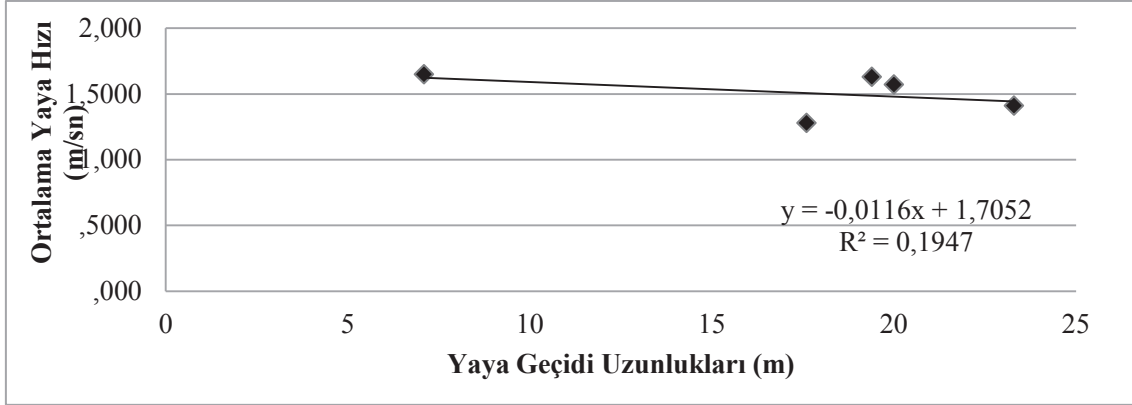


Şekil 4 Yaya Geçidi Yoğunlukları ve Hız Değerleri İlişkisi.

Şekilde görüldüğü gibi, yaya geçidinde yoğunluklar arttıkça, yaya hızının azaldığı görülmüştür. Korelasyon katsayısının (r) 0,76 olması aralarında anlamlı bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Yaya Geçidi Uzunluğunun Yaya Hızına Etkisi

Ölçüm yapılan yaya geçitlerinin uzunlukları sırasıyla 23,3 m, 17,6 m, 19,4 m, 20,0 m ve 7,1 m'dir. Yaya hızları ile yaya geçidi uzunlukları arasında bir ilişki olup olmadığını irdeleyen regresyon analizi Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5 Yaya Geçidi Uzunlukları ve Hız Değerleri İlişkisi.

Şekil 5'teki regresyon denkleminde de görüleceği gibi yaya geçidi uzunluğu ile yaya hızı arasında anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir.

Sonuç

Bu çalışmada İstanbul'daki 5 farklı ışıklı yaya geçidinde toplam 725 yaya hızı gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucu elde edilen bilgiler ile yaya ortalama hızı 1,50 m/sn, tasarım hızı olarak kabul edilen %15. hız değeri ise 1,25 m/sn olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada ayrıca 13-65 yaş arasındaki erkek yayaların ortalama hızı 1,53 m/sn , %15. hız değeri 1,26 m/sn, kadın yayaların ise ortalama hızı 1,46 m/sn , %15. hız değeri 1,23 m/sn bulunmuştur. İncelenen 5 yaya geçidi bir arada değerlendirildiğinde, istatistiksel olarak (%5 anlamlılık düzeyinde) yaya hızının cinsiyet ile değiştiği belirlenmiştir. Ancak yaya geçitlerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi durumunda cinsiyetin her yaya geçidinde yaya hızını değiştiren bir parametre olmadığı belirlenmiştir. Böylesi bir durum gözlenen yayaların rastsal seçilmesine karşılık, gözlem sayısının azlığından (her bir yaya geçidinde en az 100 gözlem) kaynaklanıyor olabilir.

İstanbul için belirlenen bu hız değerleri ve daha önce incelenen 4 farklı ülkede (Ürdün, Avustralya, Hindistan ve ABD) yapılmış çalışmaların sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4 Yapılan Çalışmada ve Literatürde Yer Alan Yaya Hızları

	Hız Değerleri (m/sn)			
	%15.			Ortalama
	Kadın	Erkek	Tamamı	Tamamı
Ürdün ¹	1,12	1,11	1,11	1,34
Avustralya ²	-	-	1,24	1,63
Hindistan ³	0,91	0,98	0,95	1,17
ABD ⁴	1,20	1,30	1,25	1,51
Türkiye (İstanbul)	1,23	1,26	1,25	1,50

1.Tarawneh (2001)

2.Bennett ve diğerleri (2001)

3.Rastogi ve diğerleri (2001)

4.Knoblauch ve diğerleri (2006)

Tablo 4'e göre, tüm yayalar için, %15. hız değerleri incelendiğinde, İstanbul ve ABD'nin en üst sırada yer aldığı (1,25 m/sn), Avustralya'nın da yaklaşık aynı sayılabilecek bir yaya hızına (1,24 m/sn) sahip olduğu belirlenmiştir. Yalnızca kadın yayalar için %15. hız değeri incelendiğinde ise, Türkiye'deki kadın yaya hızınının 1,23 m/sn ile diğer ülkelerdeki kadın yaya hızlarına göre en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür.

TSI12174'e göre önerilen yaya hızı 1,4 m/sn olmasına karşın, literatürde yaya hızı olarak önerilen %15. değer yapılan çalışmada 1,25 m/sn olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda kavşak yoğunluğunun yaya hızına etkisi araştırıldığında yoğun bölgelerde yer alan yaya geçitlerinde yaya hızınının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Yaya geçidi uzunluğu, orta ayırıcı bulundurma durumu, yaya fazı süresi ile yaya hızı arasında ise bir ilişki belirlenememiştir.

Bu çalışma, yalnızca 5 yaya geçidinde yapıldığı için genellemeye giderek standart bir yaya hızı belirlemede yeterli değildir. Buna karşılık yapılan çalışma, İstanbul için yapılan az sayıdaki yaya hızı çalışmalarından biri olma özelliğindedir.

Çalışma kapsamında yalnızca orta yaş (13-65) grubundaki yayalar incelenmiştir. İleriki çalışmalarda, farklı yaş gruplarındaki yayalara yönelik yaya hızı çalışmalarının yapılması, yaya güvenliği açısından hayati önem taşımaktadır. Ayrıca, hafta içi – hafta sonu ve zirve saat içi – zirve saat dışı dilimlerde inceleme yapılması da yararlı olacaktır.

Teşekkür Bu çalışma kapsamında, Mühendislik Tasarım Projesi verilerinden yararlandığımız Alper Atlı, Mustafa Aydın ve Orhan Koca'ya teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Atlı, A., Aydın, M. ve Koca, O. (2012) Yaya Geçitlerinde Yaya Hareketleri. Bitirme Ödevi, Danışman; Doç. Dr. Kemal Selçuk Öğüt İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul.

Bennet, S., Akçelik, R. ve Felton, A. (2001) Pedestrian Movement Of Signalised Intersection, Akçelik & Associates.

Knoblauch, R., L., Pietrucha M., T. ve Ntizburg M. (2006) Field Studies of Pedestrian Walking Speed and Start-Up Time. Transportation Research Record, No: 1538, pp. 27-38.

Rastogi, R., Chandra, S., Vamsheedhar, J. ve Das V. R. (2001) Parametric Study of Pedestrian Speeds at Midblok Crossings. Journal of Urban Planning and Development, No:2011, pp. 381-389

Tarawneh, M., S. (2001) Evaluation of Pedestrian Speed in Jordan With Investigation of Some Contributing Factor. Journal of Safety Research, JRS, 32(2001), pp. 229-236.

TSI12174(1997) Şehir İçi Yollar-Yaya Yolu ve Yaya Bölgeleri Tasarım Kuralları, TSE.

Dinamik Sinyalize Kavşak Kontrol Sisteminin Performans Analizi

Halim Ceylan¹, Soner Haldenbilen¹,

¹DBM Ltd. Şti., Pamukkale Teknokent, Denizli
Tel: (258) 2155127
E-Posta: info@dbmulasim.com

Cenk Ozan²

²Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaatMühendisliği Bölümü Ulaştırma ABD
Tel. (258)2963415
E-posta: cozan@pau.edu.tr

Doğan Şenel³

³TEKOBEL Ltd. Şti., Pamukkale Teknokent, Denizli
Tel: (258) 2155050
E-Posta: dogan@tekobel.com

Öz

Bu çalışmada, Dinamik Sinyalize Kavşak Kontrol (DSKK) sistemlerinin literatürde çok bilinen Webster metodu ile nasıl uygulanabileceği açıklanmış ve örnek bir kavşağa uygulanmıştır. Kavşakların yaklaşım kollarında gerçek-zamanlı ölçülen trafik hacimlerinin doğrudan sinyal süreleri hesaplanmasında kullanılamayacağı açıklanarak, kısa dönemli trafik tahmini yapılmıştır. Bu amaçla *ARMA (2,2)* modelinden faydalanılmıştır. DSKK sistemi, sabit zamanlı sisteme göre toplam gecikme açısından yaklaşık %40, yakıt tüketimi açısından yaklaşık %55 ve performans indeksi açısından ise %30 civarında bir iyileşme sağlamıştır.

Anahtar sözcükler: Performans indeksi, dinamik sinyalize kavşak kontrol, trafik tahmini, sabit zamanlı sinyalizasyon

Giriş

Farklı istikametlerdeki yolların birbiri ile aynı düzlemde kesiştiği, farklı yönlerden gelen taşıtların birbirlerinin güzergahlarından geçtiği veya yön değiştirdiği noktalar olan kavşakların, otomatik kontrolü araştırılması gereken konuların başında gelmektedir. Yolculukların en kısa sürede tamamlanabilmesi için kavşaklarda geçirilen bekleme sürelerinin en aza indirilmesi yol kullanıcılarına, çevreye ve idarelere büyük faydalar sağlayacaktır. Bu kapsamda, sinyalize olarak planlanan kavşakların küçük zaman dilimleri içerisinde değişken zaman planları ile kontrol edilmesi kavşaklardaki bekleme sürelerinde ciddi iyileşmelere neden olmaktadır (Ceylan, 2002; Ceylan, 2006; Ceylan ve diğ., 2007; Ceylan ve diğ., 2010). Bu çalışmada, literatürde yaygın olarak bilinen Webster metodunun küçük zaman dilimleri altında ürettiği kavşak kontrol

parametrelerinden biri olan faz yeşil sürelerinin değişimi ile sabit zamanlı durum altındaki performans ve yakıt tüketimi analizi yapılacaktır.

Hızla gelişen akıllı teknolojiler ile veri derleme sistemlerinin maliyetlerinin göreceli olarak düşmesi sonucu, genellikle sabit zamanlı olarak kontrol edilen kentiçi kavşakların zaman bağılı dinamik kavşak kontrolü yapılabilmesinin önünü açmıştır. Sinyalize kavşak dinamik yeşil süre kontrol çalışmaları ve uygulamalarının Robertson (1969) ile başladığı söylenebilir. Ancak, sinyalize kavşakların ister sabit zamanlı ister değişken zamanlı olsun araştırılmasına ve geliştirilmesine her geçen gün ihtiyaç giderek büyümektedir. Çünkü teknolojik ilerlemelerin yanında, kavşak kontrolü tek boyutlu kontrol sisteminden üç boyutlu kontrol sistemine doğru ilerlemektedir. Tek boyutlu kavşak kontrolü; izole kavşak, iki boyutlu kontrol alansal kontrol ve üç boyutlu kontrol ise hem alansal hem de sürücü bilgilendirici, yönlendirici ve sürücülerin davranışlarını tahmin ederek ulaşım ağını optimum yönetebilen bir sistem olarak düşünülebilir.

Günümüzdeki çalışmaların büyük bir çoğunluğu (Webster ve Cobe, 1968; Akçelik, 1981; Allsop; 1992) sabit zamanlı izole kavşak kontrolü üzerine yapılmaktadır. İki boyutlu çalışmalarda, özellikle TRANSYT trafik modelinin (Vincent ve diğ., 1981) yazılmasından sonra ilerleme kaydedilmiştir. Bu boyuta örnek olarak SCOOT ve SCATS verilebilir. Üç boyutlu çalışmaya temel teşkil edilebilecek çalışma felsefesi ise UTOPIA'da bulunabilir. Kentiçi kavşak kontrolü konusunda dikkat edilmesi gereken hususların başında, tanımlanan üç sistem birbirinin alternatifi olarak değil, yol geometrisine, trafik hacmine, arazi kullanım yapısına ve mali olanaklara ve sistemin stabilitesine bağlı olarak birlikte veya farklı farklı uygulanabilir.

Tüm teknolojik ve bilimsel ilerlemelere rağmen, basit anlaşılabilir ve etkin bir **Dinamik Sinyalize Kavşak Kontrol (DSKK)** sisteminin geliştirilmesi ve uygulamasının sonuçlarının irdelenmesi gerekliliği ortadadır. Literatürde, en basit şekliyle özellikle talebin kapasitenin altında olduğu durumlarda uygulanan DSKK uygulanmasının, hem yol kullanıcılarına hem de yerel yöneticilere faydaların gösterilmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda, çalışmada basit ve anlaşılabilir olan Webster ve Cobbe (1968) tarafından geliştirilen algoritmanın DSKK olarak uygulamasının sonuçları araştırılmıştır. Ayrıca, Akgüngör (2004) ve Akgüngör (2011) yapmış olduğu çalışmalarında, sinyalize kavşaklarda gecikme tahmini ve Webster metodunun faktöriyel tasarımını yaparak, çoklu parametre değişime karşı sinyal parametreleri ve gecikme değerlerini hesaplamıştır. Çalışmada, sinyal süreleri sabit tutularak faktöriyel tasarım için iterasyon kullanılmıştır.

DSKK sisteminin genel felsefesi ve akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. Gerçek-zamanlı olarak kavşak kollarından ölçülen trafik hacmine bağlı olarak Webster trafik modeli kullanılarak kavşağa ait optimum kontrol parametreleri kavşak performansını eniyeleyecek şekilde hesaplanır. Hesaplanan yeşil süreler faz başlarında ya da her devre başında kavşak kontrol cihazına verilerek sinyalize bir kavşak zaman bağılı olarak yönetilebilir.

DSKK'nın performans analizi yapılabilmesi için, öncelikle kavşak yaklaşım kollarında ölçülen trafik hacim değerleri bir sonraki adım için trafik tahmin modeli ile tahmin edilmiştir. Sonra, hesaplanan trafik kontrol parametreleri ve trafik hacim değerleri TRANSYT trafik modeline girdi olarak kodlanarak performans ve yakıt değerleri

hesaplanmıştır. Aynı zamanda, ölçülen trafik hacimleri zaman bağı olarak tahmin edilerek faz yeşil süreleri hesaplanmıştır.



Şekil 1 DSKK akış şeması.

Webster ile DSKK ve Gerçek-Zamanlı Veri Toplama

Webster metodu

Sinyalize bir kavşakta taşıtlara geçiş önceliklerinin verilebilmesi için, *faz yeşil* sürelerinin uygun bir şekilde kavşak kollarına dağıtılması gerekmektedir. *Faz*, trafik hacimlerine ve trafik akış yönüne bağlı olarak, her bir trafik hacmine geçiş önceliğinin verilmesi işlemidir. *Devre süresi* ise her bir fazın en az bir defa olmak üzere yeşil süre olarak bir döngüyü tamamlaması olarak tanımlanabilir. Bu bilgiler ışığında; Webster metodunda, kavşak kollarına olan saatlik talep ve kapasiteye bağlı sinyalizasyon kontrol parametrelerinin hesabı yapılabilir. Kavşak kontrol parametrelerinin hesabı yapılırken Denklem (1) kullanılmaktadır.

$$d = \frac{c \cdot (1 - \lambda)^2}{2 \cdot (1 - \lambda \cdot x)} + \frac{x^2}{2 \cdot q \cdot (1 - x)} - 0.65 \cdot \left(\frac{c}{q^2} \right)^{1/3} \cdot x^{(2+5 \cdot \lambda)} \quad (1)$$

Burada; d =her bir şerit veya koldaki taşıtın ortalama gecikmesini (tş/sn); c =devre süresini (sn); λ =dikkate alınan faz için etkin yeşil sürenin devre süresine oranı (g/c), q =trafik hacmini (tş/sa), s =doğru akım oranını (tş/sa) ve $x = \left(\frac{q}{\lambda \cdot s} \right)$ doyumluk

dercesini göstermektedir. Öncelikle kavşak kontrolünde Denklem (1)'i eniyileyen devre süresi bulunmaktadır, ancak Webster bir çok denemeden sonra basit hesaplarda Denklem (2)'nin kullanılabileceğini önermiştir.

$$c_{opt} = \frac{1.5L+5}{1-Y} \quad (2)$$

Denklem 2’de c_{opt} optimum devre süresini (sn), L her bir devre süresi içerisindeki toplam kayıp süreyi (sn), Y ise toplam kritik kollardaki maksimum talebin doygun akıma oranını göstermekte olup $\gamma_{maks} = \frac{q}{s}$ formülüyle hesaplanır. Toplam kayıp süre hesabı ise Denklem (3)’te verilmiştir.

$$L = \sum(I - a) + \sum l \quad (3)$$

Denklem (3)’teki I yeşiller arası süreyi (sn), a bitiş kaybını(sn) ve l ise her bir fazdaki başlangıç kaybını (sn) göstermektedir.

Yapılan hesaplamalardan sonra her bir fazın yeşil süre hesabı Denklem (4) yardımıyla hesaplanabilir.

$$g = \frac{y}{Y} (c_{opt} - L) \quad (4)$$

yardımıyla hesaplanır. Sonra, görünen yeşil süre, $G = g + l$ olarak her bir sinyal grubuna gönderilir.

Kavşak Kontrol Yazılımı ve Gerçek zamanlı Veri Toplama

Mevcut kavşak kontrol cihazlarının büyük bir çoğunluğu DSKK olarak adlandırılan değişken yeşil sürelerle uyum sağlamadığı için cihazlar hem donanım hem de yazılım açısından ilave modüllere ihtiyaç vardır. Bu sebeple, mevcut kavşak kontrol cihazının yönetilebilmesi için Şekil 2’de ilave donanım modülleri ile gerekli merkezi yazılım ekipmanları görülmektedir.



Şekil 2 Kontrol ünitesi.

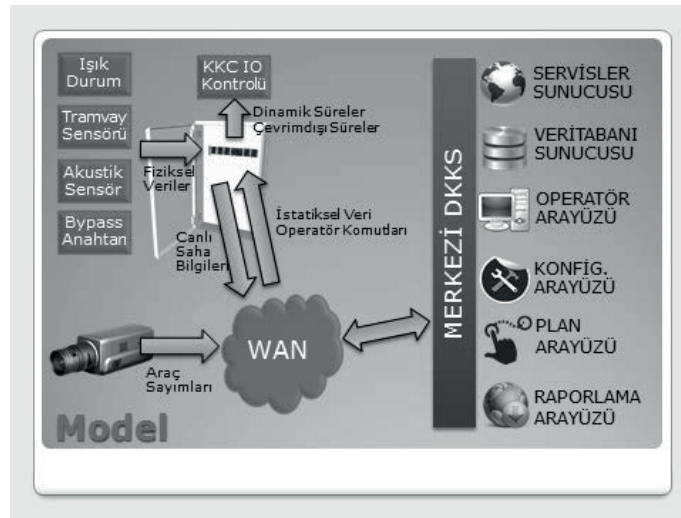
Kavşak sayımı için kullanılan IP kameralar, full HD çözünürlüklü, araç sayım yazılımı, sınıflandırması ve hız ölçümünü yapacak şekilde kavşağa yerleştirilmiştir. Trafik hacim sayımları kavşak kollarında, kavşak geometrisine bağlı olarak belirli mesafelerde yapılmıştır.

DSKK modeli Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde, merkezi DSKK sistemi araziden aldığı trafik hacim verilerini *bir sonraki adım* için tahmin ederek faz yeşil sürelerini hesaplayıp sinyal gruplarına göndermektedir.

Ölçülen trafik hacimleri geçmiş zamanda olduğu ve faz planlarının bir sonraki zamanda yapılması gerektiğinden ölçülen veri seti dikkate alınarak kısa-zamanlı trafik hacim tahmini yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, $MA(s)$ modelinden faydalanılarak trafik tahmini yapılmıştır. Tahmin için kullanılan, $MA(s)$ ’nin açıklaması Denklem (5)’te verilmiştir.

$$MA(s) \rightarrow q_t = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^s (q_t + q_{t-1}) \quad (5)$$

Burada, s hareketli-ortalama terimlerini, q_t ölçülmüş trafik hacimlerini göstermektedir.



Şekil 3 DSKK sistemi.

DSKK modelinde, kavşağa ait sinyal parametreleri olan faz planları, yeşiller arası süre, başlangıç ve bitiş sayımları kavşak kontrol cihazına sabit olarak girildikten sonra, sahada bulunan kameralarla ölçülen gerçek-zamanlık trafik hacim verileri $ARMA(2,2)$ modeli ile tahmin edildikten sonra faz yeşil süreleri kavşak Performans İndeksini (PI) minimum edecek şekilde hesaplanmıştır. Hesaplanan devre süresi ve faz yeşil süreleri kavşak kontrol cihazına gerçek zamanlı olarak gönderilir. Kavşak PI ’si kavşağa ait ağırlıklı taşıt gecikmeleri ile durma-kalkma sayılarının lineer toplamı olarak tanımlanmıştır. PI eşitliği Denklem (6)’da verilmiştir.

$$MinPI(\Phi, q^*) = \sum_{j=1}^J W w_j d_j(\Phi, q^*) + K k_j S_j(\Phi, q^*) \quad (6)$$

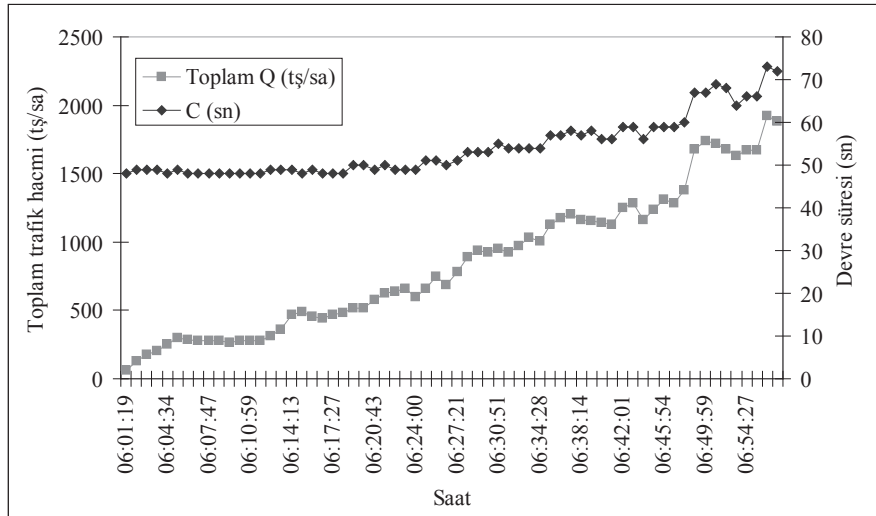
Burada; q^* kısa dönemli tahmin edilmiş trafik hacmini (tş/sa), W gecikme ağırlık katsayısını, K durma-kalkma ağırlık katsayılarını, d_j her bir koldaki gecikme değerini (taş/sn) S_j her bir koldaki durma-kalkma sayılarını, w_j ve d_j sırasıyla gecikme ve durma değerlerinin parasal maliyetlerini, J ise toplam kavşak yaklaşım kolunu göstermektedir.

DSKK Modelinin Örnek Kavşağa Uygulanması

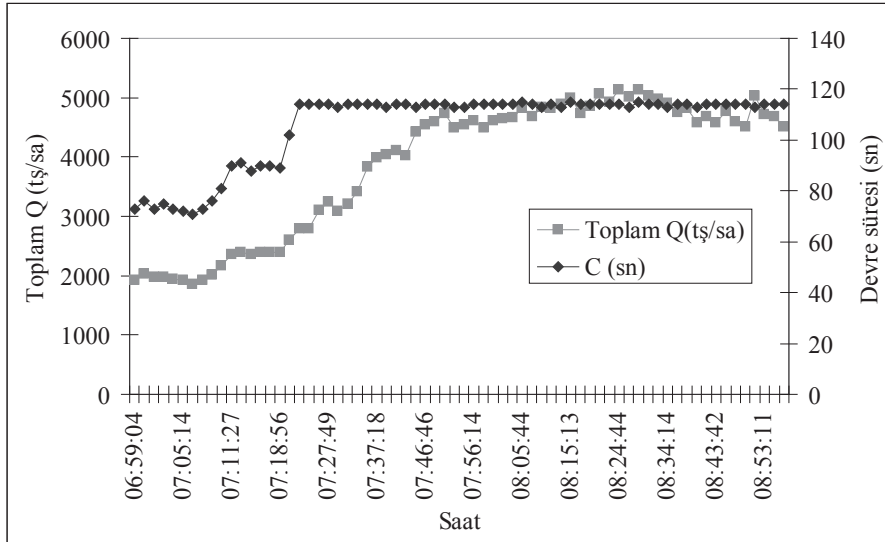
DSKK modeli dört kollu, ortasında dönel ada bulunan örnek bir kavşağa uygulanmıştır. Örnek kavşakta, her kola ayrı bir faz verilmiştir. Uygulama için öncelikle mevcut direk konumları dikkate alınarak kameralar durma çizgisi ile kavşak kol yaklaşımlarını belirli bir mesafeden görecektir şekilde yerleştirilmiştir. Aplikasyonun ardından kamera konumlarına bağlı olarak kamera kalibrasyonu yapılmıştır. Örnek uygulama, 4 faz olup, başlangıç kaybı 2 sn, yeşiller arası süre 5 s olarak sabit tutulmuştur. DSKK her bir hesaplanan sinyal devresi bazında, sabah 06-09 saatleri arasında uygulanmıştır. Kavşaklarda her sinyal devresinde ölçülen trafik hacimleri 5'er dakikalık periyotlara dönüştürülerek trafik tahminleri $MA(2)$ modeline göre yapılmıştır.

Saat 06-07 için kavşak kollarında ölçülen toplam trafik hacimlerine bağlı devre süresinin değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, zirve dışı saatlerde hesaplanan devre süreleri ile trafik hacimleri iyi bir uyum halinde olup, trafik hacmi arttıkça devre süresi de buna bağlı olarak artmıştır. Grafikte Q taşıt/saat cinsinden trafik hacmini ve C saniye cinsinden devre süresini göstermektedir.

Şekil 5'te saat 07-09 saatleri arasındaki toplam trafik hacmi ile devre süresi görülmektedir. Trafik hacmi arttıkça ve talep kapasiteye yaklaştıkça devre süresi maksimum olan 120 sn'de sabitlenmektedir. Ancak, fazların almış olduğu yeşil süreler hacim kapasite ve maksimum devre süresine bağlı olarak değişmektedir.

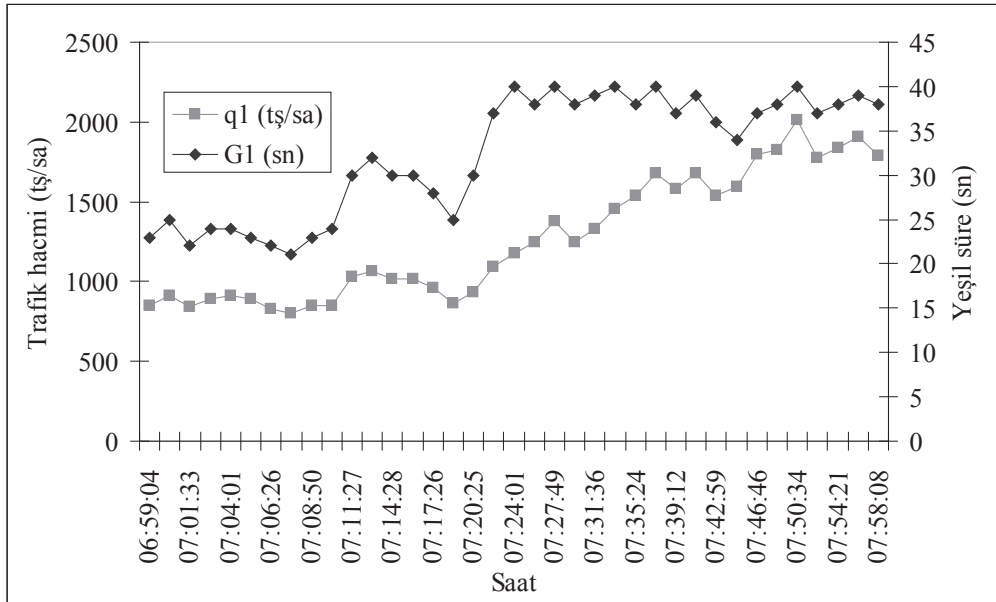


Şekil 4 06-07 saatleri arasında toplam trafik hacmi ve devre süresi değişimi.

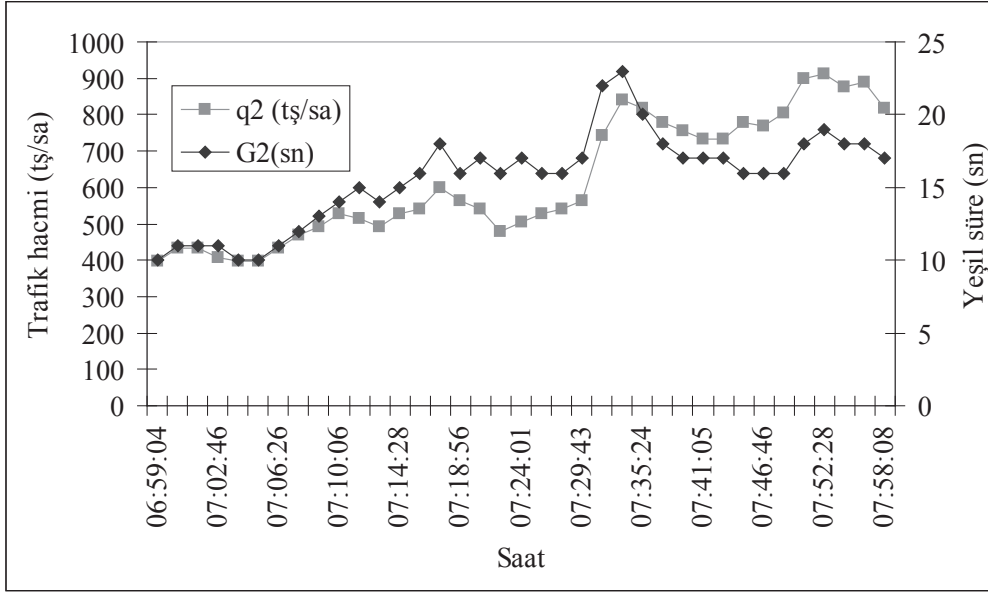


Şekil 5 07-09 saatleri arasında toplam trafik hacmi ve devre süresi değişimi.

Şekil 6a-d'de saat 07-08 arasında, her faz için ölçümlere bağlı tahmin edilen trafik hacimleri ile optimum yeşil sürelerin değişimi görülmektedir. Yeşil süreler ile trafik hacimlerinin eğiliminin birbirini aynen takip ettiği grafikler incelendiğinde görülebilmektedir. Faz 1 incelendiğinde, yeşil süre değişiminin 22-40 sn arasında değiştiği bulunmuştur. Faz 2'deki yeşil süre değişiminin 10-23 sn aralığında, Faz 3'teki yeşil süre değişiminin 10-33 sn aralığında ve Faz 4'teki yeşil sürelerin ise 32-45 sn aralığında değiştiği bulunmuştur. Yeşil süre değişiminin fazla olduğu durumlar kavşak koluna gelen taşıtların aşırı dalgalanma gösterdiğinin bir kanıtıdır.

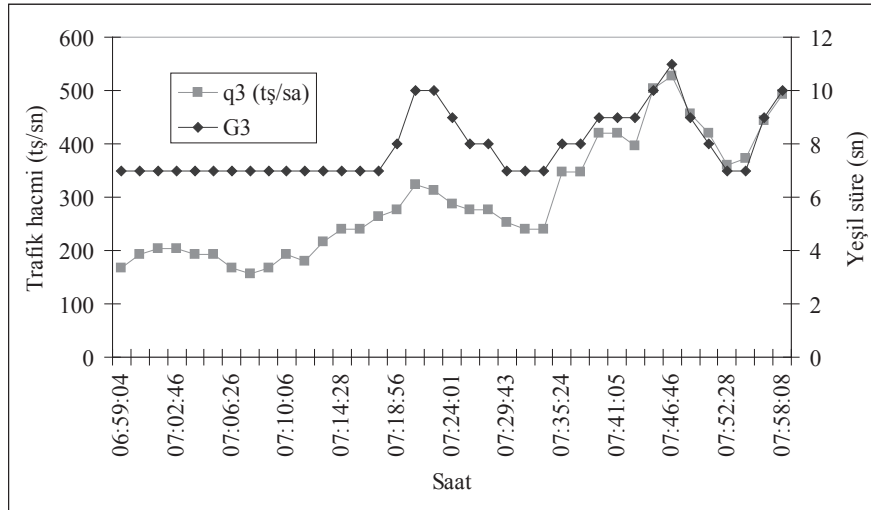


Şekil 6a Faz 1 için ölçülen trafik hacmi ve hesaplanan yeşil süre değişimi (07-08).

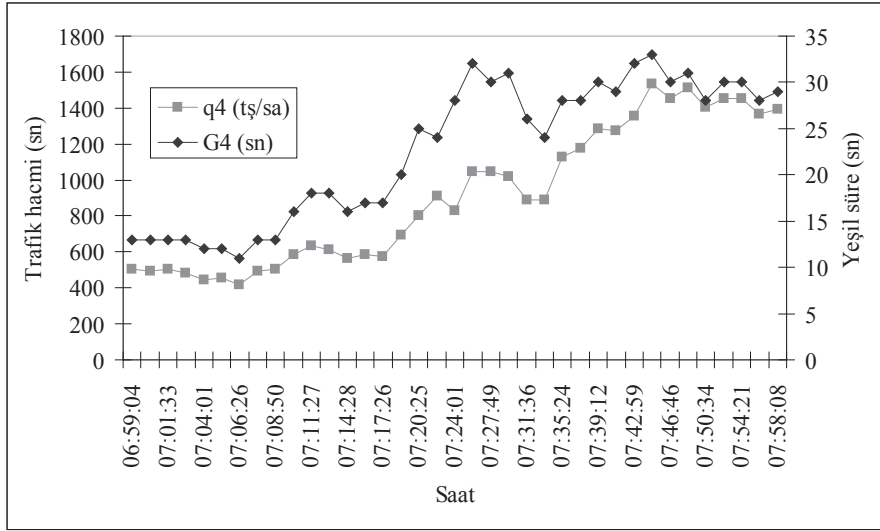


Şekil 6b Faz 2 için ölçülen trafik hacmi ve hesaplanan yeşil süre değişimi (07-08).

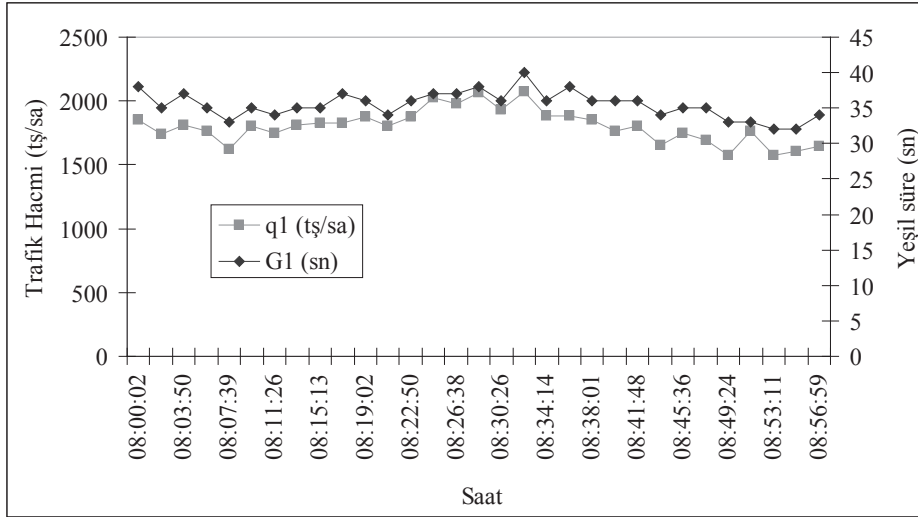
Şekil 7a-d'de saat 08-09 aralığında, her faz için ölçümlere bağlı tahmin edilen trafik hacimleri ile optimum yeşil sürelerin değişimi görülmektedir. Faz 1 incelendiğinde, yeşil süre değişiminin 32-40 sn arasında değiştiği bulunmuştur. Faz 2 yeşil süre değişiminin 16-22sn aralığında, Faz 3'teki yeşil süre değişiminin 7-14 san aralığında ve Faz 4'teki yeşil sürelerin ise 25-33sn aralığında salınım yaptığı bulunmuştur. Bu saat arasında en fazla trafik hacim salınımı Faz 3'te hesaplanmıştır.



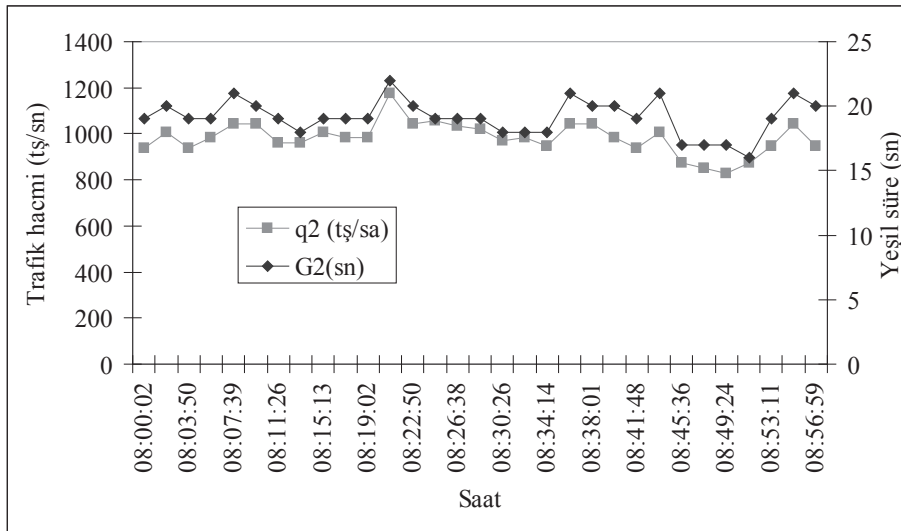
Şekil 6c Faz 3 için ölçülen trafik hacmi ve hesaplanan yeşil süre değişimi (07-08).



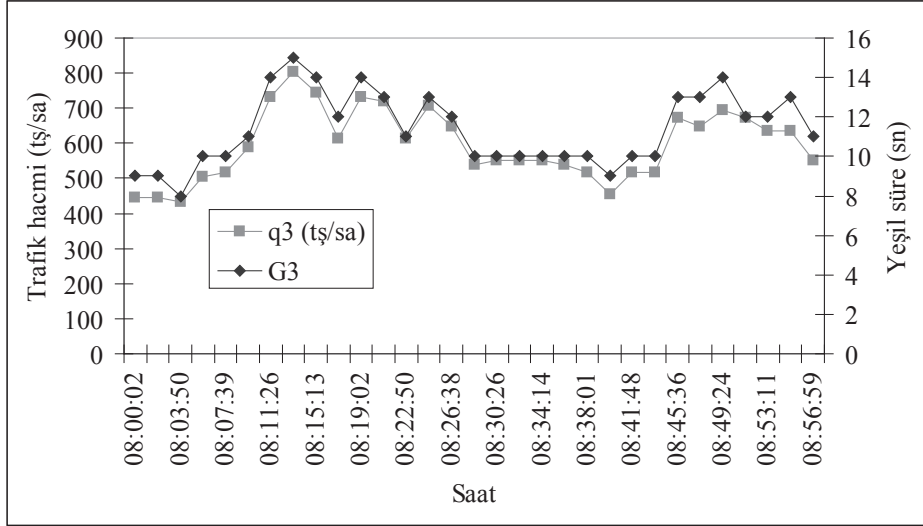
Şekil 6d Faz 4 için ölçülen trafik hacmi ve hesaplanan yeşil süre değişimi (07-08).



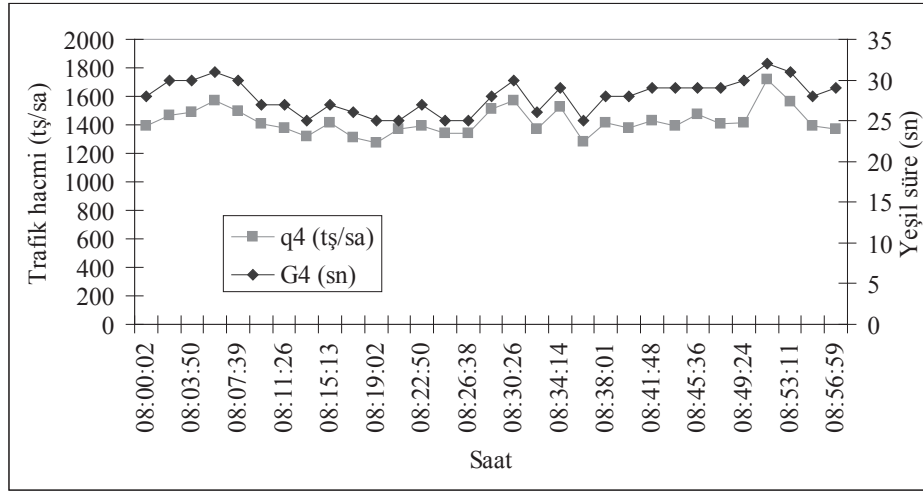
Şekil 7a Faz 1 için ölçülen trafik hacmi ve hesaplanan yeşil süre değişimi (08-09).



Şekil 7b Faz 2 için ölçülen trafik hacmi ve hesaplanan yeşil süre değişimi (08-09).



Şekil 7c Faz 3 için ölçülen trafik hacmi ve hesaplanan yeşil süre değişimi (08-09).



Şekil 7d Faz 4 için ölçülen trafik hacmi ve hesaplanan yeşil süre değişimi (08-09).

Trafik hacmi değerlerini sabah 06 civarlarında yön başına 200 taşıt/saat seviyelerinden zamanla artarak 1200-1800 taşıt/saat seviyelerine çıktığı ölçülmüştür. Salınım yapan trafik hacmine bağlı olarak hesaplanan yeşil süreler ve DSKK kontrolü sonucu örnek kavşakta kuyruklanmanın oluşmadığı görülmüştür.

Uygulanan DSKK sisteminin performans karşılaştırmasının yapılabilmesi için trafik hacimleri saatlik değerlere dönüştürülerek sabit zamanlı sinyalizasyon kontrolüne göre PI ve gecikme değerleri esas alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 1'de DSKK sistemi ile mevcut trafik kontrol altındaki saatlik karşılaştırmalar verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde DSKK sabit zamanlı (mevcut) kontrolüne göre, 07-08 arasında %29, saat 08-09 arasında %33; yakıt tüketimi açısından 07-09 saatleri arasında ortalama %57 aynı saatler arasında toplam performans indeksi açısından ise %31 civarında bir iyileşme sağlamıştır.

Tablo 1 Mevcut ve DKKS altında performansların karşılaştırılması.

Performans parametreleri	07:00-08:00			08:00-09:00		
	DKKS	Mevcut	İyileşme (%)	DKKS	Mevcut	İyileşme (%)
Toplam gecikme (taşıt-sa/sa)	1064.5	1993	47	1544,5	2298	33
Yakıt tüketimi (lit/sa)	1020.15	5705	82	4462,25	6567	32
Performans İndeksi (PI)	3089.25	4336	29	3373	4999	33

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, DSKK sistemlerinin literatürde çok bilinen Webster metodu ile nasıl uygulanabileceği açıklanmış ve örnek bir kavşağa uygulanmıştır. Kavşakların yaklaşım kollarında gerçek-zamanlı ölçülen trafik hacimlerinin doğrudan sinyal süreleri hesaplanmasında kullanılamayacağı açıklanarak, kısa dönemli trafik tahmini yapılmıştır. DSKK sistemi sabit zamanlı trafik kontrolü ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada, DSKK sistemi mevcut sisteme göre 07-09 saatleri arasında toplam gecikme açısından yaklaşık %40, yakıt tüketimi açısından yaklaşık %57 ve performans indeksi açısından ise %31 civarında bir iyileşme sağlamıştır. Bu çalışmada sadece izole kavşaklar dikkate alınmış olup gelecek çalışmaların koordine kavşaklar için yapılması hem uygulamaya hem de bilime katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

Akcelik, R. (1981) Traffic signals: capacity and timing analysis. *Australian Road Research Board, ARR 123*. Vermont South, Victoria, Australia.

Akgüngör, A.,P., (2004). Sinyalize kavşaklarda gecikme tahmininin modellemesi: Farklı çözümlene süreleri için zamana bağlı yeni bir gecikme modeli. *Teknoloji, C7(3)*, s. 369-379.

Akgüngör, A.P (2011). Webster Modeline ait parametrelerin gecikme üzerindeki etkisinin faktöryel tasarım yöntemi ile incelenmesi. 9. Ulaştırma Kongresi, 16-18 Mayıs, S., 211-218, İstanbul.

Allsop, R.E. (1992) Evolving application of mathematical optimisation in design and operation of individual signal-controlled road junctions. *Mathematics in Transport Planning and Control*. (Griffiths J.D. Ed), Oxford University Press. Oxford, 1-25.

Ceylan H., (2006). Developing Combined Genetic Algorithm-Hill Climbing Optimization Method for Area Traffic Control, *Journal of Transportation Engineering, ASCE,132(8)*,pp. 663-671.

Ceylan H., Haldenbilen S., Ceylan H., Baskan O. (2010). Development of Delay Models with Quasi-Newton Method Resulting From TRANSYT Traffic Model, *Journal of Scientific and Industrial Research, 69(2)*, 87-93.

Ceylan, H. (2002). “*A Genetic Algorithm Approach To the Equilibrium Network Design Problem*” PhD Thesis. University of Newcastle upon Tyne, England.

Ceylan, H., Başkan, Ö., Ceylan, H., ve Haldenbilen, S. Yaklaşık Hesaplama Metodu ile Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Bileşenlerinin Matematiksel Çözümü., *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 13, Sayı 2, Sayfa, 279-286.

Robertson, D.I.,(1969). TRANSYT: a traffic network studytool. RRL Report, LR 253, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

Vincent, R.A., Mitchell, A.I., Robertson, D.I., (1980). *User guide to TRANSYT, version 8*. TRRL Report LR888.

Webster, F.V. ve Cobbe, B.M. (1966) Traffic Signals. Ministry of Transport, Road Research technical paper No. 56, London, HMSO.

Yurtiçi Hava Taşımacılığı Talebinin Modellenmesi ve Senaryolar Altında Değerlendirilmesi

Cenk Ozan, Özgür Başkan, Soner Haldenbilen, Halim Ceylan
Pamukkale Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma ABD
Tel: (258) 296 34 15
E-Posta: cozan@pau.edu.tr

Öz

Ülkemizde ulaşım alt türler arasındaki dengesizlik ve entegrasyon en önemli problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmada son yıllarda içhat hava taşımacılığı alt türünde gözlenen talebin aylık değişimini yansıtabilen indeksleme yöntemi kullanılarak modellenmesi yapılmış, geleceğe yönelik tahminler yapılarak alt türlerdeki dengesizliğin giderilmesi yönünde önerilerde bulunulmuştur. Modelleme çalışmasında bağımsız değişkenler olarak Satın alma gücü paritesi ve jet yakıt fiyatları kullanılmıştır. Kullanılan yöntem ile aylık ve mevsimsel değişimlere duyarlı bir model geliştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda gelir seviyesinde iyimser gelişmeler gözlenmesi ve jet yakıt fiyatlarında düşük seyrin gözlenmesi durumunda karayolu ulaşım sisteminin ardından hava taşımacılığının demiryolu sistemi ile ciddi bir rekabet içinde olacağı belirlenmiştir. Bu nedenle ücret politikalarında gerekirse jet yakıt fiyatlarında vergi düzenlemesi ile talebin gelişmesinin desteklenmesi önemli görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Havayolu, ulaşım talebi, indeksleme yöntemi

Giriş

Ulaştırma sektörünün önemli bir alt sektörü olan havayolu taşıma sektörü; faaliyet konusu, faaliyetleri yürüten kurum ve kuruluşlar, kullanılan ileri teknoloji ürünü araçlar ve donanım, özel alt yapı ve haberleşme sistemleri, nitelikli insan gücü, hizmet verilen insanlar, ulusal ve uluslararası özelliğe sahip kurallar ve mevzuat konularının oluşturduğu önemli bir sistemdir.

Hava taşımacılığı, kısa sürede çok hızlı teknolojik ve yapısal değişiklikler gösteren bir sektördür. Bir yandan geniş kapasiteli, yakıt tasarrufu sağlayan, düşük gürültü ve emisyon seviyelerine sahip uçakların geliştirilmesinin; havayolu şirketlerinin faaliyetleri, yönetimi, hizmet kalitesi ve kapsamı üzerinde büyük ölçüde etkisi olurken diğer yandan serbestleşme, özelleştirme, sektörün daha ticari bir yapıya dönüştürülmesi ve işbirliklerinin oluşması sektörün yapısını değiştirmiş ve sektörü tüketicilerin hakim olduğu bir pazara dönüştürmüştür. Bu yapısal değişiklikler arasında özelleştirme, birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkede büyük ölçüde benimsenmekte ve uygulanmaktadır.

Türkiye’de havayolu taşıması sektörü; 14.10.1983 tarihinde kabul edilen 2920 Sayılı Sivil Havacılık Kanunu’nun yürürlüğe girmesiyle birlikte, özellikle 1980’lerin sonuna doğru önemli gelişmeler göstermiştir. Aynı dönemlerde turizm sektöründe de meydana

gelen büyüme havayolu ulaştırma sektörünü olumlu yönde etkilemiştir. 2007-2011 yıllarında iç ve dış hatlardaki yolcu trafiği 2,5 kat artış göstermiştir. Havaalanı sayısı 50'ye ulaşmıştır. Kısa sürede gözlemlenen bu hızlı gelişim karşısında planlamanın yapılabilmesi, hizmet kalitesinin düşürülmemesi, uçuş sayısının ve noktalarının artırılması için talebin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Ulaşım talebi gelir durumu, ücretler, erişebilirlik, nüfus, işçi sayısı vb birçok parametreden etkilenmektedir. Alternatif sistemler arasında seçim yapmakta da bu parametreler etkili olmaktadır. Talebin saatlik, günlük, haftalık, aylık ve mevsimsel değişimi de planlama bakımından son derece önemlidir. Sağlanacak arzın verimli kullanılması ve yatırım büyüklüğünün belirlenmesi için talebin miktarının ve değişiminin belirlenmesi gereklidir. Hava ulaşımı talebi de mevsimsel ve aylık değişikliklerin çok net olarak gözlemlendiği bir yapıya sahiptir. Bunun yanında yolcuların davranışları da talepte etkilidir. Ülkemizdeki havayolu ulaştırmasında yolcuların seçim ölçütleri üzerine yapılan çalışmada, havayolu şirketlerinin artan rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri için müşteri ihtiyaçları doğrultusunda oluşturulacak bir kalite anlayışına önem vermesi gerektiği ortaya konmuş, genel yolcu karakteristiğinin, yüksek gelirli ve üniversite mezunu kişilerden oluştuğu, yolcuların son üç yılda uçuş alışkanlığının artmış olduğunu ve tercih sebeplerinin zamandan tasarruf ve güvenlik olduğu belirlenmiştir. Havayolunun tercih edilmesinde etkili en önemli faktörlerin; fiyat ve tarife sıklığı olduğu, tercihlerde en az ilgilenilen faktörlerin ise reklam ve uçak içi ikramlar olduğu ortaya konmuştur (Yurttaş, 2007).

Ülkemizde gerek yolcu gerekse de yük taşımacılığında karayolu taşımacılığının %90 seviyesindeki payı ulaşım sistemleri arasında dengesizliği ortaya koymaktadır. Son 5 yılda yapılan taşımacılıklar incelendiğinde, demiryolu ve denizyolunda neredeyse artış gözlenmezken, hava taşımacılığında 2 kata yakın artış, karayolunda ise %15'lik bir artış gözlenmiştir (TÜİK, 2013). Bu şekilde sürdürülebilir bir ulaşım sisteminden söz edilemez. Bu nedenle türler arasında dengenin sağlanması çok önemlidir. Türkiye'de havacılık sektörü değişen müşteri alışkanlıkları ve son yıllarda talepte görülen artış eğilimi ile toplam yolcu taşımacılığındaki payını gün geçtikçe arttırmakta ve güçlü, tercih edilen bir alternatif olma yolunda gelişim ve büyümesini sürdürmektedir. Ülke genelinde sürdürülebilir bir ulaşım sistemi için alternatiflerin güçlendirilmesi çok önem taşımaktadır. Hava taşımacılığında yakalanan eğilimin sürekliliğinin sağlanması için talebi etkileyen faktörlerin ve talebin değişiminin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca havacılık sektöründeki hızlı gelişme ve büyüme, yer hizmetleri, yeni yatırımların planlanması öncesinde detaylı olarak verilerin analizi gerekmektedir. Çalışmada ülkemizdeki havacılık sektörünün iç hatlardaki yolcu taşımacılıkları aylık bazda ele alınmış ve yolcu talebinin aylık değişimi modellenerek geleceğe yönelik yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Ulaşım talebi sosyo ekonomik yapısı nedeni ile birçok parametreden etkilenmektedir. Talep modelleri için en temel regresyon modellerinden başlayan, sezgisel ve hibrit yöntemlere kadar genişleyen çok sayıda yöntem kullanılmaktadır. Modellemede temel amaç; talebin geçmiş değerlerini ve yapısını dikkate alarak gelecek değerlerin tahmininde iyi performans verebilen sade ve güvenilir bir model oluşturmaktır.

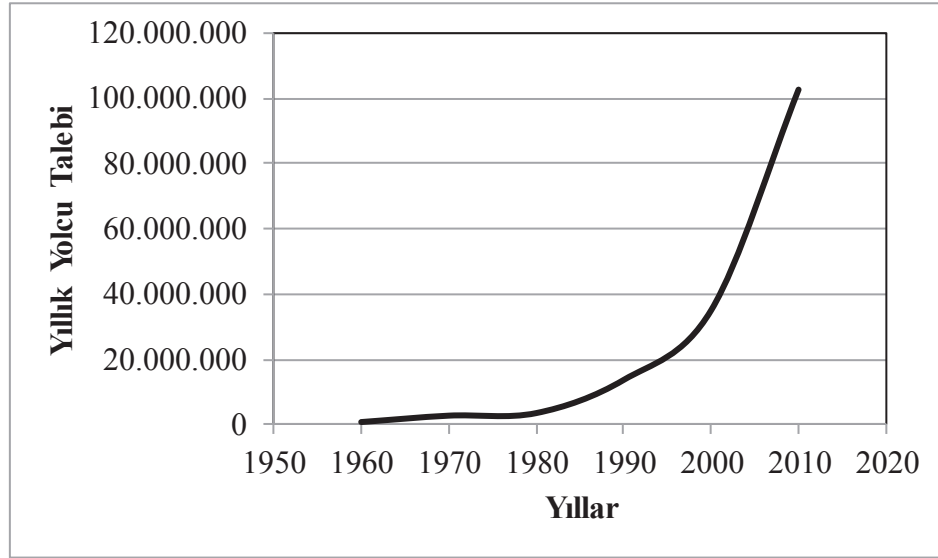
Haldenbilen (1996), Denizli İzmir arasındaki yük taşımacılığına yönelik yaptığı çalışmada zaman serileri kullanarak talebi belirlemiş ve yük taşımacılığının konteynerleştirilerek demiryoluna aktarılması projesini değerlendirmiştir. Haldenbilen

(2003), şehirlerarası karayolu talebinin belirlenmesine yönelik yaptığı çalışmada regresyon ve genetik algoritma modellerini kullanmış, iki ve üç parametrelili modellerin performansını karşılaştırmıştır. Ortu'zar ve Simonetti (2008) seyahat süresi, konfor, ücret ve gecikme parametrelerini kullanarak Şili için hızlı tren ve hava taşımacılığı tercih modelini geliştirmişlerdir. Chieh-Yu Hsiao ve Hansen (2011) yapmış oldukları çalışmada hava yolcu modeli geliştirmişlerdir. Talep atama ve üretme olmak üzere iki model üzerinde çalışılmıştır. Etkili parametreler ücret, uçuş süresi, gelir, kalkış performansı olarak belirlenmiştir. Chi ve Baek (2012) ABD'de hava kargo taşımacılığının gelir ve fiyat esnekliğini belirlemişlerdir. Talebin yapısı seçilecek modeli etkilemektedir. Örneğin ülkemizde havayolu iç hat taşımacılığında talebin mevsimsel değişimi çok etkilidir. Bu etkiyi modele taşıyabilmek için doğrusal olmayan modellerin kullanılması gerekmektedir. Başkan ve diğerleri (2006) yaptıkları çalışmada sezon etkisinin gözlemlendiği ulaştırma sektörü enerji tüketiminin modellemesini indeksleme yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada aylık bazdaki tüketimler doğrusal olmayan bir modele eklenen indeks değerleri çarpanı kullanılarak istenilen değişim yakalanmıştır. Bu çalışmada da aylık değişimlerin yakalanması amacı ile indeksleme yöntemi kullanılmıştır.

Veri Toplama ve Değerlendirme

Yolculuk Talebi

Havayolu yolcu talebi 1960-2010 yılları arasında yaklaşık 145 kat artmıştır. 1960 yılında 713.217 olan yolcu sayısı 2010 yılında 102.800.392'ye ulaşmıştır. Şekil 1'de son 50 yıldaki artış görülmektedir. 1960-1980 yılları arasında yavaş artan talep 1990 sonrası çok hızlı artmıştır. Ancak halen hava taşımacılığı sistemi tüm taşımacılık sistemleri içinde 3. sırada yer almaktadır. Yakıt fiyatları, ücret politikaları, turizm sektöründeki gelişmeler, yasal düzenlemeler, ulusal güvenlik gibi talebi etkileyen iç ve dış faktörlerin kontrol altında tutulması ile hava taşımacılığında gözlenen talep artışının sürekliliğinin sağlanması gereklidir. Bu durumda sektör, karayollarından sonra 2. sıraya yerleşebilecektir. Kamu tarafından demiryollarına yapılan yatırımlar dikkate alındığında karayolu sistemi dışında yolcu taşımacılığı açısından önümüzdeki 10 yıl içinde deniz, demir ve hava taşımacılığı büyük bir rekabet içinde olacaktır. Bu nedenle hava taşımacılığı talebinin yakalamış olduğu eğilimin korunması sistemler arası denge için önem taşımaktadır. Aylık bazda yapılan değerlendirmede ise yaz aylarında talebin ciddi oranda arttığı, kış aylarında ise düştüğü gözlenmektedir. Talep dalgalı bir seyir göstermektedir.



Şekil 1 Havayolu yolcu talebindeki değişim (TÜİK, 2013).

Tablo 1’de son 10 yılda gözlemlenen büyüme verilmiştir. Uçak sayısı, koltuk kapasitesi 2 kattan fazla artmıştır. Yolcu taşımacılığında iç hatlarda 5 kat uluslararası uçuşlarda 2 kat artış gözlemlenmiştir. Hava trafiğinde ise iç hatlarda 3, dış hatlarda 2 kat artış gözlemlenmiştir. Son on yılda iç hatlarda dış hatlara göre daha hızlı bir talep artışı olmuştur. Bu artış modlar arasındaki dengenin sağlanması açısından sürdürülmelidir. Bunun içinde etkili parametreler ve talep tahmini önem taşımaktadır.

Tablo 1 Türkiye hava yolu ulaşım istatistikleri (TÜİK, 2013).

Yıl	Uçak sayısı	Koltuk kapasitesi	İç hatlarda taşınan yük (ton)	Dış hatlarda taşınan yük (ton)	İç hat hava trafiği	Dış hat hava trafiği	İç hatlarda taşınan yolcu sayısı	Dış hatlarda taşınan yolcu sayısı
2002	138	25114	181198	698935	157415	218626	8700839	25054613
2003	138	27124	188936	742255	156301	218505	9128124	25296216
2004	142	34287	262647	860461	195935	252786	14438292	30596297
2005	202	38600	315858	933697	264805	286867	20502516	35042957
2006	245	42894	373055	973934	343956	286713	28799878	32884325
2007	250	40017	414192	1131833	365136	323432	31970874	38381993
2008	262	41634	399213	1130464	385053	356127	33546000	40840000
2009	297	47972	484833	1241512	419422	369047	41226959	44281549
2010	332	57899	554710	1466366	497862	421549	50575426	52224966

Gelir

Ulaşım talebini etkileyen temel faktörlerden biri olan gelir farklı yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Çalışmada gelir olarak Satınalma Gücü Paritesi (SGP) indikatörü

dikkate alınmıştır. Tablo 2’de OECD tarafından yayınlanan ve 2000-2011 yıllarını kapsayan değerler verilmiştir (OECD, 2012). Ülkemizin SGP’si son 10 yılda 3 kat artarken kişi başına Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) 9000 \$ seviyelerinden 15000 \$ seviyelerine yükselmiştir.

Tablo 2 Satınalma Gücü Paritesi İndikatörü (OECD, 2012).

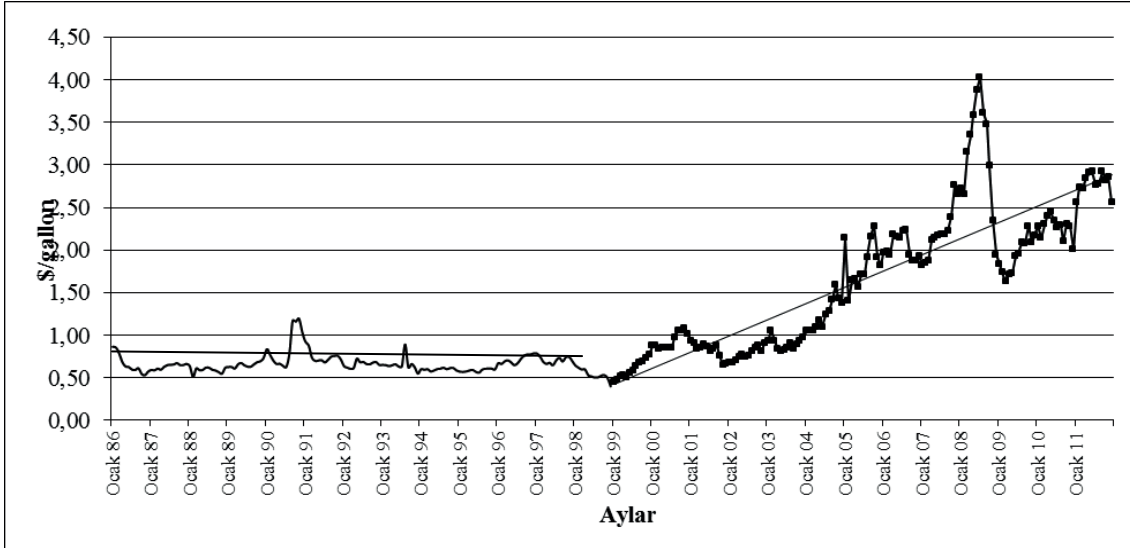
Yıl	Satınalma Gücü Paritesi (SGP) (ABD Doları=1.00)	GSMH (Milyon ABD Doları)	Kişi başına GSMH (ABD Doları)
2000	0.28	589414	9172
2001	0.43	560919	8612
2002	0.61	572094	8667
2003	0.77	587855	8791
2004	0.81	688341	10162
2005	0.83	781243	11391
2006	0.85	895163	12895
2007	0.86	976167	13894
2008	0.89	1067944	15025
2009	0.92	1038331	14442
2010	0.97	1141250	15666
2011	1.04

Jet Yakıt Fiyatları

Ulaşım talebini etkileyen birçok faktör olmakla birlikte fiyat en önemli bağımsız değişkenlerden biridir. Havacılık sektöründe bilet fiyatları çok değişikli göstermekle birlikte toplam maliyette yüksek oranı bulunan akaryakıt fiyatları ücretlendirmede direkt etkili bir değerdir. Bu nedenle çalışmada ücretler yerine akaryakıt fiyatları kullanılmıştır.

Hava araçlarında petrol türevli yakıtlar kullanılır ve gider kalemleri arasında önemli bir payı yakıt giderleri teşkil eder. 2008 yılında petrol varil fiyatlarında meydana gelen artış benzer şekilde jet yakıtı fiyatlarında da artışa sebep olmuştur. Brent tipi petrolün varil fiyatı 2008 yılı başında 97 USD iken Temmuz ayında bu fiyat 147 USD çıkmıştır (IATA, 2013). Buna paralel olarak jet yakıtı varil fiyatları aynı tarihlerde ise 114 USD’den 180 USD’na çıkmıştır. Şekil 2’de jet yakıt fiyatlarının aylık değişim ve eğilimler verilmiştir.

1990 ve 2002 yılları arasında varil fiyatlarının 20 ABD Doları seviyesinde seyredildiği düşünülürse bu rakamlar yakıt giderlerinin nedeni arttığını ortaya koyacaktır (IATA, 2009). 1986-1998 yıllarında dar bir aralıkta değişen ve düşüş eğiliminde olan fiyatlar 1999 yılından itibaren artış eğilimine girmiştir. Bu nedenle veriler iki ayrı bölümde değerlendirilmiştir. 1999 yılından sonraki artış yüzünden uçak işletme giderlerinin %30’unu oluşturan yakıt giderleri 2008 ortası itibariyle işletme giderlerinin %50’den fazlasına tekabül etmiştir (IATA, 2009). THY’nin akaryakıt giderlerindeki değişim ise 2007-2011 yılları arasında toplan içinde %30 pay almıştır (THY, 2012).



Şekil 2 Jet yakıt fiyatlarında aylık değişim ve eğilimler (IATA, 2013).

Model

Bu çalışmada havayolu yolcu talebi, gelir ve jet yakıtı fiyatlarına bağlı olarak modellenmeye çalışılmıştır. Model 1 nolu bağıntı ile verilmiştir.

$$Y = (a * X_1^c + b * X_2^d) * S_i \quad (1)$$

Burada Y yolcu talebini, X_1 gelir, X_2 jet yakıt fiyatı, a, b, c, d model katsayıları ve S_i aylık indeks değeridir.

Çalışmada aylık indeksleme yapılmıştır. İndeksleme ile yolcu talebine, gelir ve jet yakıt fiyatlarının aylık bazdaki etkisi belirlenmiş ve model daha güvenilir hale getirilmiştir. İndeksleme için her ayın indeksi hesaplanmış ve bulunan değerlerin kurulan doğrusal olmayan modellerle çarpılması ile yolcu sayısı değerleri bulunmuştur. Tablo 3’de ise hedef hücre formülleri verilmiştir.

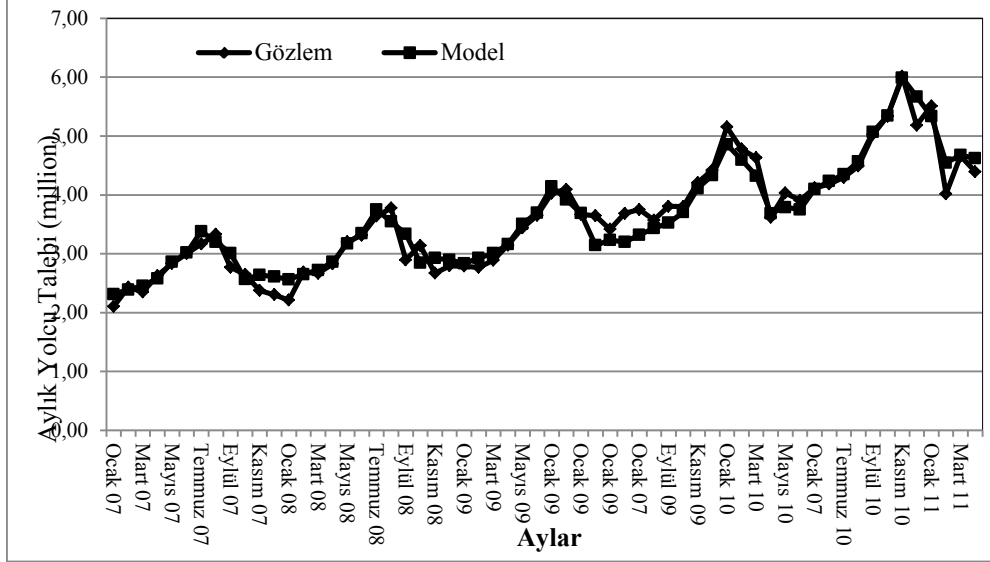
Tablo 3 Hedef Hücre Formülleri.

Hücre	Formül	Kopyalama
e		
G2	=J\$2*E2^J\$3+J\$4*F2^J\$5	G3:G241
J12	=SUMIF(\$B\$2:\$B\$109;I12;\$G\$2:\$G\$109)/COUNTIF(\$B\$2:\$B\$109;I12)	J12:J23
H2	=G2*VLOOKUP(B2;\$I\$12:\$J\$23;2)	H3:H241
I8	=SUMXMY2(H2:H109;D2:D109)	

Denklem (1)’de verilen model denkleminin çözücü menüsü ile çözülmesi sonucu a, b, c, d katsayıları ve indeks değerleri hesaplanmış ve denklem (2)’de verilmiştir.

$$Y = (50 * X_1^{0,0269} - 0,2 * X_2^{1,30}) * S_i \quad (2)$$

Denklem (2) ile elde edilen aylık iç hat yolculuk talepleri ile gözlem sonuçları Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3 Model ve gözlem sonuçlarının karşılaştırılması.

Geleceğe Yönelik Tahminler

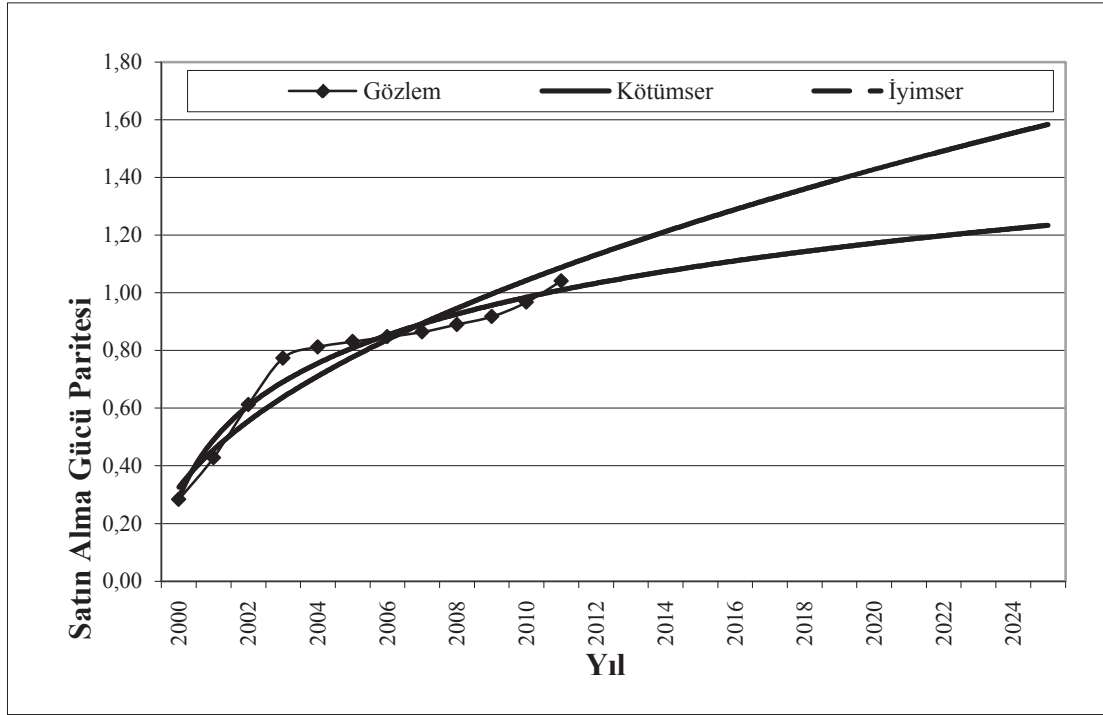
Gelir

Gelir parametresinin tahmini için 2 farklı zaman serisi yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan 3 ve 4 nolu bağıntılar iyimser ve kötümser yaklaşım olarak tanımlanmıştır. Şekil 4'te gözlem değerleri, iyimser ve kötümser yaklaşıma ait eğilimler ve geleceğe yönelik olarak hesaplanan gelir değerleri verilmiştir.

$$Y = 0,33 * X^{0,49} \quad R^2 = 0.93 \quad (3)$$

$$Y = 0,29 * \ln(x) + 0,29 \quad R^2 = 0.96 \quad (4)$$

Her iki modelinde gözlem periyodundaki performansı oldukça iyidir. Geleceğe yönelik tahminlerde iyimser model ile parite 1.58, kötümser model ile 1.23 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4 Satınalma gücü paritesi değeri modelleri ve gelecekteki değerler.

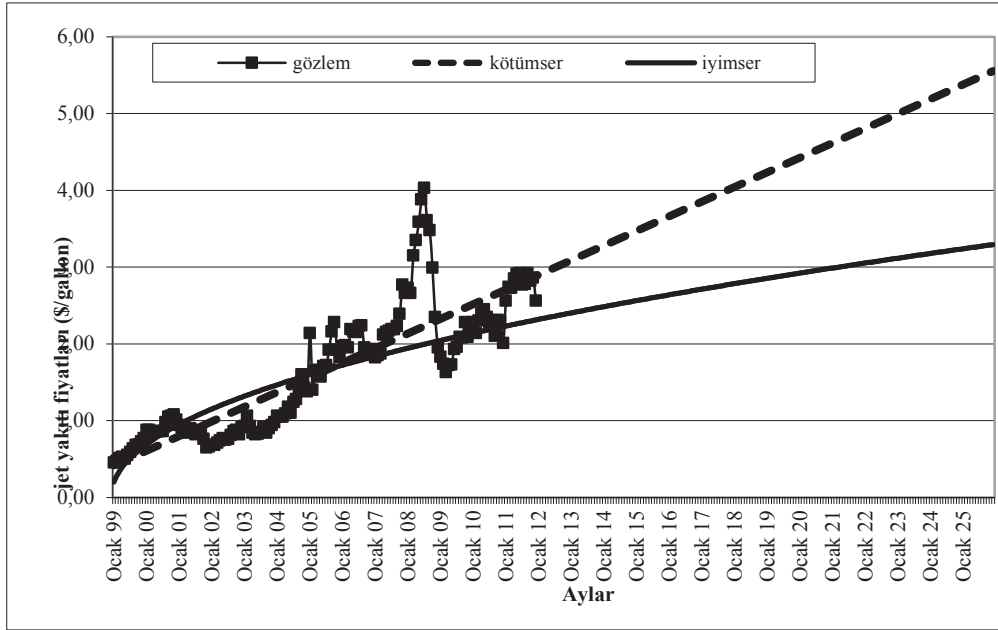
Jet Yakıt Fiyatları

Jet yakıt fiyatlarının belirlenmesi için gelir parametresindeki gibi zaman serileri kullanılmıştır. İki farklı zaman serisi yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan 5 ve 6 nolu bağıntılar iyimser ve kötümser yaklaşım olarak tanımlanmıştır. Şekil 5'te gözlem değerleri, iyimser ve kötümser yaklaşıma ait eğilimler ve geleceğe yönelik olarak hesaplanan gelir değerleri verilmiştir.

$$Y = 0,02 * X + 0,40 \quad R^2 = 0.75 \quad (5)$$

$$Y = 0,20 * x^{0,48} \quad R^2 = 0.72 \quad (6)$$

Herik modelin regresyon katsayıları 0.70 seviyesindedir. Model farklı parametrelerle iyileştirilebilir ancak bu çalışmada bu seviyedeki güvenilirlik yeterli görülmüştür. Jet yakıtları için kullanılan modeller yardımı ile hedef yıl olan 2025 yılı için jet yakıtı fiyatlarının 4,75\$ ile 3,29 \$ arasında olması beklenmektedir.



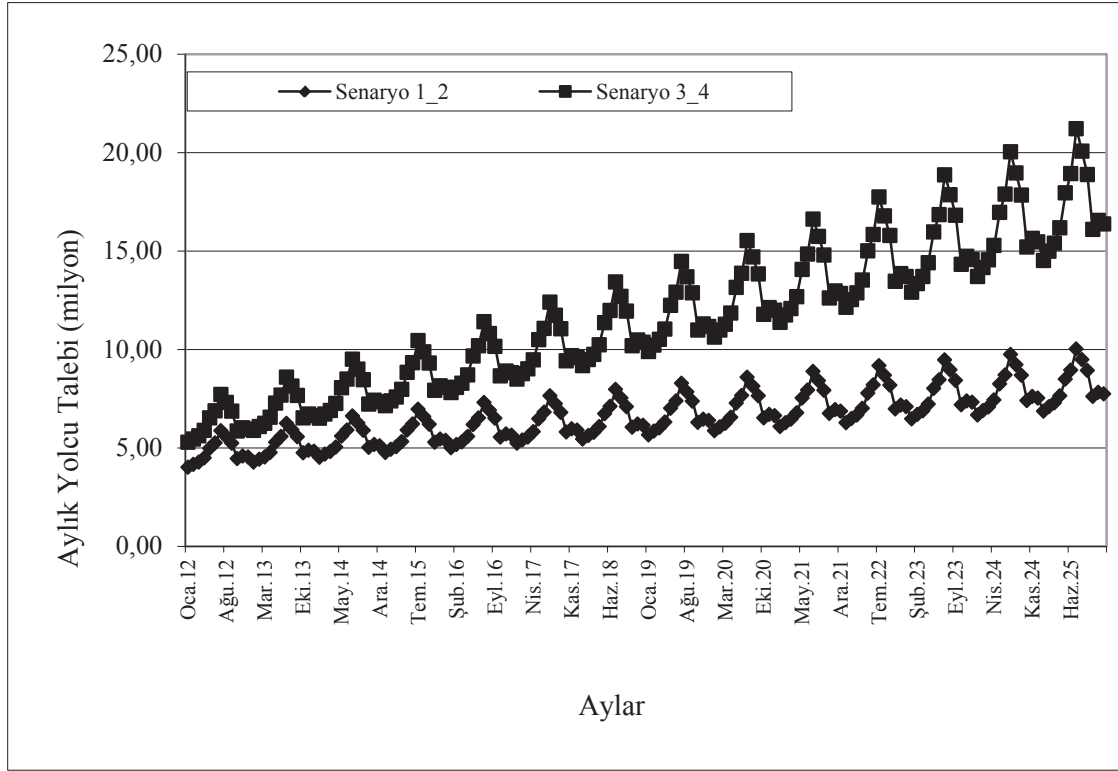
Şekil 5 Jet yakıt fiyat modelleri ve gelecekteki değerler.

Senaryolar

İç hat yolcu talebi, satınalma gücü paritesi ve jet yakıt fiyatlarına bağlı olarak 4 farklı senaryo altında 2025 yılına kadar tahmin edilmiştir. Senaryolar satınalma gücü paritesi ve jet yakıt fiyatlarındaki gelişmenin iyimser ve kötümser olması durumuna göre aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur;

- Senaryo 1: SGPI düşük, jet yakıt fiyatı yüksek
- Senaryo 2: SGPI düşük, jet yakıt fiyatı düşük
- Senaryo 3: SGPI yüksek, jet yakıt fiyatı yüksek
- Senaryo 4: SGPI yüksek, jet yakıt fiyatı düşük

1. ve 2. senaryo gelirin düşük olduğu kötümser yaklaşımı 3. ve 4. senaryo ise gelirin yüksek olduğu iyimser senaryoyu tanımlamaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Şekil 6'da verilmiştir. İyimser senaryo ile yapılan hesaplamalarda aylık talep maksimum $20 \cdot 10^6$ ve kötümser için $12 \cdot 10^6$ olarak hesaplanmıştır. Kullanılan model ile aylık değişimler tanımlanabilmiş ve geleceğe yönelik tahminlerde de bu değişim hesaplanabilmiştir.



Şekil 6 Senaryolar doğrultusunda hesaplanan aylık yolculuk talebi.

Sonuçlar

Çalışmada indeksleme yöntemi ile talebin aylık değişimleri başarı ile modellenmiş ve tahminlerde bulunulmuştur. Gelir değişkeni talebi pozitif etkiler iken jet yakıt fiyatları ile talep arasında ters orantı bulunmaktadır. Bunun nedeni yakıt fiyatlarındaki artışın bilet fiyatlarına yansımalarıdır.

Hava taşımacılığı son yıllarda gösterdiği hızlı gelişme ile karayolu sisteminin en güçlü alternatifi olmaya adaydır. Ülke politikalarının talebi etkilediği ulaştırma sektöründe giderler içinde büyük payı olan yakıt fiyatları üzerine geliştirilecek kontrol ve destek sistemleri talebin güçlü kalması noktasında büyük önem taşımaktadır. Sektörde iyimser senaryonun gözlenmesi durumunda hava taşımacılığı sistemi geliştirilen ve güçlenen demiryolu sistemi ile büyük rekabet yaşayacaktır.

Kaynaklar

Başkan, Ö., Haldenbilen, S. ve Ceylan, H. (2006) Ulaştırma Sektörünün Enerji Talebinin Modellenmesi ve Sürdürülebilir Politikalar, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi TÜRKİYE 10. ENERJİ KONGRESİ, 57-65 s.

Chi, J ve Baek, J (2012) Price and income elasticities of demand for air transportation: Empirical evidence from US airfreight industry, Journal of Air Transport Management, Cilt 20, 18-19 s.

Chieh-Yu Hsiao, C. and Hansen, M. (2011), A passenger demand model for air transportation in a hub-and-spoke network, Journal of Air Transport Management, Cilt 47, 1112-1125 s.

Haldenbilen, S. (1996) Denizli-İzmir Arası Yük Taşımacılığının Konteynerleşebilirliğinin Araştırılması ve Denizli Konteyner Kara Terminalinin Planlanması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 54s.

Haldenbilen, S. (2003) Genetik Algoritma Yaklaşımı ile Türkiye İçin Sürdürülebilir Ulaştırma Göstergelerinin Analizi ve Planlanması, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 146s.

International Air Transport Association, www.iata.org

OECD, www.oecd.org

Ortu'zar, J. and Simonetti, C (2008), Modelling the demand for medium distance air Travel with the mixed data estimation method, Journal of Air Transport Management, Cilt 14, 297-303 s.

THY Yönetim Kurulu Faaliyet Raporu, 2012

TÜİK (2013), Ulaştırma İstatistikleri, Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr

Yurttaş, B. (2007) Havayolu Ulaştırmasında Yolcuların Seçim Ölçütleri Üzerine Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 91s.

Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Çerçevesinde İzmir Yerel Gündem 21 Birlikteliğinde “İzmir’de Ulaşım”

H. Ergün Günan

Türkiye Trafik Güvenliği Vakfı Koordinatörü
(İşlevi sona eren; İzmir Yerel Gündem 21 Yürütme ve Kolaylaştırıcı Kurul Üyesi,
Ulaşım Çalışma Grubu Moderatörü)
853 Sokak, No: 27 Kat7/711 Konak-İzmir
0532 485 32 13
gunan@trafikguvenligi.org.tr

Öz

1997 yılında İzmir’de Yerel Gündem 21 Ulaşım Çalışma Grubu adıyla kurulan ve 2010 yılına kadar bunu devam ettiren grubun çıktıkları olan arama konferansları; İzmir’de ulaşımın kolaylaştırılması konusuna ışık tutmuştur. 1997 den 2010 yılına kadar ortaya çıkan çözüm önerileri; %70 le ifade edilecek bir oranda gerçekleşmiştir. Çalışmanın çıktıkları ise “Geçmişten Geleceğe İzmir’de Ulaşım” adı ile yayınlanmıştır. Bu çalışmada; Ege Üniversitesi, Ekonomi Üniversitesi ve Yaşar Üniversitesiyle, Esnaf ve Sanatkarlar Odasında gerçekleşen çalışmaların sonuçlarının detaylı olarak incelemesi hedeflenmiştir.

Giriş Gündem 21

1992 yılında Rio de Janeiro’da yapılan Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı’nın ‘Yeryüzü Zirvesi’nin bir ürünü olan Gündem 21: **sürdürülebilir gelişme kavramının** yaşama geçirilmesine yönelik küresel uzlaşmanın ve hükümetler arası politik taahhütlerin en üst düzeydeki ifadesi olan bir eylem planı niteliğini taşımaktadır. 21. Yüzyıl Gündemini oluşturmayı amaçlayan Gündem 21, bir demokrasi projesi olarak, insanların temel gereksinimlerinin karşılanmasını, yaşam standartlarının iyileştirilmesini, eko sistemlerin daha iyi korunmasını ve daha güvenli bir geleceğe ulaştırılmasını birlikte sorumluluk anlayışına dayandırmıştır.

Gündem 21; Sürdürülebilir gelişme hedefini gösterirken, bu hedefe ulaşmanın vazgeçilmez yöntemi olarak, **küresel ortaklık kavramını** gündeme getirmektedir. Bu kavram, geleneksel hiyerarşik bir ast-üst ilişkisine dayanan ‘idare merkezli’ yönetim yerine; bütünleşik yönetim kavramını da içinde barındıran çok aktörlü ortaklık veya **toplum merkezli yönetimi** öne çıkarmaktadır.

Birleşmiş Milletler belgelerinde yer aldığı şekliyle: hükümetler, yerel yönetimler, sivil toplum kuruluşları ve uluslararası topluluk arasındaki işbirliğinin geliştirilmesine ve halkın etkin katılımının sağlanmasına dayalı bir yaklaşım **yönetişim kavramını** yaşantımıza yerleştirmiş bulunmaktadır.

Bu yaklaşımlar ışığında İzmir Yerel Gündem 21 Büyükşehir Belediye Başkanlığı ev sahipliğinde 1996 yılında kurulmuştur. Çalışma prensibi ise:

1. Kentine Sahip Çık (Yeni Bir Bilinç),
2. Aktif Katılım (Yeni Bir Davranış),
3. Çözümde Ortaklık (Yeni Bir Anlayış)

aşamalarıyla şekillendirilmiştir.

Çalışmalar

Yerel Gündem 21 çalışma sistemi, 22 çalışma grubunun katkılarıyla sağlamıştır. Bu gruplardan birisi de **Ulaşım Çalışma Grubudur**. Ulaşım Çalışma Grubu, 1997 yılı başında kurulmuş ve çalışmalarına 2010 yılına kadar aktif olarak devam etmiştir.

Çalışmalar; arama konferansları (Şekil 1), kitap basımı, sempozyum bildiri sunumları, fuar ve sergilere katılım ve temsil şeklinde olmuştur. İzmir'in ulaşım ve trafik sorunlarını; kısa, orta, uzun vadede çözüme kavuşturacak tavsiye niteliğindeki arama konferansları; ortak akılla ortaya çıkarılmıştır. Katılımcılar; konuyla ilgili odalar ve benzeri sivil toplum kuruluşları, üniversiteler, kamu kurum ve kuruluşlarıyla ulaşımdan faydalanan halkın katılımıyla gerçekleşmiştir.



Şekil 1 Ekonomi Üniversitesi 1. arama konferansı.

1997 yılından, bugün içinde bulunduğumuz 2013 yılına kadar İzmir kentiçi ulaşımında meydana gelen değişiklikler oldukça önemlidir. Arama konferanslarının yapıldığı: 2003,2004 ve 2005 yıllarında ortaya atılan çözüm önerilerinin, bugün gelinen durumla karşılaştırıldığında, çok basit ve küçük ölçekli kaldığı söylenebilir. Ancak aşağıda detaylı olarak açıklanacak önerilerin bazılarının o gün için gerçekleştirilmesinin çeşitli kişi ve kuruluşlarca çok zor olduğu düşünülmekteydi. Bugün gelinen nokta ise geleceği düşünerek planları uzun vadeli yapmak ve her 5 yılda bir revize etmenin önemini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın sonraki kısımlarında gerçekleştirilmiş olan arama konferansları ve elde edilen sonuçlarla ilgili bilgiler sunulacaktır.

Arama Konferansları

1. Arama Konferansı, 26 NİSAN 2003 tarihinde *İzmir Ekonomi Üniversitesi'nde* “*Kent İçi Ulaşım Sorunları*” başlığı altında yapılmıştır. Konferans genel olarak 2 bölüme ayrılmıştı.

1. Alt Yapı Grubu

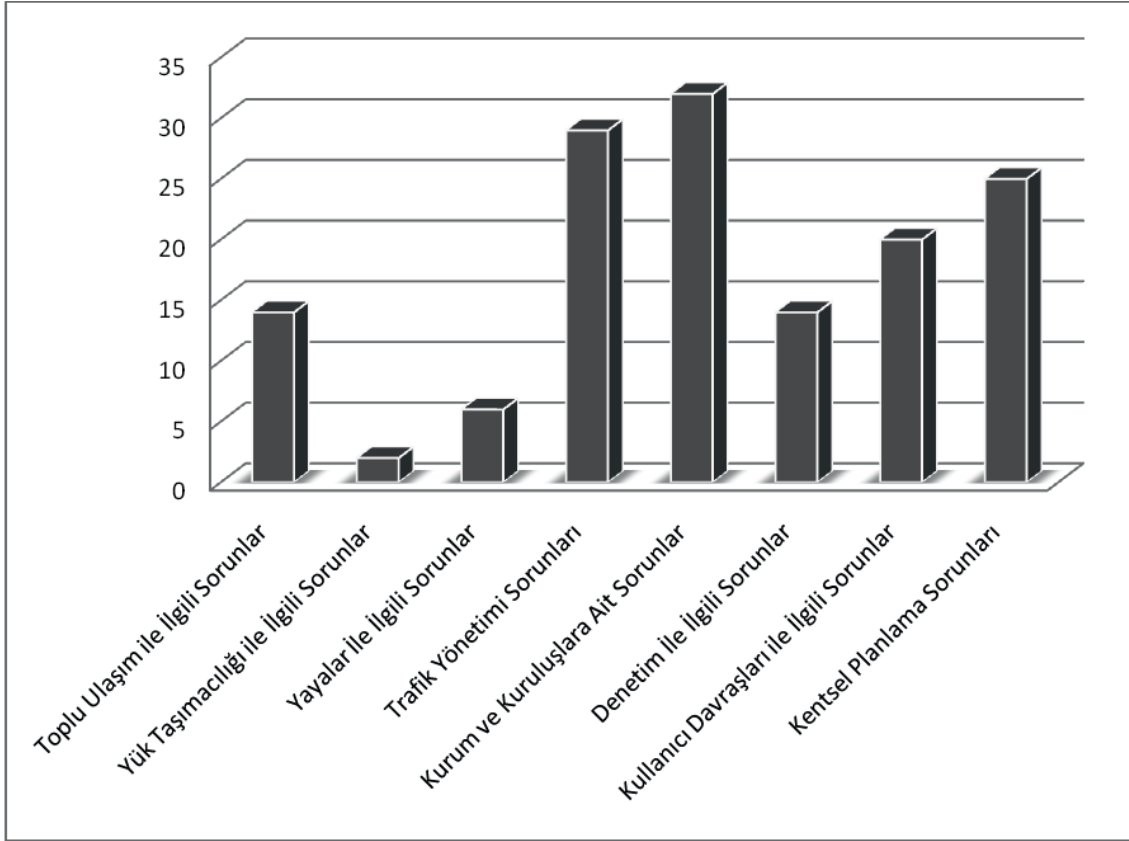
- a. Teknik hizmetler ve teknolojik gelişmelerden faydalanma
- b. Yolcu Ulaşımı Grubu
- c. Toplu taşıma
- d. Otobüs
- e. Demiryolları
- f. Yaya ulaşımı
- g. Metro
- h. Özel araç
- i. Servis araçları
- j. Deniz ulaşımı
- k. Ticari Yük Taşıma Grubu
- l. Kamyon
- m. Yükleme-Boşaltma yerleri
- n. Kamyonet
- o. Konteyner
- p. Kara ve deniz terminallerine ulaşım
- q. Akaryakıt ve LPG tankerleri
- r. Tır
- s. Kargo

2. Planlama Grubu

- a. Otopark
- b. Ulaşımın çevreye etkisi
- c. Ulaşımın ekonomiye etkisi
- d. Ulaşımında eğitim
- e. Toplumsal ve kültürel etkiler
- f. Ulaşımın Kamusal Sorunları
- g. Denetim
- h. Mevzuat
- i. Cezai uygulamalar
- j. Koordinasyon

1. Arama konferansında genel olarak sorunların ortaya konması ve sonraki arama konferansları için bir yol haritasının belirlenmesi hedeflenmiştir. Konferans sonucunda belirlenen sorunlar, Şekil 2'de görüldüğü biçimde gruplandırılabilir. Şekil incelendiğinde, sorunların genel olarak planlama ve mühendislik uygulamalarıyla ilgili olmalarının yanı sıra en fazla kurum ve kuruluşlara ait sorunların ön planda yer

aldıkları görülmektedir. Diğer önemli bir sonuç ise, kullanıcı davranışları ile ilgili sorunlarında önemli bir paya sahip olmasıdır.



Şekil 2 1. Arama konferansı sonucunda belirlenmiş olan ulaşım sorunlarının alt gruplara dağılımları.

2. Konferans; 14 Mayıs 2004 tarihinde **Yaşar Üniversitesinde “2. Kent içi Ulaşımında Çözümler Arama Konferansı”** adıyla yapılmıştır (Şekil 3 ve 4). 2. arama konferansı 4 ana başlık altında belirlenen konular çerçevesinde çözüm önerilerini tartışmıştır. Tartışmalar sonucunda ön plana çıkan çözüm önerileri aşağıda sıralanmaya çalışılmıştır:

1. Karayolu Ulaşımı:

Karayolu ulaşımı ile ilgili olarak mevcut karayolu ağının analitik yapısının incelenmesi ve uygulamada kullanılmamasının en önemli sorun olduğu öngörülmüştür. Bunun yanı sıra farklı alt başlıklar altında aşağıdaki çözüm önerilerinde bulunulmuştur:

A- İzmir Çevre Yolu ile İlgili öneriler

- İzmir çevre yolunun hızla tamamlanması ve AOSB ile Menemen arasında bağlantı kurulması
- Çevre yolunun Bornova ve Manisa bağlantılarının da yapılması.
- Çevre yolundan Bayraklı'ya giriş kavşağı yapılmalıdır.
- Buca ve Şirinyer' deki geçiş yoluna alternatif yol açılmalıdır.

- e) Kent girişlerine semt garajları ve kamyon garajları yapılmalıdır. (AOSB ve Pınarbaşı)
- f) Otoyolun Narlıdere-Urla arası ve Buca-Yazıbaşı arasının ücretsiz olması
- g) Kent içindeki yollar fonksiyonları itibariyle ayrıştırılmalıdır. Yol güzergahlarına tanımlanan role göre trafik yükü verilmelidir.
- h) Yeşildere-Osman Kibar kavşağının kent içi ve şehirlerarası karayoluna uygun hale getirilmesi. Manisa yolunun çevre yoluna bağlanması

B- Karayolu ağı ile ilgili genel öneriler:

- a) Transit geçişler kent dışından olacak şekilde yönlendirilmelidir.
- b) Kavşak yeri, tipi hitap edeceği yolun tamamı göz önüne alınarak yapılmalıdır.
- c) Şehirlerarası karayolundan, limandan ve iskelelerdeki kent içi transit geçişlerinde daha hızlı hareket etmelerini sağlayacak işaret levhalarının ve sinyalizasyonun monte edilmesi gereklidir.
- d) Her türlü kavşağın standartlara uygun olarak yapılması.
- e) Yeşil dalga akıllı trafik sistemlerinin yaygınlaştırılması.
- f) Demiryolu hemzemin geçitlerinden yoğunluğu az olanların kapatılması, diğerlerinin mutlaka köprülü hale getirilmesi.



Şekil 3 Yaşar Üniversitesi Konferans ilanı.

C- Mevcut karayolu altyapısının tamamlayıcı unsurlarda standardizasyona gidilmesi ve uygulamada büyükşehir ve ilçe belediyeleri içinde eşgüdümüne gidilmesi

- a) Metro, otobüs ve toplu ulaşım noktalarına otoparklar yapılmalı, aracını otoparka bırakanlar toplu ulaşımdan ücretsiz faydalanmalı.
- b) Fiilen otopark olarak kullanılan ve trafik geçiş imkanı ortadan kalkmış yol güzergahları (sokak) derhal yeni düzenleme ile yay yolu haline getirilmelidir.
- c) Otopark altyapısını destekleyen kurumlar içinde birim oluşturulması.
- d) Otopark yapımının teşvik edilmesi.
- e) Bölgeye ve arza göre fiyat belirlenmesi.



Şekil 4 Yaşar Üniversitesi Çalıştayında bir kahve molası.

- D- Otopark yönetimi programlarının geliştirilerek, kademeli olarak uygulanması:
- a) Kaldırımların işgalinin önlenmesi.
 - b) Yol ve kaldırımların engellilerin rahatça kullanabileceği şekilde TSE standartlarına uygun şekilde yapılması.
 - c) Metro, vapur iskelesi, önemli otobüs durakları, tren istasyonlarına korumalı bisiklet parklarının yapılması.
 - d) Bisiklet ve engelli araçları için güvenli ulaşım akslarının ve kavşak geçişlerinin yapılması.
- E- Ulaşım ve trafik açısından özel erişme alanlarının sınırlandırılması, engellilere yönelik düzenlemeler yapılması, yaya- bisiklet vb. sistemlerin özendirilmesi.
- F- Planlarla önerilmiş karayolu güzergah ve kavşaklarının uzun ve kısa vadeli ihtiyaçlar açısından yeniden projelendirilmesi ve uygulamanın hızlandırılması.
- G- Karayolu sisteminin genel ulaşım sistemi içindeki konumunun uzun vade için hedeflenmesi.

2. Raylı Sistemler

- A. En geç 1990 yılında tamamlanması planlanan Aliğa-Basmane hattının ivedilikle tamamlanması ve eksikliklerinin giderilmesi.
- B. Şehirlerin gelişme süreci içinde geleneksel olarak korunması gerekli raylı sistem koridor ve hizmet alanlarının İzmir yerelinde geliştirilerek sürdürülmesi.
- C. Raylı sistemlerin genel ulaşım sistemi içindeki konumunun uzun vade için hedeflenmesi.

3. Deniz Ulaşımı

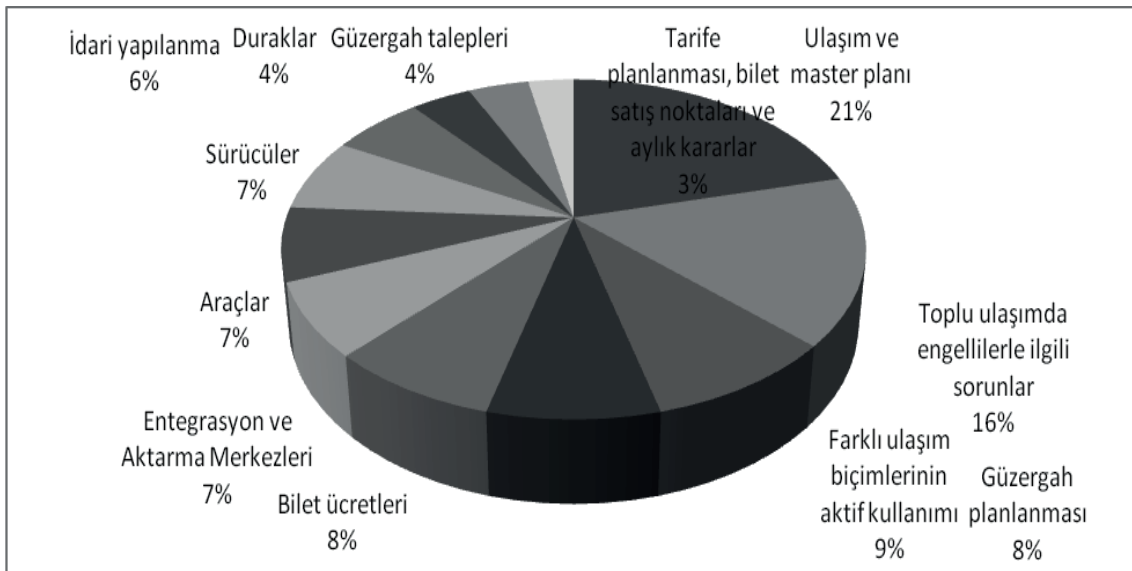
- A. İzmir körfezinin ulaşım ortamı olarak varlığını sürdürmesi için gelişi güzel dolgu yapılmaması, mutlak bir kıyı çizgisi oluşturulması, gerekli yerlerde derinleştirilmesi.
- B. Kuzey koridoru içinde deniz ulaşımının daha etkin kullanılması.
- C. Bütünleşik kıyı yönetiminin etkinleştirilmesi.
- D. İzmir limanının nihai kapasitesi belirlenerek, kıtalararası talepler için bölgesel liman yerinin ivedilikle belirlenmesi, uygulamaya geçilmesi, Alsancak Limanı turizm ağırlıklı hale getirilerek, yakın hinterlant yükleri açısından işlevini koruması .
- E. Körfez içi trafiğin düzenlenmesi.
- F. Karayolu sisteminin genel ulaşım sistemi içindeki konumunun uzun vade için hedeflenmesi.

4. Havayolu Ulaşımı

- A. Çağdaş teknolojinin gerekleri yerine getirilerek ulaşım altyapısının, dinamik bir süreç içinde ortaya çıkan ve çıkacak talep tahminlerinin ve hesaplamaların sonuçlarına göre ağırlıkların ve önceliklerin belirlenmesi gerekmektedir.
- B. Bunun gereği olan bir kurumsal yapının, bilgi karar süreci içinde, oluşturulması ve sürekli kılınması gereklidir.

5. Toplu Ulaşım

Çalışma grubumuzu oluşturan 15 katılımcı 1. Arama Konferansı sonucunda belirtilen 43 adet toplu ulaşım sorununu gözden geçirerek aşağıdaki şekilde sınıflandırmıştır.



Şekil 5 Toplu Ulaşım Sorunları.

Öncelikler sırasına göre İzmir Toplu Ulaşımına ilişkin sorunlara aşağıda yer alan çözüm önerileri getirilmiştir:

A. Ulaşım Ana Planı Eksikliği:

İzmir kentinin mevcut ve gelecekteki ulaşım ihtiyaçlarını karşılayacak, 2030 hedefli, fiziki planla uyumlu ulaşım master planı acilen hazırlanmalıdır. Bu planda:

- a) Otobüs, metro, deniz ulaşımı, bisiklet ve yaya aksları saptanmalıdır.
- b) Engelli vatandaşların ihtiyaçları göz önüne alınmalıdır.
- c) Aktarma noktaları organize edilmelidir
- d) Demiryolu hemzemin geçitlerinin mutlaka alt ve üst geçitler olarak çözümlenmesi gereklidir.
- e) Raylı sistemin sanayi ve ticaret bölgeleri ile Şehirlerarası Otobüs Terminaline de ulaştırılması gereklidir.

B. Toplu Ulaşımında Engellilerle İlgili Sorunlar:

- a) Engelli Otobüsleriyle ilgili güzergah, tarife vb. bilgilerin duraklarda bulundurulması gereklidir.
- b) Araç-durak-yol ve kaldırım tasarım ve imalatının engellilere yönelik yapılması gereklidir.
- c) Görme engelliler için sesli, işitme engelliler için görsel uyarı sistemleri gereklidir. (araç içi-durak- sinyal vs.)

C. Farklı Ulaşım Biçimlerinin Aktif Kullanımı:

- a) İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin uygulamakta olduğu "Ulaşımında Entegrasyon Projesine" devam edilmelidir.
- b) Kaldırımların yaya ulaşımına uygun hale getirilmesi gereklidir.
- c) Bisiklet kullanımının yaygınlaştırılması için fiziki koşullar yaratılmalıdır.

D. Güzergah Planlanması

- a) Şehir zonları arasında seyahat ilişkisinin doğru planlanarak bütün toplu taşıma araçları için doğru güzergah konmalıdır.
- b) Ulaşım türlerinin daha etkin kullanılacağı güzergah belirlenmelidir.

E. Bilet Ücret Tarifeleri

- a) Bilet ücretlerinde sosyal politika izlenmelidir
- b) Akıllı bilet sistemi geliştirilerek, zaman tarifeli (ayarlı) olarak ulaşım türleri arasında indirim imkanı sağlanmalıdır.
- c) Günlük bilet sisteminin uygulanması önerilmektedir.
- d) Otopark etme ile akıllı bilet sistemi birleştirilmelidir. (park and ride)

F. Entegrasyon ve Aktarma Merkezleri

- a) Bisiklet ulaşımının toplu taşınım ile bütünleştirilmesi gereklidir. (park yerlerinin yapılması ve park güvenliğinin sağlanması)
- b) Aktarma merkezlerinde yeterli otopark alanları düzenlenmelidir.
- c) Entegrasyonda mutlaka deniz, otobüs, metro devamlılığının sağlanması gereklidir. (mevcut durumun revizyonu ile birlikte)

G. Araçlar

- a) Araçlarda basamak, klima, temizlik vb. konfor unsurlarının eklenmesi kolay ve gereklidir.
- b) Otobüslerin, servis araçları ve diğer resmi araçların çevreye duyarlı halde bulundurulması sağlanmalıdır. (gürültü ve egzoz gibi)

H. Sürücüler

- a) Engellilere davranışlarda azami özen gösterilmelidir.
- b) Daha çok bayan sürücü bulunmalıdır.
- c) ESHOT'ta olduğu gibi; özel servis araçlarındaki sürücüler de periyodik olarak psiko-teknik testten geçirilmelidir.

I. İdari Yapılanma:

- a) Kent toplu taşıma idaresinin bir tek idare altında toplanması gerekir. (yerel idare)

J. Duraklar

- a) Duraklarda zaman-hat-fiyat tarifelerinin bulundurulması gereklidir.
- b) Kapalı durak sayısının artırılması gereklidir.
- c) Duraklara belli aralıklarla otomatik bilet makineleri konulabilir.
- d) Özel toplu taşıma araçlarının durakları ayrı olarak düşünülmelidir.

K. Güzergah Talepleri

- a) Yeni güzergah taleplerinde verimlilik esasına göre karar verilmelidir.
- b) Yeni yerleşim birimlerine güzergah verilmesinde alternatif ulaşım biçimleri de dikkate alınmalıdır.

Son olarak toplu taşımada enerji ve satın alma maliyetlerinin yüksek olması sorununun çözülmesi gerektiği vurgulanmıştır.

6. Ticari Taşımacılık (Yük-Yolcu ve Servis Taşımacılığı)

- A. Taksi taşımacılığının yönetmelik ile düzenlenmesi.
- B. Duraklarda taksi denetim eksikliğinin giderilmesi,
- C. Kent içi ulaşımında yoğun rol alan ticari araç sürücülerinin sürekli eğitimlerinin olmaması,
- D. Taksi Yönetmeliği'nde gerekli denetim şartlarının belirtilmesi
- E. Taksi ile seyahat eden vatandaşların şikayetlerini iletebilmeleri için araçlarda: İzmir Şöförler ve Otomobilciler Odası'nın telefon ve adresi ile araç plakasının yazılı olduğu belgeler konulması
- F. Servis ve ticari araç sürücülerinin eğitimi ve değerlendirilmesi
- G. Servislerin ulaşımında yaşadığı sorunlar
- H. Taksiler için çağrı sisteminin oluşturulması
- İ. Yolcu taşımada kullanılan minibüslerin ve taksilerin genel ulaşım politikasındaki yerlerinin değerlendirilmesi
- J. Ticari araçların liman giriş çıkışlarının düzenlenmesi ve denetlenmesi
- K. Ticaret merkezlerine toplu taşıma imkanlarının yetersizliği
- L. Sanayi ve ticaret bölgelerinde ulaşım sorunlarının giderilmesine yönelik mühendislik ve yönetsel uygulamaların hayata geçirilmesi

7. Eğitim, Denetim ve Koordinasyon

- A. Sürücü kurslarıyla bir toplantı yapılması. Toplantının amacı; sürücü kurslarının eğitim ve denetime bakış açılarının öğrenilmesi
- B. İlköğretim okullarında verilen trafik dersinin mevcut altyapıya ek teknolojilerle verilmesi.
- C. Üniversite gençliğinin trafik ve yardım konusunda bilinçlendirilmesi için mevcut 5 üniversitede aynı zamanda 1 hafta süresince etkinlik düzenlenmesi
- D. Sivil vatandaşların katıldığı kurslarda yaya geçidi ve trafik işaretlerinin kullanımıyla ilgili eğitim yapılması,
- E. Eğitim yapılacak bir Mega-Pist inşası (Proje geniş kapsamlı olarak düşünülmüştür. İçerisinde sürücülerin pratik yapacakları ve deneyim kazanacakları değişik formatlarda hazırlanmış olan pistleri içermesi düşünülmektedir.)
- F. **“Trafikte örnek insan adacıkları ve örnek yöneticiler”** projesi. (bir örnek vermek gerekirse Sayın Erdal İnönü'nün milletvekilliği döneminde aracını kırmızı ışıkta durdurması sonucunda pek çok milletvekilinin bu örnek davranışı benimsemesi)
- G. Ticari araçlarda bulunan şikayet telefonlarının işlevsel hale getirilmesi,
- H. Ticari araç işverenlerinin (birey ya da firma) trafik kurallarına duyarlılığa davet edilmesi.
- İ. Altyapı yatırımlarını yapan birimlerin, yaptıkları yatırımların işletilmesine katkıda bulunmaları.
- J. Yerel yönetimlerin ilgili sivil toplum kuruluşlarının belirli bir yerel kanalda belirli bir saatte trafik eğitimi yayını yapmasının sağlanması.
- K. Şehir içinde yayaların araçlardan daha öncelikli olduğu kampanyalar tüm trafik gönüllülerince desteklenmeli.
- L. Trafik işaretleri görülebilir ve yönlendirici olmalı. İşaretlerin yerinde ve yeterince sık kullanımı sağlanmalı.
- M. Kazaların ve kara noktaların olduğu bölgelerde teknolojik olanaklar kullanılarak hızlı ve doğru bilgilendirme yapılmalı



Şekil 6 Esnaf ve Sanatkarlar Odası'nda bir çalışma.

“3. Arama Konferansı, İzmir’de Otopark Sorunları ve Çözümleri”

05 Mayıs 2005 tarihinde **Esnaflar ve Sanatkarlar Odası’nda** gerçekleştirilen “İzmir’de Otopark Sorunları ve Çözümleri” konulu arama konferansında gruplar oluşturularak, aşağıdaki şekilde belirtilen çözümlere ulaşılmıştır.

- A. Şehrimizin tam bir master planı bulunmamaktadır. İmar planlarında kayıtlı otoparklar vardır, fakat işletim planları geliştirilmemiştir.
- B. Kent merkezine araçlar girmemelidir. Bu nedenle mevcut otoparklar planda bu merkezin çevresine yerleştirilmiştir. Bölgesel imar planına işlenmiş otoparklar hayata geçirilmelidir.
- C. 1 araca 20 m². alan gerekir. Şehir merkezine giren tüm araçlara park oluşturulması mümkün değildir. Bunun için toplu taşıma sistemine entegre ulaşım planına göre otoparklar yapılmalıdır.
- D. Metro, vapur gibi toplu taşıma aktarma noktalarına otoparklar yapılmalıdır.
- E. Otomobil sahipliği Türkiye’de çok düşüktür. Gelecekte araç sayısının artacağı kesindir.
- F. Arazi kullanımı ile ulaşım birbirinden ayrılmamalı, master planda yer verilmelidir.
- G. Kayıt dışı otopark sayısını ve kapasitesini gösterir envanter çıkarılmalıdır. Park talebinin ne olduğu araştırılmalıdır.
- H. İhtiyaca ve planlamaya göre yeraltı otoparkları yapılmalıdır.
- İ. Toplu ulaşımın bulunmadığı spor salonlarının altlarına otoparklar yapılmalıdır.
- J. Yeni yapılan bina ve tesislerde otopark zorunluluğu mutlaka olmalı, cezalar ile muaf tutulmamalıdır.
- K. Büyük şehirlere kayıtlı otomobillerin ödediği vergilerin bir kısmı otopark bedeli olarak belediyelere aktarılmalıdır.
- L. Okul bahçeleri; çocukların oyun alanlarıdır, otopark yapılamaz. Bu tür uygulamalar çocukların sağlıkları açısından sorun yaratmaktadır. (Egzoz dumanı, gürültü vb.)
- M. Otoparkları işletenlerin öğrencilere nasıl davrandıkları ve ne şekilde yönlendirdikleri belli değildir.
- N. Okul bahçeleri okul saati veya dışı kesinlikle otopark olarak kullanılmamalı, bu alanlar oyun sahası olarak değerlendirilmelidir.
- O. Bazı özel otoparkların boş olmasının sebebi; işletmecilerce farklı ücretlendirmedir. Tek tarife uygulanmalıdır. Sokaklar ise ücretsizdir.
- P. Ücretlendirme saatli olmalıdır.
- Q. Yerleşim alanlarına göre farklı ücretlendirme olmalıdır. Şehir merkezi pahalı, şehir dışı daha ucuz olmalıdır.
- R. Vapur ve metro istasyonlarında otoparkları kullananlar, ulaşım sistemlerinden ücretsiz faydalanmalıdır.
- S. Katlı otoparkların ulaşımını özendirme için kısa mesafeli servisler konmalıdır.
- T. Otoparklarda güvenlik sorunu vardır. Kolluk güçlerince otoparkların güvenliği sağlanmalıdır.
- U. Bazı sokaklar korsan otopark olarak işletildiğinden, tamamen trafiğe kapatılmalı, yaya trafiği özendirilmelidir.

Sonuç

Sonuç olarak; İzmir'i ve İzmirliyi iyi tanıyan ulaşım konusunda uzman kişilerin veya kurumların birlikte çözüm üretmeleri, pilot bölge uygulamaları ile, çalışmalarını denetlemeleri, değişiklikleri revize etmeleri ve yenilenebilir ulaşım politikaları üretmeleri zorunludur.

Teşekkür Bu çalışmalara verdikleri destekten dolayı; Ege, Dokuz Eylül, Ekonomi, Yaşar ve Yüksek Teknoloji Üniversitelerine, İzmir Ticaret Odası'na, İzmir Esnaf ve Sanatkarlar Odası'na, İzmir Şoförler ve Otomobilciler Odası'na, TMMOB İzmir Makine Mühendisleri Odası'na, İzmir Yerel Gündem 21 Ulaşım Çalışma Grubunun Değerli Üyelerine, İzmir Emniyet Müdürlüğü Trafik Denetleme Şube Müdürlüğüne, Türkiye Trafik Güvenliği Vakfı'na ve özellikle Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Sayın Serhan TANYEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

“Geçmişten Geleceğe İzmir’de Ulaşım” İzmir Yerel Gündem 21 yayınları 2007

İzmir Emniyet Müdürlüğü Trafik Tescil Şube Müdürlüğü (İstatistik Bölümü)

Ulaşım Talebinin Belirlenmesinde Erişebilirlik ve Arazi Kullanım Modellerinden Yararlanılması

Görkem GÜLHAN, Halim CEYLAN

Pamukkale Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Denizli
Tel: (258) 296 34 36
E-Posta: ggulhan@pau.edu.tr

Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli
Tel: (258) 296 33 51
E-Posta: halimc@pau.edu.tr

Yıldırım ORAL

Dokuz Eylül Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, İzmir
Tel: (232) 301 84 34
E-Posta: yildirim.oral@deu.edu.tr

Öz

Kentsel ulaşım talebinin doğru bir şekilde belirlenmesi kentsel yatırım kararlarını etkileyen en önemli etkenlerden birisidir. Seyahat dağılımı, Tür Seçimi ve Trafik Ataması süreçleri hem günümüzdeki, hem de kestirim yılındaki ulaşım talebi belirlendikten sonra şekillenen adımlardır. Gelecekteki ulaşım talebini bulmak için kestirim yapılırken nüfus, araç sahipliği, gelir ve öğrenci sayısı gibi pek çok bağımsız değişkenden yararlanılmaktadır. Buna karşılık, gelişen ulaştırma bilimi, değişken olarak yeni kavramlar üretmekte ve bu kavramları kendi kurallarıyla bütünleştirmektedir. Erişebilirlik ve arazi kullanım modelleri, günümüzde öne çıkan bu kavramlardandır. Yolculuk yaratımı ile çekimi, demografik verilerle olduğu kadar erişebilirlik verileriyle de ilişkilidir. Bir zonun erişebilirliğinin artması insanların o zona olan seyahat isteklerini arttırmakta, insanların o zonu yaşamak için seçmelerini sağlamakta ve böylelikle zonun ürettiği ve çektiği seyahat miktarı da artmaktadır. Bu nedenle erişebilirlik kavramı kentsel ulaşım talebinin belirlenmesinde yararlanması gereken önemli bir parametredir.

Bu çalışmada erişebilirlik ve arazi kullanım parametrelerinin yolculuk yaratımı ve çekimi ile ilişkisi araştırılmıştır. Bu ilişkiden faydalanarak hangi parametrenin bağımsız değişken olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir. Yerleşkeye gelecek ek nüfusu hesaplayan Hansen Modeli, yerel işgücü büyüklüğü ile dağılımını bulan Lowry-Garin Modeli ve Potansiyel Erişebilirlik ölçütü kullanılmıştır. Aynı zamanda bu süreçte, mevcut yolculuk yaratımı ve çekimi ile ilişki kurularak duyarlılık parametrelerinin tespiti yapılmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki, erişebilirlik ve arazi kullanım modelleri ile yolculuk yaratımı/çekimi arasında güçlü bir ilişki vardır. Gelecekteki üretim/çekimin belirlenmesi ve duyarlılık parametresinin belirlenmesinden bu ilişkiden faydalanılabilir.

Anahtar sözcükler: Yolculuk yaratımı, Erişebilirlik, Arazi kullanım, Duyarlılık parametresi.

Giriş

Kentsel ulaşım talebi ile ulaşım yatırımları mekansal, ekonomik ve teknik yetersizlikler nedeniyle senkronize olarak büyüyemeyen iki olgudur. Kentsel ulaşım talebi günümüzde kentleşme hızıyla paralel olarak artmakta fakat buna karşılık yatırımlar ise kısıtlı kalmaktadır. Özellikle geçmiş yüzyıllar öncesine dayanan kentlerimizde, ekonomik ve konutsal alanların iç içe geçmiş olması ve açılan yeni konutsal alanların gerektirdiği ulaşım altyapısının, entegrasyonlu düzenlemeler yerine ilavelerle karşılanması, kent içi ulaşım performansının giderek azalmasına sebep olmaktadır (Özuysal, 2010). Kuşkusuz bu açığı gidermenin en önemli aracı etkin bir ulaşım planlaması yapmak ve ulaşım talebi kestirimlerinin isabet oranını arttırmaktır.

Ulaşım talebi kestirimlerinde demografik ve mekansal verilerden bağımsız değişkenler olarak yararlanılmaktadır. Günümüzde ulaşım özelliklerini derinden etkileyen ulaşım araçları ya da çok yüksek çekim özelliklerine sahip arazi kullanışları, nedeniyle bölgelerin erişilebilirlik değerleri büyük farklar gösterebilmektedir. Bu tarz farklılıkları da değerlendirebilmek için erişilebilirlik ve arazi kullanım modelleri ulaşım planlaması içerisinde gün geçtikçe daha fazla kullanılmaktadır (Litman, 2010).

Erişilebilirlik (ya da sadece erişim) olanaklar olarak tanımlanan ürünlere, hizmetlere, aktivitelere ve hedeflere ulaşım kolaylığını temsil etmektedir. Etkileşim ve karşılıklı alıp verme için potansiyel olarak da tanımlanabilir (Litman, 2010). Erişilebilirlik ulaşım planlaması, şehir planlama ve coğrafya gibi pek çok alanda kullanılmış bir kavram olup özellikle karar sürecinde önemli rol oynamaktadır (Geurs ve Van Wee, 2004). Günümüzde ulaşım planlamasında önemli bir etken olabilecek erişilebilirlik kavramı bu süreçte özellikle ülkemizde ihmal edilmektedir. Bu ihmalin sebeplerinden en önemlileri alınacak kararların sonuçlarını kestirmeyi sağlayacak rasyonel sistemlerin olmayışı ve konu hakkında erişilebilirliğin tahminine yönelik belirli bir rasyonel fikir oluşturacak çalışmanın eksikliğidir. Erişilebilirlik arazi kullanım ve ulaşımın ortak sonucudur. Genellikle ulaşım boyutu direnç olarak tanımlanmakta ve seyahat süresi veya uzaklığı ile temsil edilmektedir. Arazi kullanım boyutu ise çekicilik, fırsat ve aktivite olarak tanımlanmaktadır (Bath ve diğ., 2001). Erişilebilirlik ölçütleri ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar lokasyon erişilebilirliği (Song, 1996; Handy ve Niemeier, 1997), bireysel erişilebilirlik (Pirie, 1979; Kwan, 1998) ve ekonomik fayda (Koeing, 1980; Niemeier, 1997) perspektiflerinden erişilebilirliği ele almışlardır. Erişilebilirlik performansının ölçülmesine yönelik altyapı temelli, birey temelli, fayda temelli ve lokasyon temelli ölçütler geliştirilmiştir. Geurs ve Van Wee (2004) bu ölçütleri tanımlayarak, ilgili bileşenlerin uygun perspektifte ele alınması gerektiğini belirtmiştir.

Arazi kullanım modelleri erişilebilirlik indeksinden yola çıkan modellerdir. En bilinenleri Hansen Modeli (HM) ve Lowry-Garin Modeli (LGM)'dir. HM erişilebilirlik indeksi, gelişme potansiyeli, ticari talep ve onun doğurduğu konut talebini belirlemektedir (Hansen, 1959). Model erişilebilirliği temel olarak nüfus talebini hesaplamakta ve alansal dağılımını yapmaktadır. LGM ise mekansal etkileşimi ekonomik-temel kavramı ile bütünleştirmektedir (Çubukçu, 2008). Model kentsel aktivitelerin büyüklüğüne dair hem öngörü hem de aktivitelerin mekansal atanmasına ilişkin sonuçlar üretmektedir (Lowry, 1964).

Yolculuk yaratımında erişilebilirlik ve arazi kullanım modelleri gibi kavramların değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirmeye yönelik yöntem ve teknikler,

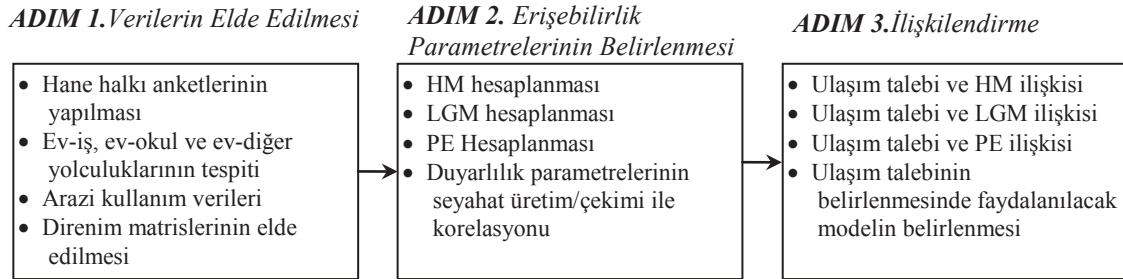
erişebilirlik kavramına ve uygulamalarına yeni bir bakış açısı getireceği için gerekmektedir.

Bu çalışmada, orta ölçekli bir sanayi ve ticaret kenti olan Denizli'de erişebilirliğin arazi kullanım ve ulaşım ile ilişkisi araştırılmış olup, erişebilirlik ile ilgili ölçütlerin ulaşım planlaması sürecine dahil edilebilmesine yönelik sorgulamalar yapılmıştır. Erişebilirlik ve arazi kullanım ölçütlerinin ulaşım planlaması ile ilişkisi ve bu ölçütlerin süreç içerisinde ne kadar anlamlı oldukları araştırılarak bazı ilkesel ve genel yargılar oluşturulmuştur. HM, LGM ve Potansiyel Erişebilirlik (PE) değerleri zonal bazda hesaplanarak seyahat üretim ve çekim değerleri ile ev-iş, ev-okul ve ev-diğer grupları altında ilişkilendirilmiştir. Erişebilirlik ve arazi kullanım modellerinin duyarlılık parametrelerinin belirlenmesinde yolculuk yaratımı/çekimi ile aralarındaki ilişkiden faydalanılmıştır. Çalışmada aynı zamanda literatürde belirtilen erişebilirliğe dair iletişim, anlaşılabilirlik ve yorumlama eksikliği gözetilmiş ve genel kurgu bu doğrultuda oluşturulmuştur.

Metodoloji ve Çalışma Alanı

Metodoloji

Bu çalışma 3 aşamalı bir analiz yöntemi oluşturularak erişebilirlik ve arazi kullanım modellerinin ulaşım talebi ile olan ilişkisini incelemiştir. Oluşturulan üç aşamalı akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1 Akış şeması.

Adım 1;

Hane halkı anketlerinden ev-iş, ev-okul ve ev-diğer yolculukları ile kente ait demografik veriler elde edilmiştir. Toplam veri grubu içerisinde Hane Halkı Anketleri(hha)'ne ek olarak arazi kullanım bilgileri Hali Hazır Haritalar ve İmar Planı Revizyonları'ndan elde edilmiştir. Direnim matrisleri doğrudan uzaklık ve dolaylı uzaklık olmak üzere iki şekilde ölçümlenmiştir.

Adım 2;

Bu adımda HM ve LGM ve PE hesaplamaları yapılmış ve duyarlılık parametrelerine göre sonuçlar elde edilmiştir.

HM erişebilirliği temel alarak nüfus talebini hesaplamakta ve alansal dağılımını yapmaktadır. Nüfus ve işgücü arasındaki ilişki erişebilirlik endeksi ile belirlenir. i mahallesi için erişebilirlik endeksi (A_i) Denklem 1' de verilmiştir.

$$A_i = \sum_{j=1}^n E_j \cdot d_{ij}^{-\alpha} \quad (1)$$

Burada E_j , j mahallesindeki toplam işgücü sayısını (ekonomik aktivite büyüklüğü), d_{ij} , i mahallesinden j mahallesine olan uzaklığı, α duyarlılık parametresi ve n kentteki mahalle sayısını simgelemektedir. i mahallesinin gelişme potansiyeli Denklem 2'deki şekildedir.

$$D_i = A_i \cdot H_i \quad (2)$$

Burada H_i , i mahallesindeki yerleşime uygun konut alanlarıdır. Model yerleşime uygun konut alanlarını, mahallenin taşıma kapasitesi olarak adlandırmıştır. i mahallesinin çekeceği nüfusun toplam ek nüfus içindeki payı R_i , Denklem 3 ile hesaplanabilir.

$$R_i = \frac{A_i H_i}{\sum_{j=1}^n A_j H_j} = \frac{D_i}{\sum_{j=1}^n D_j} \quad (3)$$

Kente eklenecek toplam ek nüfus GT ile gösterildiğinde, i mahallesine yerleşecek nüfus yani G_i Denklem 4'de gösterilmektedir.

$$G_i = GT \cdot R_i \quad (4)$$

LGM modelinin kurgusunda ise iki önemli kavram büyük rol oynamaktadır bu kavramlar nüfus-işgücü oranı (işgücüne katılım oranı) ve nüfus-servis (nüfus-yerel) işgücü oranıdır. Nüfus-işgücü oranı, α , yerleşkede bir çalışan kişinin kendisi dahil kaç kişiyi beslediği şeklinde açıklanarak yerleşkedeki toplam nüfusun toplam işgücüne bölünmesi ile elde edilmektedir (Lee,1973):

$$\alpha = \frac{P}{E} \quad (5)$$

Denklem 5'de P , toplam nüfusu; E , toplam işgücünü göstermektedir. Ekonomik temel modeline göre toplam işgücü, toplam temel işgücünün (E^b) ve toplam yerel işgücünün (E^s) toplamına eşittir ve bu durum Denklem 6'da gösterilmektedir.

$$E = E^s \cdot E^b \quad (6)$$

Denklem 7'de yerel işgücünün toplam işgücüne bölümü gösterilmektedir.

$$\beta = \frac{E^s}{P} \quad (7)$$

Garin 1966 yılında Lowry modelini seri matris denklemleri ile modifiye etmiştir (Horowitz, 2004). Burada n , yerleşkedeki mahalle sayısı, α , nüfus-işgücü oranı ve β , nüfus-servis işgücü oranıdır. α ve β değerleri için diyagonal biçimde $n \times n$ boyutlarında matrisler oluşturulur. Bu matrislerin diyagonal değerleri α ve β değerlerine eşit olup diğer değerler sıfırdır. Ayrıca mahalleler arası mesafe matrisi T olarak tanımlanır. Modelde mahallelerde çalışan temel sektör işgücü sayıları dışsal veri olarak girilmektedir. Temel sektör işgücünün (E_n^b) çalışma yerleri n mahalle için $1 \times n$ vektörü formunda yazılır. Denklem 8'de her mahalle için temel sektör değerlerinin vektörel olarak gösterimi yapılmıştır.

$$E^b = (E_1^b, E_2^b, E_3^b, \dots, E_n^b) \quad (8)$$

Temel ve yerel sektörde çalışan işgücünün ikamet ettiği konut alanları dağılımı ise iş-ev fonksiyonu ile tanımlanmaktadır (a'_{ij}). İş-ev fonksiyonu matris biçimi $n \times n$ boyutunda kare bir matristir (A') ve iş-ev dağılım matrisi olarak adlandırılmaktadır ve Şekil 2'de gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} a'_{11} & a'_{12} & \dots & a'_{1n} \\ a'_{21} & \ddots & & \\ \vdots & & \ddots & \\ a'_{n1} & & & a'_{nn} \end{bmatrix}$$

Şekil 2 İş-ev dağılım matrisi (A').

Bu durumda, temel sektör işgücünün dağılımına bağlı olarak temel sektör işgücünün geçindirmekte olduğu nüfusun mahallelere dağılımı hesaplanır. Garin iş-fonksiyonu Denklem 9'da tanımlanmaktadır.

$$a'_{ij} = \frac{e^{-0.11t_{ij}}}{\sum_{j=1}^n e^{-0.11t_{ij}}} \quad (9)$$

Denklem 10 işgücünün bulunmasını sağlayan temel formülasyonu tanımlamaktadır.

$$E = E^b * [I - (A'[\alpha][\beta]B')]^{-1} \quad (10)$$

LGM'de nüfusa hizmet verecek olan işgücünün de hizmet ihtiyacı olduğu değerlendirilir. Denklem 11'de yerel işgücünün elde edilmesi gösterilmiştir.

$$E^s = E - E^b \quad (11)$$

PE'nin hesaplanmasında ise potansiyellik konsepti öne çıkar ve ilk olarak, ekonomide pazar potansiyellerinin konumsal analiz ile belirlenmesinde kullanılmıştır (Haris, 1954). Hansen (1959)'da yapmış olduğu çalışmada bu yaklaşımı erişebilirlik üzerinde "olanakların etkileşim potansiyeli" şeklinde uygulamıştır. Ölçütün matematiksel gösterimi Denklem 12'de gösterilmiştir (Geurs ve Van Eck, 2001).

$$A_i = \sum_{j=1} D_j \cdot d_{ij}^{-\alpha} \quad (12)$$

Burada A_i , i zonundan j deki tüm D olanaklarına erişilebilirlik ölçütünü, d_{ij} , i ve j zonları arasındaki mesafeyi, α ise mesafeye bağımlılık parametresini göstermektedir.

Bulunan sonuçlarda duyarlılık parametreleri belirleyici rol oynamaktadır bu nedenle duyarlılık parametresinin farklı değerleri ile model kurulmuş ve seyahat üretim/çekimi ile en anlamlı korelasyonu veren duyarlılık parametresi seçilmiştir.

Adım 3;

Seyahat üretim/çekimlerinin anlamlı bağımsız değişkenlerinin belirlenmesinde demografik veriler kullanılmıştır. Bu demografik verilerle birlikte her üç model ev-iş, ev-okul ve ev-diğer gruplaması altında çoklu doğrusal regresyon analizi ile sorgulanmıştır ve en anlamlı değeri veren modeller ilgili grubun geleceğe yönelik ulaşım talebi belirlenmesinde yararlanılmak üzere seçilmiştir.

Çalışma Alanı

Denizli ili hızla büyümekte olan ve metropol olma yolunda ilerleyen bir kenttir. Kentleşme sürecinde nüfus, sanayileşme ve sosyo-ekonomik büyüme hızı artan Denizli'nin, aynı zamanda uzmanlaşma ve kentsel örgütlenme gücünde artmaktadır. Araç sahipliği ve trafik yükünün gün geçtikçe artması ile birlikte mekansal etkileşim oranları

da büyümektedir (DUAP, 2010). Çalışma, Denizli Kent içi ve Yakın Çevre Ulaşım Ana Planı ve Süreç Yönetimi (2010) kapsamında yapılmış olan hane halkı anketleri ve alan ile kurumlardan elde edilmiş verilerle yürütülmüştür. Çalışma alanı toplam 80 mahalleden oluşmaktadır ve merkez nüfusu 500.000'dir. Zonlar, özellikle kent merkezinde alansal olarak küçülmeğe çeperlere doğru gidildikçe alansal olarak genişlemektedir, Şekil 3'de çalışma alanı gösterilmektedir (DUAP, 2010).



Şekil 3 Denizli merkez ilçe zon sınırları.

Kent içi ulaşım ağlarının iyileştirilmesi kapsamında düzenlenen hane halkı anketleri %2 örneklem büyüklüğündedir. Yaklaşık 14.000 kişinin seyahat bilgileri mevcut olup, 4000 üzerinde hane anketi ulaşım planı içerisinde yer almaktadır. Anket verilerinden yararlanarak çalışma alanı için 80x80 zonlar arası seyahat matrisi oluşturulmuştur ve yolculuklar ev-iş, ev-okul ve ev-diğer olarak gruplandırılmıştır.

Analiz

Çalışmada; HM ve LGM ve PE modellerinin sonuçları yolculuk yaratımı ve çekimi aşamasında ilişkilendirilerek korelasyon katsayıları bulunmuştur.

2030 yılında bölgeye gelmesi öngörülen ek nüfusun bölgedeki ticari aktivitelere, işgücü dağılımına ve yerleşime uygun boş konut alanlarına göre mahallelere dağıtılması HM yardımıyla yapılmıştır. Modelde, mahalleler arasındaki uzaklıklar hem doğrusal mesafe hem de dolaylı mesafe ölçümlenerek toplamda ikişer defa hesaplanmıştır. Bu şekilde merkeze gelecek olan ek nüfusun mahalleler arasında nasıl dağılacağı tespit edilmiştir. Kente yerleşecek toplam ek nüfus, her mahalleye yerleşecek ek nüfusun toplamına eşittir. Bulunan sonuçlarda α yani duyarlılık parametresi belirleyici rol oynadığı için 6 farklı duyarlılık parametresi ile model kurulmuştur. LGM doğrusal ve dolaylı mesafe ölçümlerine göre ayrı ayrı kurulmuş ve çalışan sayısının mahalleler arasında nasıl dağılacağı tahmin edilmiştir. Modelde parametrelerinin tespitinden önce merkez ilçedeki işgücü sayısının temel ve servis işgücü olarak ayrıştırılması yapılmıştır. Çalışma alanında varsayım tekniği ile ziraat, avcılık, ormancılık ve balıkçılık sektörü ile imalat sanayi temel sektörler olarak değerlendirilmiştir. PE'in hesaplanmasında; ticaret, eğitim, konut ve sosyal olanaklar arazi kullanım çeşitleri olarak değerlendirilmiş olup

doğrusal ve dolaylı uzaklıklar ölçülerek her iki veri grubuna göre sonuçlar elde edilmiştir. Seyahat üretimleri ile ilişkilendirildiğinde en iyi korelasyon katsayılarını veren erişebilirlik bağıntılarının yolculuk türlerine göre gösterimi Tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 1 Yolculuk yaratımı ile Erişebilirlik Bağıntıları İlişkisinde En İyi Duyarlılık Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.

		Ev-iş Yolculukları					
	<i>HM DG</i>	<i>HM DL</i>	<i>LGM DG</i>	<i>LGM DL</i>	<i>PE (K) DG</i>	<i>PE (K) DL</i>	
DP	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.5$	$a=1 b=1,5$	$a=1,5 b=1,5$	$\alpha=1$	$\alpha=1$	
KK	-0.21	-0.22	0.72	0.71	0.67	0.63	
		Ev-okul Yolculukları					
	<i>HM DG</i>	<i>HM DL</i>	<i>LGM DG</i>	<i>LGM DL</i>	<i>PE (K) DG</i>	<i>PE (K) DL</i>	
DP	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.5$	$a=1 b=1,5$	$a=1,5 b=1,5$	$\alpha=1$	$\alpha=1$	
KK	-0.19	-0.21	0.68	0.63	0.61	0.57	
		Ev-diğer Yolculukları					
	<i>HM DG</i>	<i>HM DL</i>	<i>LGM DG</i>	<i>LGM DL</i>	<i>PE (K) DG</i>	<i>PE (K) DL</i>	
DP	$\alpha=1$	$\alpha=0.5$	$a=1 b=1,5$	$a=1,5 b=1,5$	$\alpha=1$	$\alpha=1$	
KK	-0.20	-0.19	0.75	0.73	0.59	0.56	

DP: en iyi korelasyonu sağlayan duyarlılık parametresi *KK: korelasyon katsayısı*
DG: doğrudan mesafe *K: konut* *DL: dolaylı mesafe*

Tablo 1'de yolculuk türlerine göre duyarlılık parametrelerinin önemli değişikliklere uğramadığı görülmektedir. PE için arazi kullanım türleri içerisinde en anlamlı çıkan ise her yolculuk türü için konut kullanımı olmuştur. Korelasyon değerleri incelendiğinde yolculuk üretimi ile en küçük korelasyon değerini HM'nin verdiği ve LGM ve PE'nin yüksek korelasyon değerleri taşıdığı görülmüştür. Seyahat çekimleri ile ilişkilendirildiğinde en iyi korelasyon katsayılarını veren modellerin yolculuk türlerine göre gösterimi Tablo 2 'de verilmiştir.

Tablo 2 Seyahat Çekimi ile Erişebilirlik Türleri İlişkisinde En İyi Duyarlılık Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.

		Ev-iş Yolculukları					
	<i>HM DG</i>	<i>HM DL</i>	<i>LGM DG</i>	<i>LGM DL</i>	<i>PE (T) DG</i>	<i>PE (T) DL</i>	
DP	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.5$	$a=1 b=1$	$a=1.5 b=1.5$	$\alpha=1$	$\alpha=1$	
KK	-0.17	-0.18	0.12	0.16	0.64	0.61	
		Ev-okul Yolculukları					
	<i>HM DG</i>	<i>HM DL</i>	<i>LGM DG</i>	<i>LGM DL</i>	<i>PE (E) DG</i>	<i>PE (E) DL</i>	
DP	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.5$	$a=1 b=1$	$a=1.5 b=1.5$	$\alpha=1$	$\alpha=1$	
KK	-0.23	-0.24	0.58	0.50	0.39	0.39	
		Ev-diğer Yolculukları					
	<i>HM DG</i>	<i>HM DL</i>	<i>LGM DG</i>	<i>LGM DL</i>	<i>PE (T) DG</i>	<i>PE (T) DL</i>	
DP	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.5$	$a=1 b=1.5$	$a=1.5 b=1.5$	$\alpha=1$	$\alpha=1$	
KK	-0.17	-0.18	0.28	0.28	0.51	0.48	

DP: en iyi korelasyonu sağlayan duyarlılık parametresi *KK: korelasyon katsayısı*
DG: doğrudan mesafe *T: ticaret* *E: eğitim* *DL: dolaylı mesafe*

Tablo 2'de yolculuk türlerine göre duyarlılık parametrelerinin önemli değişikliklere uğramadığı görülmektedir. PE için arazi kullanım türleri içerisinde en anlamlı çıkan arazi kullanım türleri, Ev-iş ile Ev diğer yolculukları için ticari alanlar ve Ev-okul

yolculukları için eğitim alanları olmuştur. Korelasyon değerleri incelendiğinde yolculuk çekimi ile en küçük korelasyon değerini gene HM'nin verdiği görülmektedir. LGM ve PE'nin yolculuk üretiminden daha düşük olsa da HM'den yüksek korelasyon değerleri taşıdığı görülmüştür. Elde edilen korelasyon değerleri ile duyarlılık parametresinin seçimi sağlanmıştır. Erişebilirlik modellerinin ulaşım talepleri ile ilişkisinin araştırılması çoklu doğrusal regresyon modeli yardımıyla yapılmıştır. Yolculuk yaratımı ve erişebilirlik arasındaki ilişki Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3 Yolculuk yaratımı ve Erişebilirlik Modelleri Arasındaki İlişki

	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Ev-iş														
R²	0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95	
Nüfus	6.25	0.00	6.32	0.00	6.34	0.00	6.18	0.00	6.21	0.00	5.35	0.00	5.90	0.00
Çalışan	-2.92	0.00	-2.83	0.01	-2.84	0.01	-2.89	0.00	-2.82	0.01	-3.01	0.00	-2.94	0.00
Araç	2.50	0.01	2.47	0.02	2.47	0.02	2.48	0.02	2.45	0.02	2.28	0.03	2.41	0.02
Öğrenci	2.50	0.01	2.32	0.02	2.32	0.02	2.47	0.02	2.46	0.02	2.72	0.01	2.54	0.01
Meskun	2.25	0.03	2.41	0.02	2.43	0.02	2.23	0.03	2.15	0.04	-0.61	0.55	0.21	0.83
HM DG			-0.99	0.33										
HM DL					-1.05	0.30								
LGM DG							-0.04	0.97						
LGM DL									-0.35	0.73				
PE DG T											1.44	0.15		
PE DL T													0.59	0.55
Ev-okul														
R²	0.90		0.90		0.90		0.90		0.90		0.90		0.90	
Nüfus	3.30	0.00	3.23	0.00	3.26	0.00	3.27	0.00	3.54	0.00	2.45	0.02	2.99	0.00
Öğrenci	2.32	0.02	2.29	0.03	2.27	0.03	2.30	0.02	2.20	0.03	2.71	0.01	2.44	0.02
Eğitim	-0.54	0.59	-0.52	0.60	-0.50	0.62	-0.53	0.60	-0.93	0.36	-0.15	0.88	-0.35	0.73
Çalışan	-2.37	0.02	-2.35	0.02	-2.35	0.02	-2.34	0.02	-2.03	0.05	-2.59	0.01	-2.45	0.02
Araç	2.71	0.01	2.69	0.01	2.69	0.01	2.69	0.01	3.28	0.00	2.42	0.02	2.58	0.01
Meskun	1.31	0.19	1.27	0.21	1.30	0.20	1.30	0.20	1.03	0.31	-1.51	0.14	-0.49	0.63
HM DG			0.00	1.00										
HM DL					-0.13	0.90								
LGM DG							-0.06	0.95						
LGM DL									-1.95	0.06				
PE DG E											2.06	0.04		
PE DL E													0.99	0.33
Ev-diğer														
R²	0.98		0.98		0.98		0.98		0.98		0.98		0.98	
Nüfus	18.83	0.00	18.73	0.00	18.76	0.00	17.21	0.00	18.32	0.00	19.17	0.00	18.61	0.00
Araç	-1.26	0.21	-1.25	0.22	-1.25	0.21	-1.30	0.20	-0.89	0.38	-0.94	0.35	-1.14	0.26
Eğitim	3.28	0.00	3.30	0.00	3.32	0.00	3.29	0.00	3.16	0.00	3.00	0.00	3.16	0.00
Pazar	-1.55	0.13	-1.49	0.14	-1.51	0.14	-1.55	0.13	-1.52	0.13	-1.16	0.25	-1.48	0.14
Sağlık	2.82	0.01	2.84	0.01	2.90	0.00	2.75	0.01	2.85	0.01	2.83	0.01	2.81	0.01
Yeşil	1.47	0.15	1.52	0.13	1.59	0.12	1.48	0.14	1.44	0.15	0.86	0.39	1.27	0.21
Meskun	-2.37	0.02	-2.32	0.02	-2.31	0.02	-2.35	0.02	-2.42	0.02	1.11	0.27	-0.12	0.90
HM DG			-0.49	0.62										
HM DL					-0.74	0.46								
LGM DG							0.38	0.70						
LGM DL									-0.56	0.58				
PE DG T											-2.02	0.05		
PE DL T													-0.71	0.48

Tablo 3'te görülmektedir ki R^2 değeri her yolculuk türü için yüksektir. Aynı zamanda t istatistiği HM ve LGM'nde hiç bir yolculuk türü için anlamlı değildir. HM ve LGM regresyon içerisinde dahil edildiğinde diğer değişkenlerin anlamlılıklarını düşürmektedir. Ev-okul yolculukları ve Ev-diğer yolculukları konut temelli PE'in doğrudan uzaklık ile hesaplanmış durumu için anlamlı çıkmaktadır. Seyahat çekimi ve erişebilirlik arasındaki ilişki Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 4 Seyahat Çekimi ve Erişebilirlik Modelleri Arasındaki İlişki

	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
	Ev-iş													
R²	0.27		0.27		0.27		0.27		0.28		0.57		0.56	
Nüfus	2.45	0.02	2.43	0.02	2.42	0.02	2.43	0.02	2.34	0.02	2.25	0.03	2.25	0.03
Çalışan	1.08	0.28	1.08	0.28	1.08	0.28	1.08	0.29	0.97	0.34	0.32	0.75	0.32	0.75
Araç	-1.88	0.06	-1.87	0.07	-1.87	0.07	-1.84	0.07	-2.00	0.05	-1.41	0.16	-1.41	0.16
Öğrenci	-0.97	0.34	-0.97	0.33	-0.97	0.34	-0.94	0.35	-0.92	0.36	-0.66	0.51	-0.66	0.51
Meskun	-1.67	0.10	-1.58	0.12	-1.59	0.12	-1.66	0.10	-1.53	0.13	-0.67	0.50	-0.67	0.50
HM DG			-0.14	0.89										
HM DL					-0.11	0.92								
LGM DG							-0.13	0.90						
LGM DL									0.70	0.49				
PE DG T											7.28	0.00		
PE DL T													7.28	0.00
	Ev-okul													
R²	0.79		0.79		0.79		0.79		0.79		0.79		0.79	
Nüfus	4.00	0.00	4.08	0.00	0.00	0.38	3.91	0.00	4.05	0.00	4.11	0.00	4.21	0.00
Öğrenci	0.05	0.96	-0.07	0.95	0.95	-2.20	-0.04	0.97	-0.01	0.99	0.18	0.86	-0.08	0.94
Eğitim	2.93	0.00	3.04	0.00	0.00	0.00	3.02	0.00	2.70	0.01	-1.41	0.16	-1.36	0.18
Çalışan	0.50	0.62	0.53	0.60	0.60	-1.30	0.44	0.66	0.63	0.53	0.31	0.76	0.48	0.63
Araç	-2.11	0.04	-2.13	0.04	0.04	-1.28	-2.17	0.03	-1.68	0.10	-2.41	0.02	-2.31	0.02
Meskun	-2.22	0.03	-1.97	0.05	0.05	0.00	-2.19	0.03	-2.31	0.02	-1.50	0.14	-1.45	0.15
HM DG			-0.87	0.39										
HM DL					0.38	-0.10								
LGM DG							0.78	0.44						
LGM DL									-0.80	0.43				
PE DG E											1.62	0.11		
PE DL E													1.62	0.11
	Ev-diğer													
R²	0.47		0.47		0.47		0.47		0.47		0.64		0.63	
Nüfus	3.56	0.00	3.53	0.00	3.53	0.00	3.45	0.00	3.48	0.00	2.60	0.01	2.73	0.01
Araç	-1.32	0.19	-1.32	0.19	-1.32	0.19	-1.22	0.23	-1.09	0.28	-1.18	0.24	-1.22	0.22
Eğitim	-0.23	0.82	-0.23	0.82	-0.23	0.82	-0.29	0.77	-0.26	0.79	-0.23	0.82	-0.27	0.79
Pazar	-0.17	0.87	-0.17	0.87	-0.17	0.87	-0.16	0.88	-0.15	0.88	0.03	0.98	0.20	0.84
Sağlık	-0.49	0.62	-0.49	0.63	-0.49	0.63	-0.45	0.66	-0.46	0.65	-1.13	0.26	-1.02	0.31
Yeşil	0.33	0.74	0.31	0.76	0.31	0.76	0.30	0.77	0.32	0.75	-0.80	0.43	-1.01	0.32
Meskun	-0.97	0.34	-0.96	0.34	-0.96	0.34	-0.97	0.33	-0.99	0.33	0.58	0.56	0.43	0.67
HM DG			0.04	0.97										
HM DL					0.04	0.97								
LGM DG							-0.46	0.64						
LGM DL									-0.23	0.82				
PE DG T											5.80	0.00		
PE DL T													5.59	0.00

Tablo 4'te görülmektedir ki R^2 değeri Ev-iş ve Ev-diğer yolculuk türleri için düşüktür. Aynı zamanda t istatistiği HM ve LGM'nde hiç bir yolculuk türü için anlamlı değildir. HM ve LGM regresyon içerisine dahil edildiğinde diğer değişkenlerin anlamlılıklarını düşürmektedir. Ev-iş ve Ev-diğer yolculukları için ticari alanlar temelli PE'in her uzaklık türü ile hesaplanmış durumu anlamlı çıkmaktadır. Regresyon modellerine sabit konulmamasının sebebi, R^2 'nin sabit kullanılmadığı regresyon modellerinde daha yüksek çıkmış olmasıdır. Bu nedenle sıfır noktasından geçen regresyon modelleri, değişkenler arasındaki ilişkiyi daha net temsil etmektedir.

Sonuç ve Değerlendirmeler

Bu çalışmada geleceğe yönelik seyahat üretim ve çekimlerinin tespit edilmesinde yararlanılabilecek arazi kullanım ve erişebilirlik parametrelerini içeren talep modelleri araştırılmıştır. Denizli merkez ilçe için ulaşım talebi tespit edilmiş ve HM, LGM ve PE hesaplanmıştır. Duyarlılık parametreleri ulaşım talebi ile korelasyon durumuna göre belirlenmiştir. Modellerin sonuçları ulaşım talebiyle ilişkilendirilerek seyahat üretim ve çekiminde yararlanılabilecek modellerin kestirimi yapılmıştır.

Sonuçlar göstermektedir ki, HM ve yolculuk talep çeşitleri arasında herhangi bir ilişki yoktur. LGM için anlamlılık düzeyi HM'den yüksek olsa da yeterli anlamlılık düzeyine ulaşmamaktadır. Ev-okul yolculukları ve Ev-diğer yolculukları ile konut temelli PE'in doğrudan uzaklık ile hesaplanmış durumu arasında ilişki tespit edilmiştir. Aynı zamanda Ev-iş ve Ev-diğer yolculukları ile ticari alanlar temelli PE'in her direnimsel türü ile hesaplanmış durumu arasında ilişki tespit edilmiştir. Bu ilişkilerden ilgili ulaşım taleplerinin kestirimlerinin yapılmasında yararlanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Özellikle veri toplama aşamasında bu ilişki dikkate alınarak bu doğrultuda verilerin toplanması ulaşım talebi kestiriminin yapılmasında alternatif yöntemler sağlayacaktır. Her kentin farklı mekansal, ekonomik ve sosyal özelliklere sahip olmasından dolayı bu ilişkinin uygulama alanına benzer dokularda kurulabileceği yorumu yapılabilir. Bu şekilde sanayi ve turizme dayalı ekonomik yapıya sahip orta büyüklükteki kentlerde bu ilişkinin benzerlik taşıyabileceği varsayılabilir.

Denizli'de yolculuk yaratımı ve PE arasında tespit edilen ilişki Denizli'deki nüfusun, ticari faaliyetlerin ve diğer faaliyetlerin kente mekansal olarak dağılımının, sosyo-ekonomik özellikler dışında mahallelerin birbirleri ile olan uzaklıklarına göre de şekillendiğini göstermektedir. Bunun nedeni yer seçimi yapılan mahallelerden yolculuk yaratımının olmasıdır. Mesafenin doğrusal veya dolaylı olarak ele alınması bu ilişkinin varlığını etkilememektedir. Denizli'de yolculuk yaratımı hesaplamalarında bu ilişkiden yararlanılabilmektedir.

Potansiyel erişebilirlik kavramı olanakların dağılımını gösteren bir ölçüttür (istihdam, konut, perakende servisleri vb.) ancak bu olanaklara olan talebi veya bu olanakların yarattığı yolculuk yaratımını dikkate almamaktadır. Literatürde bir yerleşimdeki talebin homojen dağılmadığı durumda, potansiyel ölçütün hatalı ve yanıltıcı sonuçlar verebileceği belirtilmektedir. Yolculuk yaratımı sırasında erişebilirlik ölçütlerinin değişken olarak sorgulanması arazi kullanım dağılımı arasındaki ilişkinin sorgulanmasını sağlamaktadır.

İlişkinin doğrulanması için örnek kent sayının artırılarak doğrusal ve dolaylı uzaklıkların ölçümü ile arazi kullanım modellerinin kurulabilmesi için gerekli verilerin toplanması ve bu çalışmanın başka alanlarda da sistematik biçimde tekrarlanması gerekmektedir.

Teşekkür Yazarlar bu çalışmaya olan değerli katkıları için DBM ve Denizli Belediyesi'ne teşekkür ederler. Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Komisyonu'nun desteklemiş olduğu 2010-FBE-060 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

Aydın, F. (2008) Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'ndeki Ek Şerit Uygulamasının Simülasyon Modeli İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bhat, C., Handy, S., Kockelman, K., Mahmassani, H., Chen, Q., Srour, I., and Weston, L. (2001) Assessment of Accessibility Measure (Research Report No. 7-4938), Texas: Texas Department of Transportation, Texas, U.S.A.

Çubukçu, K.M. (2008) Planlamada Klasik Sayısal Yöntemler, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.

Denizli Ulaşım Ana Planı (DUAP). (2010) Denizli Belediyesi Planlama Çalışmaları, Denizli.

Litman, T. (2010) Evaluating Accessibility for Transportation Planning, Victoria Transport Policy Institute, Canada.

Geurs, K. T. and Ritsema van Eck, J. R. (2001) Accessibility Measures: Review and Applications, RIVM, Bilthoven.

Geurs, K.T. and Van Wee, B., (2004) Accessibility Evaluation of Land-use and Transport Strategies: Review and Research Directions. Journal of Transport Geography, 12, 127–140.

Handy, S. and Niemeier, D. A. (1997) Measuring Accessibility: An Exploration of Issues and Alternatives, Environment and Planning A, 29 (7), 1175–1194.

Hansen, W. G. (1959) How Accessibility Shapes Land Use, Journal of the American Institute of Planners, 25, 73–76.

Koenig, J. G. (1980) Indicators of Urban Accessibility: Theory and Applications, Transportation, 9, 145–172.

Kwan, M. P. (1998) Space-time and Integral Measures of Individual Accessibility: A Comparative Analysis Using a Point-based Framework, Geographical Analysis 30, 191–216.

Lowry, I. S. (1964) A Model of Metropolis, The Rand Corporation.

Niemeier, D. A. (1997) Accessibility: An Evaluation Using Consumer Welfare. Transportation, 24, 377-396.

Özuysal, M. (2010) Şehırsel Yerleşimlerde Erişilebilirlik Ölçütünün Modellenmesi ve Kullanımı: Ulaşım Türü Seçimi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Pirie, G. H. (1979) Measuring Accessibility: A Review and Proposal, Environment and Planning A, 11, 299–312.

Song, S. (1996) Some Tests of Alternative Accessibility Measures: A Population Density Approach. Land Economics, 72 (4), 474–482.

Birleştirilmiş Ulaşım Ağ Tasarım Probleminin Diferansiyel Gelişim Algoritması ile Çözümü

Özgür Başkan

Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Ulaştırma Anabilim Dalı, Denizli
Tel: (258) 2963416
E-Posta: obaskan@pau.edu.tr

Öz

Bu çalışmada Birleştirilmiş Ulaşım Ağ Tasarımı (BUAT) probleminin çözümü amacıyla Diferansiyel Gelişim (DG) algoritması kullanılmıştır. Temel olarak Genetik Algoritma tekniğine benzer çalışma prensibine sahip olan DG algoritması, diğer sezgisel algoritmalara oranla yapısal olarak daha basit olmasına karşın optimum değerlere ulaşmada daha kararlı bir yöntemdir. Bu nedenle çalışmada BUAT probleminin çözümünde DG algoritmasından faydalanılmıştır. BUAT problemi, bağ ekleme-çıkarma ve kapasite genişletme problemlerinin birlikte göz önüne alınarak verilen bütçe kısıtları altında ulaşım ağındaki toplam seyahat süresinin en küçüklenmesi olarak tanımlanabilir. Genellikle iki seviyeli programlama yaklaşımı ile modellenen BUAT probleminin konveks olmayan yapısından dolayı çözümü oldukça zordur. Çalışmada ulaşım ağına eklenecek ve kapasite genişletmeye aday bağlar 0-1 ikili değişken sistemi kullanılarak temsil edilmiştir. Problemin çözümü için iki seviyeli programlama yaklaşımı altında DG algoritması tabanlı bir model geliştirilmiştir. Üst seviyede belirlenen yatırım stratejilerine bağlı olarak Deterministik Trafik Atama (DTA) problemi Frank-Wolfe algoritması kullanılarak alt seviyede çözülmüştür. Geliştirilen algoritma, literatürde ulaşım ağ tasarımı problemlerinde oldukça sık olarak kullanılan Sioux-Falls ulaşım ağı üzerinde test edilmiş ve literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar DG algoritmasının BUAT probleminin çözümünde oldukça başarılı olduğunu göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Ulaşım ağ tasarımı, Diferansiyel gelişim algoritması, optimizasyon

Giriş

Birleştirilmiş Ulaşım Ağ Tasarımı (BUAT) problemi genel olarak bütçe kısıtları altında ulaşım ağında yapılabilecek en uygun iyileştirmelerin belirlenmesi olarak tanımlanabilir. BUAT problemi, Ayrık Ulaşım Ağ Tasarımı (AUAT) ve Sürekli Ulaşım Ağ Tasarımı (SUAT) problemlerinin birlikte göz önüne alınması ile ortaya çıkmıştır. Diğer bir deyişle BUAT probleminde ulaşım ağına eklenmesi düşünülen bağlar ve kapasite artırımına aday bağların belirlenmesi problemleri beraber ele alınmaktadır. Yerel idareciler ve ulaşım planlamacılarının en sık karşılaştığı problemlerin başında gelen BUAT problemi literatürde çözümü zor ulaştırma problemlerinin başında gelmektedir. Söz konusu problemde örnek olarak 10 adet farklı yatırım projesi içinden en uygun stratejinin bulunması için 2^{10} adet farklı ulaşım ağının değerlendirilmesi ve bunların içinden seçilen ve amaç fonksiyonunu en küçükleyen yatırım projesinin

belirlenmesi gerekmektedir. Günümüzde ulaşım ağlarında yapılacak yatırımların kısıtlı kaynaklar altında daha etkin ve ekonomik olarak yapılabilmesi için BUAT probleminin etkin olarak çözümünün gerekliliği açıktır. Literatürde AUAT ve SUAT problemlerinin ayrı olarak değerlendirildiği birçok çalışma bulunmasına karşın BUAT probleminin çözümü için yeterli çalışma bulunmamaktadır. Leblanc (1975) örnek bir ulaşım ağında verilen bütçe kısıtı altında en uygun bağ kapasite genişletme stratejisinin belirlenmesini amaçlamıştır. Problemin çözümü için dal-sınır yaklaşımı tabanlı çözüm yöntemi kullanılmış ve başarılı sonuçlara ulaşılmıştır. Abdulaal ve LeBlanc (1979) SUAT probleminin çözümü için Hooke-Jeeves (HJ) algoritması tabanlı çözüm yöntemini orta ölçekli bir ulaşım ağına uygulamışlar ve başarılı sonuçlar almışlardır. Poorzahedy ve Turnquist (1982) BUAT probleminin çözümü için iki-seviyeli programlama modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada yeni bağ yatırımı ve bağ kapasite genişletmelerine bağlı olarak toplam seyahat süresinin en küçüklenmesi amaçlanmış ve dal-sınır yaklaşımı tabanlı algoritma ile çözüm gerçekleştirilmiştir. Marcotte (1983) SUAT probleminin çözümünü toplam ağ seyahat süresinin en küçüklenmesi olarak ele almış ve trafik atama süreci değişken eşitsizlik problemi olarak formüle edilmiştir. Suwansirikul ve diğ. (1987) SUAT probleminin çözümü için yeni bir sezgisel metot önermiştir. Sonuçlar, geliştirilen metodun HJ metoduna göre daha başarılı olduğunu göstermiştir. Friesz ve diğ. (1992) SUAT probleminin çözümünde Tavlama Benzetimi (TB) yöntemini kullanmışlardır. TB yöntemi 3 farklı yöntem ile karşılaştırılmış ve önerilen yöntem SUAT probleminin çözümünde oldukça başarılı bulunmuştur.

Benzer şekilde, Davis (1994) genelleştirilmiş eğitim düşümü yöntemi ve ardışık kvadratik programlama yöntemlerini SUAT probleminin çözümünde kullanmıştır. Meng ve diğ. (2001) SUAT probleminin çözümünde kullanılan iki seviyeli programlama modelini tek seviyeye indirgeyerek problemin çözümüne farklı bir yaklaşım getirmişlerdir. Chiou (2005) SUAT probleminin çözümü için 4 farklı yöntem kullanmış ve literatürdeki çözüm yöntemleri ile karşılaştırmıştır. Poorzahedy ve Abulghasemi (2005) BUAT probleminin çözümünde Karınca Sistemi optimizasyon yöntemini kullanmışlardır. Benzer şekilde Gao ve diğ. (2005) AUAT problemini doğrusal ötesi programlama problemine dönüştürmüşlerdir. Bu şekilde problemin çözümü standart kısıtlı optimizasyon yöntemi ile gerçekleştirilebilir hale gelmiştir. Sonuçlar önerilen modelin AUAT probleminin çözümünde kullanılabileceğini göstermiş ancak geliştirilen yöntemin ileri düzeyde sayısal analiz ve programlama bilgisi gerektirmesinin dezavantaj olduğu değerlendirilmiştir. Poorzahedy ve Rouhani (2007) Karınca Sistemi tabanlı 7 farklı hibrit algoritma kullanarak BUAT problemini çözmüşlerdir. Geliştirilen algoritmalar Sioux-Falls ağı üzerinde kalibre edildikten sonra gerçek ulaşım ağında test edilmiştir. Sonuç olarak hibrit algoritmaların Karınca Sistemine oranla daha başarılı olduğu bulunmuştur. Ceylan ve Ceylan (2009) ulaşım ağlarındaki optimum bağ iyileştirme stratejilerinin belirlenmesi amacıyla Armoni Araştırması Tekniğini (AAT) kullanmışlardır. Alt seviye probleminin çözümü için indirgenmiş gradyan yöntemi tabanlı bir optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar AAT yönteminin ulaşım ağlarının ayrık tasarımında kullanılabileceğini göstermiştir. Ceylan ve diğ. (2009) şehiriçi ulaşım ağlarında trafik sinyal parametrelerinin eniyilenmesi problemini Oyun Teorisi çerçevesinde ele almışlardır. Alt seviyede Stokastik Kullanıcı Dengesi (SKD) yaklaşımı altında belirlenen denge bağ trafik hacimleri üst seviyede girdi olarak kullanılmıştır. Önerilen modelde trafik sinyal parametrelerinin eniyilenmesi amacıyla Genetik Algoritma tekniği kullanılmıştır. Önerilen model gerçek ulaşım ağına uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Farvaresh ve Sepehri (2011) çalışmalarında AUAT problemini tek seviyeli karışık

tamsayı doğrusal programlama olarak formüle etmişlerdir. Sayısal uygulamalar önerilen metodun optimum sonuçlara ulaşmada başarılı olduğunu göstermiştir. Luathep ve diğ. (2011) BUAT probleminin çözümü için yeni bir optimizasyon algoritması önermişlerdir. Çalışmada üst seviyede bağ kapasite genişletme ve bağ ekleme problemleri birlikte ele alınmış, alt seviye problemi ise Wardrop Kullanıcı Dengesi (KD) prensibi göz önüne alınarak çözülmüştür. BUAT problemi karışık tamsayı doğrusal programlama problemine dönüştürülmüştür. Sayısal uygulamalar önerilen metodun oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Li ve diğ. (2012) SUAT probleminin çözümü için optimizasyon metodu önermişlerdir. Çalışmada SUAT problemi tek seviyeden oluşan konkav problemler dizisine dönüştürülmüştür. Sonuçlar önerilen metodun özellikle büyük ölçekli ulaşım ağlarında global optimumun bulunmasında oldukça etkili olduğunu göstermiştir. Ceylan ve Ceylan (2013) AUAT probleminin çözümünde AAT metodunu kullanmışlar ve başarılı sonuçlar almışlardır. Wang ve diğ. (2013) AUAT problemi için iki farklı optimizasyon metodunun performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada AUAT problemi aday bağlara eklenecek optimum şerit sayısını belirlemek olarak tanımlanmış ve iki seviyeli programlama tekniği kullanılmıştır. Üst seviye problemi toplam seyahat süresinin en küçüklenmesi olarak ele alınmış, alt seviyede ise Wardrop KD trafik atama tekniği kullanılmıştır. Önerilen iki farklı optimizasyon metodunun performansları örnek ağlar üzerinde test edilmiştir. Başkan (2013) SUAT probleminin çözümünde AAT tekniğini kullanmış ve literatürdeki çözüm yöntemleri ile karşılaştırmıştır. Sonuçlar AAT'nin SUAT probleminin çözümünde oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Dell'Orco ve diğ. (2013) SUAT problemini optimum trafik sinyal sürelerinin belirlenmesi olarak ele almış ve AAT tekniğinin performansı problemin çözümünde test edilmiştir. Üst seviyede TRANSYT-7F programı performans indeksinin belirlenmesi için kullanılmış, alt seviyede SKD prensibi ile trafik atama problemi çözülmüştür. Önerilen metod örnek ulaşım ağı üzerinde test edilmiş ve sonuçlar AAT tekniğinin problemin çözümünde oldukça etkili olduğunu göstermiştir.

Literatürden görülebileceği gibi AUAT ve SUAT problemleri için birçok çalışma mevcut olmasına karşın BUAT probleminin çözümü için az sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayrıca literatürde ulaşım ağ tasarımı problemlerinin çözümünde sezgisel metodların oldukça fazla kullanıldığı görülmektedir. Bu nedenle çalışmada BUAT probleminin çözümü için son yıllarda karmaşık mühendislik problemlerinin çözümü amacıyla oldukça sık olarak kullanılan Diferansiyel Gelişim (DG) algoritması kullanılmıştır. Geliştirilen model Sioux-Falls ulaşım ağı üzerinde test edilmiş ve literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde problem formülasyonu, sonraki bölümde DG algoritmasının çalışma prensibi ve BUAT problemine uygulanma süreci, dördüncü bölümde sayısal uygulamalar ve son bölümde sonuçlar yer almaktadır.

Problem Formülasyonu

BUAT problemi, belirli bütçe kısıtı altında ulaşım ağındaki en uygun bağ ekleme-çıkarma ve bağ kapasite genişletme stratejilerinin belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Düğüm (V) ve bağlardan (A) oluşan bir ulaşım ağı $N(V,A)$ olarak temsil edilirse BUAT problemi aşağıda verildiği gibi ifade edilebilmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Min}_{\mathbf{y}} Z(\mathbf{y}) &= \sum_{(i,j) \in A \cup A_{y1}} x_{ij}^* t_{ij}(x_{ij}^*) & (1) \\ \sum_{(i,j) \in A_y} M_{ij} y_{ij} &\leq B \\ y_{ij} &= 0/1, (i,j) \in A_y \end{aligned}$$

Burada; x_{ij}^* alt seviye probleminin çözümünden elde edilen (i,j) bağındaki denge akımı, $t_{ij}(x_{ij}^*)$ maliyet fonksiyonu, \mathbf{y} yatırım vektörü, A_y yatırım yapılması planlanan bağlar kümesi, $y_{ij} = 1/0$ aday (i,j) bağıнын yatırıma dahil edilip edilmemesini temsil eden parametre, $A_{y1} = \{(i,j) \in A_y : y_{ij} = 1\}$ yatırım planlanan bağlar içinde kabul edilen projelerin kümesi, M_{ij} yatırıma aday (i,j) bağıнын iyileştirme yada yapım maliyeti ve B toplam yatırım bütçesi olarak verilmiştir. Uygulanması düşünülen herhangi bir yatırım vektörü (\mathbf{y}) için Deterministik Trafik Atama (DTA) problemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

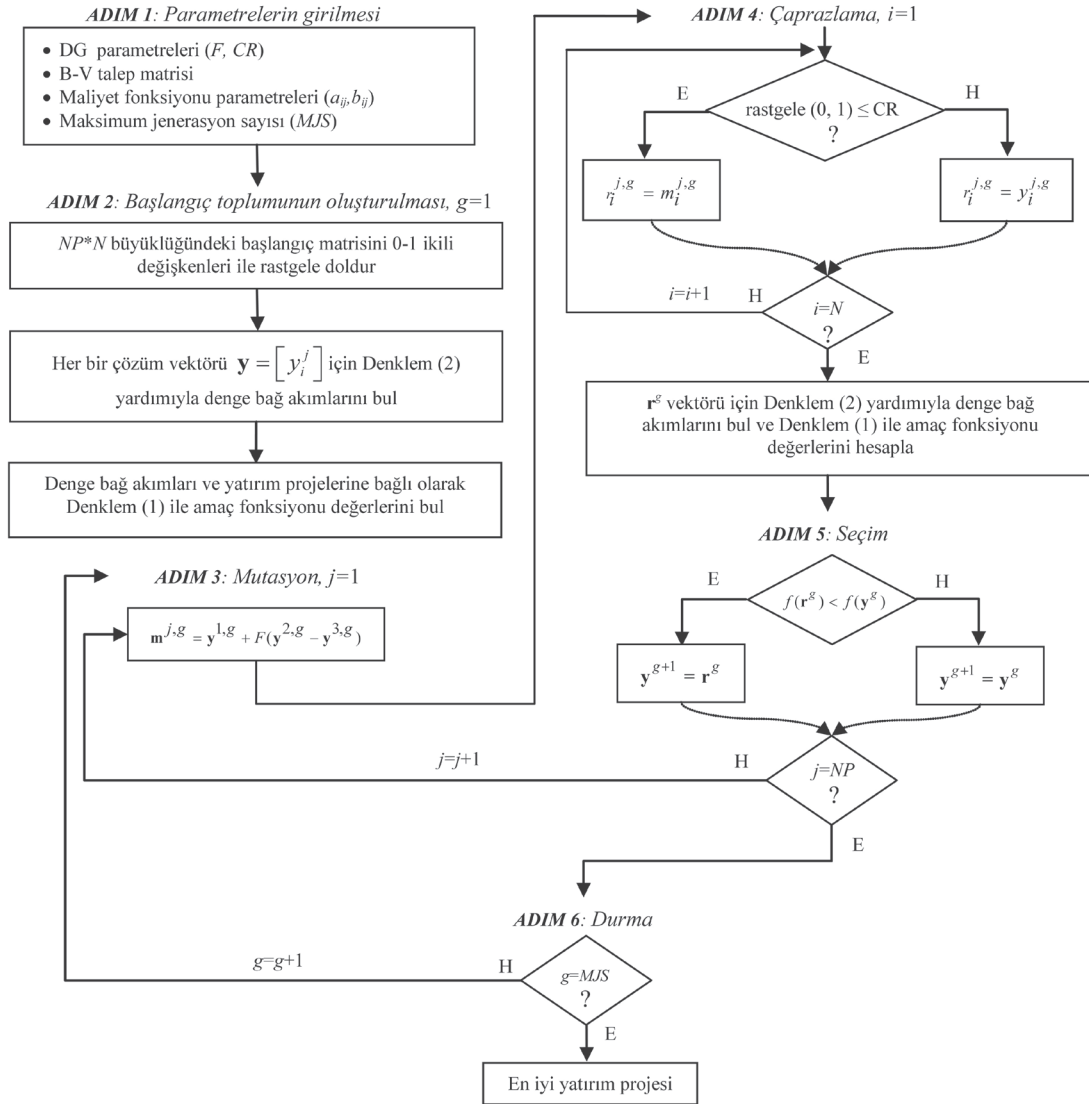
$$\begin{aligned} \text{Min}_x \sum_{(i,j) \in A \cup A_{y1}} \int_0^{x_{ij}} t_{ij}(w) dw & & (2) \\ \sum_{k \in K} f_k^{rs} &= D_{rs} \quad \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs} \\ f_k^{rs} &\geq 0 \quad \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs} \\ x_{ij} &= \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} \delta_{ij,k}^{rs} \quad \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs}, \forall (i,j) \in A \cup A_{y1} \end{aligned}$$

Burada; D_{rs} Başlangıç-Varış (B-V) çifti r - s arasındaki seyahat talebi, f_k^{rs} B-V çifti r - s arasındaki k rotasındaki akım ve $\delta_{ij,k}^{rs}$ bağ-rotamatrixinin elemanı olup eğer (i,j) bağı k rotası üzerinde ise 1 aksi durumda 0 değerini almaktadır. DTA problemi konveks bir problem olduğu için sayısal olarak birçok farklı metotla çözülebilmektedir. Bu çalışmada denge bağ akımlarının bulunmasında oldukça etkili olan ve literatürde sıkça kullanılan Frank-Wolfe (FW) metodu kullanılmıştır (Frank ve Wolfe, 1956).

Diferansiyel Gelişim Algoritması

DG algoritması optimizasyon problemlerinin çözümü amacıyla Storn ve Price (1995) tarafından geliştirilen toplum tabanlı sezgisel bir metottur. Yapısal olarak oldukça basit olmasına rağmen karmaşık problemlerin çözümünde oldukça etkilidir. DG algoritmasında oluşturulan başlangıç toplumu mutasyon, çaprazlama ve seçim operatörleri kullanılarak en iyi değer elde edilmesi amacıyla iterasyonlar boyunca iyileştirilir (Liu ve diğ., 2010). Çözüm sürecini kontrol etmek amacıyla üç adet parametre kullanılır. Bunlardan birincisi tüm toplum tabanlı sezgisel metotlar da kullanıldığı gibi toplum büyüklüğünü temsil eden NP parametresidir. Bu değer verilen bir problem için dikkate alınan çözüm vektörlerinin sayısını göstermektedir. Algoritma içinde kullanılan bir diğer kontrol parametresi F ile temsil edilen mutasyon faktörüdür.

Bu parametre toplum içinden rastgele seçilen ve birbirinden farklı 3 adet çözüm vektöründen yeni bir vektör üretilmesi amacıyla kullanılmaktadır. F parametresi için Storn ve Price (1995) tarafından tavsiye edilen kullanım aralığı $[0.5-1]$ 'dir. DG algoritmasında kullanılan son kontrol parametresi ise çaprazlama oranıdır (CR). Bu parametre mutasyon sonucu elde edilen vektörün dikkate alınma oranı olarak kullanılmaktadır. CR parametresi için $[0.8-1]$ kullanım aralığı tavsiye edilmektedir (Storn ve Price, 1995). Bu çalışmada sayısal uygulamalarda F ve CR parametreleri 0.8 olarak seçilmiştir. Şekil 1'de BUAT probleminin çözümünde kullanılan DG algoritmasının akış şeması verilmiştir.



Şekil 1 DG algoritması akış şeması.

DG algoritmasında başlangıç toplumu $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ ve $j \in \{1, 2, \dots, NP\}$ olmak üzere $y = [y_i^j]$ çözüm vektörlerinden oluşacak şekilde 0-1 ikili değişkenleri ile rastgele oluşturulur. Burada, N iyileştirme ya da yapımı düşünülen bağların toplam sayısını temsil etmektedir. Farklı yatırım stratejilerini temsil eden her bir çözüm vektörü için Denklem (2) yardımıyla denge bağ akımları elde edilir. Bulunan denge bağ akımları ve Denklem (1) yardımıyla amaç fonksiyonu değerleri her bir çözüm vektörü için

hesaplanır. Sonrasında toplum içinden rastgele seçilen üç adet çözüm vektörü ve mutasyon faktörü yardımıyla Denklem (3)'de verilen operatör kullanılarak yeni bir aday çözüm vektörü, \mathbf{m} , oluşturulur. BUAT probleminin çözümünde 0-1 ikili değişkenleri ile çalışıldığı için mutasyon operatöründen sonra elde edilen yeni vektör elemanlarının sınırlar dışına çıkıp çıkmadığı kontrol edilmelidir. 0-1 değerleri arasında kalan değerler en yakın tamsayı değerine yuvarlatılır.

$$m_i^j = y_i^1 + F(y_i^2 - y_i^3) \quad (3)$$

Burada y_i^1 , y_i^2 ve y_i^3 birbirinden farklı olarak $[0, NP]$ aralığında rastgele seçilen karar değişkenlerini temsil etmektedir. Toplum içindeki her bir çözüm vektörü ile buna bağlı olarak oluşturulan \mathbf{m} vektörüne Denklem (4)'de verildiği şekliyle çaprazlama operatörü uygulanır ve \mathbf{r} vektörü oluşturulur.

$$r_i^j = \begin{cases} m_i^j, & \text{eğer rastgele } (0,1) \leq CR \text{ yada } i = i_{\text{rastgele}} \\ y_i^j, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (4)$$

Burada $(0,1)$ arasında rastgele üretilen değer CR parametresinden küçük ya da eşit ise \mathbf{r} vektörünün elemanı \mathbf{m} vektöründen aksi durumda ise \mathbf{y} vektöründen seçilir. $i = i_{\text{rastgele}}$ koşulunun kullanılmasının amacı \mathbf{r} vektörünün en az bir elemanının \mathbf{m} vektöründen seçilmesinin sağlanmasıdır. Bu sayede gelecek jenerasyonlara yeni bireylerin aktarılması sağlanmaktadır.

Son olarak çaprazlama sonucu elde edilen \mathbf{r} vektörü ile \mathbf{y} vektörüne ait amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılır. Öncelikle \mathbf{r} vektörünün temsil ettiği yatırım projesine bağlı olarak Denklem (2) yardımıyla denge bağ akımları hesaplanır ve elde edilen bağ akımları ve Denklem (1) ile amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. Bu aşamadan sonra Denklem (5)'de verilen koşullu ifade yardımıyla en iyi amaç fonksiyonu veren çözüm vektörü bir sonraki jenerasyona aktarılır.

$$\mathbf{y}^{g+1} = \begin{cases} \mathbf{r}^g, & \text{Eğer } f(\mathbf{r}^g) \leq f(\mathbf{y}^g) \\ \mathbf{y}^g, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (5)$$

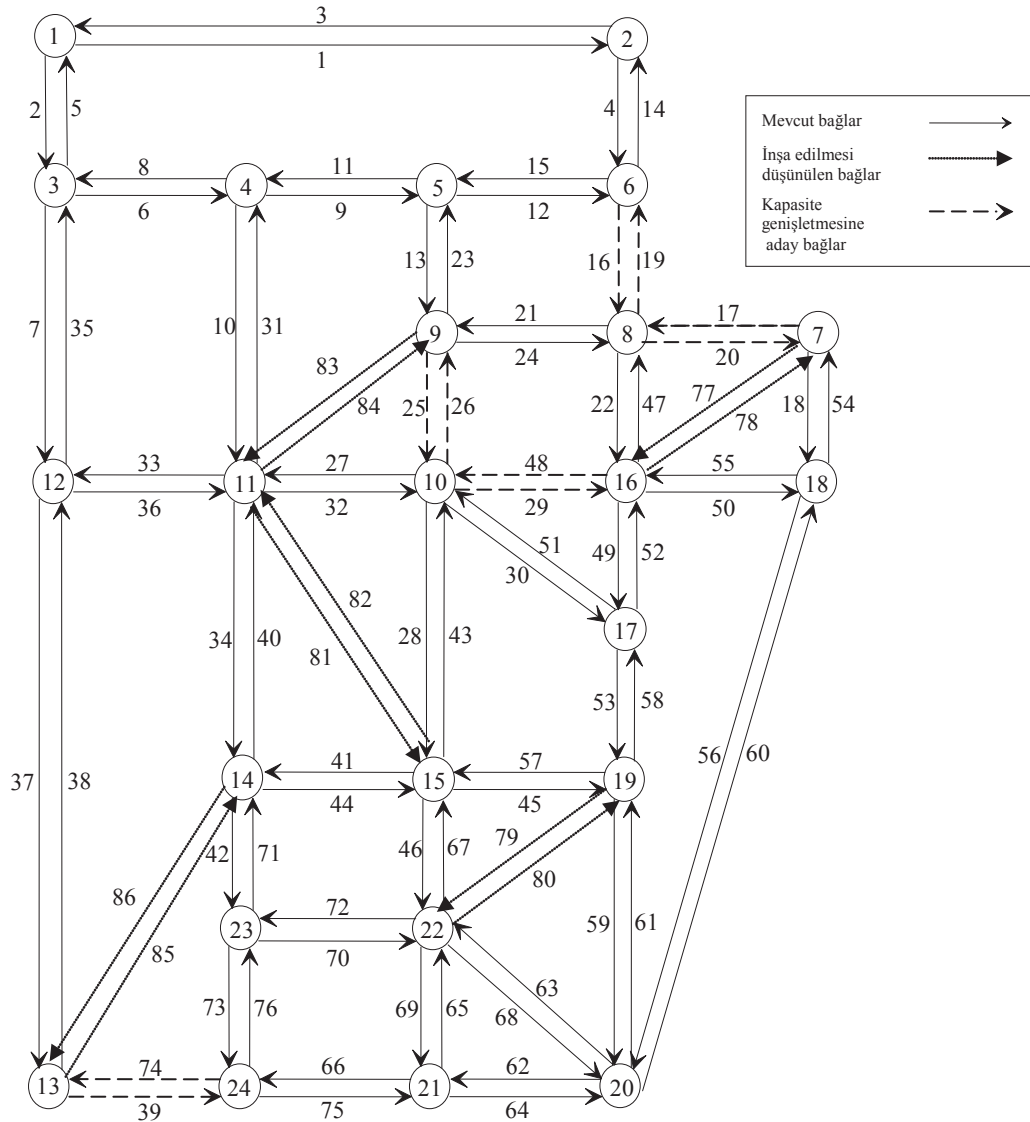
Burada; g jenerasyon sayısını ifade etmektedir. DG algoritması belirlenen durma kriterinin sağlanması ya da maksimum jenerasyon sayısına ulaşılması durumunda sonlandırılır.

Sayısal Uygulama

DG algoritmasının BUAT problemindeki performansının test edilmesi amacıyla Şekil 2'de verilen 24 düğüm ve 76 bağdan oluşan Sioux-Falls ulaşım ağı seçilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi 10 çift bağda yatırım yapılması planlanmaktadır. 5 çift bağ yeni yapılması düşünülen bağlar olup diğerleri ise kapasite genişletmesi yapılması planlanan bağlardır. Bütçe kısıtını amaç fonksiyonuna dahil etmek amacıyla Denklem (1)'e ceza fonksiyonu eklenmiş ve Denklem (6)'da verilmiştir.

$$\text{Min } Z(\mathbf{y}) = \sum_y \sum_{(i,j) \in A \cup A_{y1}} x_{ij}^* t_{ij}^*(x_{ij}^*) + \theta^* \max \left(\sum_{(i,j) \in A_y} M_{ij} y_{ij} - B, 0 \right) \quad (6)$$

Burada; θ ceza fonksiyonu sabiti olup 10^3 olarak seçilmiştir. Toplam yatırım maliyetlerinin verilen bütçe kısıtını aşması durumunda amaç fonksiyonuna ceza uygulanmakta aksi durumda ise ceza fonksiyonu sıfır değerini almaktadır. Maliyet fonksiyonu, $t_{ij} = a_{ij} + b_{ij}x_{ij}^4$, parametreleri ve B-V talep matrisi Poorzahedy ve Turnquist (1982) ve LeBlanc (1975)'den alınmıştır. Kapasite genişletmesi yapılması planlanan bağ çiftlerine (9-10, 10-9; 6-8, 8-6; 13-24, 24-13; 7-8, 8-7; 10-16, 16-10) ait yapım maliyetleri sırasıyla 625, 650, 850, 1000 ve 1200, yeni inşa edilmesi planlanan bağ çiftlerinin (7-16, 16-7; 19-22, 22-19; 11-15, 15-11; 9-11, 11-9; 13-14, 14-13) yapım maliyetleri ise 1500, 1650, 1800, 1950 ve 2100 olarak seçilmiştir (Poorzahedy ve Rouhani, 2007). Çalışmada 2700, 6500 ve 10820 olmak üzere 3 farklı bütçe için çözüm yapılmıştır. DG algoritmasının sonuçları Poorzahedy ve Rouhani (2007) tarafından geliştirilen Karınca Sistemi (KS) sonuçları ile karşılaştırılmış sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.



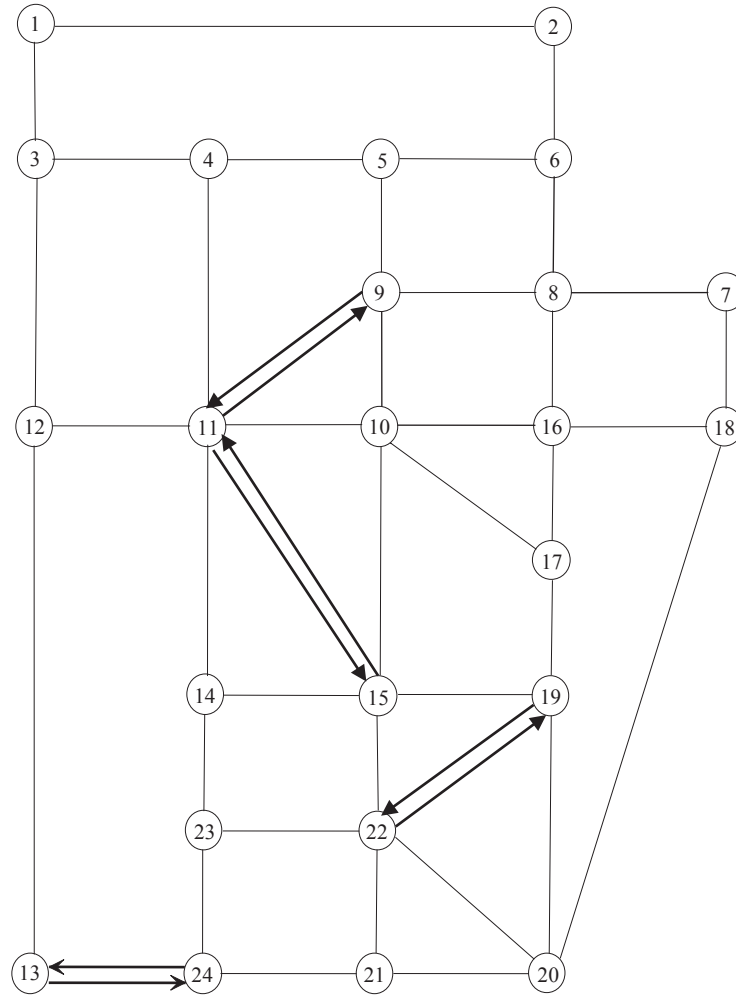
Şekil 2 Sioux-Falls ulaşım ağı.

Tablo 1 Farklı B/M oranları için sonuçların karşılaştırılması.

DG				KS			
B/M	B	Ortalama DTA sayısı	Z^a	B/M	B	Ortalama DTA sayısı	Z^a
0.20	2700	38.0	65293	0.20	2700	19.2	76297
0.49	6500	33.7	53366	0.49	6500	23.9	65465
0.81	10820	14.0	49845	0.81	10820	18.1	58829

^a En iyi amaç fonksiyonu değeri

Tablo 1'den görüldüğü gibi amaç fonksiyonu değerlerine göre DG algoritması üç farklı B/M oranı için KS yöntemine göre daha iyi sonuçlar üretmektedir. Ortalama DTA sayıları açısından her iki algoritma arasında kayda değer bir farklılık görünmemektedir. 0.20 ve 0.49 B/M oranları için DG algoritması daha yüksek sayıda DTA gerektirmesine rağmen, en yüksek bütçeli çözümde KS algoritması daha fazla DTA sayısında en iyi çözüme ulaşabilmektedir. Orta bütçeli durumu ifade eden $B/M=0.49$ durumu için elde edilen sonuçlar Şekil 3'de ulaşım ağı üzerinde gösterilmiştir. En iyi yatırım projesi şekilden görüldüğü gibi 13-24 ve 24-13 bağlarında kapasite genişletmesi yapılması, 19-22, 22-19; 11-15, 15-11 ve 9-11, 11-9 bağlarının ise ulaşım ağına eklenmesi durumudur.

Şekil 3 $B/M=0.49$ için en iyi yatırım projesi.

Ayrıca Tablo 2’de DG algoritması ile elde edilen en iyi yatırım projeleri her B/M oranı için verilmiştir.

Tablo 2 Farklı B/M oranları için en iyi yatırım stratejileri.

B/M	Yatırıma aday bağlar									
	9-10 10-9	6-8 8-6	13-24 24-13	7-8 8-7	10-16 16-10	7-16 16-7	19-22 22-19	11-15 15-11	9-11 11-9	13-14 14-13
0.20	1							1		
0.49			1				1	1	1	
0.81		1		1	1	1	1	1		1

Sonuçlar

Bu çalışmada ulaşım ağlarında sıkça karşılaşılan belirli bütçe kısıtları dahilinde en uygun bağ ekleme-çıkarma ve bağ kapasite genişletme yatırım projelerinin belirlenmesi problemi ele alınmış ve çözüm için karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümünde sıkça kullanım alanı bulan DG algoritması kullanılmıştır. Algoritmada yatırımın gerçekleştirilme durumunu temsil etmek için 0-1 ikili değişkenleri kullanılmıştır. Bütçe kısıtının aşılmaması için amaç fonksiyonuna ceza fonksiyonu eklenerek çözüm yapılmıştır. Önerilen yöntem Sioux-Falls ulaşım ağı üzerinde farklı B/M oranları için test edilmiş ve literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar DG algoritmasının BUAT probleminin çözümünde oldukça başarılı olduğunu ayrıca kullanım kolaylığı açısından gerçek ulaşım ağlarında kullanılabileceğini göstermiştir.

Kaynaklar

- Abdulaal, M. and LeBlanc, L. (1979) Continuous equilibrium network design models. Transportation Research Part B, 13, pp. 19-32.
- Baskan O. (2013) Harmony search algorithm for continuous network design problem with link capacity expansions. KSCE Journal of Civil Engineering, DOI 10.1007/s12205-013-0122-6.
- Ceylan, H. ve Ceylan, H. (2009) Şehiriçi Karayolu Ağlarının Ayrık Tasarımında Sezgisel Armoni Araştırması Yöntemi Uygulaması. 8. Ulaştırma Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Bildiriler Kitabı, s. 195-208, ISBN: 978-9944-89-773-0, 30 Eylül 1-2 Ekim, İstanbul.
- Ceylan, H., Ceylan, H., Baskan, O. ve Haldenbilen, S. (2009) Birleştirilmiş Oyun Teorisi ve Genetik Algoritma ile Şehiriçi Ulaşım Ağ Tasarımı ve Uygulaması. 8. Ulaştırma Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Bildiriler Kitabı, s. 209-220, ISBN: 978-9944-89-773-0, 30 Eylül 1-2 Ekim, İstanbul.
- Ceylan, H. ve Ceylan, H., (2013) Şehiriçi Karayolu Ağlarının Sezgisel Armoni Araştırması Optimizasyon Yöntemi ile Ayrık Tasarımı. İMO Teknik Dergi, 24(1), s. 6211-6231.

Chiou, S. W. (2005) Bilevel programming for the continuous transport network design problem. Transportation Research Part B, 39, pp. 361-383.

Davis, G. A. (1994) Exact local solution of the continuous network design problem via stochastic user equilibrium assignment. Transportation Research Part B, 28(1), pp. 61-75.

Dell'Orco, M., Baskan, O. and Marinelli, M. (2013) A harmony search algorithm approach for optimizing traffic signal timings. Promet Traffic & Transportation, 25(4), pp. 349-358.

Farvareh, H. and Sepehri, M. M. (2011) A single-level mixed integer linear formulation for a bi-level discrete network design problem. Transportation Research Part E, 47, 623-640.

Frank, M. and Wolfe, P. (1956) An algorithm for quadratic programming. Naval Research Logistics Quarterly, 3, pp. 95-110.

Friesz, T. L., Cho, H. J., Mehta, N. J., Tobin, R. L., and Anandalingam, G. (1992) A simulated annealing approach to the network design problem with variational inequality constraints. Transportation Science, pp. 18-26.

Gao, Z., Wu, J. and Sun, H. (2005) Solution algorithm for the bi-level discrete network design problem. Transportation Research Part B, 39, pp. 479-495.

LeBlanc, L. J. (1975) An Algorithm for the Discrete Network Design Problem. Transportation Science, 9(3), pp. 183-199.

Liu, H., Cai, Z. and Wang, Y. (2010) Hybridizing particle swarm optimization with differential evolution for constrained numerical and engineering optimization. Applied Soft Computing, 10(2), pp. 629-640.

Li, C., Yang, H., Zhu, D. and Meng, Q. (2012) A global optimization method for continuous network design problems. Transportation Research Part B, 46, pp. 1144-1158.

Luathep, P., Sumalee, A., Lam, W. H. K., Li, Z. C. and Lo, H. K. (2011) Global optimization method for mixed transportation network design problem: a mixed-integer linear programming approach. Transportation Research Part B, 45(6), pp. 808-827.

Marcotte, P. (1983) Network optimization with continuous control parameters. Transportation Science, 17, pp. 181-197.

Meng, Q., Yang, H., and Bell, M. G. H. (2001) An equivalent continuously differentiable model and a locally convergent algorithm for the continuous network design problem. Transportation Research Part B, 35, pp. 83-105.

Poorzahedy, H. and Abulghasemi, F. (2005) Application of Ant System to network design problem. Transportation, 32, pp. 251 - 273.

Poorzahedy, H. and Rouhani, O. M. (2007) Hybrid meta-heuristic algorithms for solving network design problem. European Journal of Operational Research, 182, pp. 578-596.

Poorzahedy, H. and Turnquist, M. A. (1982) Approximate algorithms for the discrete network design problem. Transportation Research Part B, 16, pp. 45-55.

Storn, R. and Price, K. (1995) Differential evolution: A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces. ICSI, USA, Tech. Rep. TR-95-012.

Suwansirikul, C., Friesz, T. L. and Tobin, R. L. (1987) Equilibrium decomposed optimisation: a heuristic for the continuous equilibrium network design problem. Transportation Science, 21(4), pp. 254-263.

Wang, S., Meng, Q. and Yang, H. (2013) Global optimization methods for the discrete network design problem. Transportation Research Part B, 50, pp. 42-60.

Kentiçi Karayolu Ağlarında Yol Kenarı Park Yerlerinin Diferansiyel Gelişim Algoritması Kullanılarak Belirlenmesi

Hüseyin Ceylan

Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak.,
İnşaat Müh. Bölümü, 20070-Denizli, TR
Tel: (258) 296 33 86
E-Posta: hceylan@pau.edu.tr

Öz

Bu çalışmada kentiçi karayolu ağlarındaki yol kenarı park yerlerinin belirlenmesi amacıyla bir simülasyon/optimizasyon modeli geliştirilmektedir. Söz konusu problem, içerdiği sıfır-bir değişkenlerinden dolayı Ayrık Ulaşım Ağ Tasarımı (AUAT) kapsamında ele alınmakta ve çözüm için iki seviyeli programlama tekniği kullanılmaktadır. Bu kapsamda, üst seviyede park yerlerinin belirlenmesi problemi ele alınırken sürücülerin tasarıma verdikleri reaksiyonlar alt seviyede kullanıcı dengesi altında modele dahil edilmektedir. Doğrusal olmayan ikili tamsayılı programlama problemi olarak formülize edilen üst seviye probleminin çözümü için Diferansiyel Gelişim (DG) algoritması kullanılmaktadır. Geliştirilen modelde, alt seviyedeki trafik ataması probleminin çözümü için VISUM[®] trafik modelleme yazılımından faydalanılmaktadır. Model performansının test edilmesi amacıyla literatürde AUAT alanında sıklıkla kullanılan Sioux-Falls yol ağı üzerinde bir uygulamaya yer verilmektedir. Sonuçlar, önerilen DG tabanlı modelin kentiçi karayolu ağlarındaki yol kenarı park yerlerinin belirlenmesi probleminin çözümünde etkin şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Yol kenarı park, Ayrık ulaşım ağ tasarımı, Diferansiyel gelişim algoritması, Trafik yönetimi, VISUM[®].

Giriş

Günümüzde artan sosyo-ekonomik gereksinimler farklı günlük aktiviteleri tetiklemekte ve bunun bir sonucu olarak büyük ve gelişmekte olan şehirlerde yaşayanların hareketliliği artmaktadır. Sürekli değişen hareketlilik talebini karşılamak için insanlar özel taşıt türünü kullanma eğilimi göstermektedirler. Özel taşıt türüne olan talebin artması da kentiçi yol ağlarında parklanma problemlerine yol açmaktadır. Kent merkezlerindeki otopark alanlarının yetersizliği gözönüne alındığında, bu problem hem kent ekonomileri hem de kent sakinlerinin ulaşım kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Özellikle zirve saatlerde sürücüler park problemini yol kenarı parklanma ile çözmeye çalışırken yerel yönetimler yol ağının kapasitesini olumsuz etkilemeyecek parklanma politikaları geliştirme çabasındadırlar.

Shoup (2004) zirve saatlerde önemli sayıda sürücünün uygun bir park yeri arayışı içinde seyrettiğini belirtmektedir. Çalışmada vurgulanan bir diğer husus da, ücretsiz/düşük

ücretli ve plansız yol kenarı parklanmalarının yol ağı kapasitesinde ciddi azalmalara neden olabildiği ve planlı/denge fiyatı üzerinden ücretlendirilen yol kenarı parklanmalarının ideal bir kamusal gelir kaynağı olabileceğidir. Yousif ve Purnawan (2004) farklı park yeri tasarımlarının park manevra süresi ve aralık kabul değerleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Portilla ve diğ. (2009) yol kenarı park manevraları ve kötü park edilmiş taşıtların ortalama link seyahat süreleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada her iki durumda da link seyahat süreleri ve ağ kapasitesinin önemli ölçüde etkilendiği belirtilmektedir. Yol kenarı park yerlerinin belirlenmesine ilişkin literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, araştırmacıların genel olarak yol kenarı park yerlerinin ve buralardaki parklanma manevralarının link seyahat süreleri ve ağ kapasitesi üzerindeki etkileri üzerine yoğunlaştıkları görülebilmektedir. Diğer taraftan, ağ genelinde parklanmaya izin verilebilecek yol kesimlerinin belirlenmesine yönelik yaklaşımların geliştirilmesi faydalı olabilecektir.

Herhangi bir yol kesimindeki bir şeridin yol kenarı parklanmaya tahsis edilip edilmeyeceğini temsil eden sıfır-bir değişkenlerinin kullanımından dolayı bu problem Ayrık Ulaşım Ağ Tasarımı (AUAT) kapsamında ele alınabilir. Literatürde farklı AUAT problemlerinin çözümü için geliştirilmiş çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bruynooghe (1972) yol ağlarının performanslarının artırılması amacıyla gerçekleştirilecek optimum yatırım stratejilerinin belirlenmesi için bir tamsayı programlama modeli geliştirmiştir. LeBlanc (1975) AUAT probleminin çözümü için Dal & Sınır (DS) tekniği tabanlı bir çözüm yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntemde link trafik hacimleri Kullanıcı Dengesi (KD) kabulüyle hesaplanmıştır. Poorzahedy ve Turnquist (1982) AUAT probleminin çözümü için iki-seviyeli programlama modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde, yol ağındaki toplam seyahat süresinin minimizasyonu DS tekniği tabanlı bir sezgisel algoritma ile gerçekleştirilmiştir. AUAT problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan DS metodunun, çok sayıda karar değişkeni içeren problemler için yüksek bellek ve uzun hesaplama süresi gereksinimleri gibi dezavantajlarından bahsetmek mümkündür (Heragu, 1997; Pinedo, 2008). Gao ve diğ. (2005) yol ağına ilave edilecek yeni linkler ve trafik hacimleri arasındaki ilişkiyi açıklamaya yönelik destek fonksiyonu tabanlı bir çözüm algoritması geliştirmişlerdir. Gerek DS tekniğinin dezavantajları, gerekse iki-seviyeli AUAT probleminin konveks ve sürekli olmayan yapısından dolayı sezgisel optimizasyon yöntemleri ile ele alınması gerekmektedir (Duthie ve Waller, 2008). Ceylan ve Ceylan (2013) AUAT problemini karma tamsayı programlama problemi olarak ele almışlar ve çözüm için sezgisel armoni araştırması tekniği tabanlı bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Çalışmada, geliştirilen modelin kapasite artırımı ve trafik yönlendirme problemlerinin çözümünde kayda değer sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada, kentiçi yol ağlarında yol kenarı parklanma yerlerinin belirlenmesi için iki-seviyeli ikili tamsayı programlama modeli geliştirilmektedir. Üst seviyede, parklanmaya tahsis edilecek şeritler Diferansiyel Gelişim (DG) algoritması ile belirlenirken, alt seviyede KD ataması problemi VISUM[®] trafik modelleme yazılımı kullanılarak çözülmektedir. Parklanma manevralarının yol kapasitesi üzerindeki etkileri bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

Problem Formülasyonu

Yol kenarı park yerlerinin belirlenmesi problemi parklanmaya tahsis edilecek yol kesimlerinin uzunluğunun maksimize edilmesi şeklinde ele alınarak aşağıdaki gibi formülize edilebilir:

$$\frac{v_m}{c_m} \leq 1 \quad (\forall m \in M) \quad (1)$$

kısıtına bağlı olarak,

$$\text{maks} \sum_{m=1}^M u_m l_m \quad (2)$$

Burada M yol kenarı parklanmaya aday linkler seti ($\forall m \in M$), v_m m linkindeki trafik hacmi, c_m m linkinin kapasitesi ve l_m m linkinin uzunluğudur. Herhangi bir linkin bir şeridinin parklanmaya tahsis edilip edilmeyeceğini belirleyen u_m ikili değişkeni aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$u_m = \begin{cases} 1 & m \text{ linkinin bir şeridi yol kenarı parklanmaya tahsis edilecekse} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (3)$$

Eşitlik (1)'de verilen kısıt, parklanmaya aday linklerdeki KD trafik hacimlerinin kapasiteyi aşmamasını sağlamaktadır. KD trafik hacimleri aşağıdaki konveks optimizasyon probleminin çözümüyle hesaplanabilir:

$$\sum_{k \in K} f_k^{rs} = D_{rs} \quad \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs} \quad (4)$$

$$v_a = \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall r \in R, s \in S, a \in A, k \in K_{rs} \quad (5)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs} \quad (6)$$

kısıtlarına bağlı olarak,

$$\min_x z = \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(x) dx \quad (7)$$

Burada, A yol ağındaki linkler seti ($\forall a \in A$), R başlangıçlar seti ($\forall r \in R$), S varışlar seti ($\forall s \in S$) seti, K_{rs} rs Başlangıç-Varış (B-V) çifti arasındaki rotalar seti, D_{rs} r başlangıcı ile s varışı arasındaki seyahat talebi, f_k^{rs} rs B-V çifti arasında yer alan k rotasındaki trafik hacmi, t_a^0 a linkindeki serbest akım seyahat süresi, $t_a(v_a)$ a linkindeki seyahat süresi ve $\delta_{a,k}^{rs}$ link/rota belirleme matrisinin elemanıdır. Eğer rs B-V çifti arasındaki k rotası a linkini kullanıyorsa $\delta_{a,k}^{rs} = 1$ aksi halde $\delta_{a,k}^{rs} = 0$ olmaktadır.

Diferansiyel Gelişim Algoritması

DG algoritması, genetik algoritmaların görece basit, hızlı ve etkili bir türü olarak tanımlanabilir. DG algoritmasının çözüm prosedürü altı adımdan oluşmaktadır.

Adım 1. Amaç fonksiyonunun, kullanıcı tanımlı DG parametrelerinin ve durma koşulunun tanımlanması:

$$g_k(X) \leq 0 \quad (8)$$

$$x_j^{(l)} \leq x_j \leq x_j^{(u)} \quad j = 1, \dots, n \quad (9)$$

kısıtlarına bağlı olarak

$$\min f(X) \quad (10)$$

Burada $f(X)$ amaç fonksiyonu, $g_k(X)$ kısıtlar seti ve $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ karar değişkenleri kümesidir. $x_j^{(l)}$ ve $x_j^{(u)}$ sırasıyla değişkenlere ait alt ve üst sınır değerlerini temsil etmektedir. DG prosedürü üç algoritma parametresiyle kontrol edilmektedir. İlk parametre, popülasyon büyüklüğü (N_p) olarak adlandırılmakta ve optimizasyon sürecinde kullanılacak çözüm vektörü sayısını temsil etmektedir. İkinci parametre mutasyon faktörü (F) olup mutasyon vektörünün belirlenmesinde kullanılmaktadır ve 0.5 ile 1.0 arasında bir değer alması önerilmektedir (Storn ve Price, 1997). Üçüncü parametre çaprazlama oranıdır (CR) ve bu parametre için önerilen değer aralığı [0.8, 1.0] şeklindedir (Storn ve Price, 1997). Bu çalışmada durma koşulu 1000 jenerasyonun tamamlanması olarak kabul edilmiştir.

Adım 2. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

Bu adımda, N_p adet çözüm vektörü için karar değişkenlerinin alacağı değerler alt ve üst değer aralıkları göz önünde bulundurularak rastgele üretilir ve ilgili amaç fonksiyon değerleri hesaplanır. Örnek başlangıç popülasyonu Denklem (11)'de verilmektedir.

$$\begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{n-1}^1 & x_n^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{n-1}^2 & x_n^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{N_p-1} & x_2^{N_p-1} & \dots & x_{n-1}^{N_p-1} & x_n^{N_p-1} \\ x_1^{N_p} & x_2^{N_p} & \dots & x_{n-1}^{N_p} & x_n^{N_p} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} f(\mathbf{X})^1 \\ f(\mathbf{X})^2 \\ \dots \\ f(\mathbf{X})^{N_p-1} \\ f(\mathbf{X})^{N_p} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Adım 3. Mutasyon

DG algoritmasının temel avantajı olan mutasyon, iki popülasyon üyesinin değerleri arasındaki farkın mutasyon faktörü ile çarpılarak üçüncü bir üyeye eklenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Rastgele seçilen üç farklı vektör kullanılarak mutasyon vektörünün $\mathbf{p}_{i,k}$ oluşturulması aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\mathbf{p}_{i,k} = \mathbf{X}_{r0,k} + F \cdot (\mathbf{X}_{r1,k} - \mathbf{X}_{r2,k}) \quad (12)$$

Burada $r0$ rastgele seçilen temel vektör indeksi olup hedef vektör indeksinden i farklı olmalıdır. Ayrıca $r1$ ve $r2$ rastgele seçilen fark vektörü indekslerini temsil etmektedir ve hem temel vektör hem de hedef vektör indeksinden farklı olmalıdırlar.

Adım 4. Çaprazlama

DG algoritmasının arama süreci düzenli çaprazlama ile tamamlanmaktadır. Bu adımda deneme vektörünün $\mu_{i,k}$ her bir elemanı CR olasılığıyla mutasyon vektöründen, $1-CR$ olasılığıyla hedef vektörden seçilmektedir.

$$\mu_{j,i,k} = \begin{cases} \rho_{j,i,k} & \text{eğer } (\text{rand}_j(0,1) \leq CR \text{ veya } j = j_{\text{rand}}) \\ x_{j,i,k} & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (13)$$

Adım 5. Seçim

Bu adımda, deneme vektörünün elemanları kullanılarak amaç fonksiyonu hesaplanır. Eğer yeni amaç fonksiyon değeri hedef vektörün amaç fonksiyon değerinden düşükse bir sonraki jenerasyon için hedef vektör deneme vektörü ile değiştirilir.

$$\mathbf{X}_{i,k+1} = \begin{cases} \mu_{i,k} & \text{eğer } f(\mu_{i,k}) \leq f(\mathbf{X}_{i,k}) \\ \mathbf{X}_{i,k} & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (14)$$

Adım 6. Algoritmanın durdurulması

Birinci adımda belirlenen durma koşulu sağlanana kadar mutasyon, çaprazlama ve seçim adımları tekrarlanır.

Model Gelişimi

Bu bölümde, yol kenarı park yerlerinin belirlenmesi probleminin çözümü için geliştirilen modelin yapısı DG algoritmasının çözüm adımlarına paralel olarak verilmektedir. Birinci adımda yol ağına ilişkin parametreler, parklanmaya aday linkler, B-V talepleri, DG algoritması parametreleri ve durma koşulu tanımlanır. İkinci adımda popülasyon büyüklüğü kadar çözüm vektörü rastgele üretilen 0-1 değerleri ile doldurulur. Daha sonra KD ataması problemi VISUM[®] yardımıyla çözülerek link trafik hacimleri elde edilir (PTV, 2012). Yol kenarı parklanmaya ayrılan yol kesimlerinin toplam uzunluğunun belirlenmesi için Denklem (2)'de verilen amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

$$\min \left(\sum_{i=1}^m G_i(v_i) - u_i l_i \right) \quad (15)$$

Burada $G_i(v_i)$ Denklem (1)'de verilen eşitsizlik kısıtının sağlanması amacıyla kullanılan ceza fonksiyonu olup aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$G_i(v_i) = \begin{cases} \alpha & \text{eğer } \frac{v_i}{c_i} > 1 \quad (\forall i \in M) \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (16)$$

Üçüncü adımda mutasyon vektörünün elde edilmesi aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir:

$$\mathbf{p}_{i,k} = \mathbf{u}_{r0,k} + F \cdot (\mathbf{u}_{r1,k} - \mathbf{u}_{r2,k}) \quad (17)$$

Problemin yapısına bağlı olarak karar değişkenlerinin yalnızca 0–1 değerleri alabileceği göz önünde bulundurularak, mutasyon vektörü elemanlarının belirlenmesi için aşağıdaki ifadeden faydalanılabilir:

$$\rho_{i,k} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } \rho_{i,k} \geq 1 \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (18)$$

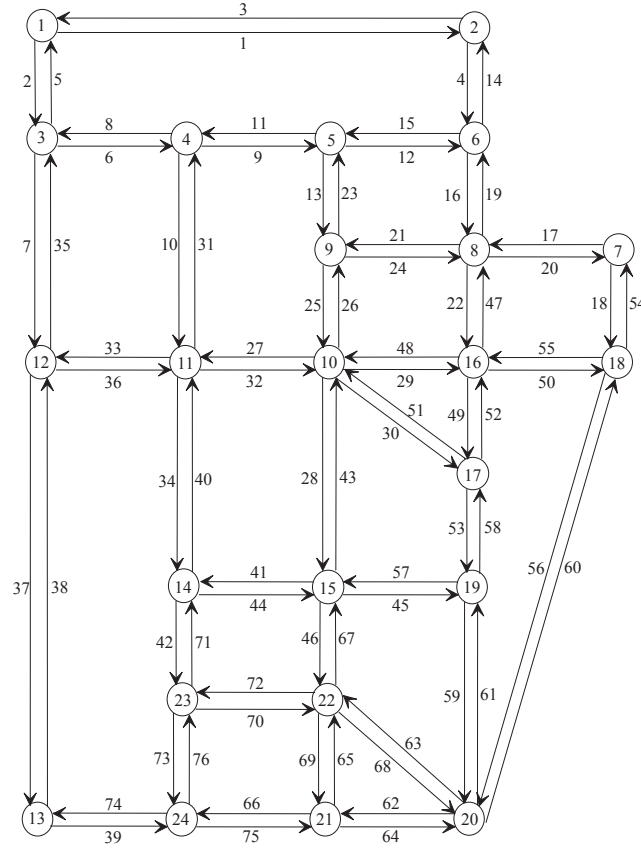
Dördüncü adımda deneme vektörünün her bir elemanı CR olasılığıyla mutasyon vektöründen, $1-CR$ olasılığıyla hedef vektörden seçilir. Beşinci adımda deneme vektörü için KD ataması problemi çözülerek denge trafik hacimleri elde edilir. Deneme vektörü ve link trafik hacimlerine bağlı olarak Denklem (15)'te verilen amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. Deneme vektörü için hesaplanan amaç fonksiyonu değeri, hedef vektörün amaç fonksiyon değerinden düşükse deneme vektörü popülasyona dahil edilir ve hedef vektör popülasyondan çıkarılır. Son olarak, durma koşulu sağlanana kadar mutasyon, çaprazlama ve seçim adımları tekrarlanır.

Sayısal Uygulama

Bu bölümde, geliştirilen modelin performansını test etmek amacıyla bir sayısal uygulamaya yer verilmiştir. Test ağı olarak seçilen Sioux Falls yol ağı Şekil 1'de görülmektedir. Ayrıca, Tablo 1'de Sioux Falls yol ağındaki linklerin uzunlukları verilmektedir.

Şekil 1'den görüldüğü üzere test ağı 76 link, 24 düğüm ve 552 B–V çiftinden oluşmaktadır. Yol ağındaki her linkin iki şeritten oluştuğu kabul edilmiştir. Link kapasiteleri ve serbest akım seyahat süreleri Suwansirikul ve diğ.'nin (1987), B–V talepleri LeBlanc'in (1975) çalışmalarından elde edilebilir. DG algoritması parametreleri olan mutasyon faktörü ve çaprazlama oranı için 0.80 değeri kullanılmış ve popülasyon büyüklüğü 30 olarak kabul edilmiştir. Çözüm 1000. jenerasyonda durdurulmuştur. Ceza faktörü α , hacim/kapasite oranı "1"den büyük olan her bir link için 4 km alınarak amaç fonksiyonuna dahil edilmiştir. Link seyahat sürelerinin hesabında kullanılan fonksiyon aşağıda verilmektedir (BPR, 1964):

$$t_i = t_i^0 \left[1 + 0.15 \left(\frac{v_i}{c_i} \right)^4 \right] \quad (19)$$

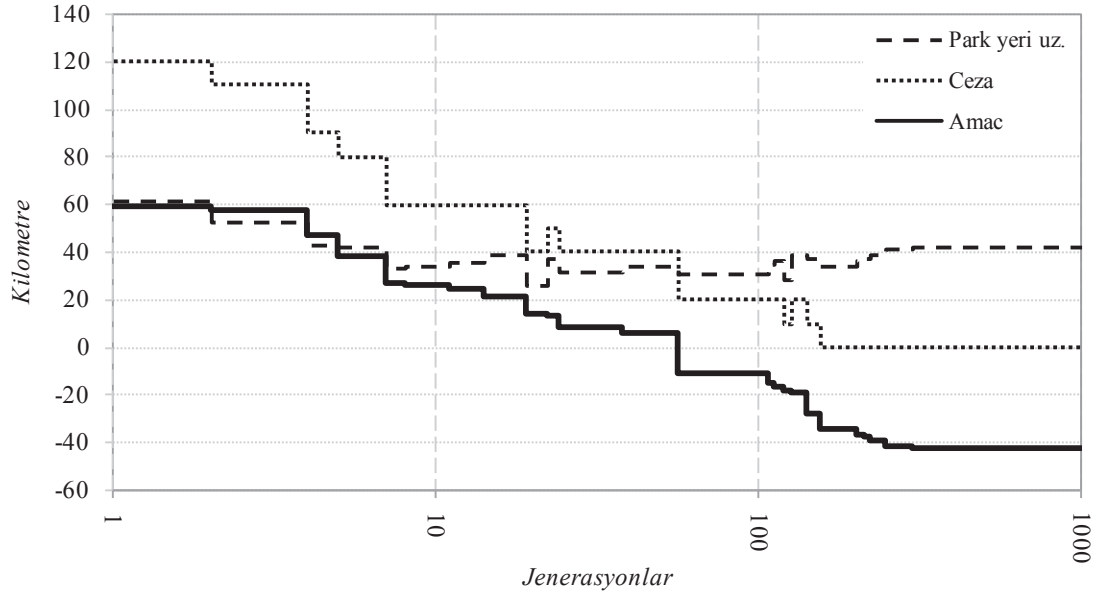


Şekil 1 Test ağı.

Tablo 1 Link uzunlukları.

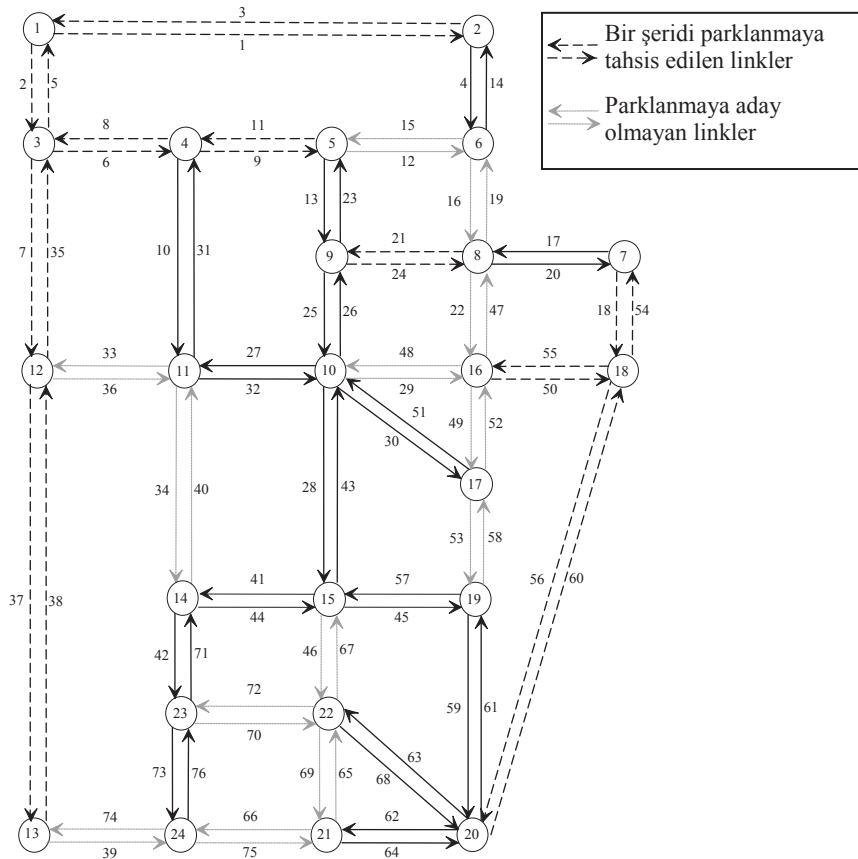
Linkler	Uzunluk (km)
9, 11, 16, 18, 19, 49, 52, 53, 54, 58, 65, 69, 73, 76	1,0
17, 20, 25, 26, 37, 38, 45, 46, 50, 55, 57, 66, 67, 75	1,5
2, 5, 6, 7, 8, 12, 15, 29, 34, 35, 39, 40, 42, 48, 56, 59, 60, 61, 70, 71, 72, 74	2,0
4, 13, 14, 22, 23, 27, 32, 41, 44, 47, 63, 68	2,5
1, 3, 10, 28, 31, 33, 36, 43, 62, 64	3,0
30, 51	4,0
21, 24	5,0

Bu çalışmada, yol ağının orijinal hali için hacim/kapasite oranı "1" in üzerinde olan 26 link parklanmaya aday linkler listesinden çıkarılmış olup kalan 50 link yol kenarı parklanmaya tahsis edilebilecek linkler olarak kabul edilmiştir. Söz konusu 50 linkin toplam uzunluğu 112 km'dir. Model sonucunda elde edilen yakınsama grafiği Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2 Çözüm sürecinin yakınsama grafiği.

Şekil 2'den görüldüğü üzere yaklaşık 300 jenerasyon sonunda çözüme ulaşılmıştır. Ayrıca, ilk jenerasyonda 120 km mertebesinde olan ceza değerinin yaklaşık 200 jenerasyon sonunda sifıra inmesi, Denklem (1)'de verilen hacim/kapasite kısıtının sağlandığını göstermektedir. Yol ağının çözüm sonrası görünümü ve sonuçlar sırasıyla Şekil 3 ve Tablo 2'de verilmektedir.



Şekil 3 Model uygulaması sonucunda ağ görünümü.

Tablo 2 Çözüm sonucunda elde edilen parklanma planı.

Parklanmaya tahsis edilecek linkler	Toplam uzunluk (km)
1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 18, 21, 24, 35, 37, 38, 50, 54, 55, 56, 60	42,0

Tablo 2'den görüldüğü üzere çözüm sonucunda toplam 42 km uzunluğundaki 20 link yol kenarı parklanmaya tahsis edilmiştir. Ağ genelindeki toplam seyahat süresindeki ve ortalama hacim/kapasite oranındaki değişim Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3 Yol ağındaki toplam seyahat süresi ve ortalama hacim/kapasite oranı.

	Orijinal	Çözüm sonrası	Değişim (%)
Toplam seyahat süresi (taşıt-sa)	18706	18784	0,42
Ortalama hacim/kapasite oranı	0,76	0,83	9,21

Tablo 3'ten görülebildiği üzere çözüm sonrası yol ağındaki toplam seyahat süresindeki artış %1'in altında gerçekleşmektedir. Diğer taraftan ortalama hacim/kapasite oranının yaklaşık %9 arttığı görülmektedir. Ayrıca, parklanmaya aday linklerin tamamı için çözüm sonrasında hacim/kapasite oranı "1" in altında kalmıştır.

Sonuçlar

Bu çalışmada kentiçi karayolu ağlarında yol kenarı park yerlerinin belirlenmesi problemi AUAT kapsamında ele alınmıştır. Bu amaçla, iki-seviyeli bir simülasyon/optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Önerilen modelde üst seviyede parklanmaya tahsis edilebilecek yol kesimlerinin maksimizasyonu ele alınırken, alt seviyede KD ataması problemi VISUM[®] trafik modelleme yazılımıyla çözülmüştür. Üst seviye probleminin çözümünde son yıllarda mühendislik problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılmaya başlanan DG algoritmasından yararlanılmıştır. Geliştirilen model literatürde AUAT modellerinin test edilmesinde sıklıkla kullanılan Sioux Falls yol ağına uygulanmıştır. Sonuçlar DG algoritması tabanlı modelin yol kenarı park yerlerinin belirlenmesi probleminde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Gelecek çalışmalarda parklanma manevralarından kaynaklanan gecikmelerin dahil edilmesiyle modelin gerçek problemlere daha uygun hale getirilmesi hedeflenmektedir.

Teşekkür Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenen 2013BSP009 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

Bruynooghe, M. (1972) An optimal method of choice of investments in a transport network. Presentation, Planning & Transport Research & Computation Seminars on Urban Traffic Model Research.

Bureau of Public Roads (BPR) (1964) Traffic Assignment Manual. Washington, DC: U.S. Department of Commerce.

Ceylan, H. ve Ceylan, H. (2013) Şehiriçi Karayolu Ağlarının Sezgisel Harmoni Araştırması Optimizasyon Yöntemi ile Ayrık Tasarımı. Teknik Dergi, 24(1), pp. 6211-6231.

Duthie, J. and Waller, S. T. (2008) Incorporating Environmental Justice Measures into Equilibrium-Based Network Design. Journal of the Transportation Research Board, 2089, pp. 58-65.

Gao, Z. Y., Wu, J. J. and Sun, H. J. (2005) Solution algorithm for the bi-level discrete network design problem. Transportation Research Part B, 39, pp. 479-495.

Heragu, S. S. (1997) Facilities Design. PWS Publishing Company, Boston, 647 p.

LeBlanc, L. J. (1975) An Algorithm for the Discrete Network Design Problem. Transportation Science, 9(3), pp. 183-199.

Pinedo, M. L. (2008) Scheduling Theory. Algorithms and Systems (3rd edition). Springer Science+Business Media, LLC, 647 p.

Poorzahedy, H. and Turnquist, M. A. (1982) Approximate algorithm for the discrete network design problem. Transportation Research Part B, 16(1), pp. 45-55.

Portilla, A. I., Orena, B. A., Berodia, J. L. M. and Diaz, F. J. R. (2009). Using M/M/∞ queuing model in on-street parking maneuvers. Journal of Transportation Engineering, 135(8), pp. 527-535.

PTV AG. (2012) VISUM 12.5 Fundamentals. Karlsruhe, Germany.

Shoup, D. C. (2004) The ideal source of public revenue. Regional Science and Urban Economics, 34, pp. 753-784.

Storn, R. and Price, K. (1997) Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces, Journal of Global Optimization, 11(4), pp. 341-359.

Suwansirikul, C., Friesz, T. L. and Tobin, R. L. (1987) Equilibrium Decomposed Optimization: A Heuristic for the Continuous Equilibrium Network Design Problem. Transportation Science. 21(4), pp. 254-263.

Yousif, S. and Purnawan (2004). Traffic operations at on-street parking facilities. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport, 157, pp. 189-194.

Şehiriçi Yol Ağlarında Bir Kalite Göstergesi Olarak Güzergah Rasyonellik Skalaları

Kadir Akgöl, Banihan Günay

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kampüs,
07058 ANTALYA
Tel: (242) 310 63 18
E-Posta: banihangunay@akdeniz.edu.tr

Öz

Bu bildiride, şehiriçi ulaşımda kullanılan yolculuk güzergahlarının geometrik açıdan ne derece makul olduklarını belirleyebilmek amacıyla yol ağlarının rasyonelliğini ölçecek skalalar oluşturulmuştur. Bu skalalar kuş uçuşu mesafe, ortalama hız, alternatif güzergah ve açısal sapma kriterleri olarak dört grupta incelenmiştir. Ayrıca bu skalalarının hepsini bir arada değerlendirebilmek için ortak bir rasyonellik skalası oluşturulmuştur. Böylece farklı şehirler arasında kıyaslama yapılabilecektir. Bu skalalar Google Maps uygulaması kullanılarak dünya üzerinde 15 şehirde (İstanbul Asya ve Avrupa olarak iki şehir kabul edilmiştir) uygulanmış ve bu şehirlere ait yol ağlarının farklı kriterlerdeki rasyonelliklere göre sıralamaları yapılmıştır.

Anahtar sözcükler: Şehir planlaması, en kısa yol, Google Maps, yol ağı geometrisi, kentsel dönüşüm

Giriş

Hemen hemen herkesin hayatının bir parçası olan şehiriçi ulaşımı gün geçtikçe büyüyen bir sorun haline gelmektedir. Zamana karşı olan yarış, şehiriçi yol ağının¹ hizmet sunabilme yeteneğine verilen önemi arttırmıştır. Her gün insanlar bu yol ağı üzerinde bir noktadan diğerine gideceklerinde yolculuk süresi ve yolculuk uzunluğu kriterlerini göz önüne alarak kendileri için en uygun güzergahı² seçme problemiyle karşı karşıya kalmaktadırlar. Fakat her zaman arzu edilen yolculuk süresini (ya da uzunluğunu) veren güzergahlar elde edilememektedir. Özellikle ülkemizde ideal güzergahların her zaman elde edilemeyişinin sebebi; kentlerimizin hemen hepsinin plansız büyümesidir diyebiliriz. Fiziki planlama (nazım plan) ile uyumlu ulaşım planları olmadığı için ulaşım altyapıları bir plana bağlı olmaksızın, birbirinden kopuk olarak yani parçacı bir yaklaşım ile oluşturulmaktadır (Ulaştırma Ana Planı Stratejisi Raporu, 2005). Ayrıca arazi kullanımı-ulaşım ilişkisi kurulmadan yatırım kararları alınmaktadır. Doğru olanı, arazi kullanımındaki bir değişikliğin ulaşım sistemini nasıl etkileyeceğinin modeller yardımı ile belirlenip kararların buna göre alınmasıdır. Birkaç büyük kentimizde hazırlatılan ulaşım ana planları belirli aralıklarla yenilenmediği (güncelleştirilmediği) için geçerliliğini yitirmektedirler. Dolayısıyla farklı şehirlerin, kullanıcılara yol

¹ Bu bildiride yol ağı terimiyle sadece karayolu ağı kastedilmektedir.

² Bu bildiride geçen güzergah kelimesiyle karayolu tasarımında kullanılan geçki anlamı değil, şehiriçi yol ağı üzerinde seçilen iki nokta arasında ulaşımı sağlayan ve izlenmesi gereken yol kastedilmektedir.

ağlarının durumu açısından, farklı seviyelerde güzergah hizmeti sunduğunu söylemek mümkündür. Bu seviyenin ölçümüyle ilgili bir çalışma henüz yapılmamıştır.

Devlet planlama teşkilatının 2001 yılındaki “Kentiçi Ulaşım Alt Komisyonu” ve “Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu” raporlarında ülkemizdeki şehiriçi yol ağlarının çok iyi bir durumda olmadığı belirtilmektedir (DPT 2001a, DPT 2001b). TÜBİTAK’ın “Vizyon 2023” raporunda ise şehiriçi yol ağlarımızın geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmasının gerekliliğinden bahsedilmektedir. Marshall (2005)’e göre yol ağları şehrin boyutuna, yapısına, yoğunluğuna ve çeşitli kentsel işlevlerine göre farklı kombinasyonlarda planlanmalıdır. Fakat bu planlamalarla ilgili yol ağlarının hizmet kalitesini ortaya koyan ölçümlerde bulunulmamıştır. The Department of Urban & Regional Planning UCD & Oscar Faber Transportation (2007)’e göre yol ağlarının daha kaliteli bir hizmet vermesi için radyal yol ağı modellerine ihtiyaç vardır. Ayrıca yol ağlarının alternatif güzergahlar sunabiliyor olmaları önem taşımaktadır. Chen (2000)’e göre yol ağlarının performansı ile ilgili yapılacak çalışmalarda yol ağının sunduğu güzergahların yolculuk sürelerinin değerlendirilmesinin yararlı olacağı belirtilmektedir.

Yolculuk mesafesi baz alındığında (trafiksiz), iki nokta arasındaki en ideal yol bu iki noktayı birleştiren doğru parçasıdır. Yani arzu edilen yol hiç sapmadan, istenilen noktaya ulaştıran yoldur. Bu durum gerçek hayatta özellikle mesafeler arttıkça neredeyse imkansız hale gelir. Ancak iki nokta arasındaki güzergahın uzunluğunun bu iki noktayı birleştiren kuş uçuşu mesafeye mümkün olduğunca yakın olması istenir. Bu da bildirimizde rasyonellik kavramını oluşturan kriterlerden ilki olacaktır. İki farklı güzergah kıyaslanırken, güzergahın uzunluğunun kuş uçuşu mesafesine oranı 1’e yakın olan ya da en küçük değeri veren güzergah daha rasyonel kabul edilecektir.

Bir güzergahın rasyonelliğine o güzergahın sadece mesafesine bakarak karar verilemez. Yolculuk süresi de benzer şekilde etkilidir. Çünkü aynı mesafedeki iki güzergahtan daha kısa yolculuk süresi veren tercih edilmesi mantıklı olacaktır. Bu da güzergahtaki yapılabilecek ortalama hız limitleriyle ilgilidir. Ayrıca iki nokta arasındaki güzergah alternatiflerinin sayısı ve bu alternatiflerin uzunlukları da güzergahın rasyonelliği üzerinde bir etkidir. Tüm bu etkenler bu çalışma kapsamında incelenecektir. Dolayısıyla çalışmanın ana amacı, şehiriçi yol ağı üzerinde sistematik seçilen belirli noktalar arasında, Google Maps uygulamasının önerdiği en kısa yolculuk sürelerini veren güzergahların rasyonelliğini tespit etmek adına, güzergahın gerçek uzunluğu ile kuş uçuşu mesafesi, güzergahın gerçek uzunluğu ve yolculuk süresi, aynı noktalar arasındaki ikinci ve üçüncü güzergah alternatifleri mevcudiyeti gibi kriterleri ölçebilecek skalalar oluşturmaktır.

Skala Kriterlerinin Oluşturulması

Kuş Uçuşu Mesafe (KUM) Kriteri

Şehiriçi yol ağında trafiğin olmadığı ve tüm yolların aynı standartlarda olduğu varsayıldığında bu yol ağında belirlenen iki nokta arasındaki ulaşımın, en kısa mesafeye sahip güzergah ile sağlanması idealdir. İki nokta arasındaki en kısa mesafe bu noktaları birleştiren doğru parçasıdır. Fakat şehiriçi yol ağında mesafeler arttıkça bu şekilde bir güzergah oluşturmak pek mümkün değildir. Dolayısıyla oluşturulan güzergahın mesafesinin bu iki nokta arasında çizilen doğru parçasının uzunluğuna mümkün

olduğunca yakın olması istenir. İki nokta arasındaki doğru parçasının uzunluğuna kuş uçuşu mesafe dersek, kuş uçuşu mesafe ile bu iki nokta arasındaki en kısa yolu veren güzergahın uzunluğu arasındaki ilişki, bu güzergahın rasyonelliği hakkında bilgi verecektir. Güzergahın uzunluğunun kuş uçuşu mesafeden daha kısa olması söz konusu değildir. En iyi ihtimal eşit olmalarıdır. Yani güzergahın mesafesinin kuş uçuşu mesafeye oranı en ideal durumda '1' dir. Bu durumda farklı nokta çiftleri arasında hesaplanan en kısa güzergah mesafesi ile kuş uçuşu mesafesi oranları kıyaslandığında küçük olan yani '1' e yakın olan daha rasyoneldir denir. Şehiriçi yol ağında seçilen farklı nokta çiftleri arasındaki $\frac{\text{Güzergah Uzunluğu } (d)}{\text{Kuş Uçuşu Mesafe } (r)}$ oranları hesaplanarak güzergahlar birbirleriyle rasyonellik açısından kıyaslanabilmektedir. Hesaplanan d/r oranlarının ortalamaları şehrin kuş uçuşu mesafe kriterine göre rasyonellik değerini verecektir.

Ortalama Hız (OH) Kriteri

Yol ağlarındaki tüm yolların aynı standartlarda olması mümkün değildir. Farklı standart ve fonksiyonlardaki yollar farklı hız limitlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Güzergah üzerinde bulunan kavşak sayısı ve mevcut trafikte ortalama hızı ve yolculuk sürelerini etkilemektedir. Bu durumda aynı güzergah uzunluğuna ve kuş uçuşu mesafeye sahip iki farklı güzergah için yolculuk süreleri farklı olabilir. Bu da yolculuk süresinin güzergahların dolayısıyla yol ağlarının rasyonelliği üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Burada asıl etken ise güzergahta yapılabilecek ortalama hız değeridir. Bir güzergahın uzunluğu ve yolculuk süresi biliniyorsa $\frac{\text{Güzergah Uzunluğu } (d)}{\text{Yolculuk süresi } (t)}$ formülü ile güzergahın ortalama hız değeri elde edilir. Hesaplanan tüm güzergahlar için d/t oranlarının ortalamaları yol ağı için ortalama bir hız değeri verecektir.

Alternatif Güzergah (AG) Kriteri

Bir güzergahın rasyonelliği mesafe, süre ve hız gibi faktörlerin yanı sıra iki nokta arasında bulunan alternatif güzergahların sayısı ile ilgili olmalıdır. Çünkü trafik tıkanıklığı ya da yol üzerinde yapılan bir çalışmanın olması durumlarında iki nokta arasında alternatif güzergahların bulunması önem kazanmaktadır. Bu durumda hesaplanan tüm güzergahlar için alternatif sayılarının toplamı bir yol ağının kalitesini kıyaslama imkanı sağlamaktadır. Google Maps uygulaması bir nokta çifti için en fazla üç alternatif sunabilmektedir. Bu yüzden analizlerde $\frac{\text{Alternatif sayısı}}{3}$ değerinin 1'e yakın olması daha rasyonel anlamına gelecektir.

Açısal Sapma (AS) Kriteri

İki nokta arasında oluşturulan en kısa güzergahlarda bile gidilmesi istenilen istikametten saparak farklı yönlere doğru ilerlemeler söz konusu olabilmektedir. Güzergahta meydana gelen asıl hedef doğrultusundan açısal sapmalar ve bu doğrultularda gidilen mesafe, o güzergahın kalitesi hakkında fikir verebilmektedir. Bu durumu incelemek için Açısal Sapma kriteri oluşturulmuştur. İki nokta arasındaki güzergahın mesafesi ikiye bölünüp bir ikizkenar üçgenin ikiz kenarlarını, kuş uçuşu mesafe ise taban kenarını oluşturacak şekilde çizilen bir üçgende tabanda bulunan açı güzergah mesafesiyle orantılıdır. Güzergahın mesafesi arttıkça bu açının değeri de artacak, güzergah mesafesi ve kuş uçuşu mesafe aynı oranda artarsa açı sabit kalacaktır. Dolayısıyla bu açı azaldıkça güzergahın rasyonelliği artmış olacaktır. Taban açısı ' $\emptyset = 0$ ' olduğunda

güzergahın mesafesi ve kuş uçuşu mesafesi eşitlenecektir. Bu da kuş uçuşu mesafe kriterindeki d/r oranının '1' e eşit olması demektir. Açısal sapma kriteri için düşünülen bu yöntemi güzergahın mesafesine bağlı olduğu için kuş uçuşu mesafe kriteriyle aynı sonuçları verecektir. Bu yüzden açısal sapma kriteri bu bildiride rasyonellik kriterleri kapsamında değerlendirmeye alınmamıştır. Sadece buradaki tanımla yetinilecektir. Açısal sapma kriterinde ' \emptyset ' taban açısının hesaplanabilmesi formül (1), bu kriterin kuş uçuşu mesafe kriterine dönüştürülebilmesi için (2) denklemi oluşturulmuştur. Buna benzer bir formülasyon toplu ulaşım ağları için Raveau ve diğerleri (2012) tarafından da önerilmiştir.

$$\tan \emptyset = \sqrt{\frac{d^2 - r^2}{r^2}} \quad \rightarrow \quad \emptyset = \tan^{-1} \sqrt{\frac{d^2 - r^2}{r^2}} \quad (1)$$

$$\text{Kuş Uçuşu Mesafe Kriteri} = \frac{d}{r} = \frac{1}{\cos \emptyset} \quad (2)$$

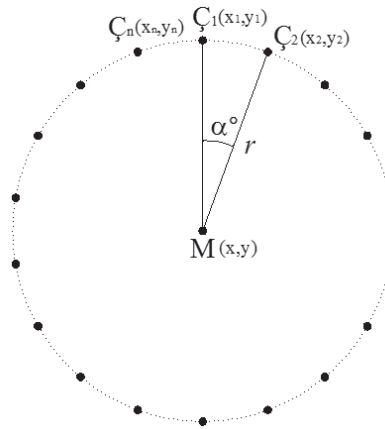
Sistemik Nokta Seçimi

Şehir içi yol ağlarında güzergah rasyonelliği ölçümü yapılabilmesi için şehrin yol ağında belirli sayıda nokta çifti belirlenmiştir. Belirlenen tüm güzergahlar, yolculuk mesafeleri, yolculuk süreleri, güzergah boyunca yapılabilecek ortalama hızları, nokta çiftleri arasındaki alternatif güzergahların mevcudiyeti gibi faktörler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeyle farklı şehirlerin kıyaslamasının yapılabilmesi için seçilen nokta çiftlerinin her şehirde aynı yöntemle belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla rasyonellik üzerine yapılacak çalışmalara başlamadan önce her şehirde uygulanabilecek bir sistemlikte nokta seçimi yapılmalıdır. Seçilen nokta çiftlerinin şehir içi yol ağının tamamını temsil edebilmesi için yeterli sayıda ve homojenlikte seçim yapılması gerekmektedir. Mevcut şehir içi yol ağı modelleri incelendiğinde genellikle bir merkez noktadan dışarıya doğru ulaşımın sağlanmasının planlandığı geometrik şekiller oluşturulmuştur (Zorlu, 2008). Bu durum çalışmadaki sistemik nokta çiftleri belirlenmesinde dikkate alınmıştır. Şehrin merkezinde bir nokta belirleyip bu nokta etrafında yeterli miktarda ve homojen aralıkla dağıtılmış noktalar seçerek, merkez nokta ile bu noktaların çift oluşturulması sağlanmıştır. Böylece sistemik radyal nokta seçimi yöntemi geliştirilmiştir.

Şehrin merkezinde seçilen bir nokta etrafında çember çizilip üzerinde eşit yay aralıklarında nokta seçimi yapılarak çiftler oluşturulacaktır. Fakat şehir planlaması yapılmamış ya da yol ağının tamamına bakıldığında düzgün bir geometrik şekle sahip olmayan şehirlerde bu yöntem uygulanamayabilir. Bu durumda ya o şehrin yol ağı sınırını³ aşmayacak bir çember çizilerek noktalar belirlenecek ya da merkezden bir çember çizmek yerine kuş uçuşu uzunluğu yol ağının geometrisine göre değişen mesafelerde noktalar belirlenecektir. Şehrin geometrisine uygun olarak değişen kuş uçuşu mesafelerde nokta seçimi yapılması bu noktaların harita üzerinde tespit edilmesi aşamasına geçildiğinde karmaşık bir durum yaratacaktır. Bazı şehirlerin yol ağı sınırlarının belli olmaması ve değişen kuş uçuşu mesafelerin birbirleriyle karşılaştırılmasının aynı rasyonellikte sonuçlar veremeyecek olması gibi sebepler kuş

³ Yol ağı sınırı: Coğrafi etkenler ya da yerleşim alanlarının bulunmaması gibi sebeplerden dolayı şehir içi yol ağları, şehir merkezinden uzaklaştıkça son bulabilmektedir. Şehir içi yol ağlarının sonlandığı noktalardaki en dışta bulunan yollar yol ağı sınırını oluşturmaktadır.

uçuşu mesafenin bir şehir için sabit bir değer olarak seçilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu yüzden çizilecek çemberin yarıçapı yol ağının sınırlarını aşmayacak şekilde belirlenmelidir. Bir şehirde ölçüm yapılacak bölge seçilirken merkez noktanın yerinin tayini önemlidir. Bu nokta belirlenirken nokta çiftlerinin oluşturacağı alanın, şehrin yol ağının oluşturduğu bölgenin büyük bir bölümünü kapsaması için gayret gösterilmelidir. Yani merkez nokta mümkün olduğunca yol ağının ağırlık merkezine yakın seçilmelidir. Nokta çiftlerinin oluşturduğu alanın bu şehri temsil etmeyeceği düşünülüyorsa birden fazla merkez noktası seçilerek o şehir için farklı bir yaklaşım geliştirilebilir. Seçilen nokta çiftlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus yeterli sayıda nokta çifti seçilmesi ve yol ağında homojen olarak dağılan güzergahlar oluşturabilmesidir. Sistemik olarak noktaların seçilmesi için merkez olarak alınan bir nokta etrafında çember çizilerek, çember üzerinde eşit yay mesafelerinde noktalar belirlenmesi uygun görülmüştür. Böylece istenilen sayıda ve homojen dağılımda $(MÇ_1), (MÇ_2) \dots (MÇ_n)$ olarak 'n' tane nokta çifti oluşturulabilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1 Radyal sistemde çeper noktalarının seçimi ve koordinat değerleri.

Burada ' α ' istenilen nokta çifti sayısına yani ' n ' ye bağlı bir değişkendir ve $\alpha = \frac{360}{n}$ formülü ile hesaplanır. ' r ' ise ' M ' başlangıç noktası ile ' $Ç_i$ ' varış noktaları arasındaki kuş uçuşu mesafedir. Bu yöntem ile belirlenen noktalar, dijital haritalarda koordinat değerleri üzerinden belirlenecektir. Dijital haritalar üzerinde seçilen koordinat değerleri ile kuş uçuşu mesafeler arasında, enlem ve boylamlara bağlı bir ilişki vardır. Yani koordinat değerindeki artış x yönünde farklı, y yönünde farklı kuş uçuşu mesafeler vermektedir. Bu yüzden öncelikle kullanılacak olan Google Maps uygulamasının koordinat sistemi incelenmiştir. Uygulamada '*Burada Ne Var*' özelliği ile istenilen bir noktanın koordinat değeri belirlenebilmektedir. Koordinat değerleri ile mesafe arasında bağlantı kurmak için Tablo 1 oluşturulmuştur.

Tablo 1 Koordinat katsayıları hesap tablosu şablonu.

Koordinat Değerleri		Kuş Uçuşu Mesafe (m)
$M(x, y)$	$M_1(x, \{y+0.1\})$	K_y
$M_2(\{x+0.1\}, y)$	$M(x, y)$	K_x

Koordinat Katsayıları

Tablo 1’de görüldüğü gibi harita üzerinde seçilen bir $M(x, y)$ noktasının koordinat değerindeki 0.1 birimlik artış x ve y yönünde ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Koordinat noktası bilinen noktaların tespiti ve kuş uçuşu mesafe ölçümleri için Google Earth uygulaması Google Maps’e göre daha kullanışlıdır. Google Maps ise istenilen bir noktanın koordinat değerinin elde edilmesinde daha avantajlıdır. Ayrıca her iki uygulamadaki koordinat değerleri aynıdır. Google Maps uygulaması ile harita üzerinde bir ‘M’ noktası seçilerek koordinat değeri elde edilmiştir. Elde edilen koordinat değeri ile Tablo 1 temel alınarak ‘ MM_1 ’ ve ‘ M_2M ’ nokta çiftleri oluşturulmuştur. Google Earth uygulamasında belirlenen nokta çiftleri arasındaki kuş uçuşu mesafeler hesaplanmıştır. Ortaya çıkan sonuç koordinat değerlerindeki artışın x ve y yönünde farklı mesafeler arttırdığını, farklı şehirlerde yapılan aynı işlemlerde ise çok daha farklı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu da her şehir için koordinat değerleriyle kuş uçuşu mesafeler arasındaki ilişkiyi oluşturacak koordinat katsayılarının tespit edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. (3) ve (4) hesaplanan kuş uçuşu mesafelerle koordinat katsayılarının belirlenmesi için oluşturulan formüllerdir.

$$k_x = \frac{1}{K_x} \times 1000 \quad (k_x : y \text{ yönündeki koordinat katsayısı}) \quad (3)$$

(K_x : y yönündeki kuş uçuşu mesafe)

$$k_y = \frac{1}{K_y} \times 1000 \quad (k_y : x \text{ yönündeki koordinat katsayısı}) \quad (4)$$

(K_y : x yönündeki kuş uçuşu mesafe)

Bir şehirde koordinat değerleri ile sistematik olarak noktaların elde edilebilmesini sağlayabilmek için koordinat değerleriyle mesafeler arasında bağlantı sağlayacak formüller (5), (6) ve (7) oluşturulmuştur. Bu formüller kullanılarak Şekil 1’de gösterilen noktalar elde edilmiş ve $MÇ_i$ noktaları koordinat değerleri şablonu oluşturulmuştur (Tablo 2).

$$Ç(x_i) = \cos(\alpha_i) k_x \left(\frac{r}{10}\right) + M(x) \quad (5)$$

$$Ç(y_i) = \sin(\alpha_i) k_y \left(\frac{r}{10}\right) + M(y) \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{360}{n} \quad \alpha_i = \alpha (i - 1) \quad (7)$$

($i : 1, 2, \dots, n$; i 'inci hesaplanan nokta sayısı, r 'nin birimi km'dir)

Tablo 2 Seçilen $MÇ_i$ noktalarının koordinat değerleri şablonu.

No	M (x, y)		Kuzeyden Açısı°	r (km)	k_x	k_y	Ç (x _i , y _i)	
	M(x)	M(y)					Ç(x _i)	Ç(y _i)
1	x	y	α_1	r	k_x	k_y	x_1	y_1
2	x	y	α_2	r	k_x	k_y	x_2	y_2
3	x	y	α_3	r	k_x	k_y	x_3	y_3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	x	y	α_n	r	k_x	k_y	x_n	y_n

Koordinat Katsayıları ve Sistematik Nokta Seçimi İçin Örnek Uygulama

Google Maps uygulamasında Antalya şehri üzerinde rasgele bir noktada ‘Burada Ne Var’ özelliği kullanılarak koordinat değeri seçilmiştir. Seçilen noktanın koordinatı: $M(36.8923, 30.6757)$, M_1 noktasının koordinatı: $M_1(36.8923, \{30.6757 + 0.1\})$, M_2 noktasının koordinatı: $M_2(\{36.8923 + 0.1\}, 30.6757)$ ’dir. Nokta çiftleri arasındaki kuş uçuşu mesafeler Google Earth programında ölçülmüştür. MM_1 noktaları arasındaki mesafe, $K_y = 8913$ m; M_2M noktaları arasındaki mesafe, $K_x = 11070$ m’dir.

Tablo 3 Antalya için koordinat katsayıları hesap tablosu.

Koordinat Değerleri		Kuş Uçuşu Mesafe (m)
$M(36.8923, 30.6757)$	$M_1(36.8923, 30.7757)$	8913
$M_2(36.9923, 30.6757)$	$M(36.8923, 30.6757)$	11070

$$k_x = \frac{1}{K_x} \times 1000 \quad \rightarrow \quad k_x = \frac{1}{11070} \times 1000 = 0.0903$$

$$k_y = \frac{1}{K_y} \times 1000 \quad \rightarrow \quad k_y = \frac{1}{8913} \times 1000 = 0.1122$$

Seçilen $M(36.8923, 30.6757)$ noktasını merkez noktası, sistematik olarak belirlenecek çeper noktalarının sayısını 4, yarıçapı da 500 m olarak kabul edersek, \check{C}_i noktalarının koordinat değerleri belirtilen formüller ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

Veriler;
 $n = 4$ $r = 500$ m = 0.5 km
 $M(x) = 36.8923$
 $M(y) = 30.6757$

Formüller;

$$M(x_i) = \cos(\alpha_i) \times k_x \times \left(\frac{r}{10}\right) + \check{C}(x)$$

$$M(y_i) = \sin(\alpha_i) \times k_y \times \left(\frac{r}{10}\right) + \check{C}(y)$$

$$\alpha = \frac{360}{n} \quad \alpha_i = \alpha \times (i - 1)$$

Hesaplar;

1. nokta için $\check{C}(x_1, y_1)$

$$\alpha = \frac{360}{4} = 90^\circ \quad \rightarrow \quad \alpha_1 = 90 \times (1 - 1) = 0^\circ$$

$$\check{C}(x_1) = \cos(0) \times 0.0903 \times \left(\frac{0.5}{10}\right) + 36.8923 = 36.8968$$

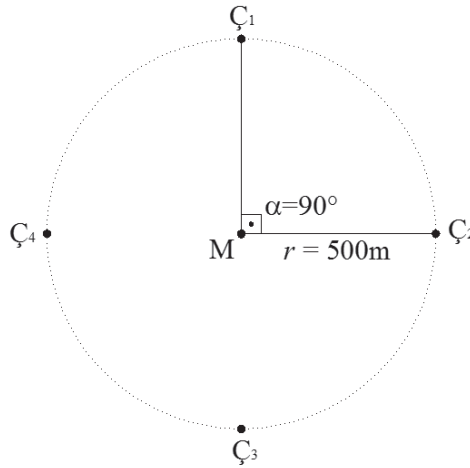
$$\check{C}(y_1) = \sin(0) \times 0.1122 \times \left(\frac{0.5}{10}\right) + 30.6757 = 30.6757$$

$$\check{C}(x_1, y_1) = (36.8968, 30.6757)$$

2., 3. ve 4. noktalar içinde aynı hesaplar yapılmıştır. Böylece ‘ $M\check{C}_1$ ’, ‘ $M\check{C}_2$ ’, ‘ $M\check{C}_3$ ’ ve ‘ $M\check{C}_4$ ’ olarak 4 adet nokta çifti oluşturulmuştur.

Tablo 4 Antalya için $M\check{C}_i$ noktalarının koordinat değerleri.

No	M (x, y)		Açı°	r (km)	k_x	k_y	Ç (x _i , y _i)	
	M(x)	M(y)					Ç(x _i)	Ç(y _i)
1	36.8923	30.6757	0°	0.5	0.0903	0.1122	36.8968	30.6757
2	36.8923	30.6757	90°	0.5	0.0903	0.1122	36.8923	30.6813
3	36.8923	30.6757	180°	0.5	0.0903	0.1122	36.8877	30.6757
4	36.8923	30.6757	270°	0.5	0.0903	0.1122	36.8923	30.6700



Şekil 2 Antalya için sistematik olarak seçilen noktalar ve koordinat değerleri.

Güzergahlara Ait Verilerin Elde Edilmesi

Şehirler için oluşturulan koordinat değerleri çizelgesindeki $M(x, y)$ noktasının koordinatları şehir merkezinde seçilen bir noktanın Google Maps uygulaması üzerindeki koordinat değerleridir. Koordinat değerleri belirlenen $MÇ_i$ nokta çiftleri tek tek Google Maps uygulamasına girilip güzergahlar hesaplatılarak uygulamanın verdiği güzergahların tüm alternatifleriyle birlikte yolculuk mesafeleri ve süreleri tespit edilmiştir. Ayrıca 'Aksi Yönde Yol Tarifi Al' özelliği ile tüm nokta çiftleri için her iki yönde güzergahlar hesaplatılmıştır. Hesaplanan koordinatların tam olarak yol ağına denk gelmemesi durumunda Google Maps uygulaması belirlenen noktaya, yol ağı üzerinde en yakın noktayı seçerek güzergahı hesaplamaktadır. Bu durumda seçilen yarıçapta küçük değişiklikler olabilmektedir. Dolayısıyla hesaplanan güzergahların gerçek $MÇ_i$ 'leri arasındaki kuş uçuşu mesafeler Google Maps uygulamasının bir eklentisi olan 'Mesafe Ölçüm Aracı' ile ölçülerek gerçek kuş uçuşu değerler (r_g) elde edilmiştir. Hesaplanan tüm güzergahlar için yolculuk mesafesi ve yolculuk süreleriyle birlikte kuş uçuşu mesafeler de ölçülerek her şehir için Tablo 5 ayrı ayrı oluşturulmuştur.

Tablo 5 Yolculuk Mesafesi - Yolculuk Süresi - Alternatif Sayısı çizelge şablonu.

Şehir: X		M-Ç yönündeki güzergahlar							Ç-M yönündeki güzergahlar						
No	r_g	d_1	t_1	d_2	t_2	d_3	t_3	Alternatif sayısı	d_1	t_1	d_2	t_2	d_3	t_3	Alternatif sayısı
1	r_{g1}	d_{11}	t_{11}	d_{12}	t_{12}	d_{13}	t_{13}	A_1	d_{11}	t_{11}	d_{12}	t_{12}	d_{13}	t_{13}	A_1
2	r_{g2}	d_{21}	t_{21}	d_{22}	t_{22}	d_{23}	t_{23}	A_2	d_{21}	t_{21}	d_{22}	t_{22}	d_{23}	t_{23}	A_2
3	r_{g3}	d_{31}	t_{31}	d_{32}	t_{32}	d_{33}	t_{33}	A_3	d_{31}	t_{31}	d_{32}	t_{32}	d_{33}	t_{33}	A_3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	r_{gn}	d_{n1}	t_{n1}	d_{n2}	t_{n2}	d_{n3}	t_{n3}	A_n	d_{n1}	t_{n1}	d_{n2}	t_{n2}	d_{n3}	t_{n3}	A_n

Çizelge 2.3'teki 'd' değerleri hesaplanan güzergahların uzunluğunu 'km' olarak, 't' değerleri yolculuk sürelerini 'dakika' olarak, 'A' değerleri belirlenen nokta çifti için alternatif güzergah sayılarını ve ' r_g ' değerleri ise gerçek kuş uçuşu değerlerini 'km' olarak vermektedir.

Rasyonellik Kavramı

Yol Ağları

Ulaşım planlamasında yol ağı tasarımı aşamasında öngörülen sistemin yeterliliği, yolculuk talep tahmini ve yolculuk atama yöntemleri ile değerlendirilmektedir. 1970’li yıllardan bu yana yolculukların ağ üzerindeki dağılımı ve yolların yeterlilik durumları yolculuk benzetim yöntemleri ile kestirilmektedir (Ortuzar ve Willumsen, 2011). Zorlu (2008) topolojik sınıflama ile yolculuk atama yöntemini birlikte kullanılarak farklı yol ağlarının aynı tahmin koşullarında göreceli üstünlüklerini araştırmıştır. Araştırmayı, Wright ve diğerlerinin (1989) tanımladığı 11 dolaşım sisteminin Lynch’in (1981) tanımladığı 3 temel doku üzerinde uygulanması ile elde edilen toplam 33 yol ağı üzerinde yapmıştır. Bütün ağlar topolojik özelliklere göre gruplandırılmış ve teorik olarak üstünlükleri yönünden karşılaştırılmıştır. Buna göre yol ağlarını yüksek bağlantılı (tümleşik), orta derecede bağlantılı (kısmen tümleşik/ayırksı) ve ağaç türevleri olmak üzere üç alt gruba ayırmıştır. Her alt gruptaki ağı verimlilik, dayanıklılık, esneklik ve erişilebilirlik ölçütlerine göre karşılaştırarak göreceli üstünlüklerini belirlemiştir. 33 yol ağı topolojik özelliklerine göre 3 alt grupta sınıflandırılmıştır. Bunlar, tümleşik, yarı tümleşik (ayırksı) ve ışınsal-ağaç sistemler olarak adlandırılmıştır. Bu sınıflama yol ağlarının bağlantı yoğunluğuna göre yapılmıştır. Değerlendirme aşamasında bu üç alt grup içerisindeki yol ağları temel alınan doku ve uygulanan sistemlere göre alt sınıflara ayrılarak karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmaların sonucunda, tümleşik yol ağlarından olan yaygın çokgen dolaşım sisteminin tüm ağlar içinde ortalama yolculuk mesafesi ve ortalama yolculuk süresi en kısa olan grupta yer aldığını belirtmiştir. Oluşturulan yol ağları arasında kare ızgara çokgenin daha verimli ve daha dengeli biçimde işlendiği, bu yol ağı tipinin, uygulanan yolculuk talebine göre belirgin bir kademelenme olmaksızın işleyebildiği belirtilmiştir (Zorlu, 2008). Farklı şehirlere ait yol ağları üzerinde rasgele seçilen güzergahlar için kuş uçuşu mesafe kriterinde belirtilen d/r^4 oranları hesaplandığında, ızgara yaygın çokgen ve dairesel yaygın çokgen tipindeki yol ağlarında daha küçük sonuçlar çıktığı gözlenmiştir. Bu da daha rasyonel sonuçlar verdiği anlamına gelmektedir. Bu çalışmada yapılan ölçümler de bu görüşü desteklediği için prototip olarak kare ızgara bir yol ağı (grid) tasarlanmasına karar verilmiştir.

Prototip Yol Ağına Kayıp Süre ve Hız Limiti

Rasyonellik ölçümlerinin yapılacağı yol ağı her 100 metrede bir kavşak bulunan, toplamda 1 km^2 alana ve 121 km uzunluğunda yola sahip 10×10 ’luk kare grid bir yol ağı (birim ağı) olarak tasarlanmıştır. Bu tasarı, sistematik olarak seçilen noktaların bir daire üzerinde bulunmasından dolayı yol ağına yarıçapı 500 m olan bir çember eklenerek tamamlanmıştır. Böylece rasyonellik değerleri için ölçüm yapılarak rasyonellik sınır değerlerinin⁵ belirlenebileceği ‘prototip’ bir yol ağı elde edilmiştir (Şekil 3).

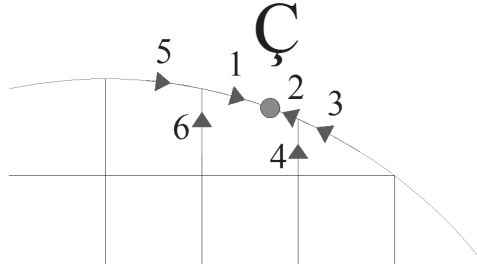
⁴ d/r : İki nokta arasında hesaplanan bir güzergahın mesafesinin kuş uçuşu mesafesine oranı.

⁵ Rasyonellik sınır değeri: Yapılacak ölçüm sonucunda yol ağları ya da güzergahların rasyonel sayılabilmesi için gereken sınır değerleri.

Prototip Yol Ağında Nokta Çiftleri ve Güzergahların Belirlenmesi

Prototip yol ağının oluşturulması, hız limiti ve kayıp süre kabullerinden sonra sistematik nokta seçimi yöntemiyle $M\dot{C}_i$ nokta çiftleri belirlenmiştir (Bkz. Şekil 3). Merkez noktası (M) yol ağının geometrik olarak ağırlık merkezidir. Merkez noktasının etrafında $n = 36$ adet nokta seçilmesi uygun görülmüştür. Yarıçap yani bu 36 noktanın her birine kuş uçuşu mesafe 500 m'dir. Seçilen ilk nokta y eksenini üzerinde sonraki noktalar ise saat yönünde merkezden 10° 'lik açılarla ilerlemektedir. Seçilen nokta çiftleri arasındaki güzergahlar en kısa mesafeyi verecek ve her nokta çifti için üç alternatif olacak şekilde belirlenmiştir. Bu güzergahlar belirlenirken eğer nokta bir kavşak üzerinde ise (Şekil 3'teki $\dot{C}_1, \dot{C}_{10}, \dot{C}_{19}$ ve \dot{C}_{28} noktaları) bu kavşağı oluşturan farklı yollardan bu noktaya ulaşımı sağlayacak üç alternatif güzergah hesaplanmıştır. Eğer bir kavşakta bulunmuyorsa çember üzerinde bulunan noktaya her iki yönden ulaşım sağlayacak iki alternatif ve bu noktaya en yakın olan iki kavşak belirlenerek, kavşağa bağlanan farklı yollar arasında ulaşımı sağlayacak en kısa üçüncü alternatif belirlenmiştir.

Örneğin Şekil 4'te kavşak üzerinde bulunmayan bir noktaya ulaşımı sağlayacak üç alternatif güzergahtan ikisi kesinlikle 1 ve 2 oklarından sağlanacak, üçüncü alternatif ise 3, 4, 5 ve 6 oklarından en kısa güzergahı sağlayan seçilerek belirlenecektir. Merkez noktasının Şekil 4'te verilen "Ç" noktasının sol alt tarafında bulunduğunu varsayarsak üç alternatif için belirlenecek güzergahlar 5-1, 6-1 ve 4-2 oklarından geçmelidir.



Şekil 4 Alternatif güzergahların oluşturulması.

Şekil 3 incelendiğinde yol ağının düzgün bir geometride tasarlanmasından dolayı her 90° 'de bir, nokta çiftleri için aynı şartlar oluşmaktadır. Yani 90° aralıklarla seçilen noktalar için hesaplanan tüm alternatif güzergahlar aynı uzunluklara sahiptir. Bu durumda ilk dokuz nokta dört kez tekrar ederek toplam 36 nokta elde edilmiştir. Ayrıca 2-9, 3-8, 4-7 ve 5-6 noktaları simetriktir. Dolayısıyla tüm nokta çiftleri için güzergah hesabı yapılmasına gerek kalmayıp, ilk 5 nokta çifti için hesaplanan güzergahlar yeterli olmuştur. Rasyonellik sınır değerlerinin güvenli bölgede kalması için kayıp süre hesaplamalarında her güzergaha fazladan bir kavşak eklenmiştir. Her kavşakta 2.5 sn süre kaybı gerçekleşecektir. Prototip yol ağında belirlenen nokta çiftleri arasında güzergahların uzunlukları (d_1, d_2, d_3) belirlendikten sonra bu güzergahlara ait ortalama yolculuk sürelerinin ve ortalama hızların hesaplanabilmesi için aşağıda verilen formüllere göre Tablo 6 oluşturulmuştur.

$$\text{Hız limiti} = 50 \text{ km/sa} = 13.89 \text{ m/sn}$$

$$\text{Kavşak Sayısı: } \left[\text{Tavana Yuvarla} \left(\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot 100} \right) \right] - 1 \quad (8)$$

$$\text{Ortalama Güzergah Uzunluğu} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} \quad (9)$$

$$\text{Yolculuk Süresi} = \frac{\text{Ortalama Güzergah Uzunluğu}}{\text{Hız Limiti}} \text{ sn} \quad (10)$$

$$\text{Kayıp Süre} = (\text{Kavşak Sayısı} + 1) \times 2.5 \text{ sn} \quad (11)$$

$$\text{Güzergahın Yolculuk Süresi} = (\text{Yolculuk Süresi} + \text{Kayıp Süre}) \text{ sn} \quad (12)$$

$$\text{Ortalama Hız} = \frac{\text{Ortalama Güzergah Uzunluğu}}{\text{Güzergahın Yolculuk Süresi}} \text{ m/sn} \quad (13)$$

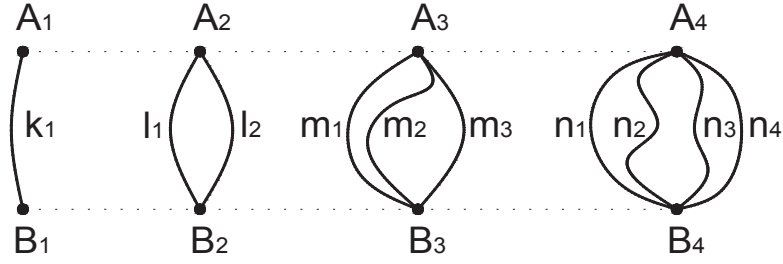
Tablo 6 Prototip yol ağı için hesaplanan güzergahlara ait değerler.

No	d_1 (m)	d_2 (m)	d_3 (m)	Kavşak sayısı	Alternatif sayısı	Hız limiti (m/sn)	Yolculuk Süresi (sn)	Güzergahın Yolculuk Süresi (sn)	Ortalama Hız (m/sn)
1	500.0	690.5	690.5	6	3	13.89	45.14	62.64	10.00
2	587.2	603.3	772.3	6	3	13.89	47.11	64.61	10.12
3	663.7	674.5	688.6	6	3	13.89	48.64	66.14	10.21
4	714.3	751.0	760.5	7	3	13.89	53.42	73.42	10.10
5	726.7	786.6	801.5	7	3	13.89	53.76	73.76	10.12
6	726.7	786.6	801.5	7	3	13.89	53.76	73.76	10.12
7	714.3	751.0	760.5	7	3	13.89	53.42	73.42	10.10
8	663.7	674.5	688.6	6	3	13.89	48.64	66.14	10.21
9	587.2	603.3	772.3	6	3	13.89	47.11	64.61	10.12

Burada örneğin üç nolu satır için 3 adet alternatif güzergah hesaplanmıştır. Bunlar sırasıyla 663.7 metre, 674.5 metre ve 688.6 metre uzunluklarındadır. Bu 3 nolu nokta çifti için ortalama güzergah uzunluğu 675.6 metredir. 675.6 metre uzunluğa sahip bir güzergahta prototip yol ağı için yapılan kabuller doğrultusunda 6 adet kavşak bulunmaktadır. Güzergah üzerindeki hız limiti 13.89 m/sn (50 km/sa)'dir. Kavşaklarda kayıp süre yaşanmasaydı yolculuk süresi 48.64 sn olacaktı. Buna kayıp sürelerde dahil edildiğinde bu güzergahtaki yolculuk süresi 66.14 sn olacaktır. Bu durumda güzergahta yapılan ortalama hız 10.21 m/sn'dir.

Denklik Durumları

Aynı kuş uçuşu mesafe ve farklı alternatif güzergah sayısına sahip nokta çiftlerinin, birbirleriyle güzergah uzunlukları açısından kıyaslanabilmesi için denklik testi ihtiyacı oluşmuştur. Örneğin Şekil 5'de verilen ' A_1B_1 ', ' A_2B_2 ', ' A_3B_3 ' ve ' A_4B_4 ' nokta çiftleri arasındaki kuş uçuşu mesafeler aynıdır. Bu dört durum farklı alternatif güzergah sayısı ve güzergah uzunluklarına sahiptir. Tüm güzergahlar ayrı ayrı birbirleriyle KUM ve OH kriterine göre kıyaslanabilmektedir. Bu dört durum ele alındığında AG kriterine göre yine kıyaslanabilmektedir. Fakat bu dört durum arasında, tüm kriterler bir arada düşünüldüğünde hangisi en rasyonel olduğu bilinmemektedir. Bu dört durumun birbiriyle kıyaslanabilmesini sağlamak amacıyla denklik durumları oluşturulmuştur. Denklik durumları sadece ortak rasyonellik değerlendirmesinde kullanılacaktır. Bunun için öncelikle her nokta çifti arasındaki alternatif güzergah uzunluklarının kendi gruplarında ortalamaları alınarak her bir durum için tek bir güzergah uzunluğu elde edilecektir. Sonra alternatif sayıları ile bu ortalama güzergah uzunlukları arasında bir denklik oluşturulacaktır. Bu dört durumun elde edilmesi için ise prototip yol ağına oluşturulan alternatif güzergahlardan faydalanılacaktır (Bkz. Tablo 6). Bunun için öncelikle dördüncü en kısa alternatif güzergahlar da hesaplanarak Tablo 7 oluşturulmuştur.



Şekil 5 Farklı alternatif sayısı ve güzergah uzunluklarına sahip dört durum.

Tablo 7. Prototip yol ağındaki nokta çiftleri arasındaki alternatif güzergah mesafeleri.

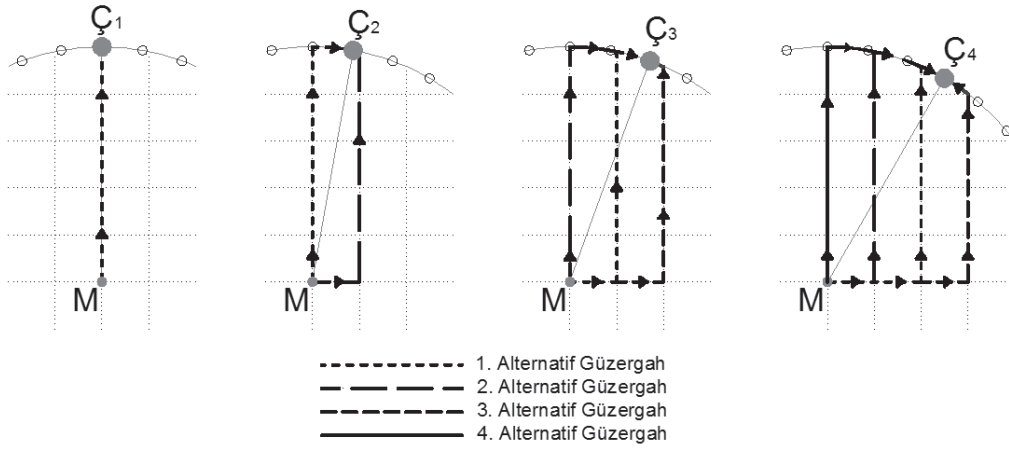
No	$d_1(m)$	$d_2(m)$	$d_3(m)$	$d_4(m)$
1	500.00	690.58	690.58	864.02
2	587.27	603.31	772.35	803.31
3	663.75	674.53	688.66	801.57
4	714.30	751.02	759.95	761.80
5	726.70	786.65	801.57	838.28
6	726.70	786.65	801.57	838.28
7	714.30	751.02	759.95	761.80
8	663.75	674.53	688.66	801.57
9	587.27	603.31	772.35	803.31

Tablo 7'deki birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü alternatif güzergahlar sütunundaki en rasyonel güzergahlar belirlenmiştir (taranarak belirtilmiştir). Belirlenen bu ilk dört satırdaki taranan sütunlardan önceki alternatif güzergahlar arasında 10 ila 40 metre civarında uzunluk farkı vardır. Sonrasındaki ilk sütunla ise aralarında 100 ila 190 metre civarında bir fark vardır. Bunun nedeni en kısa alternatifler olmasına rağmen gereksiz mesafe kaybına yol açan güzergahların elde edilmiş olmasıdır. Bu alternatifler rasyonellik sınır değerleri kapsamında değerlendirilmeyecektir. Böylece bu güzergahlar çıkarılarak Şekil 5'deki denklik durumları oluşturulmuştur (Tablo 8).

Tablo 8 Güzergah uzunluğu ve alternatif sayılarına göre birbirine denk sayılacak durumlar.

Alternatif sayısı	$d_1(m)$	$d_2(m)$	$d_3(m)$	$d_4(m)$	$d_{ort}(m)$
1	500.0				500.0
2	587.2	603.3			595.2
3	663.7	674.5	688.6		675.6
4	714.3	751.0	759.9	761.8	746.7

Burada kuş uçuşu mesafesi 500 m olan nokta çiftleri arasında; bir alternatifte sahip ortalama güzergah uzunluğu 500 m olan, iki alternatifte sahip ortalama güzergah uzunluğu 595.2 m olan, üç alternatifte sahip ortalama güzergah uzunluğu 675.6 m olan ve dört alternatifte sahip ortalama güzergah uzunluğu 746.7 m olan dört durum birbirine denk olarak kabul edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6 Prototip yol ağında birbirine denk sayılacak durumlar.

Bu dört durum için hesaplanan alternatif güzergah ortalamaları kuş uçuşu mesafeye bağlı değerler vermektedir. Bu değerleri birim değerlere dönüştürmek için $\frac{d_{ort}}{r}$ değerleri hesaplanmıştır. Bu değerlerle alternatif güzergah sayıları arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için $\frac{d_{ort}}{r}$ değerleri ile alternatif sayıları arasındaki ilişki grafiği çizilmiştir. Grafik üzerine doğrusal eğilim çizgisi eklenerek alternatif güzergahların ortalama uzunlukları ve alternatif sayıları arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu ilişkiyi sağlayan denklem $y=0.1642x+0.8484$ olarak bulunmuştur.

Rasyonellik Sınır Değerleri

KUM ve OH kriterleri için rasyonellik sınır değerleri Tablo 1'deki verilere göre hesaplanabilir. Fakat AG kriteri için bu tablo rasyonellik sınır değerini veremez. Çünkü prototip yol ağında tüm nokta çiftleri için standart olarak en kısa üç alternatif güzergah belirlenmiştir. AG kriteri için de ölçüm yapılabilmesi için Tablo 6'de bulunan gereksiz mesafe kaybına yol açan alternatif güzergahlar çıkarılarak Tablo 9 oluşturulmuştur. Ayrıca bir nokta çifti arasında aynı uzunluğa sahip farklı alternatif güzergahlar, tek bir alternatif güzergah olarak değerlendirilmiştir. Böylece AG kriteri için de rasyonellik sınır değerleri belirlenebilecektir.

Tablo 9 Rasyonellik sınır değerleri verileri.

No	d_1 (m)	d_2 (m)	d_3 (m)	d_{ort} (m)	Güzergahın Yolculuk Süresi (sn)	Ortalama Hız (m/sn)	Alternatif sayısı
1	500.0			500.0	48.5	10.30	1
2	587.2	603.3		595.2	57.8	10.28	2
3	663.7	674.5	688.6	675.6	66.1	10.21	3
4	714.3	751.0	760.5	741.9	73.4	10.10	3
5	726.7	786.6	801.5	771.6	75.5	10.21	3
6	726.7	786.6	801.5	771.6	75.5	10.21	3
7	714.3	751.0	760.5	741.9	73.4	10.10	3
8	663.7	674.5	688.6	675.6	66.1	10.21	3
9	587.2	603.3		595.2	57.8	10.28	2
Ortalama	653.7	703.8	750.2	674.3	66.0	10.21	2.556

Bu tablo ile prototip yol ağında elde edilen güzergahlara ait uzunluk, yolculuk süresi, hız ve alternatif sayısı verileri kullanılarak KUM, OH ve AG kriterlerine göre rasyonellik sınır değerleri şu şekilde belirlenmiştir: KUM kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri: $\frac{d_{ort}}{r} = \frac{674.3}{500} = 1.348$ (maks.), OH kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri: $10.21 \text{ m/sn} = 36.78 \text{ km/sa}$ (min.), AG kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri: $\frac{\text{Alternatif sayısı}_{ort}}{3} = \frac{2.556}{3} = 0.852$ (min.)'dir. Bu tabloda hesaplanan son satırdaki ortalama değerler ile seçilen ilk noktanın kuzey yönünde olması halindeki rasyonellik sınır değerleri hesaplanmıştır. Rasyonellik değerleri KUM kriteri için alternatif güzergahların ortalamaları baz alınarak hesaplanmıştır. Fakat uygulamada en kısa alternatif değerleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılacaktır. OH ve AG kriterleri için ise tüm güzergahlar hesaba katılacaktır. Bunun sebebi oluşturulan sınır değerlerin en ideal değerleri değil, kabul edilebilir değerleri vermesini sağlamaktır. Yani belirli bir güven aralığı oluşturmaktır. Tüm kriterler dahilinde tek bir rasyonellik tanımlaması yapılabilmesi için öncelikle alternatif güzergah kriteri ile kuş uçuşu mesafe kriteri arasında Tablo 8'deki denkliklerden faydalanarak $\frac{(d_{ort}-r)+m \times r}{m \times r \times \text{Alternatif sayısı}}$ formülü oluşturulmuştur. Burada ' d_{ort} ' güzergah uzunluklarının ortalaması, ' r ' kuş uçuşu mesafe, ' m ' ise $\frac{d_{ort}}{r}$ ile alternatif sayıları arasındaki ilişkiyi veren eğim değeridir. Böylece kuş uçuşu mesafe ve alternatif güzergah kriterlerinin aynı anda değerlendirilebileceği formül $\frac{(d_{ort}-r)+0.1642 \times r}{0.1642 \times r \times \text{Alternatif sayısı}}$ şeklinde geliştirilmiş ve bu formül kullanılarak Tablo 10 oluşturulmuştur.

Tablo 10 KUM - AG kriterleri tablosu.

No	d_1 (m)	d_2 (m)	d_3 (m)	d_{ort} (m)	$d_{ort} - r$ (m)	Alternatif Sayısı	KUM - AG kriteri
1	500.0			500.0	0.0	1	1
2	587.2	603.3		595.2	95.2	2	1.080
3	663.7	674.5	688.6	675.6	175.6	3	1.046
4	714.3	751.0	760.5	741.9	241.9	3	1.315
5	726.7	786.6	801.5	771.6	271.6	3	1.436
6	726.7	786.6	801.5	771.6	271.6	3	1.436
7	714.3	751.0	760.5	741.9	241.9	3	1.315
8	663.7	674.5	688.6	675.6	175.6	3	1.046
9	587.2	603.3		595.2	95.2	2	1.080
Ortalama	653.7	703.8	750.2	674.3	174.3	2.56	1.195

Tablo 10'da görüldüğü gibi KUM ve AG kriterlerine göre Rasyonellik Sınır Değeri (RSD) 1.195'dir (Tablo 10'da son satır, son sütun). Hesaplanan bu değer, incelenen yol ağının ya da bir güzergahın ortalama hız kriteri dikkate alınmadığı takdirde, rasyonel olarak kabul edilebilmesi için gereken maksimum rasyonellik değerini vermektedir. Tablo 10'da kuş uçuşu mesafesi 500 m olan bir nokta çifti arasında sadece bir alternatif güzergah bulunuyorsa bu durumun rasyonel sayılabilmesi için maksimum güzergah uzunluğunun $500 \times 1.195 = 597.5$ m, iki alternatif güzergah varsa maksimum güzergah uzunlukları ortalamasının $595.2 \times 1.195 = 711.3$ m, üç alternatif güzergah varsa maksimum güzergah uzunlukları ortalamasının $675.6 \times 1.195 = 807.3$ m olması gerekmektedir. Ortalama hız kriteri de işin içine girdiğinde bir güzergaha ait yolculuk süresi hesaplanarak tüm kriterlerin bir araya geldiğindeki rasyonellik sınır değeri elde edilmiştir. Burada $\frac{\text{KUM ve AG kriterlerine göre RSD}}{\text{OH kriterine göre RSD}} \times 60$ formülü oluşturulmuştur. Fakat iki

nokta arasındaki rasyonellik kavramı düşünüldüğünde kuş uçuşu mesafe kriterinin diğer kriterlere göre önem seviyesi daha yüksektir. Bu yüzden formül $\frac{(KUM \text{ kriterine göre RSD})+(KUM \text{ ve AG kriterlerine göre RSD})}{(OH \text{ kriterine göre RSD}+ \text{Şehiriçi hız limiti})} \times 60$ şeklinde düzenlenmiştir. Bu formülde rasyonellik sınır değerlerinin belirli bir güven aralığında kalması için paya kuş uçuşu mesafe kriteri eklenerek etkisi artırılırken paydada ortalama hız kriterinin etkisini azaltmak için şehiriçi hız limiti eklenmiştir. Bu durumda tüm kriterler için Ortak Rasyonellik Sınır Değeri (RSD) $\frac{[(1.3486)+(1.1952)] \times 60}{(36.78+50)} = 1.7304$ (maks.)'dir. Örneğin kuş uçuşu mesafesi 1 km olan nokta çifti arasındaki güzergahın yolculuk süresi 1.73 dakika, yani 1 dk. 44 sn.'den fazla olmamalıdır.

Hesaplanan tüm rasyonellik sınır değerleri için başlangıç noktaları belirlendikten sonra seçilen ilk nokta kuzey yönünde ve 0°'de olmuştur. Diğer noktalar ise 10°'ar derecelik açılarla artarak, merkez noktanın etrafında 36 nokta seçilmiştir. Burada seçilen ilk nokta 0°'de olmasaydı, bu durumda yeni oluşan nokta çiftleri ile rasyonellik sınır değerleri elde edilseydi nasıl bir sonuca varılacağı tespit edilmiştir. Bunun için belirlenen noktalara en uzak noktalar seçilerek aynı yöntemler uygulanmıştır. Tüm noktalar 5° kaydırılarak farklı 36 nokta elde edilmiş ve aynı tablolar hazırlanıp, işlemler tekrar gerçekleştirilmiştir.

KUM kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri: 1.348 (maks.), OH kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri: 10.119 m/sn = 36.428 km/sa (min.), AG kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri: 0.778 (min.), KUM ve AG kriterlerine göre Rasyonellik Sınır Değeri: 1.3617 (maks.), Ortak Rasyonellik Sınır Değeri: 1.8811 (maks.)'dir.

'0°' ve '5°' de yapılan ölçümler için yapılan değerlendirmelere göre rasyonellik sınır değerleri şu şekilde bulunmuştur: KUM kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri 1.348 (maks.), OH kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri 36.43 km/sa (min.), AG kriterine göre Rasyonellik Sınır Değeri 0.778 (min.)'dir. KUM - AG - OH kriterlerine göre Rasyonellik Sınır Değeri 1.8811 (maks.)'dir. Yani bir şehrin yol ağının KUM kriterine göre rasyonel sayılabilmesi için maksimum KUM kriteri rasyonellik değeri maksimum 1.348; AG kriterine göre rasyonel sayılabilmesi için AG kriteri rasyonellik değeri minimum 0.778; OH kriterine göre rasyonel sayılabilmesi için OH kriteri rasyonellik değeri minimum 36.428 km/sa olmalıdır. Şehrin genel olarak rasyonel sayılabilmesi için ise ortak rasyonellik değerinin maksimum 1.8811 olmalıdır.

Uygulamalar

Bildiri kapsamında incelenecek kentlerin mümkün olduğunca farklı ülkelerden olmasına ve yol ağı denizle çok iç içe olmayan şehirler olarak seçilmesine dikkat edilmiştir. Gayri safi milli hasılası (GSMH) yüksek şehirlerin yol ağlarının daha rasyonel sonuçlar vereceği düşünülerek 2005'te ve 2020'de öngörülen GSMH değerlerine göre dünya sıralamasında ilk 100'e giren şehirler arasından Tablo 11'de görülen şehirler seçilmiştir. (PricewaterhouseCoopers UK Economic Outlook, March 2007). Sistematik olarak seçilecek çevre noktaların belirlenmesindeki ilk aşama başlangıç noktasının yerinin tayinidir. Başlangıç noktası belirlenirken şu hususlar dikkate alınmıştır: Şehiriçi yol ağının mümkün olduğunca geometrik olarak ağırlık merkezine yakın bölgelerinde ve şehrin merkezi olarak nitelendirilebilecek bölgelerde özellikle şehrin önemli meydan, park, devlet binası, gar vb. yapılarının bulunduğu yerlerde seçilmiştir. Mümkün

olduğunca kavşaklarda noktalar seçilmiştir. Başlangıç noktası, bölünmüş yollarda ya da tek yön yollarda kesinlikle seçilmemiştir. Seçilen şehirler için belirlenen başlangıç noktası koordinat değerleri Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11 Örnek şehirler için belirlenen başlangıç noktası Google Maps koordinat değerleri.

Şehir	M (x _i , y _i)	Şehir	M (x _i , y _i)
Tokyo	(35.68951, 139.691)	Roma	(41.91029, 12.47638)
Los Angeles	(34.05222, -118.243)	Pekin	(39.90788, 116.4067)
Paris	(48.86093, 2.340843)	Tahran	(35.71174, 51.40696)
Londra	(51.50805, -0.12712)	Birmingham	(52.48162, -1.89937)
Madrid	(40.42008, -3.66499)	Manchester	(53.47817, -2.24537)
Moskova	(55.74994, 37.60929)	Münih	(48.14456, 11.56972)
İstanbul (Avrupa)	(41.05258, 28.93173)	Ankara	(39.92088, 32.85393)
İstanbul (Asya)	(41.00727, 29.08568)		

Sistemik Nokta Seçimi İçin Yarıçap Değerinin ve Koordinat Katsayılarının Tespiti

Şehirlerin yol ağları ve merkez noktaları incelendiğinde bu noktaların genellikle şehiriçi yol ağlarının da geometrik olarak merkezine yakın bölgelerde olduğu, özellikle şehir planlaması yapılmış şehirlerde net bir şekilde görülebilmektedir. Şehirlerin merkez noktalarından yol ağlarının sonlanmaya başladığı noktalara olan mesafeleri her şehirde farklılık göstermektedir. Seçilen şehirlerin yol ağları incelendiğinde merkez noktasından yol ağının sonlandığı ya da çevre yollarının bulunduğu noktalara olan en kısa kuş uçuşu mesafeler Tablo 12’deki gibidir.

Tablo 12 Şehirlerin merkez noktalarından yol ağlarının sonlandığı ya da çevre yollarının bulunduğu noktalara olan en kısa mesafeler (km).

Şehir	Mesafe (r)	Şehir	Mesafe (r)
Ankara	5.314	Paris	4.602
Los Angeles	5.565	Roma	6.132
Moskova	5.104	Tahran	7.985
Madrid	5.302	Manchester	6.001
Münih	6.803	İstanbul (Asya)	5.691
Pekin	6.376	İstanbul (Avrupa)	5.294
Birmingham	4.986		

Bu mesafeler ‘Google Maps Cetvel’ uygulaması kullanılarak ölçülmüş yaklaşık değerlerdir. Ayrıca her şehirde çevre yolundan sonra yol ağı sonlanmayabilmektedir. Tablo 12’de gözüktüğü gibi yol ağlarının sonlandığı ya da çevre yollarının bulunduğu noktalara olan mesafeler yaklaşık olarak 5 km civarındadır. Londra ve Tokyo gibi bazı şehirlerde bu mesafeler 15 km’yi aşan değerlere ulaşabilmektedir. Fakat tüm şehirler için farklı kuş uçuşu mesafeler seçmek yerine her şehir için standart bir değer seçmek uygun görülmüş bu yüzden sistematik nokta seçimi yaparken kullanılacak değer sabit $r = 5$ km olarak seçilmiştir. Bu mesafenin harita üzerinde yol ağının dışında kalması

gibi durumlarda Google Maps bu noktaya en yakın noktayı yol ağı üzerinde tespit ederek bu noktadan güzergah hesaplamaktadır. Bu durumda kuş uçuşu mesafelerde artma ya da azalmalar meydana gelmektedir. Dolayısıyla gerçek kuş uçuşu mesafeler ölçülerek hesaplamalarda bu değerler dikkate alınmıştır. Tablo 11’de tespit edilen koordinat değerleri ile Tablo 1’deki şablondaki gibi $MÇ_i$ noktaları oluşturulmuş ve $MÇ_i$ noktaları arasındaki kuş uçuşu mesafeler Google Earth uygulamasında hesaplatılmıştır. “Koordinat Katsayıları” bölümünde verilen formüller kullanılarak seçilen şehirler için koordinat katsayıları çizelgesi oluşturulmuştur (Tablo 13).

Tablo 13 Seçilen şehirlerin koordinat katsayıları.

Şehir	x yönündeki artış (m)	y yönündeki artış (m)	k_x	k_y
Tokyo	11086.23	9050.26	0.090202	0.110494
Los Angeles	11093.61	9232.72	0.090142	0.108310
Paris	11121.49	7337.66	0.089916	0.136283
Londra	11128.93	6942.73	0.089856	0.144036
Madrid	11102.04	8487.53	0.090074	0.117820
Moskova	11039.00	6296.91	0.090588	0.158808
İstanbul (Avrupa)	11103.08	8406.16	0.090065	0.118960
İstanbul (Asya)	11102.39	8412.23	0.090071	0.118875
Roma	11107.00	8296.91	0.090033	0.120527
Pekin	11100.08	8551.10	0.090089	0.116944
Tahran	11095.08	9048.90	0.090130	0.110511
Birmingham	11126.61	6794.45	0.089875	0.147179
Manchester	11126.10	6639.33	0.089879	0.150618
Münih	11114.41	7441.82	0.089973	0.134376
Ankara	11105.30	8548.40	0.090047	0.116981

Veri ve Rasyonellik Tablolarının Oluşturulması

Radyal olarak sistematik nokta seçimi için $r = 5$ km, $n = 36$ olarak belirlenmiştir. Bu durumda:

$$\alpha = \frac{360}{n} = \frac{360}{n} = 10^\circ \quad \alpha_i = \alpha \cdot (i - 1)$$

$$\alpha_1 = 0^\circ, \alpha_2 = 10^\circ, \dots, \alpha_{36} = 350^\circ \text{ olur.}$$

Şehirler için koordinat katsayıları da belirlendikten sonra aşağıdaki formüller yardımıyla her şehir için ayrı ayrı Tablo 15’te Tokyo kenti için örneği verilen tablo oluşturulmuştur.

$$\zeta(x_i) = \cos(\alpha_i) k_x \left(\frac{r}{10}\right) + M(x)$$

$$\zeta(y_i) = \sin(\alpha_i) k_y \left(\frac{r}{10}\right) + M(y)$$

Tablo 15 Tokyo için MÇ noktaları koordinat değerleri.

Şehir: Tokyo		M(x) :	35.68951	x yönündeki artış :	11086.23			
		M(y) :	139.691	y yönündeki artış :	9050.26			
No	M (x, y)		Kuzeyden Açısı°	r (km)	k_x	k_y	Ç (x _i ,y _i)	
	M(x)	M(y)					Ç(x)	Ç(y)
1	35.68951	139.691	0	5	0.090202	0.110494	35.73461	139.691
2	35.68951	139.691	10	5	0.090202	0.110494	35.73393	139.7006
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
36	35.68951	139.691	350	5	0.090202	0.110494	35.73393	139.6814

Bu tablolar sayesinde elde edilen 36 adet MÇ_i noktasının koordinat değeri Google Maps uygulamasına tek tek girilerek güzergahlar hesaplatılıp mesafeler, yolculuk süreleri, alternatif güzergahlar ve gerçek kuş uçuşu değerler tespit edilmiştir (Tablo 16).

Tablo 16 Tokyo için Google Maps uygulamasında hesaplanan güzergahlara ilişkin değerler.

Şehir: Tokyo															
No	r _g	M-Ç yönündeki güzergahlar							Ç-M yönündeki güzergahlar						
		d ₁	t ₁	d ₂	t ₂	d ₃	t ₃	Alternatif sayısı	d ₁	t ₁	d ₂	t ₂	d ₃	t ₃	Alternatif sayısı
1	5.02	7.2	17	6.8	26			2	7	20	7.9	27			2
2	5.02	6.8	17	17.2	22			2	6.7	16	6	22	6.5	24	3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
36	5.02	7.9	20	6.6	22	6.9	23	3	6.2	22	8.6	21	6.7	22	3

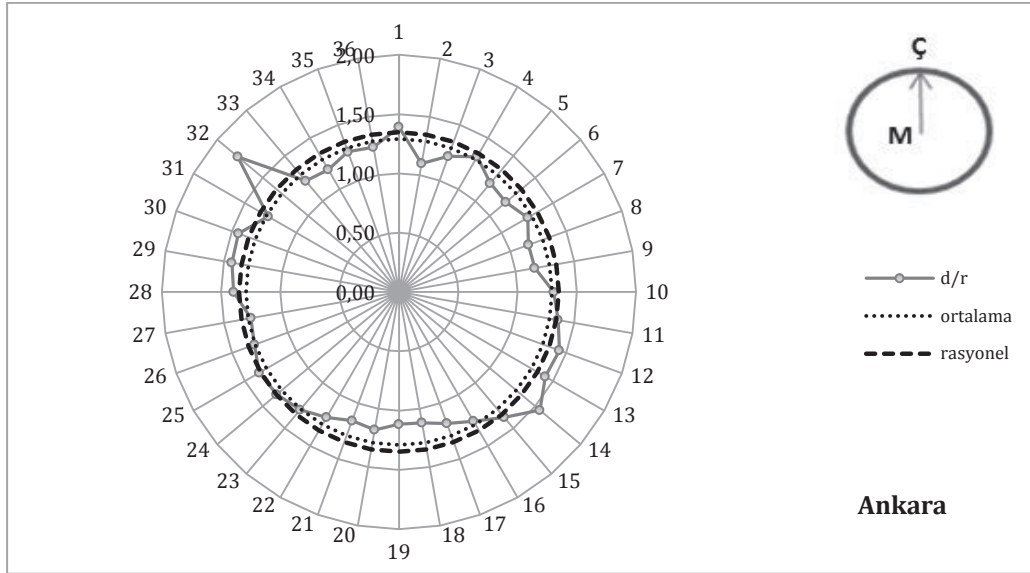
Tablo 16'da her satırda hesaplanan 3 alternatif güzergah arasında en kısa mesafeye sahip olan güzergah belirlenerek d/r_g oranları hesaplatılmıştır. Ayrıca her nokta çifti için kaç alternatif olduğu ve tüm güzergahların ortalama hız değerleri hesaplanmıştır. Böylece tüm şehirler için rasyonellik tabloları oluşturulmuştur (Tablo 17).

Tablo 17 Tokyo için rasyonellik değerleri.

No	KUM Kriter		OH Kriteri							AG Kriteri		KUM-AG Kriteri	
	İçten Dışa	Dıştan İçe	İçten Dışa			Dıştan İçe			V _{ort}	İçten Dışa	Dıştan İçe	İçten Dışa	Dıştan İçe
	(d _{min})/r	(d _{min})/r	V ₁	V ₂	V ₃	V ₁	V ₂	V ₃		A ₁	A ₂		
1	1.355	1.394	25.41	15.69	0.00	21.00	17.56	0.00	19.91	2	2	1.596	1.718
2	1.355	1.195	24.00	46.91	0.00	25.13	16.36	16.25	25.73	2	3	1.596	0.739
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
36	1.315	1.235	23.70	18.00	18.00	16.91	24.57	18.27	19.91	3	3	0.983	0.821
Ort.	1.364	1.431	27.36	26.33	23.91	24.55	22.53	21.63	24.38	2.89	2.78	1.142	1.437

Radar Grafiklerin Oluşturulması

Yapılan ölçümlerde güzergah mesafelerinin bazen normalin çok üstünde çıktığı gözlemlenmiştir. Bu güzergahlar incelendiğinde bunun sebebinin nokta çiftlerinden birinin bölünmüş bir yolun ters istikametine denk gelmesi olduğu anlaşılmıştır. Bu durum ölçümler sırasında farkedilemeyebilmektedir. Fakat oluşturulan radar grafiklerde bu hatalar hemen görülebilmektedir. Grafikler oluşturulduktan sonra anormal bir durum varsa tekrar o nokta çiftine dönülerek Google Maps uygulamasında gerekirse noktanın yeri aynı istikametteki yola alınarak düzenlemeler yapılmıştır. Böylece hem kontroller yapılmış hem de sonuçlar görsel hale dönüştürülmüştür. Oluşturulan radar grafiklerde merkez noktanın etrafında harita üzerinde seçilen nokta yönünde; tablolarda bulunan güzergah mesafeleri, ortalama hızlar ve alternatif sayıları ayrı ayrı grafiklerde çizilmiştir. Aynı grafiklere rasyonellik sınır değerleri de çember olarak eklenerek hangi yönlerde bu çemberin aşıldığı gözlemlenebilmektedir. Böylece şehirlerdeki rasyonellikler bölgesel olarak da belirlenebilmektedir. Yine aynı grafiklere o şehir için hesaplanan rasyonellik değerleri de çember olarak eklenmiştir. Bu da grafiğe bakarak bir şehir için rasyonelliğin sağlanıp sağlanmadığını göstermektedir. Örnek olarak Ankara şehri için elde edilmiş bir radar grafik incelenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7 Ankara için merkezden dışarıya doğru olan bölgesel KUM kriteri rasyonellik sonuçları.

Şekil 7’de verilen radar grafik, Ankara’da seçilen bir noktadan 5 kilometre kuş uçuşu mesafeye sahip 36 noktaya (ayrı ayrı) bir araçla gidebilmek için oluşturulan en kısa güzergahların rasyonelliklerini tek tek vermektedir. Örneğin merkezdeki noktadan 2. noktaya gidilebilecek en kısa güzergahın “rasyonel” isimli çizginin içinde kaldığı için rasyonel, merkezden 14. noktaya gidebilmek için belirlenen en kısa güzergahın ise rasyonel olmadığı söylenebilir. Burada 2. nokta için belirlenen güzergahın rasyonellik değerinin 1.10 civarında bir değer olduğu, yol ağının tüm güzergahların ortalaması alınarak elde edilen rasyonellik değerinin 1.30 civarında olduğu, rasyonellik sınır değerinin ise 1.35 civarında olduğu söylenebilir. Grafik merkezden dışarıya doğru olan yolculuklar için KUM kriterine göre bölgesel olarak rasyonellik sonuçlarını göstermektedir. Aynı şekilde tüm kriterler için merkezden dışarıya ya da dıştan merkeze

sıralaması' sütununda verilen değerler 2005 yılına ait bütün dünyadaki şehirler arasında GSMH sıralamasındaki sıra numaralarıdır. Tablo 18'deki değerlere göre şehirler arasında rasyonellik sıralaması yapıldığında Tablo 19 elde edilmektedir. Altı çizili şehirler rasyonellik sınır değerleri içinde, diğerleri ise dışında kalmıştır.

Tablo 18 Çalışılan şehirlere ait tüm rasyonellik değerleri.

GSMH Sıralaması	Şehirler	KUM Kriteri	AG Kriteri	OH Kriteri	Ortak
1	Tokyo	1.398	0.944	24.38	2.169
3	Los Angeles	1.244	0.949	37.12	1.527
5	Paris	1.290	0.977	27.59	1.752
6	Londra	1.271	0.977	28.63	1.676
23	Madrid	1.455	0.907	43.70	1.843
25	Moskova	1.465	0.944	36.02	1.987
34	İstanbul	1.510	0.877	28.98	2.413
38	Roma	1.516	0.949	27.02	2.374
44	Pekin	1.389	0.954	30.98	1.909
56	Tahran	1.465	0.968	29.96	2.116
71	Birmingham	1.420	0.954	39.06	1.811
73	Manchester	1.246	0.940	33.48	1.554
83	Münih	1.332	0.981	34.24	1.687
94	Ankara	1.301	0.986	35.91	1.582

Tablo 19 Şehirlerin rasyonellik sıralamaları.

Rasyonellik Sıralaması	KUM Kriteri	AG Kriteri	OH Kriteri	Ortak
1	<u>Manchester</u>	<u>Ankara</u>	<u>Madrid</u>	<u>Los Angeles</u>
2	<u>Los Angeles</u>	<u>Münih</u>	<u>Birmingham</u>	<u>Manchester</u>
3	<u>Londra</u>	<u>Londra</u>	<u>Los Angeles</u>	<u>Ankara</u>
4	<u>Paris</u>	<u>Paris</u>	Moskova	<u>Londra</u>
5	<u>Ankara</u>	<u>Tahran</u>	Ankara	<u>Münih</u>
6	<u>Münih</u>	<u>Pekin</u>	Münih	<u>Paris</u>
7	Pekin	<u>Birmingham</u>	Manchester	<u>Birmingham</u>
8	Tokyo	<u>Los Angeles</u>	Pekin	<u>Madrid</u>
9	Birmingham	<u>Roma</u>	Tahran	Pekin
10	Madrid	<u>Moskova</u>	İstanbul	Moskova
11	Moskova	<u>Tokyo</u>	Londra	Tahran
12	Tahran	<u>Manchester</u>	Paris	Tokyo
13	İstanbul	<u>Madrid</u>	Roma	Roma
14	Roma	<u>İstanbul</u>	Tokyo	İstanbul

Tablo 18'deki değerlerin elde edilmesi için belirlenen kuş uçuşu mesafenin 5 km olduğu unutulmamalıdır. Bir şehrin büyüklüğüne göre bu mesafe büyütülerek ya da küçültülerek aynı ölçümler gerçekleştirilebilir. Fakat bir şehrin yol ağının başka bir şehrin yol ağı ile kıyaslanabilmesi için aynı kuş uçuşu mesafelerde ölçüm yapılmış değerlerin kıyaslanması daha doğru olacaktır. Farklı kuş uçuşu mesafeye sahip güzergahların kıyaslanması için ise böyle bir durum söz konusu değildir. Tablo 19'da

tüm kriterlerde rasyonel olan tek şehrin Los Angeles olduğu görülmektedir. Bu durum Zorlu (2008)'in de belirttiği gibi ızgara yaygın çokgen (grid) tipindeki bir yol ağının daha ideal bir yol ağı olduğu görüşünü desteklemektedir. Böyle bir tablonun oluşturulmuş olması ideal tasarlanmış yol ağlarının daha rasyonel sonuçlar verdiğini kanıtlamakta ve önemini göstermektedir. Tabloda İstanbul'un yapılan tüm ölçümlerde son sıralarda yer aldığı ve rasyonel bir yol ağına sahip olmadığı görülmektedir. Bu da İstanbul gibi önemli bir şehrin yol ağında ciddi düzenlemeler yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Yapılan kentsel dönüşüm çalışmaları yol ağlarının da yeniden yapılandırılmasına yönelik olmalıdır. Aksi halde ileride tekrar düzenlemelere gidilmesi gerekliliği ortaya çıkacaktır.

Sonuç

Bu bildiri de şehiriçi yol ağlarının rasyonelliklerinin ölçülmesi amacı ile Kuş Uçuşu Mesafe (KUM), Ortalama Hız (OH), Alternatif Güzergah (AG) ve Açısal Sapma (AS) kriterleri oluşturulmuştur. Kuş uçuşu mesafe kriteri ile açısal sapma kriteri farklı yöntemler olsa da aynı sonuçları veren kriterler olduğu için daha pratik olan KUM kriteri ile rasyonellik çalışmaları yürütülmüştür. Böylece şehiriçi yol ağının rasyonelliğini ölçmek için KUM, AG ve OH kriterleri için skalalar ve bu üç kriteri bir arada değerlendirebilmek için de 'Ortak' rasyonellik skalası oluşturulmuştur. Bu skalaların şehirlere tatbik edilebilmeleri için Google Maps uygulamasının koordinat sistemiyle uyumlu bir şekilde çalışacak sistematik nokta seçim yöntemi oluşturulmuştur. Sistematik nokta seçimi yöntemiyle belirlenen 15 şehirde (İstanbul Asya ve Avrupa olarak iki şehir olarak kabul edilmiştir) ayrı ayrı ölçümler yapılmıştır. Sonuçların yorumlanabilmesi için rasyonellik sınır değerleri elde edilmesi gerekmiştir. Bunun için tasarlanan bir yol ağı üzerinde bazı kabuller dahilinde ve belirlenen kriterlerde ölçümler yapılarak sınır değerleri elde edilmiştir. Şehiriçi yol ağı rasyonellikleri sınır değerlere göre belirlenmiş ve şehirler arasında bir kıyaslama yapma imkanı sağlanmıştır. Şehirlerin yol ağı rasyonellikleri genel olarak belirlendiği gibi bir şehrin bölgesel olarak da yol ağı rasyonellik durumu hem sayısal değerlerle hem de görsel olarak belirlenmiştir. Böylece elde edilen sonuçlar oluşturulan kriterlerin istenilen amacı sağladığını kanıtlamıştır. Literatüre şehir planlaması ile şehiriçi ulaşım planlaması arasında bağ kuracak ve bu ilişkiyi sayısal olarak ölçecek bir yöntem kazandırılmıştır. Bu yöntem bir ülkedeki tüm şehirlerde uygulanarak o ülkedeki ulaşım ile ilgili altyapı çalışması gereken şehirlerin tespiti yapılabilecek hatta bir öncelik sıralaması yapılabilecektir. Şehiriçi trafiğinin yönlendirilmesi ve tek yön uygulamaları kontrol altına alınabilecektir. Yol ağları ile ilgili yapılacak farklı tasarımlar arasında sayısal olarak karar verme şansı sağlayacaktır. Özellikle kentsel dönüşüm projelerinin gündemde olduğu ülkemizde, yapılan yeni planlamalarda yol ağlarının bu kriterlere uygun olarak tasarlanması yol ağlarının kalitesini daha da arttıracaktır.

Teşekkür Bu çalışmaya 2012.02.0121.024 nolu proje ile verdikleri destekten dolayı Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

Akgöl, K. (2012) Şehirçi Yol Ağlarında Bir Kalite Göstergesi Olarak Güzergah Rasyonellik Skalalarının (GRS) Oluşturulması ve Örnek Şehirler Üzerinde Denenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Chen, A., Yang, H., Lo, H. and Tang, W. (2002) Capacity Reliability of a Road Network: an Assessment Methodology and Numerical Result. Transportation Research Part B, 36, 225-252.

Devlet Planlama Teşkilatı (2001a) "Kentiçi Ulaşım Alt Komisyonu Raporu", Ankara.

Devlet Planlama Teşkilatı (2001b) "Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu Raporu", Ankara.

Lynch, K. (1981) A Theory of Good City Form. The MIT Press.

Marshall, S. (2005) Urban Pattern Specification, Institute of Community Studies, London.

Ortuzar, J.D., Willumsen, L.G. (2011) Modelling Transport. Wiley, Chichester, 514 s.

PricewaterhouseCoopers UK Economic Outlook, March 2007. 15-26.

http://www.pwc.com.tr/tr_TR/tr/assets/ins-sol/publ/largestcityeconomies_march07.pdf

Raveau, S., Guo Z., Munoz J. C. and Wilson N. H. M. (2012) Route Choice Analysis for Metro Networks: A Comparison Between Santiago and London. Energy Efficient Transportation Network. 15. Edition of the Euro Working Group on Transportation International Scientific Conference, 10-13 September, Paris.

TC. Ulaştırma Bakanlığı ve İstanbul Teknik Üniversitesi (2005) "Ulaştırma Ana Stratejisi Sonuç Raporu".

The Department of Urban & Regional Planning Ucd & Oscar Faber Transportation (2007) "Transport and Regional Development", Dublin.

TÜBİTAK (2003) "Vizyon 2023 Teknoloji Öngörüsü Projesi", Ankara.

Wright, C., Gautamkumar, A. and Jarret, D. (1989) Conflict Minimising Traffic Patterns: A Graph-Theoretic Approach to efficient Traffic Circulation In Urban Areas. Transportation Research, v: 23A; 115-127.

Zorlu, F. (2008) Kentsel Doku-Ulaşım Sistemi İlişkileri. METU JFA 2008/1 (25:1), 81-104.

Duble Yollarda Drenaj Kanalı Kenarına Yerleştirilecek Otokorkulukların Yeterliğinin İncelenmesi

Ayhan Öner Yücel

Adnan Menderes Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Aydın
Tel: (256) 213 75 03
E-Posta: aoyucel@adu.edu.tr

Ali Osman Atahan

Mustafa Kemal Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Hatay
Tel: (326) 613 56 00
E-Posta: ali_atahan@hotmail.com

Turan Arslan

Uludağ Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., İnş. Müh. Fak., Bursa
Tel: (224) 294 26 39
E-Posta: arsltur@gmail.com

Umur Korkut Sevim

Mustafa Kemal Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Hatay
Tel: (326) 613 56 00
E-Posta: uksevim@mku.edu.tr

Öz

Ülkemizde son yıllarda bölünmüş duble yol inşaatlarındaki artış bu yollarda kullanılan refüjlerde tesis olunan drenaj kanallarının güvenliği konusunda yeni araştırmalar yapılması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Olası bir kontrol kaybında araçlar kanala girerek durabilmekte veya takla atabilmekte yada kanalı geçerek karşı istikametten gelen araçlarla çarpışabilmektedir. Bu şartlar altında trafik güvenliğini sağlayabilmek için araçların kanala girmesinin önlenmesi en uygun çare olarak görülmektedir. Literatürde araçları güvenli bir şekilde yavaşlatarak durdurabilecek sistemlerin başında otokorkuluklar gelmektedir. Bu çalışmada, duble yollarda drenaj kanalı kenarlarına uygulanabilecek 3 tip otokorkuluğun nerede ve nasıl kullanılması gerektiği dinamik çarpışma analizleri yapılarak incelenmiştir. Analizlerde kullanılan kanal, araç ve otokorkuluk modelleri sonlu elemanlar metodu kullanılarak 3 boyutlu oluşturulmuştur. Bahsedilen dinamik analizler ve simülasyonlar, dinamik etkileşimi başarıyla modelleyen sonlu elemanlar programı LS-DYNA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlar Avrupa Çarpışma Test Standardı EN1317 kısım 2’de bahsi geçen N2 ve H1 seviye otokorkuluk çarpışma testlerinde kullanılan 900 kg. lık otomobil ve 10 tonluk kamyon modelleri ile yapılmıştır. Otokorkulukların uygulama yeri ile ilgili yapılan çalışmalar sonucunda; N2 normal hizmet seviyesi otokorkuluğun ray yüzü ile kanal köşesi aynı hizada olacak şekilde kanal içerisine çakılması herhangi bir güvenlik sorunu oluşturmadığı, H1 hizmet seviyesi otokorkulukları AG04-2.0 ve EDSP-1.33 kanal köşesi ile dikme yüzü arasındaki mesafe minimum 50 cm. olacak şekilde çakılarak kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Karayolu Güvenliği, Refüj Drenaj Kanalları, Otokorkuluk, Dinamik Sonlu Elemanlar Analizi, LS-DYNA, EN1317.

Giriş

Üçgen kesitli kanallar ülkemizde karayolu refüj bölgesinde sıkça kullanılan yağmur suyu drenaj yöntemlerinden biridir (KGM, 2005). Ülkemizde duble yolların artması sebebiyle bu tip kanalların kullanımı giderek artmaktadır. Bu kanallar, T.C.K geometrik standartlarına uygun olarak, yerinde inşaa edilmektedir (KGM, 2005). Yüzeysel suların drenajı için yapılan bu tasarımlar, araçlar için güvenlik sorunları oluşturmaktadır. Bu sebeple, araç güvenliğini sağlayabilmek için araçların kanala girmeden yavaşlatılarak durdurulması önem arz etmektedir. Bu durumda kanalların her iki tarafında otokorkuluk kullanımı kaçınılmaz hale gelmektedir.

Otokorkuluk sistemlerinin karayollarında kullanılabilmesi için EN 1317 Avrupa Standardında belirtilen çarpışma testlerini başarıyla geçmesi gerekmektedir (CEN, 2010). Bu standartta otokorkuluk çarpışma testleri sadece düz zemin üzerinde yapılmaktadır. Bu sebeple kanal yan yüzeyi gibi eğimli yüzeylere giren araçların nasıl davranacağı bilinmemektedir. Karayollarımızda otokorkulukların zorunluluktan dolayı kanala çok yakın veya kanal içerisine çakılması durumu söz konusu olabilmektedir (Yücel, 2012). Bu durumlarda aracın sisteme çarpmasıyla araç tekerlerinin kanal içerisine düşmesi ve sonuçta araç dengesinin bozulması söz konusu olmaktadır. Şekil 1’de kanal içerisine çakılan otokorkuluk uygulamasına bir örnek gösterilmektedir. Bu durumda otokorkuluk beklendiği gibi çalışmadığından çarpan otobüsün kanal içerisine devrilmesine engel olamamıştır.



Şekil 1 Kanal içerisine çakılan otokorkuluğa çarpan otobüs.

Simülasyon Çalışmasının Organizasyonu

Bu çalışmada değişik koruma seviyesine sahip 2 değişik otokorkuluk tipinin (AG04-2.0 ve EDSP-1.33) uygulama yerinin araç davranışına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada AG04-2.0 tipi hem N2 hem de H1 hizmet seviye sınıfı otokorkuluk olarak incelenmiştir. EDSP-1.33 ise sadece H1 sınıfı olarak düşünülmüştür. Avrupa Çarpışma Test Standardı EN 1317 kısım 2’ ye göre otokorkuluk sisteminin hizmet seviyesini belirlemek için yapılması gereken çarpışma testleri Tablo 1’de, bu testlerin detayları Tablo 2’de verilmiştir (CEN, 2010). Tablo 1 ve 2 otokorkuluk hizmet seviyelerinin nasıl belirlendiğinin anlaşılması amacıyla verilmiştir.

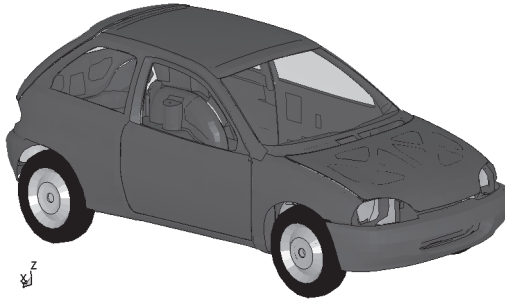
Tablo 1 EN 1317-2 standardında hizmet seviyesi ve gereken kabul testleri (CEN, 2010).

Hizmet Seviyesi Sınıfı		Kabul Testi
Normal Hizmet	N2	TB32 ve TB11
Ağır Hizmet	H1	TB42 ve TB11

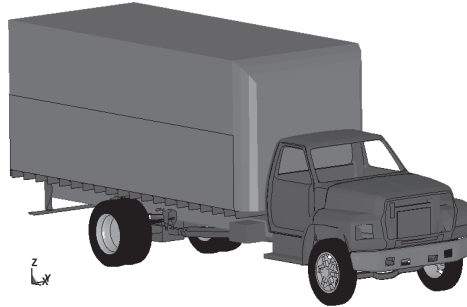
Tablo 2 EN1317-2 çarpışma test kriterleri (CEN, 2010).

Test	Araç Hızı(km/sa)	Çarpma Açısı(derece)	Araç Ağırlığı (kg)	Araç Tipi
TB11	100	20	900	Araba
TB32	110	20	1500	Araba
TB42	70	15	10000	Kamyon

Çalışmada kullanılan 900 kg'lık araba ve 10.000 kg'lık kamyon modellerine ait resimler Şekil 2 ve 3'te gösterilmektedir. Çalışmada Amerikan Çarpışma Analiz Merkezi (NCAC) tarafından oluşturulan araç modelleri kullanılmıştır (NCAC, 2008).

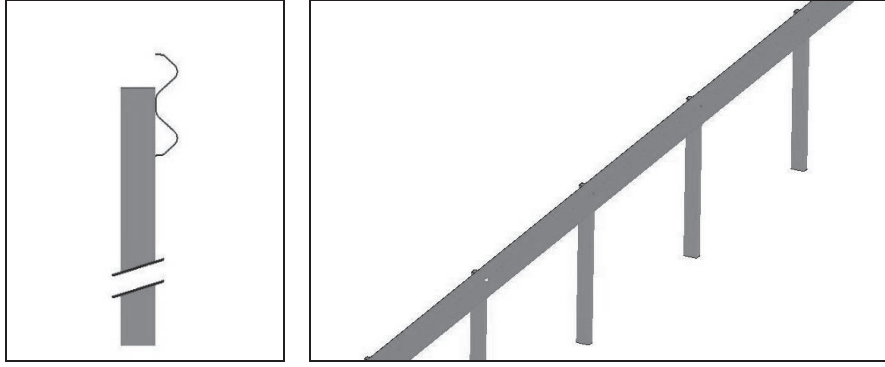


Şekil 2 900 kg ağırlığındaki arabanın sonlu elemanlar modeli (NCAC, 2008).

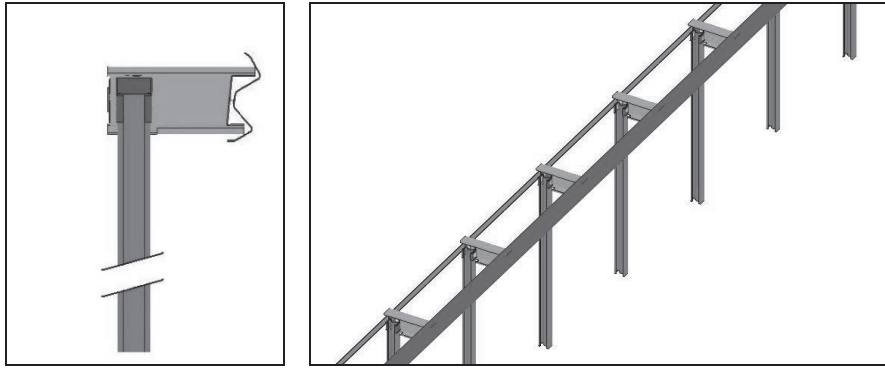


Şekil 3 10000 kg ağırlığındaki kamyonun sonlu elemanlar modeli (NCAC, 2008).

Çeşitli uygulanma durumlarını inceleyebilmek için 3 farklı sınıf otokorkuluk sistemine ait sonlu elemanlar modelleri oluşturulmuştur. Gerçek otokorkuluklara ait malzeme ve geometrik özellikler kullanılarak oluşturulan modeller yapılacak analizlerde kullanılmıştır (Şekil 4 ve 5). AG04-2.0 otokorkuluğu N2 ve H1 hizmet seviyelerinde, EDSP-1.33 otokorkuluğu ise H1 hizmet seviyesinde kullanılmaktadır.



Şekil 4 N2 ve H1 hizmet seviyesi AG04-2.0 otokorkuluğu sonlu elemanlar modeli (Yücel, 2012).



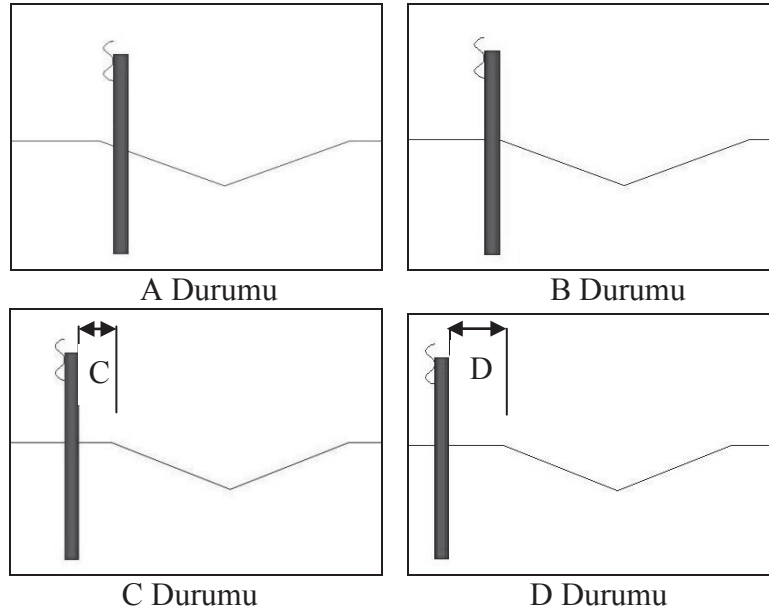
Şekil 5 H1 hizmet seviyesi EDSP-1.33 otokorkuluğu sonlu elemanlar modeli (Yücel, 2012).

Bu çalışmada AG04-2.0 ve EDSP-1.33 otokorkulukları üçgen (U) veya trapez (T) tipi kanallara uygulanarak kullanılmıştır. EN1317 standardında belirtildiği gibi 900 kg ağırlığındaki araba 100 km/sa ve 10000 kg ağırlığındaki kamyon ise 70 km/sa hızla otokorkuluklara çarptırılmıştır. Araçların otokorkuluklara çarpma açıları olan 15 ve 20 derece de yine EN1317 standardından aynen alınmıştır (CEN, 2010). Tablo 3'te 3 farklı otokorkuluk tipi kullanılarak yapılan 16 simülasyonun detayları verilmektedir.

Tablo 3'te verilen otokorkuluk konumu sütununda, otokorkuluğun kanala çakılma durumu belirtilmektedir. A durumunda otokorkuluk kanal içine çakılmakta ve kanal ile yol kesişimi ile ray yüzeyi birbirine paralel olmaktadır. B durumunda, otokorkuluk hemen kanalın bitişiğine çakılmaktadır. C durumunda dikme ile kanal arasında 30 cm, D durumunda ise 50 cm mesafe bulunmaktadır (Şekil 6).

Tablo 3 Farklı otokorkuluk tipleri için yapılan analizlerin detayları (Yücel, 2012).

Analiz No	Otokorkuluk Tipi	Kanal Tipi	Otokorkuluk Konumu	Araç Ağırlığı (kg)	Araç Hızı (km/saat)	Çarpma Açısı (derece)		
1	AG04-2.0 N2	U	A	900	100	20		
2		T	A					
3	AG04-2.0 H1	U	A	10000	70	15		
4			B					
5			C					
6			D					
7		T	A					
8			B					
9			C					
10			D					
11			EDSP-1.33 H1				U	A
12								C
13	D							
14	T	A						
15		C						
16		D						

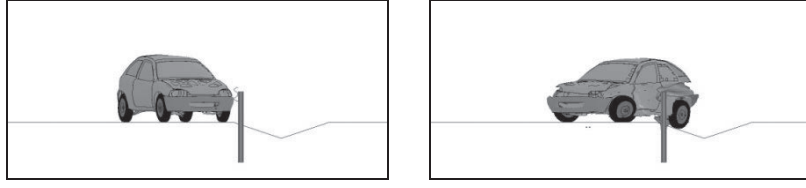


Şekil 6 Analizlerde kullanılan otokorkuluk tip ve yerleri (C = 30cm, D = 50 cm).

Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

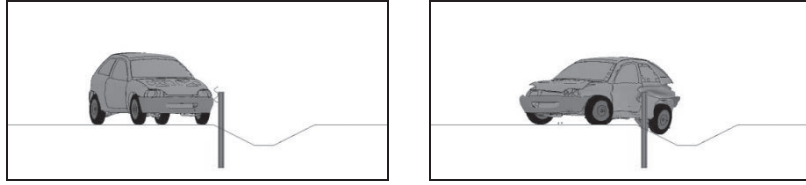
Tablo 3'te gösterilen 16 analize ait sonuçlar Şekil 7-22 arasında sunulmaktadır. Analizlerdeki ilk resim analiz başlamadan önceki araç durumunu, ikinci resim ise aracın otokorkuluktan çıkma anındaki durumunu göstermektedir.

1 no'lu analiz



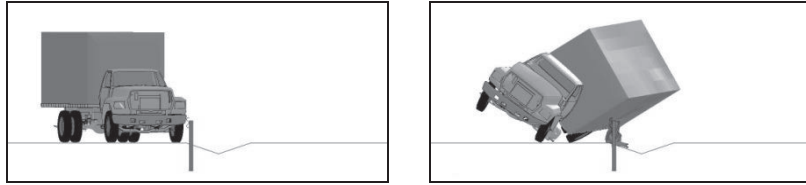
Şekil 7 1 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

2 no'lu analiz



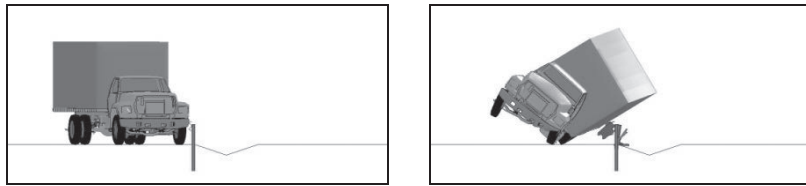
Şekil 8 2 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

3 no'lu analiz



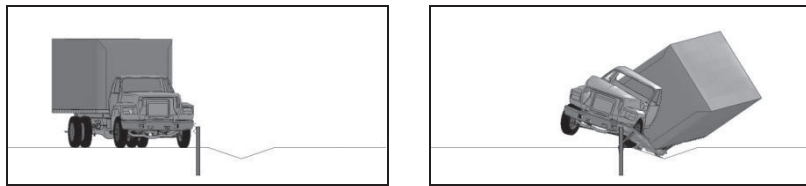
Şekil 9 3 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

4 no'lu analiz



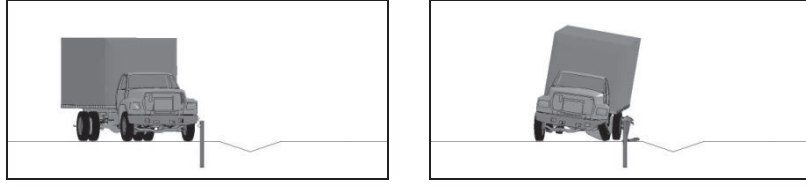
Şekil 10 4 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

5 no'lu analiz



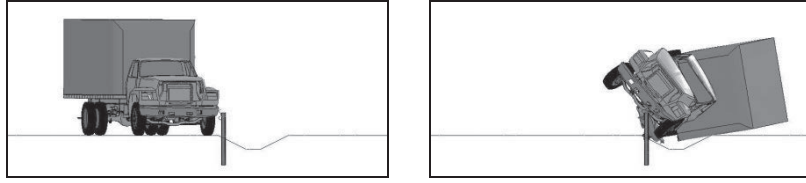
Şekil 11 5 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

6 no'lu analiz



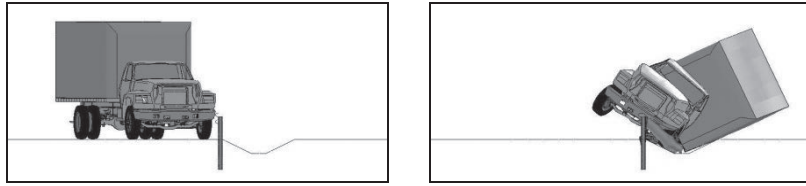
Şekil 12 6 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

7 no'lu analiz



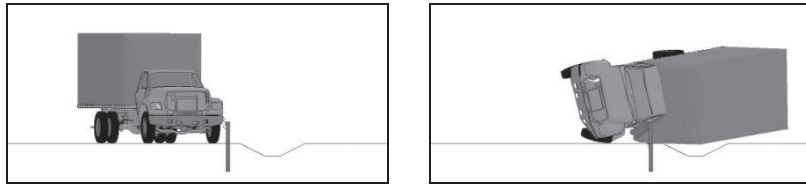
Şekil 13 7 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

8 no'lu analiz



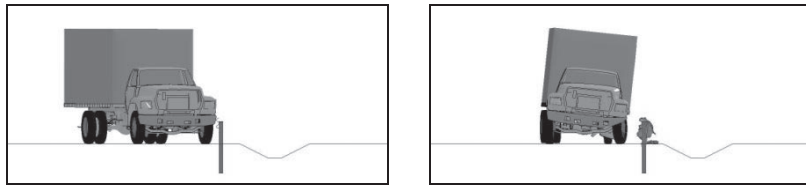
Şekil 14 8 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

9 no'lu analiz



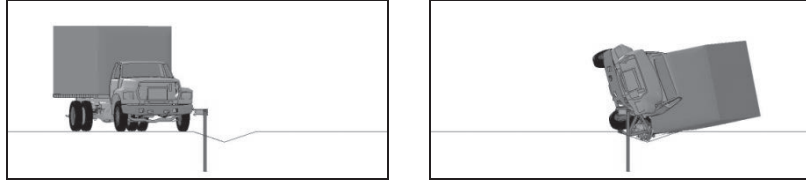
Şekil 15 9 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

10 no'lu analiz



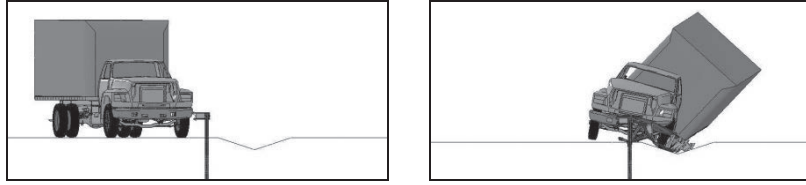
Şekil 16 10 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

11 no'lu analiz



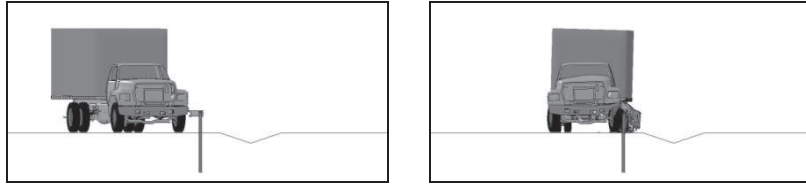
Şekil 17 11 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

12 no'lu analiz



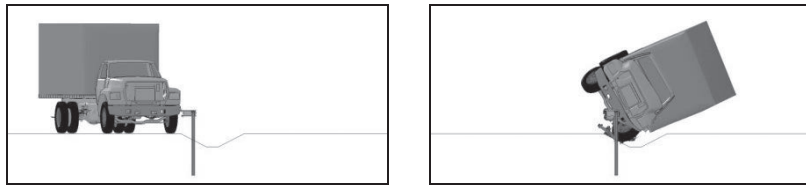
Şekil 18 12 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

13 no'lu analiz



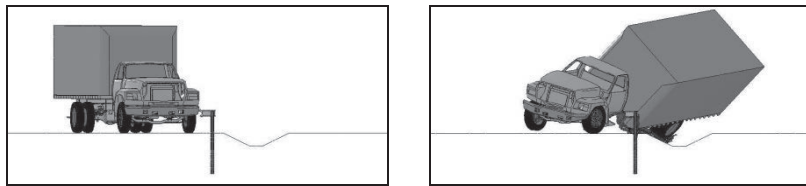
Şekil 19 13 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

14 no'lu analiz



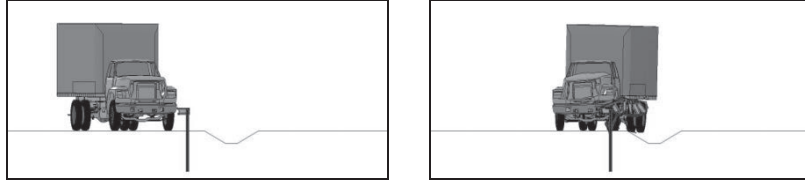
Şekil 20 14 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

15 no'lu analiz



Şekil 21 15 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

16 no'lu analiz



Şekil 22 16 No'lu analiz enkesit görüntüleri.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, duble yolların refüj bölgesinde yer alan kanallara girme ihtimali olan araçları korumak için 3 sınıf otokorkuluk ile ilgili kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. Araç özelliklerine bağlı olarak bu otokorkulukların hizmet seviyesi ve uygulama yeri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmayla ortaya konan sonuçların; TCK, belediyeler ve diğer idareler için drenaj kanalları boyunca otokorkuluk uygulamalarında, araç güvenliğinin de dikkate alınması yönünde fayda sağlaması beklenmektedir. Otokorkulukların uygulama yeri ile ilgili yapılan çalışmalar sonucunda:

- N2 normal hizmet seviyesi otokorkuluğun ray yüzü ile kanal köşesi aynı hizada olacak şekilde kanal içerisine çakılması herhangi bir güvenlik sorunu oluşturmadığından sadece ağır taşıt trafiği olmayan yollarda kullanılması önerilmektedir.
- H1 hizmet seviyesi otokorkulukları AG04-2.0 ve EDSP-1.33 uygulanma yeri bakımından aynı performansı göstermişlerdir. Her iki sistemin kanal köşesi ile dikme yüzü arasındaki mesafe minimum 50 cm. olacak şekilde çakılarak kullanılması önerilmektedir.
- Analizler sonucunda benzer performans gösteren AG04-2.0 ve EDSP-1.33 sistemleri maliyet ve üretim kolaylığı bakımından kıyaslandığında AG04-2.0 sisteminin daha avantajlı olduğu görülmektedir. Otokorkuluk sistemlerinin malzeme, montaj, nakliye ve benzeri giderler düşünüldüğünde 1 kilogramının yaklaşık maliyeti 1.1 Amerikan Doları düzeyindedir. EDSP-1.33 sisteminin 1 metre ağırlığı 30.7 kilogram, AG04-2.0 sisteminin 1 metre ağırlığı ise 18.5 kilogramdır. 1 kilometrelik bir uygulamada EDSP-1.33 sistemi 33770 dolara, AG04-2.0 sistemi ise 20350 dolara mal olmaktadır. Aynı yeterlilikte olan iki sistemden AG04-2.0 sisteminin diğer sisteme göre yaklaşık %40 daha ucuz olduğu görülmektedir. Bunun yanında EDSP-1.33 sistemi daha çok bileşenden oluştuğundan arazide montaj süresi AG04-2.0 sistemine göre uzun sürmektedir. Bu sebeple yeni nesil otokorkuluk olan AG04-2.0 sisteminin EDSP-1.33 yerine kullanılması önerilmektedir.

Bu çalışmada drenaj kanallarına giren araçların güvenliğini sağlayabilmek için N2 ve H1 seviye otokorkulukların kullanım yerleri ile alakalı çarpışma simülasyonları yapılmıştır. Tüm simülasyonlarda otokorkulukların yolların sadece aliyman kısımlara uygulandığı varsayılmıştır. Bunun yanında ileriki çalışma olarak otokorkulukların yolun kurb kesimlerinde uygulanması durumlarının da dikkate alınması önerilmektedir. Kurbalarda uygulanan otokorkuluğa araçların çarpma açısı 15 dereceden daha geniş olacağından bu kesimlerde yüksek hizmet seviyesine sahip H2, H3 ve H4b

otokorkuluklar için benzer çalışmalar yapılması önerilmektedir. Son olarak, ülkemizde ki ağır taşıt kompozisyonu düşünüldüğünde ileriki çalışmalarda 10 tondan daha yüksek tonajlı araçların da kullanılması ve sonuçlarının değerlendirilmesi faydalı olacaktır.

Teşekkür Bu çalışma Tübitak 110M235 nolu proje tarafından desteklenmiştir. Katkılarından dolayı Tübitak'a teşekkürü borç biliriz.

Kaynaklar

Yücel, A. Ö. (2012) Karayolu Yağmur Drenaj Kanallarının Araç Güvenliğine Etkisinin Dinamik Analizler Kullanılarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Danışman: Prof.Dr. Ali Osman ATAHAN, Fen bilimleri Enstitüsü, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.

CEN (2010) Avrupa Standartları, EN1317-Yolkenar Güvenlik Sistemlerinin Çarpışma Test Standardı, Avrupa Standardizasyon Komitesi, Brüksel.

KGM (2005) Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolu Tasarım El Kitabı, KGM, Ankara.

NCAC (2008) Amerikan Ulusal Çarpışma Analiz Merkezi, George Washington Üniversitesi, (<http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>).

Dünya Sağlık Örgütü Tarafından Yürütülen Afyonkarahisar RS10 Güvenli Trafik Projesi

Hüseyin Akbulut

Afyon Kocatepe Üniversitesi Müh.Fak.İnş.Müh.Böl.
Tel: (272) 2281264
E-Posta: hakbulut@aku.edu.tr

Serap Şener

WHO Türkiye Ofisi Ankara
E-Posta: seners@euro.who.int
seners@euro.who.int

Özet

Trafik kazaları, orta ve düşük gelirli ülkelerin en temel sorunları arasında yer almaktadır. Trafik kazalarından dolayı hayatını kaybeden ve sakat kalan insan sayısı devamlı olarak artan bir eğilim göstermektedir. Bu durum zaten ekonomileri sıkıntı içerisinde olan ülkelerin bütçelerinde büyük delikler, sosyal yaraların açılmasına ve ulaşım altyapısına yeterli kaynak aktarımı yapılamamasına neden olmaktadır. Kısır bir döngü içerisine giren sistem adeta aşısı olmayan bir salgın hastalık karakteri göstermektedir.

2009 yılında, BM'nin aldığı inisiyatifle, Dünya sağlık örgütünün koordinasyonunda, 10 ülkede kazaların azaltılması ile ilgili olarak uygulanacak ve %50 oranında kaza ölüm ve yaralanma oranlarını azaltacak on yıllık bir eylem planı hazırlanmıştır. Bu 10 ülke arasında Türkiye'de olduğu için Ankara ve Afyonkarahisar pilot iller olarak seçilmiştir. Bu proje çerçevesinde Afyonkarahisar'da, Afyonkarahisar valiliği, emniyet müdürlüğü, jandarma ve üniversitenin işbirliği ile dört yıllık bir plan hazırlanmış ve uygulamaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalar hem ülkemize hem de diğer pilot seçilen ülkelere örnek teşkil edecek sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

Anahtar sözcükler: Güvenli trafik, RS 10, emniyet kemeri kullanımı, Afyonkarahisar örneği.

Giriş

Gelişmiş ve özellikle gelişmekte olan ülkelerin trafik güvenliği nedeniyle ortaya çıkan ve devamlı artan sosyal ve ekonomik kayıpları bugün ve gelecekte en temel sorunlarından biri olmaya devam edecek. Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) tahminlerine göre "2030 yılına kadar trafik kazalarında meydana gelen ölümler, dünyadaki ölüm sebepleri arasında üçüncü sıraya yükselecektir" (WHO, 2009). Dünya genelinde yılda 1.3 milyon insanın ölümü, 20 ila 50 milyondan fazla insanın yaralanması ve milli gelirlerin %2-3 oranında milyarlarca dolarlık ekonomik kayıp sanki bir salgın hastalık veya felaket görüntüsü vermektedir. Bu salgın hastalık maalesef bir ilaçla tedavi edilenlerden çok daha inatçı ve kalıcı durumdadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelere

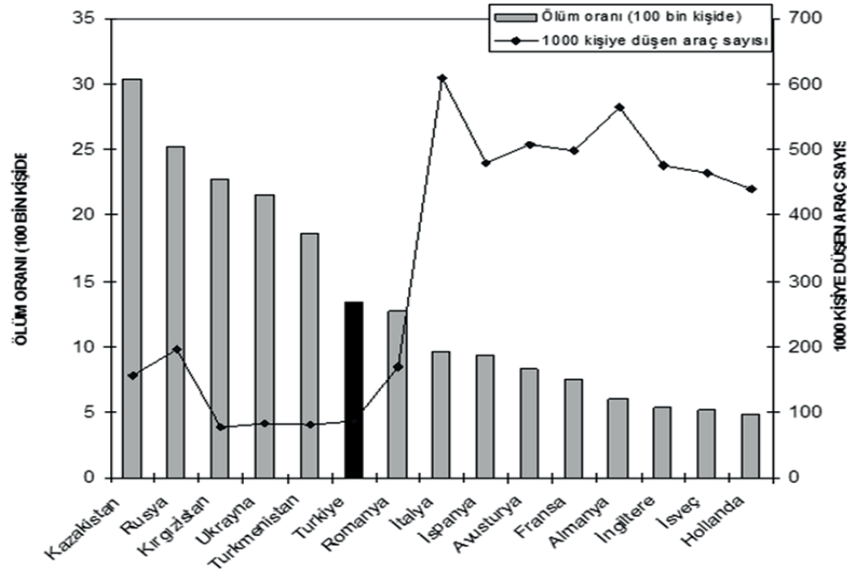
sorun daha da ciddi bir hal almaktadır. Gelişmiş ülkelerdeki araç sayıları ile kıyaslandığında (Şekil 1) çok daha az sayıda araç sayısına sahip olan gelişmekte olan ülkelerin ölüm ve yaralanma oranları gelişmiş ülkelerinki ile kıyaslanamaz düzeyde, çok daha yüksektir. Özellikle meydana gelen ekonomik kayıplarla yeni ulaşım altyapı projeleri ve iyileştirmeleri yapılabilecek kaynak ve imkanlar her yıl devamlı olarak heba olmakta ve ülkelerin bütçesinde büyük delikler meydana getirmektedir.

Ülkemizdeki mevcut durum da maalesef gelişmekte olan ülkeler sınıfındakilerle aynı karakteri göstermektedir. Emniyet genel müdürlüğü verilerine göre 2002-2012 yılları arasında kaybedilen insan sayısının 100000'in üzerinde olduğu belirtilmektedir. Kazalarda her gün kaybedilen veya hayat boyu sakat kalan beşeri sermayemiz nedeni ile, ailelerde açılan derin sosyal ve psikolojik yaraların yanında, %2 milli gelire tekabül eden yaklaşık yıllık 20 milyar dolarlık kaynak kaybı ülkemizin ulaşım altyapısının kısa sürede çözümüne büyük katkı sağlayacak kadar büyüktür. Trafik kazalarının sosyal ve ekonomik maliyetler dikkate alındığında da tartışmasız ülkemizin en önemli çözüm bekleyen sorunlarından biri olduğu görülmektedir. Çok boyutlu olan bu sorunun tek bir kişi veya kurum tarafından da çözülmesi mümkün değildir. Toplumunun bütün kurum ve kuruluşlarının çözüme katkıda bulunması şarttır. Ülkemizde herkes için güvenli bir trafik oluşturabilmek için vakit geçirilmeden harekete geçilmeli ve sıfır kaza, sıfır ölüm ve yaralanma hedefi ile bir plan ve program çerçevesinde çalışmaya başlanmalıdır.

Bu hali ile küresel bir halk sağlığı sorunu haline gelen trafik kazalarının önlenmesinde veya azaltılmasında dünya genelinde programlı bir çalışma ve harekete ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla Birleşmiş Milletler, "Yol Güvenliği Eylem On Yılı (2010-2020)" (Decade of Action for Road Safety) girişimini başlatmıştır. Global düzeyde başlatılan ve yerelde uygulanması beklenen proje 10 yıl içerisinde trafik kazalarında meydana gelen ölüm ve yaralanmalarda %50 azalma hedeflemektedir.

Trafik kazalarına bağlı ölüm ve yaralanmaların azaltılması amacıyla DSÖ koordinasyonunda başlatılan bir diğer girişim, orta gelir düzeyinde ve trafik kazalarına bağlı ölümlerin yaklaşık %50'sinin meydana geldiği 10 ülkedeki On Ülkede Yol Güvenliği Projesi'dir (RS10). Proje kapsamında yer alan ülkeler Türkiye'nin yanı sıra, Rusya, Mısır, Kenya, Hindistan, Çin, Vietnam, Kamboçya, Brezilya ve Meksika'dır.

Sadece bir ulaşım sorunu olmayıp, ciddi ekonomik, halk sağlığı, sosyal gelişim ve sosyal adalet sorunu olarak kabul edilen bu meselenin çözümüne yönelik olarak DSÖ koordinasyonunda tasarlanan Türkiye Güvenli Trafik Projesi, Türkiye uygulamasında iki proje ili olarak Ankara ve Afyonkarahisar seçilmiş ve risk faktörleri olarak da hız kontrolü ile emniyet kemeri kullanımı belirlenmiştir. DSÖ koordinasyonunda ve Global Yol Güvenliği Ortaklığı (GRSP) ile Uluslararası Güvenli Yol Seyahati Derneği (ASIRT)'nin katkıları ile yürütülen ve finansmanı Bloomberg Vakfı tarafından sağlanan proje, İçişleri Bakanlığı (Emniyet Genel Müdürlüğü ve Jandarma Genel Komutanlığı) ve Sağlık Bakanlığı tarafından, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığının da desteği ile yürütülmektedir. Afyonkarahisar Valiliğinin de desteği alınarak 2012-2013 döneminde DSÖ ile birlikte bir program geliştirip uygulamaya konulmuştur. Program kısa sürede beklenenin üzerinde bir başarı yakalamıştır. Uygulanabilirliği ve sürdürülebilir olması nedeni ile ulusal ve uluslararası alanda örnek teşkil edecek bir başarı hikâyesi niteliği kazanmıştır. Afyonkarahisar'da % 6 olan emniyet kemeri kullanma oranının bir yıl sonu için belirlenen %50 hedefini aşarak altı ay gibi kısa bir sürede %54'e çıkarılması ile dünyada örnek proje olarak anılmaya başlanmıştır. Bu pilot uygulama sonuçları ülkenin geneline yayılma özelliği taşımaktadır.



Şekil 1 Farklı ülkelerdeki araç sayısı ve ölüm oranları (WHO, 2009).

Afyonkarahisar

Afyonkarahisar tarih boyunca olduğu gibi bugün de ülkemizin en büyük doğal kavşağı konumunda olan bir şehrimizdir. Büyük metropollerimizden olan Ankara ve İstanbul'dan Akdeniz ve Ege bölgelerine turistik amaçlı seyahat edenlerin oluşturduğu yoğun ve yüksek süratte hareket eden bir araç trafiğine sahiptir. Aynı zamanda yolcu ve yük taşımacılığında kullanılan ağır vasıtalar da yoğun bir şekilde aynı trafiği kullanmaktadır. Ülkemizde yolcu ve yük taşımacılığında ağırlıklı olarak karayolu kullanıldığı için trafik hacmi kapasitenin üzerinde yoğunlaşmaktadır. Yoğun trafik yükünün yanında yol kullanıcılarının kural tanımaz davranışları sonucu yollarımız trafik açısından güvensiz, ölüm ve yaralanmalı kazaların çok olduğu bir bölge haline gelmektedir. Bu alanda yapılacak trafik güvenliği ile ilgili çalışmalar sadece bölgesel değil ulusal anlamda bir farkındalık oluşumuna da katkı sağlayacaktır.

Proje Altyapısının Kurulması Planlanması

Proje ilan edildikten sonra Afyonkarahisar'da bir koordinasyon ve çalışma grubu oluşturulmuştur. Tamamen bir sivil toplum hareketi gibi organize olan çalışma grubu, valiliği koordine edecek bir vali yardımcısı, il emniyet teşkilatından trafik şube müdürü, İl Jandarma Komutanlığı'ndan bir trafik sorumlusu ve Kocatepe Üniversitesi'nden bir öğretim üyesinin katılımları ile oluşmuştur. Üniversite temsilcisi tarafından koordine edilen bu çalışma grubu, proje uygulamasında yapılacak aktiviteleri planlayan, takip eden ve gerektiğinde müdahale eden, ast üst ilişkisinin yaşanmadığı salt ülkenin temel sorunlarından birisinin çözümüne katkı yapmaya çalışan bir çalışma şeklini benimsemiştir. Bu çalışma biçimi bu başarının yakalanmasının ardındaki en temel nedenlerden biridir.

Projenin Paydaşlara Anlatılması ve Destek Sağlanması

Her şehrin, her bölgenin kendine özgü yapısı ve anlayışı olacağı, problemlerin çözümünde bu farklılığın dikkate alınması gerektiği prensibinden hareketle, proje uygulamalarının Afyonkarahisar'a özgün olarak planlamasına özen gösterilmiştir. İlk olarak, Güvenli Trafik Projesi hedef ve amaçları şehrin mülki amiri Afyonkarahisar Valisi'ne anlatılarak tam desteği sağlanmıştır. Daha sonra Afyonkarahisar Emniyet Müdürü, Belediye Başkanı ve Üniversite Rektörü'nün de destekleri alınmıştır. Projenin başarısı, şehrin bütün kurum ve kuruluşlarının katkı vermesi gereken hayati öneme sahip bir konu olarak değerlendirilmiş, bütün kurumlardan beklenen destek, görev ve sorumluluklar net bir şekilde ortaya konmuştur. Sağlanan desteğin en önemli katkısı, trafikte ayrıcalıkların olmadığı, trafikteki bütün yol kullanıcıların aynı riski taşıdığı ve bütün sürücülerin kurallar karşısında eşit olduğu doğrultusunda bir davranış birliği oluşturma yolunda olmuş ve projenin güvenilirliği açısından önem arz etmiştir.

İki Temel Prensip

Proje uygulamaları iki temel prensip üzerine oturtulmuştur:

1. Adil bir yaklaşım
2. Tüm toplum katmanlarına mesajın iletilmesi

“İnsanoğlunun başına ne geldiyse adaletsizlikten gelmiştir” doğrusundan yola çıkarak, uygulamaların toplumun bütün katmanlarını, toplumdaki statüsüne bakılmaksızın, kapsaması hedeflenmiş, hiç kimsenin ayrıcalığı olamayacağı anlayışının inanç ve tam güvenin sağlanması için trafik kurallarına uymayanların aynı cezai işleme tabi tutulması mutlaka gerçekleşmiştir. Trafikte yapılacak bir ayrıcalığın diğerlerini olumsuz etkileyeceği ve proje uygulamalarının önemini yitireceği açıktır. Bazı insanların bu kurallardan muaf tutulması diğer sürücülerde konunun çok da ciddi olmadığı izlenimini yaratacaktır ki bu da projeye zarar verebilecek en hassas konulardan biridir. Bu nedenlerle adil yaklaşım temelli etkili bir denetimin sağlanması proje uygulamalarında hayati bir öneme sahip olmuştur.

Toplumun tüm katmanlarına araç emniyet kemeri kullanımı ile ilgili mesajların iletilebilmesi için, farklı mesaj kanalları etkili bir şekilde kullanılmıştır. Proje başlangıcında, gençler, sivil toplum kuruluşları, belediye ve diğer mülki idare çalışanları, basın çalışanları, ticari araç şoförleri gibi farklı gruplar arasında odak grup görüşmeleri yapılarak ve kampanya öncesinde konuya ilişkin ‘bilgi-tutum-davranış’ araştırması düzenlenerek, Afyonkarahisar’da kullanılacak etkili sosyal pazarlama yöntemleri ve kanalları belirlenmiştir. Daha sonra oluşturulan çalışma grubunun da katkıları ile ilin mülki ve idare amirleri, yerel basın, TV programları, şehrin billboardları, toplu taşıma araçları, camilerde cuma hutbeleri, sivil toplum örgütleri, emniyet kemeri kullanımına ilişkin mesajların topluma iletilmesinde temel araçlar olarak kullanılmıştır. Toplumun bütün kesimlerinde bir risk farkındalığı oluşturulması için bütün bu kanallardan devamlı ve yoğun olarak mesaj verilmeye çalışılmıştır. Özellikle kadercilik anlayışının hiç tedbir almamak olmadığını aksine tedbir alınmadığı için ortaya çıkan olumsuz sonuçlardan dini anlamda da sorumlu olduğumuzu anlatan mesajların camilerde verilmesi sağlanmıştır.

2E Kuralı

Trafik güvenliği ile ilgili olarak literatürde kullanılan 5E kuralı (Education, Enforcement, Engineering, Environment and Emergency services) yerine Afyonkarahisar’da 2E kuralı benimsenerek (Education-Enforcement) eğitim ve denetleme üzerine yoğunlaşmıştır. Kısa vadede müdahale gücünün zor olduğu temel ulaşım, altyapı ve mühendislik sorunları ile acil müdahale ekiplerinin işleyişine fazla yoğunlaşılmamıştır. Bu, projenin kısıtlı kaynak ve enerjisinin belirli bir noktaya aktarılması ve başarısı açısından önemli olmuştur.

2E Kuralı olarak belirlenen süreç;

1. Eğitim/Education
 1. Bilgilendirme-Farkındalık oluşturma
 2. Eğitici çalışmaları yapma (kamu ve kamu kuruluşlarına yönelik)
 3. Mekan etkisi oluşturma
2. Denetleme/Enforcement
 1. Yerinde denetleme
 2. EDS ile denetleme

Eğitim süreci de üç ana temelde planlanmıştır.

Bilgilendirme-farkındalık oluşturma; Önceki bölümde söz edilen Bilgi-tutum-davranış araştırmaları ile, odak grup görüşmeleri sonuçlarında, genelde Afyonkarahisar sürücülerinin, emniyet kemeri kullanmadıkları taktirde çok düşük bir hızda bile meydana gelecek kazalarda kendilerinin ve araçtaki diğer kişilerin ne gibi bir risk içerisinde olduklarını bilmedikleri görülmüştür. Yol kullanıcılarının niçin emniyet kemeri kullanması gerektiği, kullanmadığı zaman ne gibi risklerle karşı karşıya olduğu, sosyal pazarlama kampanyaları düzenlenerek anlatılmıştır.

Eğitici çalışmalar yapma; Bu kapsamda, öğrenciler (üniversite dahil), sürücü kursu eğiticileri, ticari araç şoförleri ve kamu kurum kuruluşlarında çalışan kişiler hedef alınmıştır. Bu amaçla çeşitli çalıştaylar düzenlenmiştir. Ayrıca üniversitede kurulan Trafik kulübü bu işlevin yerine getirilmesindeki önemli unsurlardan birisi olmuştur. Yazılı basınımda yayınlanan makale ve TV programları eğitim çalışmalarına büyük destek sağlamıştır.

Mekan etkisi oluşturma; Bu kural, trafik güvenliğinde yol kullanıcılarına mesajın devamlı iletilmesi açısından önemlidir. Mevcut ve transit sürücülerin devamlı olarak uyarılarak bölgemizde kural ihlallerinin kesin bir şekilde takip edildiği ve cezalandırıldığı bir mekan olarak bilinmesi ve her sürücünün bunu dikkate alarak seyahat etmesi sağlamaya çalışılmıştır.

Trafik Kültürünün Oluşması

Gelişmekte olan ülkelerdeki en temel sorunlardan birisi trafik kültürünün oluşmamasıdır. Bunun çeşitli ekonomik veya sosyolojik nedenleri olabilir. Şehirlere kırsal alanlardan, şehirlerin tolerans ve entegrasyon sınırlarının üzerindeki göçle gelen insanların, bu yeni hayat tarzına uyum sağlamaları kolay olmamaktadır. Plansız ve hızlı göç, kuralsız bir yaşamı beraberinde getirmekte, trafikte %90'a yakın bir oranda sürücü kusurundan dolayı kazalar meydana gelmektedir.

Trafikteki mevcut sürücüler potansiyel sürücüler için rol model görevi yapmaktadırlar. Ne yazık ki bu rol modellerin doğru yönde modellik yaptıklarını söylemek oldukça güçtür. Kişilerde doğru yönde davranış değişimini sağlamak için sadece eğitici çalışmalar yeterli olmamaktadır. Buna ek olarak sürekli ve adil bir denetleme sistemi davranış değişiminin oluşumunda olmazsa olmazlardandır. Davranış değişimi sürecinin 4-5 yıl alacak bir dönem olduğu düşünüldüğünde, denetlemelerin taviz vermeden sürdürülmesinin gerekliliği açıktır. Bu sürecin sonunda eğitilen rol modeller (mevcut sürücüler) potansiyel sürücülere (çocuklara/gençlere) doğru model olacaklarından toplumun trafik eğitiminde doğru yönde bir etki oluşturacak ve trafik kültürünün oluşmasına en büyük katkıyı yapacaklardır.

Eğitim

Eğitimin genel tanımının “insanlarda istenilen yönde davranış değişimi” olarak yapılmasına karşın, bu her zaman mümkün olmamaktadır. Özellikle trafikteki sürücü davranışlarının eğitim yoluyla değiştiğini iddia eden bir araştırmaya rastlamak oldukça zordur. Hatta kazaya karışanların çoğunlukla eğitilmiş hatta yüksek seviyeli sürücü eğitimi alan sürücüler olduğu rapor edilmektedir. Bu nedenle, eğitimlerin zamanının, hedef grubunun, içeriğinin ve sürücü davranışları üzerindeki beklenen etkisinin gerçekçi bir şekilde planlanması ve değerlendirilmesi gerekir. Araç kullanma yaşına gelmiş (18 ve üstü) bir sürücü adayına verilen eğitimin davranış değiştirmekten çok beceri geliştirmeğe yönelik bir etkisinin olacağını göz ardı etmemek gerekir. Aksi durumda, alkollü araç kullananların, ışık ihlali yapan sürücülerin bu davranışlarının ne gibi sonuçları olacağını bilmedikleri gibi doğru olmayan bir çıkarıma ulaşılabilir. Oysa bu sürücülere alkollü araç kullanmanın ne gibi sonuçları olacağı öğretilmesine rağmen herhangi bir olumlu davranış değişikliği sağlanamayabilmektedir. Davranış değişimi için öğretimle beraber doğru rol model ve etkili bir mevzuat ile denetimin önemi büyüktür.

Mevcut Sürücü (Rol Model) Davranışları ve Potansiyel Sürücülerin Eğitimi

Öğrenmenin ve davranış geliştirmenin çok erken belki de okul öncesi yaşlarda meydana geldiğini dikkate alırsak, küçüklerin çocuk koltuğunda seyahat etmesinin sağlanması, ilerleyen yaşlarda emniyet kemeri takmasının rutin bir davranış haline gelmesini sağlayacaktır. Aksi durumda, ilerlemiş yaşlarda emniyet kemeri takmanın ne gibi faydaları olacağını öğretmek ve davranış değişikliği sağlamak güç olmaktadır. Aynı şekilde araç içerisinde seyahat eden çocuk devamlı olarak anne ve babasının araç kullanırken davranışlarını kopya ederek iyi veya kötü yönde bir trafik kültürü geliştirecektir. Bu potansiyel sürücülerin rol modelleri tarafından devamlı olarak eğitildiğini unutmamak gerekir.

Buradaki temel sorun rol modellerin doğru davranış biçimine sahip olmasının sağlanmasıdır. Kötü bir rol modelin davranışını değiştirmek en zor işlerden biridir. Bu nedenlerle, davranış değişiminin bilgilendirmek (eğitim) ile beraber çok sıkı bir denetimle desteklenmesi şarttır. Uzun ve sıkıntılı bir süreç olmakla birlikte, denetimde süreklilik, sürücülerde istendik davranış değişikliği sağlanması açısından hayati derecede önemlidir. Bu sadece mevcut sürücülerin (rol model sürücülerin) davranışlarını değiştirmek değil aynı zamanda potansiyel sürücülerin ve devamlı bir döngünün ve trafik kültürünün oluşması açısından son derece önemlidir.

Projenin Uygulanması

Valilik Genelgesi

Afyonkarahisar Valisi Mart 2013'te bir genelge yayınlamıştır. Bu genelge ile ildeki tüm kamu kurum ve kuruluşlarının amirlerinin bizzat kendilerinin, şoför ve varsa korumaları da dahil olmak üzere araçlarında emniyet kemeri takmaları istenmiştir. Ayrıca tüm kurum amirlerinin genelgenin uygulanmasından sorumlu olacağı ve trafik cezası alanların ilaveten idari soruşturma cezası alacağı vurgulanmıştır. Ayrıca, trafikte kimsenin ayrıcalığının olmadığı ve trafik denetimlerinin artırılmasının gerekliliği de aynı genelge kapsamında vurgulanmıştır.

2012 Aktivite Programı

2012 yılında uygulanacak aktivite programı üst düzey yöneticilerin (Vali, belediye başkanı, emniyet müdürü, rektör, il müftüsü, sağlık müdürü, milli eğitim müdürü, ticaret odası başkanı) ve basın katılımı ile gerçekleştirilen bir toplantıda açıklanmıştır. Başta vali olmak üzere tüm yöneticiler tarafından tam destek sağlanmıştır.



Şekil 2 2012-2013 Aktivite Programı.

2012 Sonu Hedefi

Güvenli Trafik Projesi 2012 yılında sadece emniyet kemeri üzerine odaklanmıştır. Afyonkarahisar'da 2012 hedefi olarak araç içinde ön koltukta (sürücü ve yolcu) emniyet kemeri takma oranını %50'ye çıkarmak hedeflenmiştir.

Uygulamalar

a) Trafik polisleri ve ailelerine yönelik bir toplantı düzenlenerek Güvenli Trafik Projesi kendilerine tanıtılmıştır. Emniyet kemerinin önemi anlatılarak “polis emniyet kemeri takmaya kendinden ve ailelerinden başlıyor” sloganı ile ailelerin desteği sağlanmıştır.

b) Vali, Belediye başkanı, Emniyet Müdürü ve Rektör emniyet kemeri kullanımında rol model olarak kullanılmıştır. Billboardlarda araç içinde emniyet kemeri takılı resimleri kullanılmış ve vatandaşlara emniyet kemerini herkesin takması gerektiği mesajı verilmiştir. Projedeki adil yaklaşım ilkesini de destekleyen bir aktivite olmuştur.

c) Toplumun bütün kesimi projeye dahil edilerek her kesimden insanların emniyet kemeri fotoğrafları halk otobüsleri üzerinde taşınmıştır.



Şekil 3 Rol model olan yöneticilerimiz ve billboardlar.



Şekil 4 Mesajın bütün şehre iletilmesi.

Simülasyonların Kullanımı

Farkındalık oluşturma açısından en önemli çalışmalardan birisi de proje kapsamında kemer ve hız simülasyonlarının şehrimize kazandırılması olmuştur. Şehrin sürücü kursları ile işbirliği içerisinde bütün sürücü belgesi alacak adayların teorik eğitimlerini tamamladıktan sonra İl Emniyet Müdürlüğü'nden randevu alarak bütün öğrencilerin simülasyonlara binmesi bir kural haline getirilmiştir. Bu şekilde, çok düşük bir hızda dahi

aracın dönmesi durumunda emniyet kemeri takılmadığında neler olabileceğinin hissedilmesi sağlanmış ve bir kaza halinde ve yüksek hızda ne gibi sonuç meydana gelebileceğinin anlaşılması adına çok önemli bir kazanım olmuştur. Simülasyon araçlarının şehrin bütün mevcut ve potansiyel sürücülerine ulaşması için devamlı olarak okullarda ve şehrin meydanlarında sürücüler tarafından kullanımı sağlanmaktadır.



Şekil 5 DSÖ tarafından yaptırılan takla (emniyet kemeri) simülasyonu.

Yazılı Basın ve TV Desteği Sağlanması

Yazılı basın, TV ve radyo kanalları etkili bir şekilde projenin tanıtımı için kullanılmıştır. Yapılan tüm aktiviteler yazılı ve görsel basında yer almış, ulusal ve yerel televizyon kanallarında proje ile ilgili programlar yapılmıştır.



Şekil 6 Yazılı basından haberler.

Denetleme

Projenin sürdürülebilirliği açısından en önemli ayağını oluşturan kısım polis ve jandarma tarafından yapılan denetleme kısmıdır. Trafik kurallarının ve ilgili yasal düzenlemelerin uygulanmasında ve takibinde, yaptırım gücü olan bu kurumların katkısı esastır. Denetlemede meydana gelen zafiyet iki tür negatif etki meydana getirecektir. Birincisi; kurallara uymayanların cezalandırılmaması kurallara uyanların cezalandırılması anlamına gelecek ki; bu kurallara uyan sürücüler de zaman içerisinde kurallara uymamaya yöneltecektir. İkincisi, oluşturulan adil yaklaşım algısını zedeleyecek bir ortam ve anlayışa neden olacaktır. Hiç kimsenin ayrıcalıklı olmadığı algısına da zarar verecektir.

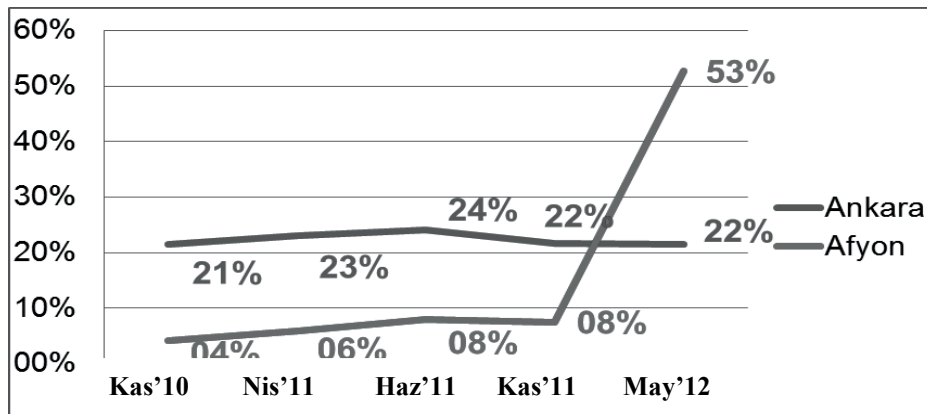
Bu güne kadar yapılan çalışmalar farkındalık oluşturma açısından en zor ve hayati aşamadır. Bu denetleme ve diğer çalışmalarla beraber oluşturulmuştur. İnsanların davranış değişiminin 4-5 yıl sürdüğü düşünülürse çalışmalarda, özellikle denetleme çalışmalarında görev alan kişilere verilebilecek projenin bittiği algısı bütün çalışmaların kısa sürede sıfırlanmasına neden olacaktır.



Şekil 7 Polislerimiz denetleme/ bilgilendirme yaparken.

Proje Değerlendirmesi

Proje tamamen bağımsız olarak proje uygulayıcılarının haberi olmadan yapılan ölçümlerle John Hopkins Üniversitesi ve ODTÜ tarafından gerçekleştirilen gözleme dayalı çalışmalar ile değerlendirilmiştir. Aşağıda verilen grafikte de görüldüğü gibi ilk altı ayda belirlenen hedefin üzerine çıkılarak büyük bir başarı sağlanmıştır.



Şekil 8 Proje değerlendirme (John Hopkins Üniversitesi, WHO 2012).

Sonuç

Güvenli Trafik Projesi Afyonkarahisar uygulaması dünya çapında kabul gören ve örnek gösterilen bir başarıdır. BM Genel Sekreteri Ban Ki-Moon tarafından söz edilen ve farklı ülkelerde başarı hikayesi olarak anlatılan bir çalışmaya Afyonkarahisar imza atmıştır. İstendik davranış değişikliği ve bu değişimin rutin /günlük davranış biçimi haline gelmesi için en az 4-5 yıl geçmesi gerektiği düşünülürse proje çok kırılgan bir noktadadır. Yapılan çalışmaların top yekun bir kararlılıkla sürdürülmeye devam edilmesi gerekmektedir.

Emniyet genel müdürlüğünün yaptığı değerlendirmelere göre Afyonkarahisar'da yapılan çalışmalar kazalarda meydana gelen ölüm oranlarının %35 mertebesinde azalmasına neden olmuştur (EGM, 2013). İki yılın sonunda belirlenen hedeflere ulaşılması en az %50 oranında ölüm ve yaralanmaları azaltacağı açıktır. Trafik kültürünün oluşması için uzun soluklu bir çalışma olan projenin minimum 4-5 yıl takibinin sıkı yapılması gerekmektedir, aksi durumda kısa sürede başlangıç noktasına dönülerek yapılan bütün çalışmaların heba olması riski oldukça yüksektir.

Programlı ve titiz bir çalışma sonucunda ülkemizin sigara kullanımında yakaladığı başarının trafikte de rahatlıkla yakalanabileceği, ortaya çıkacak sosyal ve ekonomik felaketlerin önlenebileceği konusunda Afyonkarahisar halkı ve yöneticileri örnek olmuşlardır. Projenin başarısı sadece ülkemizde değil yurt dışında da DSÖ tarafından bir başarı hikayesi olarak ülkelere örnek olarak anlatılmaktadır.

Kaynaklar

Decade of Action, (2013)

E.G.M. (2013)

Global Status Report on Road Safety, (2009) World Health Organisation, Time for Action.

Türkiye’de İllerin Ulaşım Güvenliğinin Veri Zarflama Yöntemi ile İncelenmesi

Emine Çoruh

Atatürk Üniv. Müh.Fak.İnş.Müh.Böl., Erzurum, Türkiye

Miraç Eren

Atatürk Üniv. İİBFİY .Ekonometri Böl., Erzurum, Türkiye

Ahmet Tortum

Atatürk Üniv. Müh.Fak.İnş.Müh.Böl., Erzurum, Türkiye

Özet

Türkiye’de her yıl beş binden fazla kişi, trafik kazalarında ölmekte ve iki yüz bin kişi de yaralanmaktadır. Diğer bir ifade ile her gün yollarda yaklaşık 10 kişi ölmekte ve 500’den fazla kişi de yaralanmaktadır. Bu kazalar neden oldukları sosyal ve psikolojik acı ve sıkıntıların yanında birde ülkemiz için büyük ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bölgeler ve iller arasında dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi Türkiye’de de birçok etken, hemen hemen her alanda olduğu gibi trafik konusunda da farklılıkların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Ülke düzeyinde illerin ve bölgelerin ölçülebilir, birbirleri ile kıyaslanabilir ulaşım durumlarının ortaya konması gelecekte alınacak önlemler ve ulaşım planlaması için büyük önem arz etmektedir. Aynı zamanda da ortaya konulan sonuçlar ile mevcut durumun yeterliliği ve eksik yönleri ortaya çıkarılacak, böylelikle güncel ve gerçekçi değerlendirmelere olanak verecektir.

Bu çalışma ile Türkiye’de 81 ilin ulaşım güvenliğine etki eden faktörler, Veri Zarflama Analizi (VZA) kullanılarak analiz edilmiştir. Göreceli olarak illerin güvenlik etkinliği karşılaştırılarak hangi ilin daha çok/az güvenli olduğu ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Süper Etkinlik (AP) yöntemi ile de illerin sıralaması yapılmıştır. Bu çalışmanın, gelecek dönemler için iller bazında hangi ile hangi alanlarda acil önlem planlanmalı, iyileştirme yapılmalı vb. konularda, karar vericilere yol gösterici olması bakımından ışık tutacağı beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Trafik kazaları, VZA, Ulaştırma, Ekonomik ve Demografik Göstergeler.

Giriş

Türkiye’de her yıl beş binden fazla kişi, trafik kazalarında ölmekte ve iki yüz bin kişi de yaralanmaktadır. Diğer bir ifade ile her gün yollarda yaklaşık 10 kişi ölmekte ve 500’den fazla kişi de yaralanmaktadır. Bu kazalar neden oldukları sosyal ve psikolojik acı ve sıkıntıların yanında, ülkemiz için büyük ekonomik kayıplara da yol açmaktadır. Bu durum, kişi başına düşen milli gelirin artması, hızlı kentleşmenin ve taşıt

sahipliğinin artış trendinde olduğu gelişmekte olan ülkelerle benzerlik göstermektedir (<http://www.kgm.gov.tr>, 2013).

Karayolu taşımacılığı topluma büyük faydalar sağlarken, aynı zamanda da doğrudan ve dolaylı maliyetleri de beraberinde getirmektedir. Yol kazaları bu hesaplanabilir ve hesaplanamayan maliyetlerden oluşmaktadır. Hesaplanamaz maliyetler; ağrı, acı çekme ve yaşam kalitesini düşürme gibi durumlarda ortaya çıkmakta ve bir bakımdan toplumun belirlenemeyen sosyal maliyetlerini oluşturmaktadır. Buna karşın hesaplanabilir maliyetler ise, dolaylı ve doğrudan olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğrudan maliyetler; kazanın kendisine ait oluşturduğu maliyet, polis ve acil servis gibi idari maliyetler, araç hasarı, ekipman, personel ve yol altyapısı gibi maddi hasarlar, hastane, rehabilitasyon, protez gibi tıbbi harcamalar ve trafik sıkışıklığı sonucunda meydana gelen maliyetleri içermektedir. Diğer taraftan dolaylı maliyetler ise, trafikten kaynaklı hava kirliliği ve hava kirliliğinin insan sağlığı ve bitki örtüsü üzerinde meydana getirdiği ekonomik kayıplar, kurbanın belli bir süre için yada hastalık nedeni ile kısa bir süre yada ölmesinden kaynaklı ekonomik yaşamda meydana gelen kayıplardır. Sonuç olarak her kaza ister istemez tıbbi yardım, ekonomide potansiyel kayıp, ağrı-acı çekme, maddi hasar, hukuki ve polis maliyeti ile ilişkili sosyo-ekonomik maliyetleri doğurur (Brijs ve diğ., 2003; Lyubenow ve diğ., 2010; Qudus, 2008).

Ekonomik faaliyetlerin dağılımı, örgütlenmesi her zaman eşitsiz olmuştur. Kalkınma süreci hiçbir ülke coğrafyasında dengeli, homojen ve eşit biçimde başlamamış, ekonomik faaliyetler coğrafi olarak hep belirli mekânlarda yoğunlaşmıştır. Dünya coğrafyasında bu eşitsiz görünüm özellikle son yıllarda giderek artmıştır. Üretimin büyük kent merkezlerinde yoğunlaşması, bazı kentlerin öne çıkması, ülkelerin/illerin/bölgelerin refah ve zenginlik seviyeleri arasında farklılıklar doğrudan/dolaylı olarak her alanda olduğu gibi trafik alanında da bölgeler arası farklılıkları oluşturmaktadır. Son yıllarda bu farklılıklar üzerine oldukça ilgi çekici araştırmalar yapılmaya başlanmıştır (Köse ve diğ., 2012).

Bölgeler ve iller arasında tarihi, demografik ve kültürel faktörler, coğrafi etkenler ve doğal kaynaklar gibi birçok etken hemen hemen her alanda olduğu gibi trafik konusunda da farklılıkların oluşmasına neden olmaktadır. Ülke düzeyinde illerin ve bölgelerin ölçülebilir, birbirleri ile kıyaslanabilir ulaşım durumlarının ortaya konması gelecekte alınacak önlemler ve ulaşım planlaması için büyük önem arz etmektedir (Gaygısız, 2010). Aynı zamanda da ortaya konulan sonuçlar ile mevcut durumun yeterliliği ve eksik yönleri ortaya çıkacak, böylelikle güncel ve gerçekçi değerlendirmelere olanak verecektir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkede çeşitli bölge veya iller aynı düzeyde gelişme gösteremezler, böylelikle bölgesel farklılıklar ortaya çıkar. Hatta bazı ülkelerde bölgelerarası gelişmişlik farklılaşması sosyo ekonomik sorunları daha da artırmıştır. Bu iller/bölgeler arasında ki gelişmişlik farklılıklarının ortaya çıkardığı sosyo ekonomik sorunların çözülmesi için yapılması gereken ilk adım çeşitli alansal ölçekte gelişmişlik farklılıklarının belirlenmesidir. Böylelikle sorun belirginleştirileceği için en uygun çözümde üretilebilir (Albayrak, 2003).

Bu çalışma ile illerin risk alanlarına göre etki eden faktörler ‘Veri Zarflama Analizi’ kullanılarak analiz edilmiştir. Türkiye’deki 81 il karşılaştırılmış ve ekonomik etkinlik değerleri VZA modeli ile elde edilmiştir. Kurulan VZA modeli Excel tabanlı DEA (VZA) Frontier’de çözülmüştür. Bu çalışma yerel ve ulusal politikacılar için daha

etkin ve sürdürülebilir politika ve altyapı projelerinin geliştirilmesine öncülük edebilir. Bu amaçlar doğrultusunda, seçilen değişkenler temel alınarak asılamamız, illerin ulaşırma güvenlik performans düzeylerini belirlemek, bu doğrultuda illerin sıralamasını yapmak ve sonuç olarak illerin benzerliklerini ve farklılıklarını ortaya koymaktır.

Veri Zarflama Analizi (VZA)

Charnes ve diğ. (1994) ve Cooper ve diğ. (2006) tarafından geliştirilen veri zarflama analizi İngiltere'deki polis teşkilatından, Kıbrıs ve Kanada'daki bankaların, Amerika, İngiltere ve Fransa'da üniversitelerin etkinliğinin ölçümüne kadar birçok konuda kullanılmıştır (Yılmaz, 2006). VZA, karar verme birimleri (Decision Making Unit-DMU/KVB) olarak adlandırılan, ürettikleri ürün ya da hizmet açısından birbirine benzeyen ekonomik karar birimlerinin görelî etkinliğinin ölçülmesi için geliştirilen parametresiz bir etkinlik ölçüm tekniğidir. VZA modelleri ölçüğe göre sabit veya değişken getirili olmak üzere iki gruba ayrılır ve bu modeller yönelimlerine göre girdi yönelimli, çıktı yönelimli ve yönelimsiz modeller olmak üzere üç gruba ayrılırlar (Kecek, 2010). Bu sınıflandırmaların tümünü kapsayan ve literatürden belirlenen veri zarflama analizi modelleri şunlardır (Cooper ve diğ., 2006);

CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) Modeli,
 BCC (Banker-Charnes-Cooper) Modeli,
 Ölçüğe Göre Sabit Getirili Model (Constant Return Scale Model) (CRS),
 Ölçüğe Göre Değişken Getirili Model (Variable Return Scale Model) (VRS),
 Ölçüğe Göre Azalan Getirili Model (Decreasing Scale Model) (DRS),
 Ölçüğe Göre Artan Getirili Model (Increasing Return Scale Model) (IRS),
 Toplamsal Model (Additive Model),
 Aylak Tabanlı Ölçüm Modeli (Slacks Based Measurement Model) (SBM),
 Süper Aylak Tabanlı Model (Super SBM),

VZA, endeks oluştururken ağırlıkları kısıtlamalı bir optimizasyondan çıkarır. VZA veri tabanlı bir etkinlik ölçme tekniği olduğundan, yapılacak ölçümün sağlıklı olması için seçilen girdi ve çıktılar da anlamlı olması gerekir. Benzer girdiler kullanarak benzer çıktılar üreten, yani üretimleri birbiri ile homojen bir yapıya sahip olan, girdileri çıktılara dönüştürmekten sorumlu işletmelere Karar Verme Birimi (KVB-Decision Making Units-DMU) denir. KVB'lerin seçiminde aşağıdaki hususlara dikkat etmek gerekir:

1. Göz önüne alınan birimler aynı görevleri benzer amaçlarla yerine getirmelidir,
2. Tüm birimler aynı şartlarda çalışmalıdır,
3. Gruptaki tüm birimlerin performansını karakterize eden faktörler (hem girdi, hem çıktı) yoğunluk ve büyüklükteki farklar dışında aynı olmalıdır (Oruç, 2008).
4. Verimlilik sınır tahminleme sonucunun, anlamlı çıkabilmesi için örnekleme yer alan karar birimi sayısı yeterince büyük olmalıdır (Ahn, 1987).

VZA ile ilgili olarak "VZA" da KVB'lerin girdi ve çıktıları incelenerek, en iyi performansla sahip olanlar seçilir ve bu KVB'ler kullanılarak etkin sınır oluşturulur. Oluşturulan bu etkin sınır üzerinde yer almayan KVB'lerin etkinlik değerleri yine bu etkin sınıra göre belirlenir. Optimal girdi bileşimiyle elde edilebilecek en yüksek üretim miktarlarının oluşturduğu bu teorik sınıra etkin üretim sınırı denir. Analiz sonucunda,

elde edilen etkin KVB'lerin oluşturduğu etkin üretim sınırının tüm KVB'leri çevrelemesi nedeniyle yöntemin adı VZA olarak belirlenmiştir (Oruç, 2008).

VZA'da ağırlıklar, bir ülke/bölge/il için olası en iyi skoru elde edebilmek için veri setinden, içsel olarak elde edilir. Bu yüksek ağırlıkların anlamı; bir ülkenin göreceli olarak performansı hangi etkene bağlı demektir. Üstelik her bir göstergenin (değişkenin) genel bir indeks skoru üzerindeki payına ilişkin kısıtlar daha gerçekçi ağırlıklar elde etmek için ve en iyiyi elde etmek için probleme dâhil edilebilir. Bu yöntem en uygun ülkeye/ bölgeye/ile göre ağırlıklar ile sonuçlanır (Hermans ve diğ., 2007).

Elde edilen ağırlıkların bir dizisi ile o ülke/bölge/il için mümkün olan skor olarak belirlenir. Bu hangi ülkenin/bölgenin/ilin performans boyutunun nispeten daha yüksek bir ağırlık aldığı anlamına da gelir.

Görelî etkinliğin ölçülmesi sonucunda her bir KVB için 0 ve 1 arasında etkinlik değeri bulunur. Etkinlik değeri 1'e eşit olan KVB'ler etkin, 1'den küçük olan KVB'ler ise etkin olmayan birimlerdir (Oruç, 2008).

VZA'da ki KVB'lerin Seçilmesi

Analizin homojen olması analiz sonuçları açısından önemlidir. Diğer önemli bir nokta KB'lerin sayısı ile değişken sayısı arasındaki ilişkidir. Bu ilişki için farklı görüşler mevcuttur. Örneğin; m girdi, s çıktı, Z, KVB sayısı olmak üzere;

$$N \geq \max \{m \times s; 3 \times (m + s)\}, \quad (\text{Cooper ve diğ., 2006})$$

$$N \geq 2m + s, \quad (\text{Dyson ve diğ., 2001})$$

KVB sayısına karar verilir (Timör ve Lorcu, 2010).

KVB değeri için "sıfır" değerine en yakın skora sahip KVB en etkinsiz KVB olarak değerlendirilmektedir. Ancak tüm etkin KVB'ler "1" değerine sahip olduklarından kendi aralarında bir etkinlik sıralaması yapılamamaktadır.

KVB'lerin toplam etkinlik sonuçları ile ilgili bilgiler, ölçeğe göre sabit getiri varsayımının kabul edildiği CCR modelleri ile elde edilirken, teknik etkinlik değerlerine, ölçeğe göre değişken getiri varsayımının kabul edildiği BCC modelleriyle ulaşmak mümkündür. Model seçim kararında, karar verici girdi üzerinde denetime sahipse girdiye yönelik, çıktı üzerinde denetimi söz konusu ise çıktıya yönelik modelleri tercih edebilir (Timör ve Lorcu, 2010).

CCR modelinin bir versiyonu, en az gözlemlenmiş (mevcut olan) çıktı seviyesini karşılayabilecek şekilde girdileri minimize etmeyi amaçlarken (girdi-odaklı model-Input-oriented model), bir diğer versiyonu ise gözlemlenmiş girdilerden daha fazlasını talep etmeyecek şekilde çıktıları maksimize etmeyi (çıkıtı-odaklı model, Output-oriented model) amaçlar (Cooper ve diğ., 2006).

CCR-VZA Modeli

$$\text{Amaç Fonksiyonu} \quad \text{Max} h_k = \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk}$$

$$\text{Kısıtlar;} \quad \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij} \leq 0 \quad ; j = 1, \dots, n$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij} &= 1 \\ u_{rk} &\geq 0 && ; r=1, \dots, s \\ v_{ik} &\geq 0 && ; i=1, \dots, m \end{aligned}$$

Veri Zarflama Analizinin sonuçlarını almak içindenklem, her karar birimiyle ayrı ayrı hesaplama yaparak “n” adet KVB sayısı kadar ağırlık kümesi elde etmektedir. CCR modeli, tüm karar birimlerinin kendi parametreleri ile yeniden çözülmelidir.

Dual CCR modeli;

Amaç Fonksiyonu $\text{Min } w_k = q_k$

Kısıtlar; $\sum_{j=1}^n \lambda_{kj} Y_{rj} \geq Y_{rj} \quad ; r = 1, \dots, s$

$$-\sum_{j=1}^n \lambda_{kj} X_{ij} + q_k X_{ik} \geq 0 \quad ; i = 1, \dots, m$$

$$\lambda_{kj} \geq 0 \quad ; j=1, \dots, n$$

$$-\infty \leq q_k \leq +\infty$$

Dual CCR modeli, etkin olmayan karar birimlerinin etkin sonuçlara ulaşması için ne yapılması gerektiği hakkında bilgi verir. Modeldeki (λ) dual değişkeni, etkin referans setlerini belirlemede kullanılmaktadır. CCR modelinde k karar biriminin pozitif değerler verilen tüm λ_{kj} dual değişkenlerin karşılık geldikleri karar birimleri etkindir. Bu karar birimlerinin oluşturduğu sete, karar birimi (k)'nın referans seti adı verilir (Güran ve diğ., 2005).

CCR-VZA Modeli (Girdi Odaklı);

CCR modeli, (X,Y) matrisini temel alarak ve girdi çarpanları için v vektörünü, çıktı çarpanları için de u vektörünü değişken olarak kabul ederek aşağıdaki doğrusal programlama (DP) formatına dönüşmektedir:

Amaç Fonksiyonu $(DP_0) \text{ Max} : u y_0$

Kısıtlar;

$$v x_0 = 1$$

$$-vX + uY \leq 0$$

$$v \geq 0, u \geq 0$$

KVBo için olan verimliliğe, girdilerin dairesel olarak θ^* oranında azaltılmasıyla ve girdi seviyesinin girdi fazlalıkları olan s^{-*} miktarı kadar daha düşürülmesiyle ulaşılabilir. Aynı şekilde, çıktı miktarlarının çıktı eksikliği olan s^{+*} miktarı kadar desteklenmesiyle verimliliğe ulaşılabilir. Kısaca söylemek gerekirse, verimsiz bir KVB için girdi ve çıktı seviyesindeki net ilerleme aşağıdaki şekildedir (Cooper ve diğ., 2006):

$$\Delta X_o = x_o - (\theta^* x_o - s^{-*})$$

$$\Delta y_o = s^{+*}$$

Modelde s çıktı; m girdi ve n karar verici sayılarını gösterebilir. Bu modelde kullanılan S^+ ve S^- 'ler aylak (slack) değişkenler olup etkin olmayan karar verici birimlerin analizinde faydalıdır. Eğer bir karar vericinin herhangi bir S^+ değeri 0'dan farklıysa kısaca o

karar verici birim için ilgili girdiyi azaltarak etkin sınıra ulaşabileceği söylenebilir (Charnes ve diğ., 1994).

Veri Zarflama Analizinde Süper Etkinlik (Andersen-Petersen) Yaklaşımı

VZA yöntemlerinde CCR ve BCC etkin olan birimlere 1 etkinlik skorunu atarken, etkin olmayan birimlere girdi yönlü modellerde 1'den küçük, çıktı yönlü modellerde ise 1'den büyük bir etkinlik skoru atamaktadır. Bu yöntemler, sadece etkin birimleri belirleyebilmekte, birimlerin sıralanmalarına yani etkinlik derecelerinin bulunmasına izin vermemektedir. Bu amaçla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Andersen ve Petersen Yöntemi (AP), etkin KVB'lerin diğer tüm birimlerle birlikte karşılaştırılması ve sıralanması üzerine kurulmuş olan ilk sıralama yöntemidir. Bu yaklaşım, parametrik yöntemlere dayanan sıralamalarda karşılaştırmayı kolaylaştırır ve etkin birimleri sıralamak için bir temel oluşturur. AP modeli literatürde süper etkinlik modeli olarak adlandırılmaktadır (Aslankaraoğlu, 2006).

AP yönteminde, incelenen KVB diğer tüm birimlerin doğrusal birleşimleriyle karşılaştırılmaktadır. Bu nedenle incelenen KVB referans kümeden çıkartılmaktadır. Böylece etkin KVB'lerin etkinliğini korurken, etkin birimlerin girdilerinde maksimum artış oranı elde edilmektedir. Sıralama sonucuna göre AP modelinde en yüksek skor değerine sahip olan KVB birinci sırada, en düşük skor değerine sahip olan KVB ise sonuncu sırada yer almaktadır. Bu şekilde her bir etkin KVB elde ettiği süper etkinlik skorlarına göre büyükten küçüğe doğru sıralanarak kendi aralarındaki üstünlük sıralaması elde edilir. CCR modellerinde etkin olmayan bir KVB, AP modelinde de etkin olmayan bir KVB olarak bulunacaktır ve skor değeri değişmeyecektir. Fakat CCR modelinde etkin olan bir KVB, AP modelinde, 1'den büyük bir etkinlik skoruna sahip olacaktır. Böylece etkin KVB'leri sıralamak mümkün olabilecektir. AP modelinde bir KVB'nin girdilerinden herhangi biri sıfır değerini alıyorsa, o KVB için modelin amaç fonksiyonu uygun olmayan çözüme (infeasible) sahip olacaktır. Aynı çıktı miktarını üreten KVB'ler arasında görece olarak en düşük girdi miktarına sahip olan KVB en büyük süper etkinlik skoruna sahip olacaktır. Süper etkinlik modeli aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir:

$$\text{Amaç Fonksiyonu} \quad ap^* = \min(ap)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq p}} \lambda_j X_j \leq a_p X_p$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq p}} \lambda_j X_j \geq Y_p$$

$$\lambda_j \geq 0 \rightarrow j = 1, \dots, n$$

Yukarıdaki AP modelinde X_j m boyutlu girdi vektörünü, Y_j s boyutlu çıktı vektörünü, λ_j KVB ağırlıklarını, p incelenen KVB'ni, ap^* ise p'inci KVB için amaç fonksiyonunun optimal değerini göstermektedir. Süper etkinlik modeli, değerlendirmeye alınan KVB'nin referans setinden çıkarılma özelliği dışında dual CCR-VZA modeline denktir. Bu

modelin CCR ve BCC modellerinden tek farkı, değerlendirme altındaki birimin süper etkinlik modelinde referans kümede yer almamasıdır (Aslankaraoğlu, 2006).

Literatür Özeti

Atan ve diğ. (2004) yaptıkları çalışmada veri zarflama analizi (VZA) yardımı ile ekonomik, sosyal ve sosyo-demografik değişkenler kullanarak illerin gelişmişlik düzeylerine göre sıralamasını yapmışlardır. Sonuç olarak VZA ile illerin sınıflandırılmasının bir alternatif olarak kullanılabileceğini ve farklı değişkenlerin kullanılması ile aynı yöntemlerle farklı sonuçların çıkabileceğini açıklamışlardır.

Aslankaraoğlu (2006) Avrupa Birliği Ülkelerinin sıralanması için VZA'yı kullanmıştır. Yirmi sekiz ülkenin 1998-2003 yılları arasındaki sosyo-ekonomik verilerini kullanarak bir sıralama yapmıştır. Sonuç olarak VZA'nın göreceli etkinlikleri değerlendirmek için alternatif bir yaklaşım olduğunu açıklamıştır.

Köse ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada; istihdamın, sektörel dağılımının, beşeri sermayenin, kamu altyapı yatırımlarının, girişimciliğin, yeniliklerin, teknoloji düzeyinin ve ihracatın kişi başına gayri safi katma değer üzerindeki etkisi yoluyla, düzey-2 bölgelerinin ekonomik performansını VZA ile incelemişlerdir. Analiz sonucu etkin olan ve olmayan illeri sıralamışlardır.

Cherchye ve diğ. (2006) Teknoloji Başarı Endeksi (TBE) geliştirmek için VZA'ni kullanmışlardır. Amaçlarını; m tane alt göstergenin ağırlıklandırılmış ortalaması olarak tek bir bileşik endeks içerisinde bütün bireysel alt göstergeleri dönüştürmek olarak açıklamışlardır. Ülke sayısı n ise m tane alt gösterge için j ülkesinin i'ninci alt göstergesinin değeri Y_{ij} olsun. VZA terminolojisinde genelde çıktı terimi olarak kullanılan bu alt göstergeler için TBE'de her bir çıktı/alt gösterge şu şekilde tarif edilmiştir. Eğer $Y_{ij} > Y_{ik}$ ise j ülkesinin performansı k ülkesininkinden iyidir şeklinde açıklamışlardır.

Hermans ve diğ. (2009) çalışma amaçlarını; VZA'ya dayalı olarak, yol güvenliği düzeyi için ihtiyaç duyulan hareketler hakkında politika yapımcılar için bir yön belirleme olarak belirtmişlerdir. Çıktılara dayalı olan modelde her ülke için yol güvenliğinin iyi ve kötü yönleri tanımlanmıştır. Sonuç olarak alkol, hız, koruyucu sistemler, araç, altyapı ve travma yönetimi olan performans göstergelerine dikkat çekilmiştir. VZA ile birçok ülke için ilgili yol güvenlik bilgilerini hesaba katarak her ülke için tüm yol güvenlik skorlarını kapsayan bir model inşa etmişlerdir. Her bir karar verici birim olarak, ülkeleri seçmişlerdir. Bu karar vericiler (ülkeler) için etkinliği, girdilerin ağırlıklandırılmış toplamının çıktıların ağırlıklandırılmış toplamına oranı olarak tarif etmişlerdir. Bire eşit olan skora sahip ülke, etkin ülke şeklinde açıklamışlardır. Yol güvenliği için kaza ve kayıpların sayısı çıktı, her bir risk alanı için kullanılan performans göstergeleri de girdi olarak tanımlanmıştır. Ancak ekonomik veya sosyal çalışmalardakinin aksine yol güvenliği için istenenin, çıktıların mümkün olabildiği kadar düşük ve göstergelerin de mümkün olduğu kadar yüksek olması olarak açıklanmıştır. Bu yüzden ağırlıklandırılmış çıktı ve ağırlıklandırılmış girdi oranları minimize edilecek şekilde model kurmuşlardır.

Aydemir (2002) 77 ilin kaynak kullanım görece verimliliklerini VZA'nın girdi odaklı CCR ve girdi odaklı BCC modelleri ile ölçtüğünü açıklamıştır. Çalışmada girdi olarak;

kişi başına ulaştırma altyapı yatırımları tutarı, kişi başına KOBİ yatırım tutarı, kişi başına enerji ve diğer hizmet sektörlerinde gerçekleşen teşvik belgeli yatırım tutarları, kişi başına imalat ve madencilik sektörlerinde gerçekleşen teşvik belgeli yatırım tutarları, kişi başına tarım ve imalat sektörlerinde hizmet veren KOBİ'lere verilen toplam yatırım ve işletme kredileri tutarları, yükseköğrenim eğitimi alanların nüfusa oranı, kişi başına açılan ve kapanan toplam şirket sayılarını çıktı olarak da; kişi başına düşen GSYİH verilerini kullanmıştır. Yapılan VZA sonucunda 37 ilin verimli olduğunu açıklamıştır.

Shen ve diğ. (2009) 26 Avrupa ülkesi için 21 göstergeden oluşan bir veri setini analiz etmişlerdir. Performans ölçme tekniği olan VZA ile bu 21 gösterge ile ülkelerin performanslarını karşılaştırmışlardır. VZA'nın en cazip yönlerinden biri olarak belirli bir ülkenin görece performansını tüm diğer ülkelerle kıyaslamada kendi öz takdirine dayalı olarak yapmasını göstermişlerdir. Ağırlıkların tüm olası setlerinin, her belirli ülke için en yüksek puan ile sonuçlanan kümeden seçildiğini bildirmişlerdir.

Hermans ve diğ. (2007) literatürde yol güvenlik konusunda çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılan göstergeleri; davranışsal, ekonomik, iklimsel, altyapı, yasal zorunluluklar, kaza ve kayıpların sayısı olarak gruplamışlardır. Yol güvenliği anlamında en büyük katkıyı gösteren değişkenler olarak; yol kullanıcı davranışı (hızlanma, alkollü sürüş ve kask, emniyet kemeri kullanma), araç güvenliği (araç filosunun yaşı ve bileşimi) ve çevresel faktörleri (altyapı, şehir nüfusu ve hastane tedavi hizmeti) açıklamışlardır.

Çoruh ve diğ. (2013) artan istihdam miktarı, şehirleşme oranı, il-devlet yolu ve otoyol kilometresinden oluşan değişkenlerin, kaza sayılarını pozitif yönde etkilediklerini, eğitilmiş kişi başına sağlık çalışanı verisinin ise hem negatif hemde pozitif yönde kaza sayılarındaki değişkenlikte rol oynadıklarını bildirmişlerdir.

Materyal ve Yöntem

Yol güvenliği konusu; kaza faktörlerinin yüksek sayısı, insan, araç, çevre, yol ve yönetmelikleri içeren çok karmaşık bir ortamdır. Risk performans alanlarındaki göstergelerin (değişkenlerin) özel bir grubunun seçilmesi, her bir değişkenin önemini belirleyen tipi, erişilebilirliği ve kalitesine bağlı olarak karmaşık bir konudur. Değişkenlerin tipi ve sayısı ülkelerin gelişmişlik düzeyine, motorizasyon seviyesine (nüfus başına araç oranı) ve verilerin erişilebilirliğine bağlıdır (Al Haji, 2005). Dolayısı ile bir bölge/ülke veya ilde kazalara etki eden faktörleri temsil eden birçok değişken tanımlanmıştır.

Bu çalışmada, 2008, 2009 ve 2010 yıllarına ait ve 81 il için kullanılan değişkenler Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK), Emniyet Genel Müdürlüğünden (EGM) ve Türkiye Sigorta Merkezinden (TRAMER) alınmıştır. Veri Zarflama Analizi ile KVB olarak Türkiye'nin 81 ili seçilmiştir. Her KVB (il) için sahip oldukları yol güvenlik risk alanları diye adlandırılan ana bileşenlerle ilgili en iyi temsili sağlayacağı düşünülen ekonomik, sosyo-demografik, ulaştırma, sağlık ve eğitim göstergeleri seçilmiş ve bu risk alanlarını en iyi temsil ettikleri düşünülen 18 girdi ve 5 çıktı ile etkinlik skorları bulunmuştur. Çalışmada kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri ile ilgili bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur. Çalışmada girdiye yönelik ölçeğe göre sabit getirili model (CRS)

kullanılmıştır. Tüm girdi ve çıktı değerleri ilin o yılıki değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Analizler 2008, 2009 ve 2010 yılları için ayrı ayrı yapılmıştır.

Tablo 1 Analizde Kullanılan Girdi-Çıktı Değişkenleri ve Kısaltma Kodları.

GİRDİ-DEĞİŞKEN ADI		VERİ BANKASI	BİRİMİ
MALİ (EKONOMİK) GÖSTERGELER			
M1	İşgücüne katılma oranı (15 yaş ve üzeri)	TUİK	Yüzde
M2	İstihdam Oranı	TUİK	Yüzde
M3	Tüketim Harcamaları İçerisinde Ulaştırma	TUİK	Yüzde
M4	Tüketim Harcamaları İçerisinde Alkol	TUİK	Yüzde
DEMOGRAFİK GÖSTERGELER			
D1	Nüfus	TUİK	Kişi
D2	Nüfus yoğunluğu (km ² düşen kişi sayısı)	TUİK	Kişi
D3	Şehir nüfusunun toplam nüfus içindeki oranı	TUİK	Yüzde
ULAŞTIRMA GÖSTERGELERİ			
U1	Otomobil sayısı Minibüs sayısı Otobüs sayısı Kamyonet sayısı Kamyon sayısı Motosiklet sayısı	TUİK	Adet
U2	İl ve devlet yolu Otoyol Köy yolu	TUİK	km
U3	Bin kişi başına otomobil sayısı	TUİK	Adet
U4	Kırmızı Işık İhlali	EGM	Adet
U5	Hız Sınırını %10'dan %30'a (Otuz Dâhil) Kadar Aşmak (512A)	EGM	Adet
U6	Hız Sınırını %30'dan Fazla Aşmak (512A)	EGM	Adet
U7	Diğer Kural İhlalleri	EGM	Adet
SAĞLIK GÖSTERGELERİ			
S	Hastane Yatak Sayısı Hekim Sayısı Uzman Hekim Sayısı Diş Hekimi Sayısı Eczacı Sayısı Hemşire Sayısı	TUİK	Adet
EĞİTİM GÖSTERGELERİ			
E1	(15 Yaş ve Üzeri) Okuma-Yazma Bilmeyen (15 yaş ve üzeri) : İlkokul mezunu Eğitim durumu (15 yaş ve üzeri) : Bilinmeyen	TUİK	Kişi
E2	(15 yaş ve üzeri) : İlköğretim mezunu (15 yaş ve üzeri) : Ortaokul veya dengi mezunu (15 yaş ve üzeri) : Lise veya dengi mezunu	TUİK	Kişi
E3	(15 yaş ve üzeri) : Yüksekokul veya fakülte mezunu (15 yaş ve üzeri) : Yüksek lisans mezunu (15 yaş ve üzeri) : Doktora mezunu	TUİK	Kişi
ÇIKTI-DEĞİŞKEN ADI		VERİ BANKASI	BİRİMİ
M6	Tüketim Harcamaları İçerisinde Sağlık	TUİK	Yüzde
U8	Kaza sayısı	TUİK	Adet
U9	Trafik Cezası Nedeni ile Cezaevinde Hükümlü Sayısı 2008	TUİK	Adet
U10	Trafik Riski (10.000 motorlu araç başına kayıp sayısı)	EGM-TUİK-TRAMER	Adet
U11	Kişisel Risk (100.000 insan başına kayıp sayısı)	EGM-TUİK-TRAMER	Adet

Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada temsil ettikleri risk alanlarına yönelik önlemler ve müdahaleler geliştirilmesi ile girdiler üzerinde denetim söz konusu olabileceği için girdi odaklı CCR model kullanılması tercih edilmiştir.

Analiz sonucunda 2008 yılı için Tablo 2’de illerin risk etkinliği skorları verilmiştir. Isparta, Adana, Niğde, Tokat, Amasya, Erzurum, Malatya ve Bingöl illeri dışındaki tüm iller risk etkinliği açısından sınırdan (1 değerini alarak) çıkmıştır yani riskli iller olarak bulunmuştur. 2009 yılı için Tablo 3’de illerin risk etkinliği skorları verilmiştir. Adana, Aksaray, Niğde, Kastamonu, Malatya ve Elazığ illeri dışındaki tüm iller risk etkinliği açısından sınırdan çıkmıştır. Son olarak 2010 yılı için Tablo 4’de illerin risk etkinliği skorları verilmiştir. Niğde, Kırşehir ve Elazığ illeri dışındaki tüm iller risk etkinliği açısından sınırdan (1 değerini alarak) çıkmıştır. İncelendiği şartlar altında Niğde 3 yıl içinde trafik güvenliği performansı bakımından en istikrarlı il olarak karşımıza çıkmaktadır. Risk etkinliği skoru olarak 3 yıl da 1’den küçük değer almıştır. Daha sonra 2009 ve 2010 yıllarında Elazığ Niğde’yi takip etmektedir.

Tablo 2 2008 Yılı ve 81 İl için Hesaplanmış Etkinlik Skorları.

KVB No	KVB İsmi	Girdi Odaklı CCR Etkinlik Skoru	KVB No	KVB İsmi	Girdi Odaklı CCR Etkinlik Skoru
1	İstanbul	100,00	42	Zonguldak	100,00
2	Tekirdağ	100,00	43	Karabük	100,00
3	Edirne	100,00	44	Bartın	100,00
4	Kırklareli	100,00	45	Kastamonu	100,00
5	Balıkesir	100,00	46	Çankırı	100,00
6	Çanakkale	100,00	47	Sinop	100,00
7	İzmir	100,00	48	Samsun	100,00
8	Aydın	100,00	49	Tokat	97,00
9	Denizli	100,00	50	Çorum	100,00
10	Muğla	100,00	51	Amasya	85,00
11	Manisa	100,00	52	Trabzon	100,00
12	Afyonkarahisar	100,00	53	Ordu	100,00
13	Kütahya	100,00	54	Giresun	100,00
14	Uşak	100,00	55	Rize	100,00
15	Bursa	100,00	56	Artvin	100,00
16	Eskişehir	100,00	57	Gümüşhane	100,00
17	Bilecik	100,00	58	Erzurum	97,00
18	Kocaeli	100,00	59	Erzincan	100,00
19	Sakarya	100,00	60	Bayburt	100,00
20	Düzce	100,00	61	Ağrı	100,00
21	Bolu	100,00	62	Kars	100,00
22	Yalova	100,00	63	Iğdır	100,00
23	Ankara	100,00	64	Ardahan	100,00
24	Konya	100,00	65	Malatya	96,00
25	Karaman	100,00	66	Elazığ	89,00
26	Antalya	100,00	67	Bingöl	100,00
27	Isparta	96,00	68	Tunceli	100,00
28	Burdur	100,00	69	Van	100,00
29	Adana	95,00	70	Muş	100,00
30	Mersin	100,00	71	Bitlis	100,00
31	Hatay	100,00	72	Hakkari	100,00
32	Kahramanmaraş	100,00	73	Gaziantep	100,00
33	Osmaniye	100,00	74	Adıyaman	100,00
34	Kırkkale	100,00	75	Kilis	100,00
35	Aksaray	100,00	76	Şanlıurfa	100,00
36	Niğde	90,00	77	Diyarbakır	100,00
37	Nevşehir	100,00	78	Mardin	100,00
38	Kırşehir	100,00	79	Batman	100,00
39	Kayseri	100,00	80	Şırnak	100,00
40	Sivas	100,00	81	Siirt	100,00
41	Yozgat	100,00			

Tablo 3 2009 Yılı ve 81 İl için Hesaplanmış Etkinlik Skorları.

KVB NO	KVB İsmi	Girdi Odaklı CCR Etkinlik Skoru	KVB NO	KVB İsmi	Girdi Odaklı CCR Etkinlik Skoru
1	İstanbul	100,00	42	Zonguldak	100,00
2	Tekirdağ	100,00	43	Karabük	100,00
3	Edirne	100,00	44	Bartın	100,00
4	Kırklareli	100,00	45	Kastamonu	99,00
5	Balıkesir	100,00	46	Çankırı	100,00
6	Çanakkale	100,00	47	Sinop	100,00
7	İzmir	100,00	48	Samsun	100,00
8	Aydın	100,00	49	Tokat	100,00
9	Denizli	100,00	50	Çorum	100,00
10	Muğla	100,00	51	Amasya	100,00
11	Manisa	100,00	52	Trabzon	100,00
12	Afyonkarahisar	100,00	53	Ordu	100,00
13	Kütahya	100,00	54	Giresun	100,00
14	Uşak	100,00	55	Rize	100,00
15	Bursa	100,00	56	Artvin	100,00
16	Eskişehir	100,00	57	Gümüşhane	100,00
17	Bilecik	100,00	58	Erzurum	100,00
18	Kocaeli	100,00	59	Erzincan	100,00
19	Sakarya	100,00	60	Bayburt	100,00
20	Düzce	100,00	61	Ağrı	100,00
21	Bolu	100,00	62	Kars	100,00
22	Yalova	100,00	63	Iğdır	100,00
23	Ankara	100,00	64	Ardahan	100,00
24	Konya	100,00	65	Malatya	98,00
25	Karaman	100,00	66	Elazığ	91,00
26	Antalya	100,00	67	Bingöl	100,00
27	Isparta	100,00	68	Tunceli	100,00
28	Burdur	100,00	69	Van	100,00
29	Adana	98,00	70	Muş	100,00
30	Mersin	100,00	71	Bitlis	100,00
31	Hatay	100,00	72	Hakkari	100,00
32	Kahramanmaraş	100,00	73	Gaziantep	100,00
33	Osmaniye	100,00	74	Adıyaman	100,00
34	Kırıkkale	100,00	75	Kilis	100,00
35	Aksaray	95,00	76	Şanlıurfa	100,00
36	Niğde	99,00	77	Diyarbakır	100,00
37	Nevşehir	100,00	78	Mardin	100,00
38	Kırşehir	100,00	79	Batman	100,00
39	Kayseri	100,00	80	Şırnak	100,00
40	Sivas	100,00	81	Siirt	100,00
41	Yozgat	100,00			

Tablo 4 2010 Yılı ve 81 İl için Hesaplanmış Etkinlik Skorları.

KVB NO	KVB İsmi	Girdi Odaklı CCR Etkinlik Skoru	KVB NO	KVB İsmi	Girdi Odaklı CCR Etkinlik Skoru
1	İstanbul	100,00	42	Zonguldak	100,00
2	Tekirdağ	100,00	43	Karabük	100,00
3	Edirne	100,00	44	Bartın	100,00
4	Kırklareli	100,00	45	Kastamonu	100,00
5	Balıkesir	100,00	46	Çankırı	100,00
6	Çanakkale	100,00	47	Sinop	100,00
7	İzmir	100,00	48	Samsun	100,00
8	Aydın	100,00	49	Tokat	100,00
9	Denizli	100,00	50	Çorum	100,00
10	Muğla	100,00	51	Amasya	100,00
11	Manisa	100,00	52	Trabzon	100,00
12	Afyonkarahisar	100,00	53	Ordu	100,00
13	Kütahya	100,00	54	Giresun	100,00
14	Uşak	100,00	55	Rize	100,00
15	Bursa	100,00	56	Artvin	100,00
16	Eskişehir	100,00	57	Gümüşhane	100,00
17	Bilecik	100,00	58	Erzurum	100,00
18	Kocaeli	100,00	59	Erzincan	100,00
19	Sakarya	100,00	60	Bayburt	100,00
20	Düzce	100,00	61	Ağrı	100,00
21	Bolu	100,00	62	Kars	100,00
22	Yalova	100,00	63	Iğdır	100,00
23	Ankara	100,00	64	Ardahan	100,00
24	Konya	100,00	65	Malatya	100,00
25	Karaman	100,00	66	Elazığ	96,00
26	Antalya	100,00	67	Bingöl	100,00
27	Isparta	100,00	68	Tunceli	100,00
28	Burdur	100,00	69	Van	100,00
29	Adana	100,00	70	Muş	100,00
30	Mersin	100,00	71	Bitlis	100,00
31	Hatay	100,00	72	Hakkari	100,00
32	Kahramanmaraş	100,00	73	Gaziantep	100,00
33	Osmaniye	100,00	74	Adıyaman	100,00
34	Kırıkkale	100,00	75	Kilis	100,00
35	Aksaray	100,00	76	Şanlıurfa	100,00
36	Niğde	96,00	77	Diyarbakır	100,00
37	Nevşehir	100,00	78	Mardin	100,00
38	Kırşehir	96,00	79	Batman	100,00
39	Kayseri	100,00	80	Şırnak	100,00
40	Sivas	100,00	81	Siirt	100,00
41	Yozgat	100,00			

VZA daha öncede belirtildiği gibi etkin birimleri belirler. Ancak daha sonra birimlerin sıralanmalarına yani etkinlik derecelerinin bulunmasına izin vermez. Bu sıralamayı yapabilmek için Andersen-Petersen yöntemiyle etkin KVB'lerin diğer tüm birimlerle birlikte karşılaştırılması ve sıralanması yapılmıştır.

Tablo 5’de 2008 yılı için illerin süper etkinlik değeri verilmiştir. Analiz sonucunda Hakkâri, Ardahan ve Tunceli illerinde problem olduğu dikkati çekmektedir. Üst sıralarda bulunan İstanbul, Ankara, Kocaeli gibi iller zaten beklenildiği üzere yoğun nüfus, hareketlilik ve motorizasyona sahip oldukları için bu şehirlerin üst sıraları alması sürpriz olmamıştır. Son sıraları Niğde, Elazığ ve Amasya olarak Türkiye’de 2008 yılı için yol güvenlik performansı konusunda en başarılı iller olmuşlardır.

Tablo 6’da 2009 yılı için illerin süper etkinlik değeri verilmiştir. Analiz sonucu yine 2008’deki gibi Hakkâri, Ardahan ve Sinop illerinde problem olduğu dikkati çekmektedir. Üst sıralarda bulunan İstanbul, Ankara, Kocaeli gibi iller zaten beklenildiği üzere yoğun nüfus, hareketlilik ve motorizasyona sahip oldukları için bu şehirlerin üst sıraları alması sürpriz olmamıştır. Son sıraları Elazığ, Aksaray, Malatya ve Niğde olarak Türkiye’de 2009 yılı için yol güvenlik performansı konusunda en başarılı iller olmuşlardır.

Tablo 7’de 2010 yılı için illerin süper etkinlik değeri verilmiştir. Analiz sonucu 3 yıl içerisinde Hakkâri, Ardahan ve Tunceli illerinde problemin süre geldiği ve İstanbul, Ankara gibi büyük şehirlerde az da olsa iyileşme görülerek risk sıralamasında aşağılara geriledikleri bulunmuştur. Niğde, Elazığ, Malatya ile birlikte Kırşehir özellikle Kırşehir ili hızlı bir iyileşme göstererek Türkiye’de 2010 yılı için yol güvenlik performansı konusunda en başarılı iller olmuşlardır.

Tablo 5 2008 Yılı İçin 81 İlin Sıralaması.

KVB No	KVB Adı	Süper Etkinlik Değeri	KVB No	KVB Adı	Süper Etkinlik Değeri
1	Hakkari	17,20213	42	Manisa	1,30241
2	İstanbul	10,72304	43	Şanlıurfa	1,28471
3	Ardahan	9,04569	44	Yozgat	1,27495
4	Tunceli	4,21495	45	Kırşehir	1,25375
5	Sinop	4,17647	46	Uşak	1,25128
6	Ankara	3,76845	47	Kütahya	1,24462
7	Yalova	3,61131	48	Muş	1,23491
8	Kocaeli	3,13502	49	Kahramanmaraş	1,20960
9	Bolu	2,47034	50	Eskişehir	1,20533
10	Edirne	2,32968	51	Hatay	1,20489
11	Bayburt	2,26411	52	Kastamonu	1,18954
12	Ağrı	1,99890	53	Gaziantep	1,18061
13	Sakarya	1,96753	54	Giresun	1,16952
14	Artvin	1,92323	55	Mersin	1,16709
15	Bitlis	1,89116	56	Zonguldak	1,16525
16	Çankırı	1,87634	57	Çorum	1,15388
17	Iğdır	1,85805	58	Bursa	1,11127
18	Sivas	1,84789	59	Aksaray	1,10997
19	Kilis	1,83641	60	Balıkesir	1,10841
20	Çanakkale	1,71448	61	Samsun	1,10692
21	Bartın	1,69348	62	İzmir	1,10523
22	Bingöl	1,69323	63	Adıyaman	1,09327
23	Düzce	1,68677	64	Mardin	1,07032
24	Kırklareli	1,68522	65	Ordu	1,06724
25	Erzincan	1,65203	66	Rize	1,06296
26	Şırnak	1,65167	67	Denizli	1,05835
27	Diyarbakır	1,64247	68	Burdur	1,05761
28	Antalya	1,63527	69	Van	1,05101
29	Muğla	1,63358	70	Batman	1,02655
30	Karaman	1,57793	71	Kayseri	1,00993
31	Kırıkkale	1,56963	72	Kars	1,00112
32	Bilecik	1,55308	73	Trabzon	0,99598
33	Nevşehir	1,52543	74	Erzurum	0,97392
34	Karabük	1,51723	75	Tokat	0,96609
35	Tekirdağ	1,48008	76	Isparta	0,96360
36	Aydın	1,47489	77	Malatya	0,96090
37	Afyonkarahisar	1,44071	78	Adana	0,95246
38	Osmaniye	1,39346	79	Niğde	0,89934
39	Konya	1,36420	80	Elazığ	0,88586
40	Siirt	1,35976	81	Amasya	0,84847
41	Gümüşhane	1,35333			

Tablo 6 2009 Yılı İçin 81 İlin Sıralaması.

KVB No	KVB Adı	Süper Etkinlik Değeri	KVB No	KVB Adı	Süper Etkinlik Değeri
1	Hakkari	22,88907	42	Giresun	1,26179
2	Ardahan	8,48276	43	Kahramanmaraş	1,25122
3	İstanbul	5,76638	44	Hatay	1,24392
4	Tunceli	4,85220	45	Karabük	1,22003
5	Sinop	3,80533	46	Muş	1,21861
6	Yalova	3,65777	47	Gaziantep	1,20523
7	Ankara	2,56873	48	Düzce	1,20241
8	Kocaeli	2,44570	49	Rize	1,19521
9	Şırnak	2,38226	50	Çorum	1,15883
10	Bayburt	2,36031	51	Zonguldak	1,15345
11	Nevşehir	2,29686	52	Iğdır	1,14649
12	Tekirdağ	2,10382	53	Kayseri	1,13461
13	Ağrı	1,90099	54	Çanakkale	1,13343
14	Kilis	1,80283	55	Erzurum	1,13151
15	Diyarbakır	1,79713	56	Samsun	1,10626
16	Sivas	1,76976	57	Balıkesir	1,09970
17	Çankırı	1,61095	58	Uşak	1,09826
18	Bartın	1,58300	59	Karaman	1,09810
19	Erzincan	1,58297	60	Denizli	1,09563
20	Kırşehir	1,56331	61	İzmir	1,09530
21	Bingöl	1,54056	62	Mardin	1,09525
22	Bolu	1,53928	63	Kars	1,09517
23	Edirne	1,52927	64	Adıyaman	1,09374
24	Antalya	1,50513	65	Trabzon	1,09073
25	Sakarya	1,48731	66	Tokat	1,07803
26	Yozgat	1,47599	67	Ordu	1,06952
27	Bitlis	1,47580	68	Kütahya	1,06861
28	Muğla	1,44121	69	Bursa	1,06321
29	Kırklareli	1,42174	70	Batman	1,04827
30	Afyonkarahisar	1,38784	71	Burdur	1,03841
31	Konya	1,37340	72	Eskişehir	1,03633
32	Mersin	1,37031	73	Van	1,03010
33	Gümüşhane	1,36264	74	Amasya	1,02408
34	Şanlıurfa	1,35039	75	Isparta	1,01065
35	Siirt	1,34636	76	Kastamonu	0,99910
36	Kırıkkale	1,33747	77	Niğde	0,99249
37	Aydın	1,32779	78	Adana	0,98071
38	Bilecik	1,31046	79	Malatya	0,97999
39	Manisa	1,30231	80	Aksaray	0,94698
40	Artvin	1,29662	81	Elazığ	0,91301
41	Osmaniye	1,26532			

Tablo 7 2010 Yılı İçin 81 İlin Sıralaması.

KVB No	KVB Adı	Süper Etkinlik Değeri	KVB No	KVB Adı	Süper Etkinlik Değeri
1	Hakkari	21,49126	42	Hatay	1,26224
2	Ardahan	7,24100	43	Tekirdağ	1,26074
3	Tunceli	6,68460	44	Muş	1,25053
4	İstanbul	5,39452	45	Bilecik	1,24319
5	Yalova	3,68299	46	Denizli	1,24143
6	Ankara	3,38507	47	Rize	1,24136
7	Kocaeli	3,25469	48	Artvin	1,23477
8	Şırnak	2,48435	49	Gaziantep	1,22667
9	Sivas	2,33581	50	Osmaniye	1,21941
10	Sinop	2,33349	51	Karabük	1,19704
11	Bartın	2,33274	52	Iğdır	1,17830
12	Bayburt	1,92323	53	Kayseri	1,17705
13	Nevşehir	1,85379	54	Adıyaman	1,17523
14	Kilis	1,82049	55	Giresun	1,16732
15	Edirne	1,79791	56	İzmir	1,15477
16	Bolu	1,79109	57	Erzurum	1,15172
17	Bingöl	1,75547	58	Samsun	1,14817
18	Diyarbakır	1,72714	59	Çorum	1,14176
19	Antalya	1,51933	60	Çanakkale	1,12230
20	Sakarya	1,51611	61	Uşak	1,11959
21	Gümüşhane	1,47663	62	Amasya	1,11778
22	Çankırı	1,47646	63	Bursa	1,11529
23	Erzincan	1,45702	64	Aksaray	1,10131
24	Konya	1,45143	65	Zonguldak	1,09724
25	Muğla	1,43855	66	Ordu	1,08801
26	Yozgat	1,41406	67	Trabzon	1,08116
27	Şanlıurfa	1,40440	68	Eskişehir	1,07650
28	Mersin	1,40216	69	Batman	1,05179
29	Kahramanmaraş	1,39708	70	Balıkesir	1,04570
30	Kırklareli	1,38885	71	Kütahya	1,04422
31	Aydın	1,33576	72	Mardin	1,04381
32	Kırıkkale	1,33390	73	Adana	1,03054
33	Bitlis	1,33321	74	Van	1,02985
34	Manisa	1,31149	75	Burdur	1,01560
35	Karaman	1,31131	76	Isparta	1,00964
36	Siirt	1,30930	77	Kastamonu	1,00706
37	Ağrı	1,29601	78	Malatya	0,99677
38	Kars	1,29087	79	Niğde	0,96038
39	Düzce	1,29084	80	Elazığ	0,96018
40	Tokat	1,28766	81	Kırşehir	0,95631
41	Afyonkarahisar	1,27256			

Sonuç

Girdi yönelimli (18 girdi ve 5 çıktı değişkenli) CCR modelinin uygulanması sonucunda dikkat edilmesi gereken en önemli husus, etkinlik sonuçlarının sadece göreceli bir durumu yansıttığının bilinmesidir. Bir başka deyişle, VZA sonuçlarına göre oluşturulan illerin sıralaması, sadece karşılaştırıldığı diğer illere göre ve söz konusu girdi-çıkıtı seti kullanılarak oluşan bir durumdur. Dolayısı ile çalışma sonucu yapılacak değerlendirmelerin belirtilen çerçeveler içerisinde doğru olabileceğinin vurgulanması gerekmektedir.

Çalışmada KVB olarak Türkiye'nin 81 ilini seçip sahip oldukları risk alanlarına göre etkinlik skorları veri zarflama analizi ile belirlenmiştir. Sıralama yapılmasına imkân veren süper etkinlik (AP) analizi ile de iller en yüksek riske sahip ilden en düşük olana göre sıralanmıştır. 2008, 2009 ve 2010 yıllarındaki VZA etkinlik skoruna göre değerlendirme yapıldığında genel olarak hemen hemen tüm illerde sağlıklı bir ulaşım güvenliği olmadığı sonucu maalesef ortaya çıkmaktadır. Özellikle incelenen 3 yıl boyunca ilk 10'a giren illerde ivedilikle acil eyleme geçilmesi gerektiği düşünülmektedir. Türkiye'de ve dünyada her an; herkesin, bir trafik kazasıyla, karşılaşma olasılığının yüksek olduğu düşünülürse, böyle bir tehlikeyi önceden önleme yoluna gitmek her birey için hayati önem taşımaktadır.

Türkiye son on yıl içinde istikrarlı bir politika ile kişi başına gayri safi milli hasılda önemli bir artış trendi yakalamıştır. Ülkemiz, Arjantin ve Çin'den sonra %5-6 oranında yıllık ekonomik büyümeyi son yıllarda istikrarlı bir şekilde gerçekleştirmiştir. Ekonomideki bu istikrarlı büyüme, alt ve üstyapı sektörüne büyük ölçüde yansımıştır (Çoruh ve diğ., 2013). Ancak yapılan çalışmalar, istihdam oranında, şehirleşmede ve il ve devlet yollarındaki artışa paralel olarak kaza sayısında da artışın meydana geldiğini göstermektedir. Bu durum, kişi başına düşen milli gelirin artması, hızlı kentleşmenin ve taşıt sahipliğinin artış trendinde olduğu gelişmekte olan ülkelerle benzerlik göstermektedir. Eğitimli insan sayısı artıkça kaza sayıları azalmaktadır. O halde yapılacak olan ilk şey Türkiye'de acil olarak bölgeler arası eşitlik ilkesi ile birlikte her bölgenin coğrafi ve demografik özelliklerini de göz önünde bulundurarak etkin ulaşım planlamasının yapılmasıdır.

Teşekkür Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir. Proje No:2012/92

Kaynaklar

Ahn, T. S., 1987. Efficiency Related Issues in Higher Education: A Data Envelopment Analysis Approach, Ph.D. Thesis, The University of Texas at Austin.

Albayrak, A. S., 2003. Türkiye'de İllerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Düzeylerinin Çok Değişkenli İstatistik Yöntemlerle İncelenmesi, Doktora Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi.

Al Haji, G., 2005. Towards a Road Safety Development Index (RSDI), Master Thesis, Department of Science and Technology Campus Norrköping, Linköping University.

Aslankaraoğlu, N., 2006. Veri Zarflama Analizi ve Temel Bileşenler Analizi ile Avrupa Birliği Ülkelerinin Sıralanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv. Fen Bil. Enst., Ankara.

Atan, M., Özgür, E., Güler, H., 2004. Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler ve VZA ile İllerin Gelişmişlik Düzeylerinin Karşılaştırılması, Gazi Üniv. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6/2: 25-42.

Aydemir, Z. C., 2002. Bölgesel Rekabet Edebilirlik Kapsamında İllerin Kaynak Kullanım Görece Verimlilikleri: Veri Zarflama Analizi Uygulaması, DPT-Uzmanlık Tezleri Yayın No: DPT: 2664.

Brijs, T., Karlis, D., Bossche, F. Van Den, and Wets, G., 2003. A Bayesian Model For Ranking Hazardous Sites.

Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, Y., and Seiford, L. M., 1994. Data Development Analysis, Kluwer Academic Publishers, USA.

Cherchye, L., Moesen, W., Rogge, N., VanPuyenbroeck, T., Saisana, M., Saltelli, A., Liska, R., and Tarantola, S., 2006. Creating Composite Indicators with DEA and Robustness Analysis: The Case of the Technology Achievement Index. Catholic University of Leuven and Joint Research Centre.

Cooper, W. W., Seiford L. M., and Tone K., 2006. Data Envelopment Analysis, A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software, Second Edition, ISBN-10: 0-387-45281-8 (HB) by Springer Science+Business Media, LLC.

Çoruh, E., Bilgiç, A., ve Tortum, A., 2013. Türkiye’de İl Trafik Kazalarının Count Data Model İle İncelenmesi, 4. Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi, Ankara.
Gaygısız, E., 2010. Cultural Values And Governance Quality As Correlates Of Road Traffic Fatalities: A Nation Level Analysis, Accident Analysis and Prevention, 42:1894–1901.

Hermans, E., Van den B. F., and Wets, G., 2007. Impact of Methodological Choices on Road Safety Ranking, RA-MOW-2007-001.

Hermans, E., Van den B.F., and Wets, G., 2009. Uncertainty Assessment of the Road Safety Index, Reliability Engineering and System Safety, 94, 1220-1228.

<http://www.kgm.gov.tr>, 15.03.2013

Kecek, G., 2010. Veri Zarflama Analizi, Teori ve Uygulama Örneği, 1. Baskı, Siyasal Kitapevi, Ankara.

Köse, S., Eser, U. ve Konur F., 2012. Türkiye’de Bölgesel Gelişmişlik Farkları: Bir Veri Zarflama Analizi (Düzyey-2 Bölgeleri), CBÜ Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt:10, Sayı:2.

Lyubenov, D. A., Marinov, M. M., Kostadinov, S. A., and Gelkov, Zg. R., 2010. Road Safety Estimation In Bulgaria From 1990 to 2010, YDK 521.481:681.306.

Oruç, K. O., 2008. Veri Zarflama Analizi İle Bulanık Ortamda Etkinlik Ölçümleri Ve Üniversitelerde Bir Uygulama, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.

Quddus, M. A., 2008. Time Series Count Data Models: An Empirical Application To Traffic Accidents, Accident Analysis and Prevention 40:1732–1741.

Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., Wets, G., Brijs, T., and Vanhoof K., 2009. Road Safety Performance Evaluation Based on a Multiple Layer Data Envelopment Analysis Model, 4th Irtad Conference, Seoul, Korea.

Timör, M. ve Lorcu, F., 2010. Türkiye ve Avrupa Birliğine Üye Ülkelerin Sağlık Sistem Performanslarının Kümeleme ve Veri Zarflama Analizi ile Karşılaştırılması, Yönetim Yıl:21, Sayı:65.

Yılmaz M., Aktaş H., Kargın M., ve Açıkgöz B., 2006. Türkiye’de İllere Göre Kamu Yatırımlarının Etkinliği, Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8(29), ss. 53-80.

Genç Sürücülerin Trafik Kural İhlalleri ve Sosyo-Ekonomik Yapıları Arasındaki İlişkiler: Aydın ve Malatya Örnekleri

Mehmet Metin Mutlu

Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 35100 Bornova - İZMİR

Tel: (0232) 388 60 26

E-Posta: mmetinm@gmail.com

Yalçın Alver

Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 35100 Bornova - İZMİR

Tel: (0232) 388 60 26

E-Posta: yalcin.alver@ege.edu.tr

Öz

Sosyo-ekonomik verilere dayanarak yapılan çalışmalara göre gençlerin trafik kural ihlallerine daha eğilimli olduğu ve tüm dünyada genç sürücülerin, özellikle heyecan arama ve tecrübesizlik nedeniyle, trafik kazalarında büyük rol oynadığı bilinmektedir, bu nedenle genç nüfusun yoğun olduğu ülkemizde genç sürücü davranışları incelenmelidir.

Bu çalışmanın ana hedefi; genç sürücülerin (18-29 yaş) trafik kurallarına ne kadar uyduklarını belirlemek ve genç sürücülerin sosyo-ekonomik yapıları, sürüş tecrübeleri gibi değişkenlerle trafik ihlalleri arasında bir ilişki olup olmadığını açıklamaya çalışmaktır.

Çalışmada sürücü eğilimlerinin saptanmasında ve trafik kazalarında belirleyici olan; kırmızı ışıkta geçme, emniyet kemeri takmama, hız sınırını aşma ve alkollü araç kullanma olmak üzere dört ana kural ihlali incelenmiştir. Genç sürücülerin trafik kural ihlalleri ile sürüş davranışları arasındaki ilişkileri detaylı incelemek için yapılan anket çalışması ile toplanan veriler bu çalışmada kullanılmıştır. Kişisel Bilgiler ve Kural İhlalleri grupları altında toplanan sorulardan oluşan anket çalışması Aydın ve Malatya İleri Merkez İlçelerinde gerçekleştirilmiştir. Toplam 15 bölgede yapılan anket çalışmasında, sürücü ehliyetine sahip ve en az bir yıldır aktif olarak araç kullanan 18-29 yaş arası sürücüler hedeflenmiştir. Belirtilen özellikleri sağlayan, farklı eğitim ve gelir düzeylerine sahip, Aydın'da 417, Malatya'da ise toplam 400 genç sürücüye yüz yüze anket tekniği kullanılarak anket yapılmıştır.

Sürücülerin sosyo-ekonomik verileri ve sürüş davranışı verileri toplanmış ve bu değişkenler ile kural ihlali yapma eğilimi arasındaki ilişki ikili (binary) logit model kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda genç sürücüler daha yakından tanınmış, gerçekleştirdikleri trafik kural ihlalleri, sürüş davranışları, sosyo-ekonomik ve demografik yapıları arasında ne gibi ilişkiler olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar sözcükler: Genç sürücüler, trafik kural ihlalleri.

Giriş

Trafik kazaları sadece ülkemizin değil tüm dünyanın başa çıkmaya çalıştığı önemli bir sorundur. Bu sorun dünyada milyonlarca can almakta ve çok büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Özellikle genç yaşta ölümlerin başlıca sebepleri arasında trafik kazaları yerini almıştır. Dünya sağlık örgütü 2005 raporuna göre trafik kazaları küresel bir halk sağlığı sorunudur. 2020 yılında dünya sağlığını tehdit eden üçüncü yaralanma/hastalık sebebinin trafik kazaları olması beklenmektedir.

Sosyo-ekonomik verilere dayanarak yapılan çalışmalara göre gençlerin trafik kural ihlallerine daha eğilimli olduğu ve tüm dünyada genç sürücülerin, özellikle heyecan arama ve tecrübesizlik nedeniyle, trafik kazalarında büyük rol oynadığı bilinmektedir ve bu nedenle genç nüfusun yoğun olduğu ülkemizde genç sürücü davranışları incelenmelidir.

Bu çalışmada Türkiye’de, Aydın ve Malatya İllerinde ehliyet sahibi genç sürücülerin (18-29 yaş) sürüş davranışları ve trafik kural ihlalleri arasındaki ilişkinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın ana hedefi; genç sürücülerin trafik kurallarına ne kadar uyduklarını belirlemek ve genç sürücülerin sosyo-ekonomik yapıları, sürüş tecrübeleri gibi değişkenlerle trafik ihlalleri arasında bir ilişki olup olmadığını açıklamaya çalışmaktır. Elde edilen sonuçlar iki il için karşılaştırılmış ve farklılıklar ortaya çıkarılmıştır. Son olarak hazırlanan ikili logit model yardımıyla iki ilde son üç yılda trafik cezası alan ve hiç ceza almayan genç sürücülerin özellikleri ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır.

Genç Sürücüler ve Trafik Kural İhlalleri Anket Çalışması

Giderek artan ekonomik özgürlük ve azalan ikinci el araç fiyatları, son yıllarda genç nüfusun araç sahipliği oranlarını da arttırmaktadır. Bu da trafikte daha fazla genç sürücü görmemize yol açmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda genç sürücüler daha yakından tanınmış ve trafik kural ihlalleri ile sosyo-ekonomik yapıları arasında ne gibi ilişkiler olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu ilişkileri detaylı incelemek için yapılan anket çalışması ile toplanan veriler bu çalışmada kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan anket çalışmasında katılımcılara toplam 64 adet soru yöneltilmiştir. Bu sorular anketörler tarafından yüz yüze anket tekniği uygulanarak sorulmuştur. Bu teknikle kişilerden bekleme süresi olmaksızın cevap alınabilmektedir.

Çalışmada sürücü eğilimlerinin saptanmasında ve trafik kazalarında belirleyici olan; kırmızı ışıkta geçme, emniyet kemeri takmama, hız sınırını aşma ve alkollü araç kullanma olmak üzere dört ana kural ihlali incelenmiştir. Kişisel bilgiler (sosyo-ekonomik, demografik) ve kural ihlalleri grupları altında toplanan sorulardan oluşan anket çalışması Aydın Merkez ve Malatya Merkez ilçelerde yapılmıştır.

Aydın ve Malatya il merkezlerinde toplam 15 bölgede yapılan anket çalışmasında, sürücü ehliyetine sahip ve en az bir yıldır aktif olarak araç kullanan 18-29 yaş arası sürücüler hedeflenmiştir. Belirtilen özellikleri sağlayan, farklı eğitim ve gelir düzeylerine sahip, 568 adet erkek, 249 adet kadın olmak üzere toplam 817 genç sürücüye yüz yüze anket tekniği kullanılarak anket yapılmıştır.

TUİK 2012 Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) sonuçlarına göre Aydın Merkez ilçe nüfusu 259.786, Malatya Merkez ilçe Nüfusu 426.381'dir. TUİK 2012 ADNKS ilçe yaş grubu nüfus sonuçlarına göre 20-24 yaş arası grupta Aydın Merkez ilçe'de 20.678 kişi Malatya Merkez ilçe'de 45.351 kişi, 25-29 yaş arası grupta ise Aydın Merkez ilçe'de 20.469 kişi, Malatya Merkez ilçe'de 40.583 kişi bulunmaktadır. Aydın ili genellikle geçimini tarım sektöründen kazanan Ege Bölgesi'nin güneyinde yer alan orta ölçekli bir ildir. Malatya ise Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat bölümünde yer alan tarım ve sanayi ile geçinen bir ilimizdir.

Farklı sosyo-ekonomik, kültürel ve eğitim düzeyinde katılımcılara ait verilerin elde edilebilmesi amacı ile Aydın Merkez İlçe'de; Merkez (Adnan Menderes Bulvarı ve sokakları), Aydın Forum AVM, Adnan Menderes Üniversitesi Kampüsü, Girne Mahallesi, Eski Sanayi ve Yeni Sanayi olmak üzere altı farklı bölgede, Malatya Merkez İlçe'de ise; Malatya Park AVM, Belediye Binası mevkii, Sanayi, ilçe merkezi, İnönü Üniversitesi Kampüsü, Kanalboyu, Çöşnük, Yeşilyurt ve Barguzu olmak üzere dokuz farklı bölgede anketler yapılmıştır.

Anket iki ayrı bölümden oluşmaktadır. İlk kısım sosyo-ekonomik veriler, ikinci kısım kural ihlalleri ile ilgili sorular içermektedir.

Sosyoekonomik Veriler

Ankette ilk kısım kişilerden sosyoekonomik veriler elde etmeye yönelik olarak hazırlanmıştır. Bu bağlamda yaş, cinsiyet, gelir durumu, eğitim seviyesi, meslek, sürücü ehliyeti süresi, sürücülük tecrübesi, sürüş alışkanlıkları ve araç sahipliği ile ilgili sorular sorulmuştur.

Dünya genelinde yapılan çalışmalar yaşın ihlaller ve kazalarda önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Karacasu ve Er, 2011). Ancak ülkemizde gençlerle trafik kural ihlali yapma ilişkisine gereken önem verilmemiş olup bu konudaki veriler oldukça yetersizdir. Batı Avustralya'da yapılan bir çalışmada trafik kazalarına en çok karışan sürücü yaş grubunun 20-24 yaş grubu olduğu, bunu 17-19 yaş grubunun takip ettiği görülmüştür (Ryan ve diğ., 1998). Ülkemizde ehliyet alma yaşı 18'dir. Bu sebeple çalışma kapsamında incelenen yaş grubu 18'den başlamakta olup 29 yaş dâhil sürücü ehliyetine sahip genç sürücülerin cevapları değerlendirmeye alınmıştır. Kişilerden alınan yaş bilgisi cevaplarının değerlendirilmesinde alt yaş kategorisi belirlenmiş ve bu kategorilerin ihlallerle ilişkileri incelenmiştir.

Ehliyet sahipliği süresi ile kişinin aktif araç kullanım süresi soruları birlikte değerlendirildiğinde daha anlamlı olmaktadır. Kişi birkaç yıl önce ehliyet almış olmasına karşın birkaç aydır aktif araç kullanıyor olabilir. Ehliyet sahipliği süresi ile aktif araç kullanma süresi arasındaki ayrıma özellikle dikkat edilmelidir.

Cinsiyetin kural ihlalleriyle ve kazalarla ilişkisi birçok çalışmada gösterilmiştir. Tavırları, refleksleri ve kararları etkileyen cinsiyet faktörü trafikte de görülmektedir. Erkeklerin karıştığı kaza sayısının kadınlara oranla daha yüksek olduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir (Karacasu ve Er, 2011). Amerika Birleşik Devletleri'nde 1996 yılına ait incelenen kaza verileri sonucunda erkeklerin bütün yaşlarda kaza yapma oranının kadınlara göre daha yüksek olduğu ancak kadınların daha fazla

yaralanmalı/ölümlü kazalara karışıkları tespit edilmiştir (McGwin ve Brown, 1999). Bu çalışmada da cinsiyetin kural ihlalleri ile ilişkisi saptanmak istenmiştir.

Kişilerin gelir durumu önemli sosyo-ekonomik verilerden biridir. Bu anket hazırlanırken de gelir durumunun araç kullanımı ile ilişkili çıkabileceği düşünülmüştür. Kişiler gelirlerini doğrudan belirtmek istemeyebileceklerinden seçenekler asgari ücretten başlayarak aralıklar şeklinde sunulmuştur.

Eğitim seviyesi sorusu ile kişinin eğitim seviyesinin artmasının kural ihlallerinde bir değişiklik yaratıp yaratmadığı belirlenmek istenmektedir. Meslek sorusu da eğitim seviyesine benzer şekilde kişilerin yaptıkları iş ile kural ihlalleri arasında bir ilişki bulunup bulunmadığını görmek, hangi çalışan grubunun daha fazla kazaya karışma ihtimali olduğunu anlamak amacıyla sorulmuştur.

Araç sahipliği ankette yer alan ayırıcı sorulardan birisidir. Kendine ait aracı olan kişi araca her an erişim sağlayabilmektedir. Bu soru kişinin aktif araç kullanma süresi ile birlikte değerlendirildiğinde kendine ait aracı olanların kendi araçlarıyla edindikleri tecrübe de ortaya çıkmaktadır. Bazı meslek gruplarına mensup kişilere araçlar çalıştıkları iş yeri tarafından sağlanmaktadır. Eğer kişi aracı iş haricinde de kullanıyorsa bu durumda bu araç kişinin kendisine ait kabul edilmektedir.

İş yerinde iş nedeniyle araç kullananlar daha fazla süre trafikte bulduklarından trafikte daha yoğun yer almanın ihlal ve kazalarla ilişkisi belirlenmek istenmektedir.

Tablo 1 Anket verilerinin sosyo-ekonomik yapıya göre gruplandırılması.

		MALATYA		AYDIN	
		Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
Cinsiyet	Kadın	146	36,5	103	24,7
	Erkek	254	63,5	314	75,3
Yaş	18-19	11	2,75	33	7,9
	20-21	22	5,5	105	25,2
	22-23	59	14,75	105	25,2
	24-25	110	27,5	85	20,4
	26-27	105	26,25	51	12,2
	28-29	93	23,25	38	9,1
	<Asgari ücret	135	33,75	86	20,6
Kişisel Aylık gelir	Asgari ücret-1500	149	37,25	226	54,2
	1500-2500	87	21,75	76	18,2
	2500-3500	25	6,25	21	5
	3500+	4	1	8	2
	İlkokul mezunu	128	32	95	22,8
Eğitim seviyesi	Ortaokul ve lise mezunu	252	63	159	38,1
	Yüksek okul öğrencisi+mezunu	20	5	163	39,1
	Lisans öğrencisi+mezunu				
	Yüksek lisans öğrencisi+mezunu				

Gençlerin sosyo-ekonomik ve demografik yapılarının, sürüş davranışları ve trafik kural ihlalleri ile olan ilişkisinin saptanması çalışmanın ana hedefidir. Bu nedenle anket yapılması amacı ile seçilen iller birbirinden, kent kültürü ve sosyo-ekonomik yapı bakımından farklılık gösterse de, her il için kendi içinde bu değişkenler açısından

belirleyici farklılıklar gösteren bölgelerin saptanması ve anketlerin bu farklı bölgelerde uygulanması gerekmektedir. Bu amaçla her ilde, yüksek-düşük gelir, yüksek-düşük eğitim seviyesi ve kültürel farklılıkların bulunduğu bölgeler saptanmış, her bölgede yapılacak anket sayıları ve her bölgede çalışacak anketörler önceden belirlenmiştir. Bu amaçla anket yapılan iki ilde de kent merkezi, sanayi sitesi, alışveriş merkezi, gençlerin yoğun olarak bulunduğu kafeteryalar ve okul çevreleri gibi farklı bölgelerde anket çalışmaları yürütülmüştür.

Trafik Kural İhlalleri

İkinci kısım kural ihlalleri ile ilgili veri toplamaya yöneliktir. Bu kısım alt kategorilerden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında dört ana trafik kural ihlali incelenmiştir. Bunlar: Kırmızı ışık, emniyet kemeri, hız ve alkoldür. Bu ihlallerin yanı sıra cep telefonu kullanımı ile ilgili ek sorular da sorulmuştur.

Emniyet Kemeri Kullanımı

Dünya genelinde ulaştırma altyapısına yapılan yatırımların hızla artmasına ve bazı ülkelerde toplam kaza sayılarının azalmasına rağmen, birçok ülkede özellikle genç kaza oranlarının azalmadığı, bazı ülkelerde arttığı görülmektedir. Sürücü davranışları ve trafik düzenlemelerinde yetersiz yaptırımlar bu durumun temel nedenlerindedir. Ülkemizde diğer trafik ihlallerine göre daha az denetlenmesi ve daha hafif yaptırımlara sahip olması nedeniyle emniyet kemeri kullanmamanın en sık görülen ihlallerden olduğu söylenebilir. Abdel-Aty ve diğ. (2012), emniyet kemerinin yaralanma ve ölüm riskini azaltan en etkili etmenlerden olduğunu, çapraz emniyet kemerinin ölüm riskini %48 oranında azalttığını ve 2007 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde emniyet kemeri kullanımı %100 oranında olsaydı 5,024 hayatın daha kurtarılacağını belirtmektedir.

Emniyet kemeri kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Pek çok faktörün emniyet kemeri takmayı etkilediği ortaya çıkmıştır. Bunlar cinsiyet (Preusser v.d., 1991; Miller v.d. 1998), yaş ve sosyal statü (Clark, 1993) davranış kalıpları ve alkol kullanımı, riskli sürüş (Foss ve diğ., 1994; Robertson, 1996), yasal düzenlemelere uyma (Preusser ve diğ., 1988; Mortimer, 1992) gibi faktörlerdir.

Kuveyt'te, trafikte seyretmekte olan 821 adet rastgele sürücü seçilerek, arkadan başka bir araçla takip edilmiş, suça yönelik davranışları, uyrukları, yaş aralıkları, cinsiyetleri, yol türü, takip saati, yolculuk süresi ve kat edilen yol gözlemlenerek kaydedilmiştir. Yapılan çalışmada gözlemlenen sürücülerin %57'si (n=470) emniyet kemeri kullanmaktadır ve yaş azaldıkça emniyet kemeri kullanmamanın arttığı gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre emniyet kemeri kullanmayan sürücülerin kilometre başına trafik ihlalinde bulunma sayısı, emniyet kemeri kullanan sürücülerin 2 katından fazladır (Koushki ve diğ., 1998).

Emniyet kemeri kural ihlalinin incelendiği bu kısımda katılımcılara emniyet kemerini arkadan bağlayıp bağlamadıkları sorulmuştur. Bu soru ile kişinin emniyet kemerinin koruyucu özelliğine ne kadar önem verdiği anlaşılabilir.

Diğer ihlal sorularında olduğu gibi emniyet kemeri kullanımına yönelik sorularda da son üç yılda alınan ceza ve bu cezaların katılımcılar tarafından caydırıcı bulunup

bulunmadığı sorulmuştur. Lajunen ve Özkan (2004), trafik kazalarının cezalarla ilişkisinde en somut göstergenin son üç yılda alınan cezalar olduğunu belirtmektedir.

"Emniyet kemerini arkadan bağlar mısınız?" sorusuna, Aydın İli'nde 70 (%17), Malatya İli'nde ise 53 (13%) kişi "Arasıra", "Sıklıkla" ve "Her zaman" cevaplarını vermiştir. Ancak bu cevabı veren sürücülerden Aydın'da 68'i (%97), Malatya'da 50'si (%94) son üç yılda hiç emniyet kemeri cezası almadıklarını belirtmiştir. "Bazen araç sürerken emniyet kemeri takmadığımız oluyor mu? Hangi durumlarda?" sorusuna Aydın'da 296 (71%), Malatya'da 257 (64%) kişi "Kısa mesafede" cevabını vermiştir. Bu soruya "Sürekli takarım" cevabını veren sürücülerin Aydın'da %39'u erkekken, Malatya'da %64'ü erkektir. İki ilde de "Şehir dışı yolda" cevabını veren sürücü bulunmamaktadır. "Emniyet kemeri cezaları caydırıcı buluyor musunuz?" sorusuna Aydın'da 221 kişi (%53) "Evet", 80 kişi (%19) "Hayır", 116 kişi (%28) "Fikrim yok", Malatya'da ise 175 kişi (%44) "Evet", 105 kişi (%26) "Hayır", 120 kişi (%30) "Fikrim yok" cevabını vermiştir. Sonuçlar her iki ilde de, şehir içinde, emniyet kemeri denetimlerine yeterli önem verilmediğini göstermektedir.

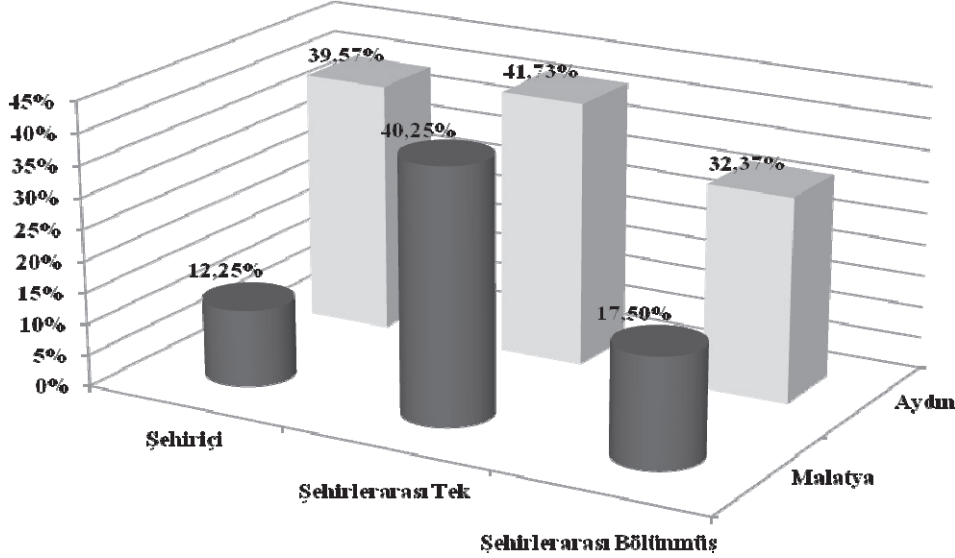
Hız Sınırı İhlali

Hızlı araç kullanmak genç sürücülerde sıkça yapılan ve trafik kazalarında temel sebep olarak en sık rastlanan kural ihlallerindendir (Abdel-Aty ve diğ., 2012) ve ehliyet aldıktan sonraki üç yıl içinde bu tür cezalar artmaktadır. Bunun sebebi sürücülerde gittikçe artan güven duygusudur (Forsyth, 1995). Corbett (2003), genç erkek sürücülerin hızlı araç kullanmaktan zevk aldıklarını ve böylece hız ihlallerinin arttığını ortaya koymuştur.

McGwin ve Brown (1999), genç, orta yaşlı ve yaşlı sürücülerin kaza nedenleri ile ilgili çalışmalarında, Amerika Birleşik Devletleri'nde 136.465 kaza verisini inceleyerek, hız sınırı ihlalleri nedeniyle gerçekleşen kazaların sürücü yaşı arttıkça azaldığını saptamışlardır. Bu oranlar genç sürücülerde (16-34) %3,4 iken, orta yaşlı (35-54) ve yaşlı (55+) sürücülerde sırasıyla %1,4 ve %0,3 değerlerini almaktadır.

Bu bölümde ilk olarak nasıl araç kullanırsınız sorusu sorularak kişilerin kendi araç kullanımlarını değerlendirmeleri beklenmiştir. Hemen arkasından şehir içi ve şehirlerarası tek ve şehirlerarası bölünmüş yollardaki hız limitleri sorularak katılımcıların hız limitlerini doğru bilip bilmedikleri belirlenmiştir (Şekil 1). Böylece bir önceki soruyla da bağlantı kurularak kişilerin hangi hız limitini referans alarak hızlı, normal veya yavaş araç kullandıklarını düşündükleri konusunda bilgi edinilmiştir. Katılımcılara ortalama hangi hızla araç kullandıkları sorulmuş ve dört ayrı yol tipi için (şehir içi, şehirlerarası gidiş geliş tek yol, şehirlerarası bölünmüş yol ve otoyol) verilen hız aralıklarının hangisinde araç kullandıklarını belirtmeleri istenmiştir. Bu soru ile kişilerin hangi tip yollarda hız sınırını aşmaya meyilli oldukları anlaşılmış ve en çok hangi yol tipinde gençlerin hız sınırı kural ihlalini gerçekleştirdikleri belirlenmiştir. "Nasıl araç kullanırsınız?" sorusuna Aydın'da 355 kişi (%85), Malatya'da 339 kişi (%85) "Normal" cevaplarını vermiştir. "Normal" hızda araç kullandığını düşünen sürücülerin, ortalama araç kullanma hızları cevaplarına göre, Aydın'da 99 kişi (28%), Malatya'da 24 kişi (%7) tüm yol tiplerinde hız sınırının üstünde araç sürdükleri görülmüştür. Yine bu soruların cevaplarına göre, iki ilde de "Yavaş" araç kullandığını belirten tüm sürücüler hız sınırlarının altında araç kullanmaktadır. Genç sürücülerin ortalama araç kullanma hızları her yol tipi için ayrı ayrı incelendiğinde, şehir içi yolda

Aydın'da 322 (%77) Malatya'da 357 (%89), şehir dışı gidiş-geliş tek yolda Aydın'da 153 (%37), Malatya'da 82 (%21), şehir dışı bölünmüş yolda Aydın'da 161 (%39), Malatya'da 67 (%17), otoyolda ise Aydın'da 260 (%62), Malatya'da 156 (%39) sürücünün hız sınırlarının üstünde araç kullandığı görülmektedir.



Şekil 1 Aydın ve Malatya illerinde hız sınırlarını doğru bilen genç sürücü oranları.

Sürücülerin araçlarında başka yolcu bulunması durumunda, bu kişilere zarar gelmemesi adına, hızlarında normal hızlarına göre değişiklik yapmaları beklenebilmektedir. Ayrıca araçta karşı cinsiyetten yolcu bulunması durumunda hız sınırlarının zorlanabileceği düşünülmektedir. Yolcu durumu ile ilgili sorulan bir soru ile gerçekte araçta yolcu bulunması ve bulunuyorsa yolcu tipi ile sürücünün hızı arasında bir ilişki olup olmadığı görülmek istenmiştir. Aydın'da 136 (%33), Malatya'da ise 135 (%34) genç sürücü araçta yolcu olması durumunda daha yavaş araç kullanacaklarını belirtmiştir. Bu durumda stajyer sürücü ehliyeti sisteminin genç sürücülerin yüksek hız nedeniyle yaptıkları kazaları azaltacağı söylenebilir.

Hız sınırı ihlali bölümünde de kişilere son 3 yılda aldıkları ceza sayısı ve hız cezalarını caydırıcı bulup bulmadıkları sorulmuştur. Aydın'da 111 (%27), Malatya'da ise 93 (%23) genç sürücü son üç yılda en az bir kere hız sınırı ihlali gerçekleştirmiştir. Aydın'daki kadın sürücülerin %7'si, erkek sürücülerin %33'ü, Malatya'daki kadın sürücülerin %23'ü, erkek sürücülerin %23'ü en az bir kere hız sınırı ihlali gerçekleştirdiklerini belirtmiştir. "Hız sınırı ihlali cezalarını caydırıcı buluyor musunuz?" sorusuna Aydın'da 335 kişi (%80) "Evet", 47 kişi (%11) "Hayır", 35 kişi (%9) "Fikrim yok", Malatya'da ise 230 kişi (%58) "Evet", 116 kişi (%29) "Hayır", 54 kişi (%13) "Fikrim yok" cevabını vermiştir.

Kırmızı Işık İhlali

Gençlerde sıkça gözlenen riskli araç kullanma davranışı çoğu zaman kırmızı ışık ihlallerinde kendisini göstermektedir. Konuyla ilgili yapılmış çalışmalarda saptanan, kırmızı ışık ihlali yapmayı etkileyen faktörler incelenmiş ve bu değişkenler; sürücü değişkenleri, trafik ve çevre değişkenleri başlıkları altında incelenmiştir. Sürücü

değişkenlerinde öne çıkanlar; yaş, cinsiyet, yolcu sayısı, emniyet kemeri ve ceza geçmişi olarak bulunmuştur. (Yang ve diğ., 2007).

2011 yılında ülkemizde kırmızı ışık ihlalden kaynaklanan 3.041 adet kaza gerçekleşmiştir (TÜİK, 2011). Eskişehir'de 2009 yılında gerçekleşmiş olan polis kayıtlı 1.688 kazanın incelendiği çalışmada, temel hatalar ve ihlaller sonucu gerçekleşen 1.192 kaza ve minör hatalar ve ihlaller sonucu gerçekleşen 496 kaza gruplanarak, ayrı ayrı incelenmiştir. Temel hatalardan kaynaklanan kazalarda, kırmızı ışık ihlalden kaynaklanan 64 (%5,4) kaza bulunmaktadır ve 63 adedi erkek sürücüler tarafından yapılmıştır (Karacasu ve Er, 2011).

Koushki ve diğ. (1998), tarafından Kuveyt'te üniversite öğrencilerine yapılan ankette, kırmızı ışık ihlali verilmesi gereken ceza sorulmuş ve en çok verilen cevap, seçeneklerde en ağır ceza olan hapis cezası olmuştur. Buna rağmen öğrencilerin büyük çoğunluğu ceza geçmişleri ile ilgili sorulan sorularda en az bir kere bu cezayı aldıklarını belirtmişlerdir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir çalışmada, Sacramento California'da 1999-2003 arasında kavşak kameralarınca kaydedilen 47.000 kırmızı ışık ihlali incelenmiş ve trafik ışığı ihlali ile ilişkili etkenler araştırılmıştır. Çalışma genç sürücülerin kırmızı ışıkta geçmeye daha meyilli olduğunu göstermektedir. Veri sonuçlarına göre kırmızı ışık ihlali, diğer yaş gruplarına oranla, en çok 20-29 yaş arası sürücüler yapmaktadır (Yang ve diğ., 2007).

Gündüz trafiğin daha yoğun olması ve trafik cezası alma olasılığının yüksek olması göz önüne alındığında kişinin kırmızı ışıkta geçme eğiliminin gece koşulları ile farklı olabileceği düşünülmüş ve gündüz ve gece kırmızı ışık ihlali davranışını saptamak amacı ile "Yol boş olduğunda kırmızı ışıkta geçer misiniz?" sorusu gündüz ve gece için ayrı ayrı sorulmuştur. Aydın'da gündüz kırmızı ışıkta "Asla" geçmeyeceğini belirten 341 kişinin 301'i, Malatya'da ise 339 kişinin 250'si gece kırmızı ışıkta "Asla" geçmeyeceklerini belirtmiştir. Kırmızı ışıkta gündüz ve gece geçme sıklıkları ile ilgili tüm cevap yüzdeleri Tablo 2'de belirtilmiştir.

Kişilere son üç yılda aldıkları kırmızı ışık cezaları sorulmuştur. Kişilerin cezaları caydırıcı bulup bulmadığı sorusu mevcut cezaların nasıl algılandığını öğrenmeye yöneliktir. Aydın'da 23 (%5,5), Malatya'da ise 35 (%8,8) genç sürücü son üç senede en az bir kere kırmızı ışık ihlali gerçekleştirmiştir. "Kırmızı ışık ihlali cezalarını caydırıcı buluyor musunuz?" sorusuna Aydın'da 336 kişi (%81) "Evet", 47 kişi (%11) "Hayır", 34 kişi (%8) "Fikrim yok", Malatya'da ise 208 kişi (%52) "Evet", 107 kişi (%27) "Hayır", 85 kişi (%21) "Fikrim yok" cevabını vermiştir.

Tablo 2 "Yol boşken kırmızı ışıkta geçer misiniz?" sorusu cevapları.

Yol boşken kırmızı ışıkta geçer misiniz?											
		Asla		Nadiren		Ara Sıra		Sıklıkla		Her zaman	
		Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%
Aydın	Gündüz	341	81,8	49	11,8	22	5,3	3	0,7	2	0,5
	Gece	306	73,4	67	16,1	23	5,5	17	4,1	4	1,0
Malatya	Gündüz	339	84,8	32	8,0	26	6,5	2	0,5	1	0,3
	Gece	252	63,0	73	18,3	60	15,0	12	3,0	3	0,8

Alkollü Araç Kullanma

Fiziki yeterlilik güvenli bir sürüş sergilemek için önemli etkenlerdendir ve alkol/uyuşturucu madde kullanımı ciddi sağlık sorunlarına yol açarak, sürücünün sürüş işlevini gerçekleştirme yeterliliğini ortadan kaldırmaktadır (Abdel-Aty ve diğ., 2012). Çalışmalar göstermektedir ki ciddi trafik kazalarına karışan sürücülerde yüksek alkol oranları gözlenmektedir (U.S. Department of Health and Human Services, 1998).

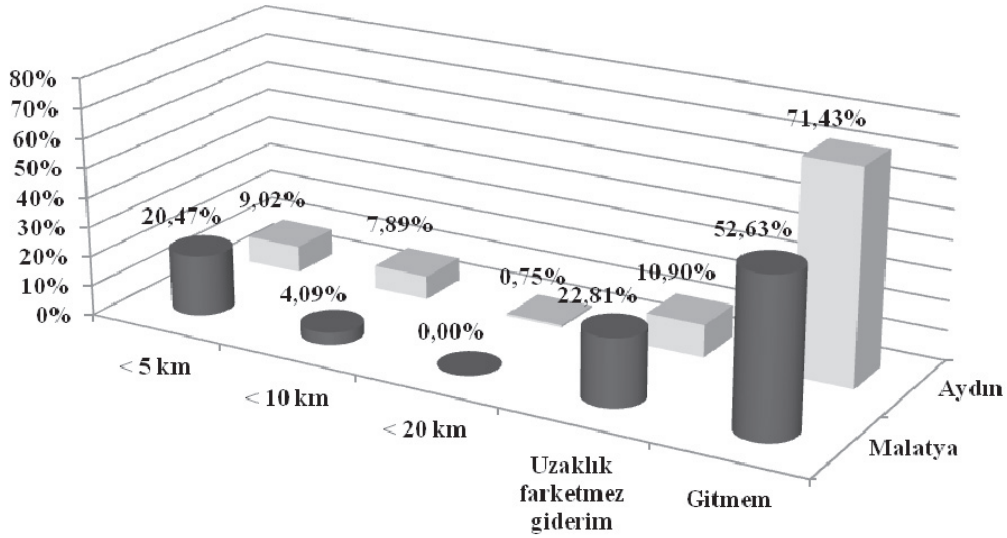
Alkollü araç kullanımı ile ilgili kısımda sadece alkol kullanan genç sürücülerle ilgilenildiğinden kişiye ilk önce "Alkol kullanır mısınız?" sorusu yöneltilmektedir. "Alkollü birinin aracına biner misiniz?" ve "Alkol cezalarını caydırıcı buluyor musunuz?" soruları tüm katılımcılara yöneltilmiştir. Diğer sorular ise sadece alkol kullananlara sorulmuştur. Bu şartları sağlayan Aydın'da 266 ve Malatya'da 170 sürücü bulunmaktadır.

Yeni Zelanda'da yapılan bir çalışmada katılımcılara son 1 ay içinde alkol alımından itibaren 4 saat içinde kaç kez araç kullandıkları sorulmuştur (Horwood ve Fergusson, 2000). Aynı ilişkinin bu çalışmada da incelenmesi uygun görülmüştür. Aydın'daki erkek sürücülerin %22'si, kadın sürücülerin %9'u, Malatya'daki erkek sürücülerin %21'i, kadın sürücülerin %26'sı son bir ay içinde en az bir kere alkollü araç kullandıklarını belirtmiştir. Son bir ay içinde en az bir kere alkollü araç kullanan sürücülerin, Aydın'da %56'sı, Malatya'da ise %39'u bu alkollü araç kullandıkları durumların en az birinde güvenli araç kullanmalarına engel olacak kadar çok alkol aldıklarını belirtmiştir. Bu durum Aydın ilinde genç sürücülerin risk alma seviyelerinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Ayrıca sürücülere neden alkollü araç kullandıkları sorulmuştur. İki ilde de en çok verilen cevap "Alkollü araç kullanmam" olurken, en çok verilen ikinci cevap, Aydın'da "Başka ulaşım alternatifi olmadığı için" (%15), Malatya'da ise "Alkol araç kullanımını etkilemediği için" (%28) olmuştur. Malatya'da alkollü araç kullanan genç sürücülerin, alkolün araç kullanımını etkilemediğini düşündükleri ve alkollü araç kullanarak risk aldıklarını düşünmedikleri görülmektedir.

Alkollü araç kullanmanın mesafeye bağlı olarak değişimini gözlemlemek için sorulan "İçki içeceğiniz yerlere aracınızla gidip alkollü döner misiniz?" sorusunun cevapları incelendiğinde de Malatya'daki sürücülerin alkollü araç kullanmaya daha yatkın oldukları görülmektedir (Şekil 2).

Tüm kural ihlallerinde olduğu gibi alkollü araç kullanımında da kişilere son 3 yılda aldıkları ceza sayısı ve alkol cezalarını caydırıcı bulup bulmadıkları sorulmuştur. Alkol kullanan genç sürücülerin Aydın'da %7'si, Malatya'da %16'sı son üç yılda en az bir kere alkollü araç kullanma cezası aldıklarını beyan etmişlerdir. "Alkollü araç kullanma cezalarını caydırıcı buluyor musunuz?" sorusuna Aydın'da 326 kişi (%78) "Evet", 46 kişi (%11) "Hayır", 45 kişi (%11) "Fikrim yok", Malatya'da ise 289 kişi (%72) "Evet", 52 kişi (%13) "Hayır", 59 kişi (%15) "Fikrim yok" cevabını vermiştir.



Şekil 2 "İçki içeceğiniz yerlere aracınızla gidip alkollü döner misiniz?" sorusu cevapları.

Cep Telefonu Kullanımı

Cep telefonu kullanımı ile ilgili sorular konuşma ve mesajlaşma olarak iki kategoride sorulmuştur. Cep telefonu kullanımı özellikle gençler arasında oldukça yaygınlaşmıştır. Araç kullanırken dikkat dağınıklığına sebep olan ana faktörlerden biri de cep telefonu kullanımıdır (Abdel-Aty ve diğ., 2012). Mesajlaşma ve konuşma sürücünün tüm dikkatini yola verememesine neden olmaktadır, bu durum da kural ihlali ve kazalara yol açabilmektedir. Yeni Zelanda'da yapılan bir çalışmada sürücülerin mesaj okuma ve yazmayı çok tehlikeli buldukları belirlenmiştir (Hallett ve diğ., 2012). Ankette belirli bir senaryo verilerek kişilerin mesaj yazma, gelen mesajı okuma, gelen çağrıyı cevaplama, arama yapma alışkanlıklarını tespit etmek amaçlanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3 Genç sürücülerin araç sürerken cep telefonu kullanım alışkanlıkları.

	Araç sürerken mesaj okur musunuz?		Araç sürerken mesaj atar mısınız?		Araç sürerken telefon cevaplar mısınız?		Araç sürerken telefon eder misiniz?	
	Aydın	Malatya	Aydın	Malatya	Aydın	Malatya	Aydın	Malatya
Hayır	101	152	168	215	42	31	45	50
Evet	173	99	133	78	260	291	259	200
Sadece dururken	143	149	116	107	21	51	23	114
Kulaklık varsa evet	-	-	-	-	94	27	90	36

Anket Sonuçlarının Modellenmesi

Anketin değerlendirilmesinde logit modeller yardımıyla sürücülerin trafik kural ihlallerini açıklamada kullanılan değişkenlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla ikili (binary) logit model kullanılmış ve son üç yılda trafik kural ihlali yapan ve yapmayan sürücülerin sosyo-ekonomik yapıları ve sürüş davranışları ilişkileri değerlendirilmiştir. Veri analizlerinde NLOGIT 5 Programı kullanılmıştır. NLOGIT 5 kullanıcıların rekabet eden alternatifler kümesinden seçim yaptıkları ulaşım modu,

marka seçimi gibi araştırma konularında çoklu seçim verisinin tahminini ve analizini yapan programlar sağlayan LIMDEP adlı yazılımın bir uzantısıdır.

Modeller kurulurken yalnızca araç sahibi olan veya bir araca sürekli erişimi olan sürücülerin anket verileri kullanılmıştır (Aydın N=244, Malatya N=359). En anlamlı modeli kurmak için Aydın ve Malatya illeri için farklı değişkenler kullanılmıştır. Aydın'da genç sürücülerin son üç yılda en az bir trafik kural ihlali gerçekleştirme durumlarının (VIOLAST3), tüm dünyada yapılan çalışmalar ile paralellik göstererek, cinsiyetin erkek olması ile (SEX) orantılı olduğu görülmektedir (Tablo 4). Eğitim düzeyinin (EDUCATION) artması ile ihlallerin artması, genellikle yüksek eğitime sahip olanların gelir düzeyinin daha yüksek olması ile araca erişimlerinin daha kolay olacağı ve daha çok kullanacakları durumu ile açıklanırken, bir hafta içinde kullanım sıklığının (DRIVEFRE) ihlaller ile ters orantılı olması, sık araç kullanan sürücülerin tecrübe ve trafiğe adaptasyonlarının daha yüksek olması ile açıklanabilir. Sürücünün yaptığı tüm kazaların sayısı (ACCIDENT) ve trafik kural ihlallerinin orantılı olduğu görülmektedir. Sürücülerin kendilerine 10 üzerinden verdikleri sürüş becerisi puanının 6'dan büyük olması durumu (SKILLB6) kural ihlali yapma ile doğru orantılıdır. Kendine yüksek puan veren sürücülerin trafik kural ihlali yapma olasılıklarının daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 4 NLOGIT 5 Aydın ikili logit model sonuçları.

AYDIN Binary Logit Model for Binary Choice (***, **, * Anlamlılık düzeyi %1, %5, %10.)						
VIOLAST3	Coefficient	Standard Error	z	Prob. z >Z*	95% Confidence Interval	
Constant	-3.37569***	.82303	-4.10	0.0000	-4.98881	-1.76258
SEX	1.33369***	.41892	3.18	0.0015	0.51261	2.15476
EDUCATIO	0.19858*	.10198	1.95	0.0515	-0.00129	0.39845
DRIVEFRE	-0.27886*	.14490	-1.92	0.0543	-0.56286	0.00514
ACCIDENT	0.29796***	.10978	2.71	0.0066	0.08280	0.51312
SKILLB6	1.26980***	.43945	2.89	0.0039	0.40850	2.13110

Chi squared [5 d.f.] = 34.75652, McFadden Pseudo R-squared = .1120619
 Estimation based on N = 244, K = 6, P-value = .02690 with deg.fr. = 8

Malatya'da genç sürücülerin son üç yılda en az bir trafik kural ihlali gerçekleştirme durumları, 18-19 yaş grubuna dâhil olma (YAS1819) durumu ile doğru orantılı, 22-23 yaş grubuna dâhil olma (YAS2223) ile ters orantılıdır. Yaş arttıkça daha az trafik kural ihlali gerçekleştirilmektedir (TABLO 5). Ehliyeteye sahip olma süresi (LICENCEA) ihlaller ile doğru orantılıdır. Son bir yıl içinde kat edilen kilometrenin 5000 km'den az olması (KMLYEAR0) durumunun trafik kural ihlali ile ters orantılı olması, daha az araç kullanan sürücülerin ihlal yapma potansiyelinin daha düşük olması ile açıklanabilir. Aydın ili'nde olduğu gibi sürücünün yaptığı kazaların sayısı ve trafik kural ihlalleri doğru orantılıyken, sürüş becerisi puanı ile kural ihlallerinin, Aydın ili'nin aksine, Malatya'da ters orantılı olduğu görülmektedir.

Tablo 5 NLOGIT 5 Malatya ikili logit model sonuçları.

MALATYA Binary Logit Model for Binary Choice (***, **, * Anlamlılık düzeyi %1, %5, %10)						
VIOLAST3	Coefficient	Standard Error	z	Prob. z >Z*	95% Confidence Interval	
Constant	-0.90837**	0.35798	-2.54	0.0112	-1.61000	-0.20673
YAS1819	2.46489*	1.33896	1.84	0.0656	-0.15943	5.08922

YAS2223	-0.80809*	0.46885	-1.72	0.0848	-1.72701	0.11084
LICENCEA	0.10752*	0.06414	1.68	0.0937	-0.01819	0.23322
KMLYEAR0	-1.46728**	0.59824	-2.45	0.0142	-2.63982	-0.29475
DRVFQW1	-1.30173*	0.71192	-1.83	0.0675	-2.69706	0.09360
ACCIDENT	0.30030***	0.11203	2.68	0.0074	0.08072	0.51988
SKILLB6	-0.83015**	0.37510	-2.21	0.0269	-1.56533	-0.09496
Chi squared [7 d.f.] = 87.03941, McFadden Pseudo R-squared = .1880752						
Estimation based on N = 359, K = 8 P-value = .61269 with deg.fr. = 8						

Sonuç

Türkiye'de farklı illerde, genç sürücülerin yaptıkları trafik ihlalleri ile karıştırdıkları trafik kazaları arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla çalışmaları devam eden bir TÜBİTAK projesinin, farklı sosyo-ekonomik ve kültürel yapılarda ve benzer büyüklükte iki il olan Aydın ve Malatya illerine ait verileri kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, genç sürücülerin sosyo-ekonomik yapıları ile trafik ihlalleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

Aydın'da 417, Malatya'da 400 olmak üzere toplam 817 genç sürücüye anket yapılarak toplanan veriler, incelenmiş ve genç sürücülerin trafik kuralları hakkında ne kadar bilgili oldukları ve risk alma davranışları iki ilde karşılaştırılmıştır. Toplanan veriler kullanılarak kurulan istatistik modeller ile hangi sosyo-ekonomik, demografik ve davranış değişkenlerinin, sürücülerin trafik kuralı ihlallerine yatkınlığında etkili olduğu incelenmiştir.

Genç sürücülerin yaptıkları kural ihlallerinde bilgi eksikliği ve tecrübesizliğin önemli bir rol oynadığı, trafik kural ihlallerinin ve bu ihlaller nedeni ile karışılan trafik kazalarının azaltılması, daha etkili sürücü eğitim teknikleri geliştirilmesi amacıyla daha detaylı ve daha geniş çapta çalışmalara devam edilmesi gerektiği görülmüştür. Çalışmada ortaya çıkan sonuçların sözü geçen illerdeki trafik kural ihlal verileri ile karşılaştırılması yapılacaktır, fakat detaylı verilere ulaşmak zaman almaktadır ayrıca ceza alan bireylerin aynı ilde sürekli ikamet edip etmediklerini belirlemek yazarlar açısından oldukça güçtür.

Teşekkür Bu çalışmada yer alan verilerin bir bölümü TÜBİTAK tarafından 111M760 numaralı Kariyer projesi kapsamında elde edilmiştir. Yazarlar TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirler.

Kaynaklar

Abdel-Aty, M. A., Hassan, H. M., and Siddiqui, C. (2012) Young Drivers Safety Study Final Report, Florida Department of Transportation District 5.

Clark, M. J. (1993) Seatbelt use on a university campus, Journal of American College Health 41 (4), 169-171.

Corbett, C. (2003) Car crime, Crime and Society Series, William Publishing.

Forsyth, E., Maycock, G., and Sexton, B. (1995) Cohort study of learner and novice drivers, Part 3: Accidents, offences and driving experience in the first three years of driving, TRL report 111, Transport Research Laboratory, Crowthorne.

Foss, R. D., Beirness, D. J., and Spattler, K. (1994) Seat belt use among drinking drivers in Minnesota, American Journal of Public Health 84 (11), 1732-1737.

Hallett, C., Lambert, A., and Regan, M. A. (2012) Text messaging amongst New Zealand drivers: Prevalence and risk perception, Transportation Research Part F 15, 261-271.

Horwood, L. J., and Fergusson, D. M. (2000) Drink driving and traffic accidents in young people, Accident Analysis and Prevention 32, 805-814.

Karacasu, M., and Er, M. (2011) An Analysis on Distribution of Traffic Faults in Accidents, Based on Driver's Age and Gender: Eskisehir Case, Procedia - Social and Behavioral Sciences 20, 776-785.

Koushki, P. A., Ali, S. Y., and Al-Saleh, O. (1998) Road Traffic Violations and Seat Belt Use in Kuwait: Study of Driver Behavior in Motion, Transportation Research Record 1640, 17-22.

Lajunen, T. ve Özkan T. (2004) Kültür, Güvenlik Kültürü, Türkiye ve Avrupa'da Trafik Güvenliği, TÜBİTAK SBB-3023.

McGwin, G., and Brown, D. B. (1999) Characteristics of traffic crashes among young, middle-aged, and older drivers, Accident Analysis and Prevention 31, 181-198.

Mortimer, R. G. (1992) Extra enforcement and the use of seat belt by drivers in Illinois, Accident Analysis and Prevention 24 (6), 661-666.

Preusser, D. F., Lund, A. K., Williams, A. F., and Blomberg, A. D. (1998) Belt use by high risk drivers before and after New York's seat belt use law, Accident Analysis and Prevention 20 (4), 245-250.

Preusser, D. F., Williams, A. F., and Lund, A. K. (1991) Characteristics of belted and unbelted drivers, Accident Analysis and Prevention 23 (6), 475-482.

Robertson, L.S. (1996) Reducing death on the road: the effects of minimum safety standards, publicised crash tests, seat belts, and alcohol, American Journal of Public Health 86 (1), 31-34.

Ryan, G. A., Legge, M., and Rosman D. (1998) Age Related Changes in Drivers' Crash Risk and Crash Type, Accident Analysis and Prevention 30 (3), 379-387.

TÜİK (2011) Trafik Kaza İstatistikleri (Karayolu), 2011.

United States Department of Health and Human Services (1988) The Surgeon Generals Workshop on Drink Driving.

Yang, C. Y. D., and Najm, W. G. (2007) Examining driver behavior using data gathered from red light photo enforcement cameras, Journal of Safety Research 38, 311-321.

Kısa Süreli, Yoğun Kontrollerin Emniyet Kemerini ve Kask Kullanımına Etkilerinin Araştırılması: Isparta Örneği

**Buket Çapalı¹, Meltem Saphoğlu²
Serdal Terzi³, Mehmet Saltan⁴**

^{1,2,3,4}Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.

¹Tel: 0 (246) 211 1215, ²Tel: 0 (246) 211 1217

³Tel: 0 (246) 211 1221, ⁴Tel: 0 (246) 211 1216

¹E-posta: buketcapali@sdu.edu.tr, ²E-posta: meltemsaplioglu@sdu.edu.tr

³E-posta: serdalterzi@sdu.edu.tr, ⁴E-posta: mehmetaltan@sdu.edu.tr

Özet

Dünyada trafik kazalarında ölümlü yaralanmaların en büyük ve en önemli nedeni sürücü ve yolcu güvenliğinin sağlanamamasıdır. Bu nedenle emniyet kemeri ve motosiklet kaskı kullanımı sürücü ve yolcuların hayatı açısından önemli güvenlik elemanlarıdır.

Bu çalışmada emniyet kemeri ve motosiklet kaskı kullanımının önemi, dünyada emniyet kemeri ile ilgili yapılan çalışmalar, Türkiye’de trafik güvenliği, emniyet kemeri ve motosiklet kaskı kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar, Isparta’da kısa süreli, yoğun kontrollerin emniyet kemeri ve motosiklet kaskı kullanımına etkisinden bahsedilecektir.

Anahtar Sözcükler: Emniyet kemeri, Motosiklet kaskı.

Giriş

Trafik kazası yaralanmalarında sürücü ve yolcu güvenliğinin sağlanmasında güvenlik elemanlarının kullanımının önemi büyüktür. Emniyet kemeri ve motosiklet kaskı takmanın ölüm ve ağır yaralanmanın en çok meydana geldiği trafik kazalarındaki yararları göz ardı edilemez bir gerçektir.

2012 yılı içerisinde Türkiye genelinde toplam 1.228.928 adet trafik kazası meydana gelmiş, bu kazalarda 3.835 kişi hayatını kaybetmiş, 238.074 kişi yaralanmıştır. Meydana gelen kazaların 24.350 adedi motosiklet sürücülerinin karıştığı kazalardır (TÜİK, 2011).

Emniyet kemeri kullanımının trafik kazalarında ölüm oranını %40-50, ciddi yaralanmaları %35-60, hastane başvurularını %64 oranında azalttığı, arka koltukta oturanlarda ise ölüm oranını %18 engellediği belirtilmektedir. Ülkemizde emniyet kemeri kullanma zorunluluğu şehir dışında 1985, şehir içinde 1992 de uygulanmaya başlandı. Denetimlerin ve tanıtımların etkisiz olması nedeniyle kullanımı hala düşüktür. Motosiklet ise görünüşü açısından, tabiatında var olan bir tehlikeye sahiptir. Otomobil ile yapılan kazalar ufak yaralanmalar ile sonuçlanabilirken, motosiklet ile yapılan kazaların sonu genellikle ölümdür. Bu yüzden kask kullanımı önem taşımaktadır. Karayolları Trafik Kanunu'na göre motosiklet sürücülerinin kask kullanmaları

zorunludur. Motosiklet için koruyucu başlıklar düşük hız kazalarında kafa travmasını azaltırken, orta ve yüksek hızlarda kafanın dağılmasını önler (Can, 2007).

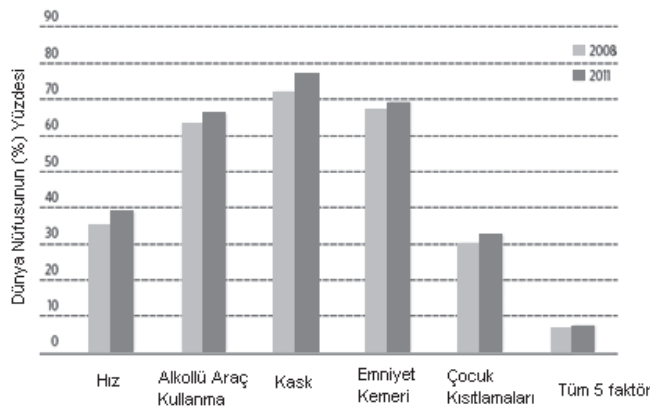
Trafik Güvenliğinde Emniyet Kemerini ve Motosiklet Kaskı Kullanımının Önemi

Arabanın sabit noktaları arasına gerilerek, çarpma etkisini vücudun daha güçlü bölgelerine yönlendirerek; ölüm ve yaralanma riskini azaltan koruyucu araçlara emniyet kemeri denir. 1903'te kullanılmaya başlayan emniyet kemerleri, karnın önünden başlanan ve iki nokta arası tespiti sağlayan araçlardır. Daha sonra, 1958'de İsveç'teki Volvo Fabrikası'nda mühendis olan NilsBohlin, üç noktalı emniyet kemeri olarak bilinen sistemin patentini almıştır. Bu sistemde kişi hem karnın önünden, hem de omuzdan tespit edilmektedir. (EGM, 1999)

Motosiklet, 4 tekerlekli bir araca göre daha çok dikkat ve özen gerektiren bir araçtır. Motosiklet kullanırken en önemli şart kask takmaktır. Pek çok aktivitenin kendine özgü koruyucu ekipmanları vardır. Motosiklet kullanmak da bunlardan birisidir. Kask hayatınızı kurtarır ve motosiklet kullanırken en iyi koruma aracıdır. Kask bir kaza anında beyninizi, yüzünüzü ve hayatınızı korur. Diğer koruyucu giysilerle birlikte kask, kaza anında yaralanmayı en aza indirir. Motosiklet kaskları çok komplikedir ve özel tasarlanmıştır. Yıllar süren bilimsel araştırmaların neticesinde geliştirilmiştir. Bir motosiklet kaskında 4 temel parça bulunur: dış yüzey, darbe emici iç yüzey, konforlu ped ve iyi bir sabitleme sistemidir. (<http://moteg.tr.gg/KASKIN--Oe-NEM%26%23304%3B.htm>, 2013)

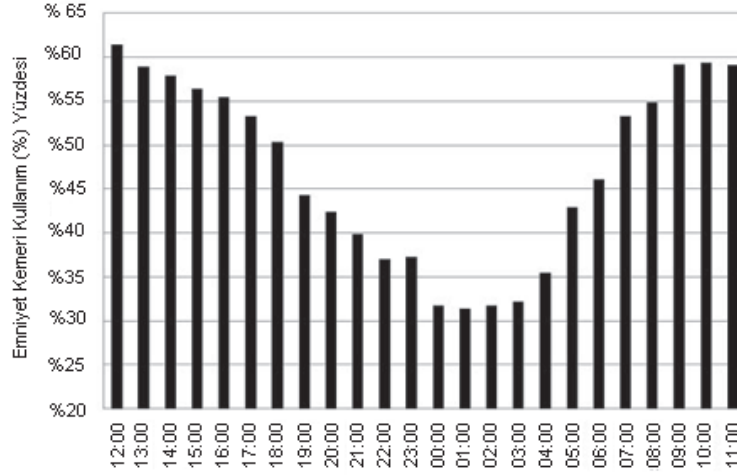
Dünyada Emniyet Kemerini ile İlgili Yapılmış Araştırmalar

Dünya sağlık örgütünün 2013 raporunda yayınladığı emniyet kemerinin kullanımının artırılması için emniyet kemeri ile ilgili kanunların sıkılaştırılması, emniyet kemeri ile ilgili kanunların gerekliliğinin ne kadar önemli olduğunun vurgulanması, bazı ülkelerin emniyet kemeri kullanım istatistikleri ele alınmıştır. Dünyada 2008-2011 yılları arasında 35 ülkede dünya nüfusunun yaklaşık %10'u 5 risk faktörü olarak görülen hız, alkollü araç kullanma, emniyet kemeri, kask, çocuk sınırlamaları ele alınarak bunlarla ilgili kanunlar koymuşlardır. (WHO, 2013)



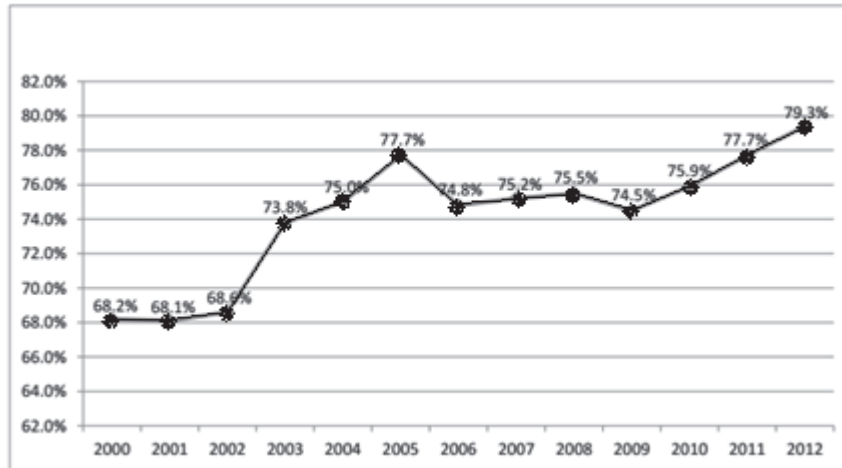
Şekil 1 2008-2011 yılları arasında dünyadaki 5 risk faktörü değişim grafiği (WHO, 2013).

Emniyet kemeri kullanımındaki hatalar araç sahiplerinin ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarında en önemli risk faktörü olarak görülmektedir. Emniyet kemeri kullanımında etkili bir artışın sağlanabilmesi için hükümetlerin kanunları uygulamada emniyet güçlerinin istikrarlı ve güçlü çalışmalarına ihtiyaçları vardır (WHO, 2013).



Şekil 2 ABD’de gece emniyet kemeri kullanım oranları (<http://www.degistirebiliriz.org>, 2013).

NHTSA verilerine dayanarak oluşturulmuş Şekil 2’deki grafikte, 2006-2008 yılları arasında ABD’de gerçekleşen ölüm ve ciddi yaralanmalarla sonuçlanan kazalardaki emniyet kemeri kullanımının, kazaların meydana geldiği saatlere göre oranlarını göstermektedir. NHTSA’nın yaptığı bu araştırma, emniyet kemeri kullanımının gece yarısı ile sabah 04:00 saatleri arasında gündüz saatlerine oranla neredeyse yarı yarıya azaldığını gösteriyor. Yine aynı araştırma sonuçlarına göre ölümlü sonuçlanan vakaların %27’si sabah karşı 03:00 ile sabah 09:00 saatleri arasında gerçekleşiyor. Risk taşıyan bu 6 saatlik dilim, 24 saatin %25’i gibi görünse de, bu saatler arasındaki trafik yoğunluğu toplam trafiğin %15’inden daha düşüktür. Gece saatlerinde trafikteki araç sayısındaki azalmanın kaza riskini de azaltacağı yanılgısı, emniyet kemeri kullanım oranlarındaki düşüşün en önemli nedenidir. Oysaki gece saatlerindeki alkollü araç kullanımındaki artış, görüş mesafesindeki azalma, trafikteki uykusuz ve yorgun sürücüler gibi etkenler kaza riskini önemli oranda arttırmaktadır (<http://www.degistirebiliriz.org>, 2013).



Şekil 3 1999-2012 Louisiana emniyet kemeri kullanımı (LeBlanc, 2012).

Türkiye’de Trafik Güvenliği, Emniyet Kemerleri ve Motosiklet Kullanım Oranları

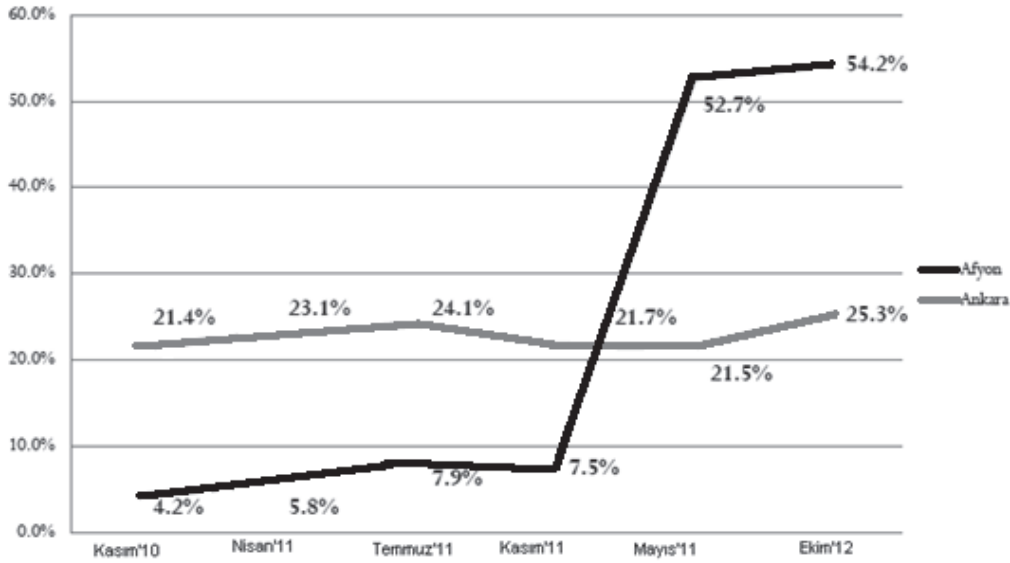
Dünya Sağlık Örgütü ile Sağlık Bakanlığı, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı ve İçişleri Bakanlığı arasında yürütülen RS10 yol güvenliği projesi devam etmektedir. DSÖ tarafından hazırlanan 2009 yılı Küresel Yol Güvenliği Durum Raporu doğrultusunda Merkezi New York’da bulunan Bloomberg Vakfı’nın, 10 ülkede proje başlatmak üzere DSÖ’ne maddi kaynak ayırmasının ardından Türkiye, 10 ülkede "Yol Güvenliği Projeleri" (RS 10) içinde yerini almıştır. Diğer 9 ülke; Brezilya, Meksika, Mısır, Kenya, Çin, Vietnam, Rusya, Kamboçya ve Hindistan’dır. Bu kapsamda trafik kazaları ve buna bağlı yaralanma ve ölümlerin azaltılması amacıyla hızın azaltılması ve emniyet kemeri kullanımının artırılmasına yönelik mevzuat çalışmaları, eğitimler ve sosyal pazarlama kampanyaları yürütülmektedir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2012; Baydar, 2013).

2009 yılı Haziran ayında planlama çalışmaları başlatılan projenin uygulama illeri olarak Afyon ve Ankara, risk faktörleri olarak ise hız ve emniyet kemeri seçilmiştir. İlk toplantı 4 Haziran 2010 tarihinde Ankara’da, ikinci toplantı 25 Ocak 2011 tarihinde Afyon ilinde yapılmıştır. 2013 yılı içinde Antalya ili proje kapsamına dahil edilecektir. Projenin ülkemizdeki belli başlı uygulayıcıları; DSÖ, Sağlık ve İçişleri Bakanlıkları, Emniyet Genel Müdürlüğü, en önemli destekçileri ise Ulaştırma, Milli Savunma ve Milli Eğitim Bakanlıkları ile 3 üniversite ve Karayolu Trafik ve Yol Güvenliği Araştırma Derneğidir (Baydar, 2013).

2011 yılında Afyonkarahisar’da emniyet kemeri kampanyası ile çalışmalar başlanmıştır. Şekil 4’te görüldüğü gibi çalışma başlangıcında ilk iki ay emniyet kemeri kullanım oranları artmış fakat sonraki iki ay bir düşüş gerçekleşmiş, daha sonra ani bir yükselme olmuştur. Bu yükselmenin sebebi incelendiğinde görülmektedir ki, Mart 2012’de Afyonkarahisar Valisinin, bütün sürücülerin emniyet kemeri kullanma gerekliliği ile ilgili çıkarmış olduğu kararname ile; geniş bir bilinçlendirme artışı, radyo televizyon reklam panoları, işyerlerinde bina dışı reklam afişleri ile geniş bir sosyal pazarlama kampanyası, yerel medyadan destekle emniyet kemerinin kullanımının bilinçlendirilmesindeki artış, polis eğitimiyle görünür bir güçlenme ve hem akademik hem de politik ilerlemenin düzenli gözlemlenmesi ile emniyet kemeri kullanımında yaklaşık %49’luk bir artış oranına ulaşmıştır.

Yapılan bu ilk kampanyadan çıkartılacak ders toplumsal pazarlama çabalarının ve kanun uygulayıcıların birlikte hareket etmesi gerektiğidir. Yol güvenlik kanunları halen asıl araç sahiplerinin muaf oldukları boşlukları kapatmak için yenilenmektedir. Aynı zamanda diğer önemli bir ders de grafikten anlaşılacağı gibi bu çalışma önemsenmesi gereken arada boşluk verilmemesi gereken, düzenli ve sürekli sıkı denetimlerle desteklenmesi gereken bir çalışmadır. Ancak bu şekilde grafikteki emniyet kemeri kullanım oranı değeri yükseltilebilecektir. Bir başka deyişle bu tip önemli proje çalışmalarında, paydaşların sürdürülebilir bir gelişme için el birliği ile aktivitelerin devamlılığını sağlamaları kalıcı gelişmeler için çok gereklidir. Özellikle trafikte insan davranışını geliştirip, rutin davranış biçimi haline gelmesi için en az 4-5 yıl geçmesi gerektiği düşünülürse bu tip çalışmalara kararlılıkla devam edilmelidir.

Gelişimin verdiği cesaretle, Ankara Valisi de benzer bir kararnameyi Ağustos 2012’de düzenlemiştir. Şekil 4 ‘de Afyonkarahisar ve Ankara emniyet kemeri kullanım artış grafiği görülmektedir (WHO, 2013).



Şekil 4 Afyonkarahisar ve Ankara emniyet kemeri kullanım oranı (WHO, 2013).

Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization) resmi sitesinde yayınlanan kaza ölüm oranları istatistiklerine göre 2010 yılında Türkiye’de %59.2 4 tekerlekli araçlar, %8.5 2 ve 3 tekerlekli motorlu araçlar olmak üzere 8.758 ölümlü trafik kazası meydana gelmiştir (<http://apps.who.int/gho/data/node.main.A997?lang=en>).

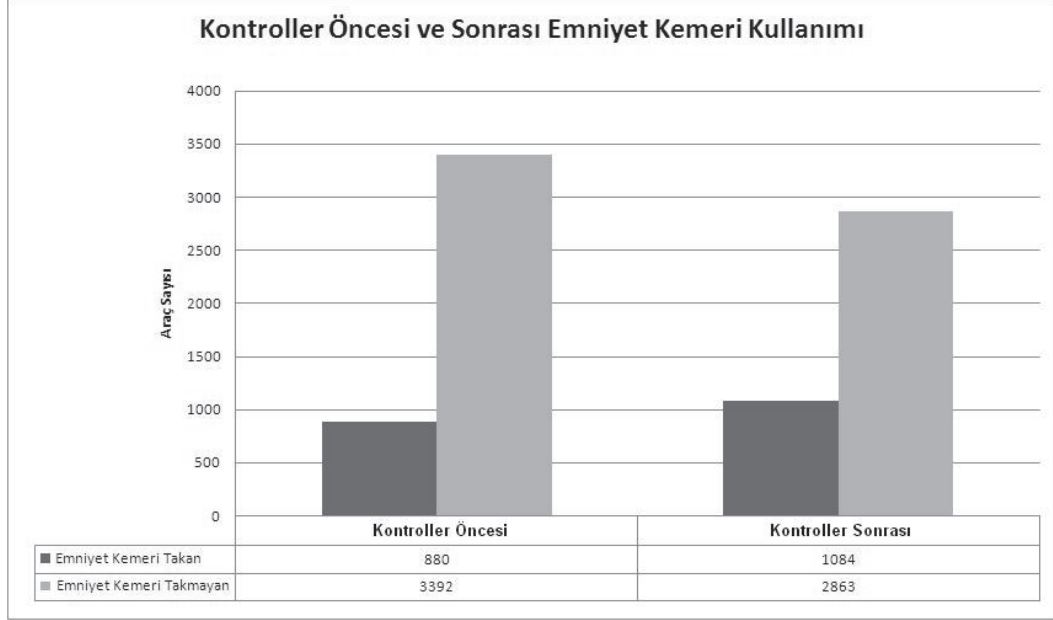
Türkiye de A1 sınıfı 17 yaş ve üzeri olan yani motorlu bisiklet kullanan belgeli insan sayısı 57.232 kişidir. A2 sınıfı 17yaş ve üzeri motosiklet kullanan belgeli insan sayısı 660.817 kişidir. Eylül 2009 itibariyle Türkiye’de A2 sınıftan tescilli motosiklet sayısı 2.286.272’dir. Buna göre motosiklet kullanan 1.622.455 kişi aracını eğitimsiz ve belgesiz kullanmaktadır. Bunun da oranı %72’dir. 2009 Yılıının ilk 9 ayında Türkiye de motorlu bisiklet ve motosiklet olarak 11.300 ölümlü ve yaralanmalı trafik kazası olmuştur. Araştırmalara göre yıllık insan kaybı 500 kişidir. Bunların çoğu da maalesef 20 yaş gurubunun altındadır. Motosiklet kullananların % 72’si eğitimsiz ve belgesizdir (<http://www.trafik.org.tr/arastirmalar.html>)

Araştırma Bulguları

Bu çalışma kapsamında, Isparta ili şehir merkezinde emniyet kemeri ve kask kullanımı ile ilgili olarak bazı sayımlar yapılmıştır. Daha sonra Isparta Emniyet Müdürlüğü tarafından Trafik Haftası nedeniyle yapılan bir haftalık kısa süreli ve sık denetimler sonrası aynı bölgede sayımlar tekrar alınmıştır.

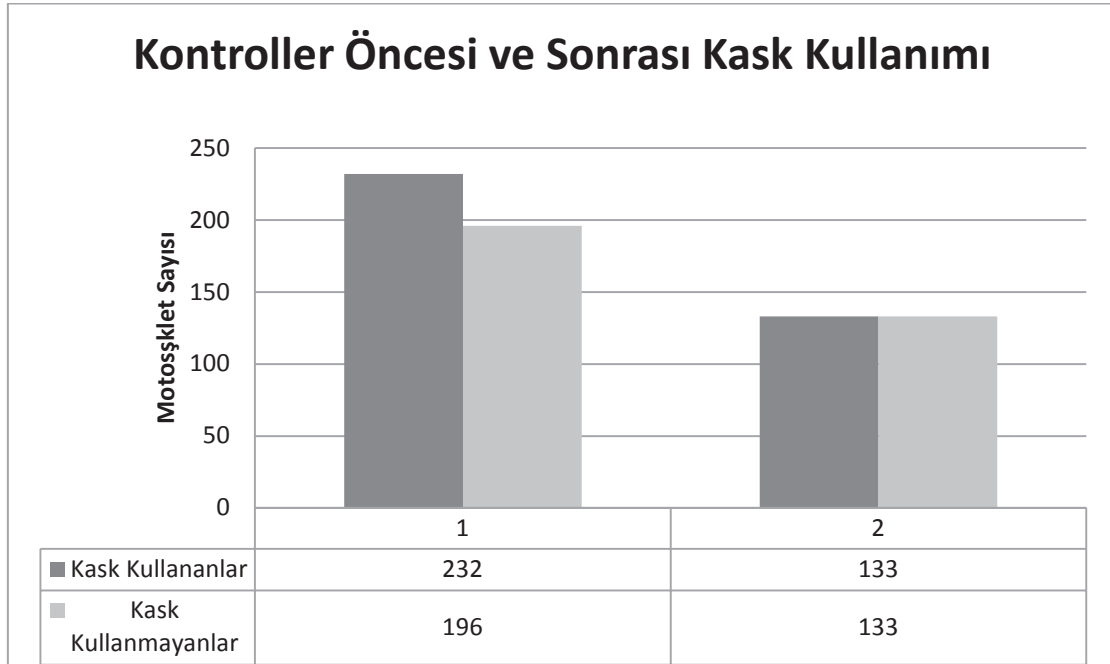
2013-2014 yılları hız ve emniyet kemeri yılı olarak belirlenmesi nedeniyle, Emniyet Müdürlüğü tarafından, özellikle radarla hız kontrolüne emniyet kemeri ve motosiklette kask uygulamaları ile ilgili kontroller bir hafta süre ile yapılmıştır. Kontroller yerinde denetleme ve plakaya gönderme şeklinde yapılmıştır. Bu kontrollerin yanı sıra

farkındalığı arttırmak amacıyla emniyet kemeri kullanımı emniyet kemeri çarpma ve devrilme simülatörleri, simülasyon çalışmaları ile vatandaşlara emniyet kemerini herkesin takması gerektiği mesajı verilmiştir. Yapılan tüm aktiviteler yerel yazılı ve görsel basında yer almıştır. Bir haftalık yapılan yoğun denetim öncesi ve sonrası alınan emniyet kemeri kullanımı ve kask kullanım verileri değerlendirilmiştir.



Şekil 5 Isparta’da kontroller öncesi ve sonrası emniyet kemeri kullanımı.

Şekil 5’de kısa süreli yapılan kontrollerin emniyet kemeri kullanımını %20,59’dan %27,46’ya arttırdığı görülmektedir.



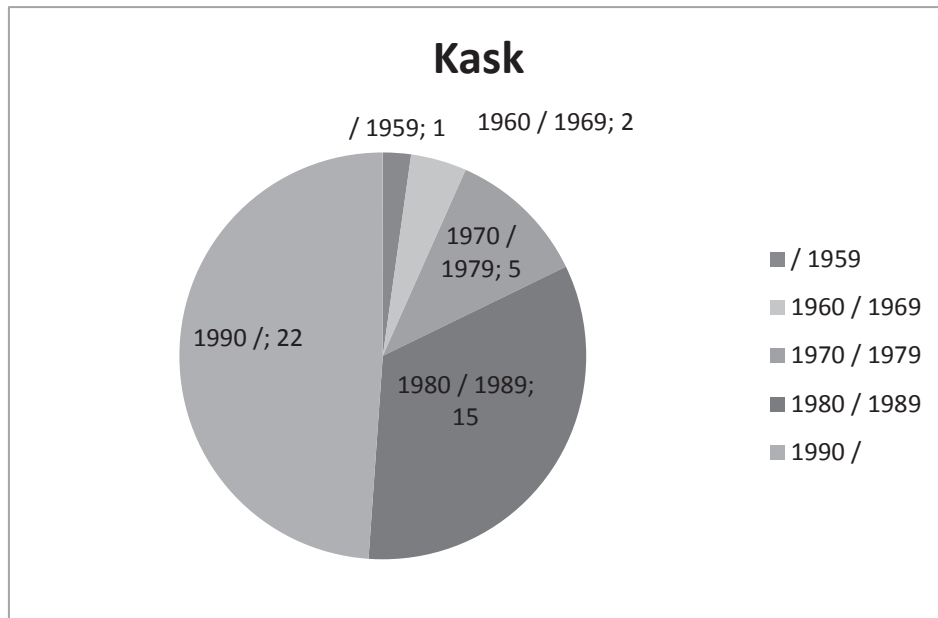
Şekil 6 Isparta’da kontroller öncesi ve sonrası kask kullanım oranları.

Şekil 6'da görüldüğü gibi kask kullanımı kontroller öncesi %54,02 kullanım oranına sahipken kontroller sonrası %50 seviyelerine gerilemiştir. Sıcaklıkların artması ile birlikte kaskların terleme gibi rahatsızlıklar vermesinden dolayı kullanım oranı düşmektedir. Yapılan kontrollerin kısa süreli olması gibi etkenler kask kullanımında artışın sağlanamamasına neden olmuştur.

Isparta il trafik denetleme şube müdürlüğü tarafından 2013 yılının ilk 5 ayında yazılan trafik cezalarından emniyet kemeri ve kask cezaları Tablo 1'de gösterilmiştir.(Isparta Trafik Denetleme Şube Müdürlüğü. Bilgi güncelleme tarihi 10.05.2013)

Tablo 1 2013 yılı aylık emniyet kemeri ve kask ceza sayıları.

Emniyet Kemeri ve Kask Ceza İstatistikleri		
	Emniyet Kemeri Cezaları	Kask Cezaları
Ocak	2	3
Şubat	-	36
Mart	44	89
Nisan	3	180
Mayıs	9	72
Genel Toplam	58	380



Şekil 7 Kask cezalarının doğum tarihlerine göre dağılımı.

1-10 Mayıs tarihleri arasında yazılan 72 kask cezasından 45 tanesi ehliyet kontrollü 27 tanesi plakaya yazılan cezadır. 45 cezadan sadece bir tanesi yolcuya diğer 44 ceza sürücüyeye aittir. Şekil 7'de kask cezası alan kişilerin doğum tarihlerine göre dağılım

grafiği görülmektedir. Ceza yazılan kişilerin doğum tarihlerine göre dağılımı incelendiğinde; kask cezası alan kişilerin %49 'u 23 yaş ve altı, %33'ü 24-33 yaş arası genç nüfusun oluşturduğu görülmektedir.

Sonuç

Sayımlar şehir içi trafiğin en yoğun olduğu 2 cadde olan 6 Mart Atatürk Caddesi ve Mimar Sinan Caddesinde yapılmıştır. Birinci sayım 26.04.2013 tarihinde ikinci sayım 06.05.2013 tarihinde sabah 09:00-10:00, akşam 16:30-17:30 saatleri arasında yapılmış ilk sayımda emniyet kemeri kullanım oranı %20.59 ikinci sayımda %27.46'dır. Motosiklet kaskı kullanım oranları ise ilk sayımda %54.20, ikinci sayımda %50 olduğu görülmektedir.

Sayımlar arasındaki zaman diliminde trafik haftası etkinlikleri nedeniyle vatandaşlara emniyet kemeri Simulator aracı ile emniyet kemeri takan ve takmayan insanların kaza yapan araçlardaki durumları gösterilmiştir. Emniyet yetkilileri tarafından yerel basına açıklamalar yapılmış, vatandaşların emniyet kemeri ve kask kullanımını konusunda uyarılarak denetimlerin arttırılacağı açıklanmıştır.

Özellikle genç nüfusun emniyet kemeri ve kask kullanımının, güvenlik için hayati önem taşıdığı konusunda bilinçlendirilmesi gerektiği yazılan cezalardaki yaş dağılımında ortaya çıkmaktadır. Trafik güvenliğinde emniyet kemeri ve motosiklet kaskı kullanımının önemi vurgulanmalı, emniyet yetkilileri tarafından yapılan denetimler sıklaştırılmalıdır. Sadece trafik haftası nedeniyle oluşturulmuş bu iyileştirme çalışmasının faydalı olamayacağı, kısa dönemde yapılan çalışmaların sürdürülebilirlik sağlamayacağı tespit edilmiştir. Bundan sonra yapılacak tüm trafik güvenliği çalışmalarının en az 4-5 yıl kararlılıkla sürdürülmesi gerekliliği kanısına varılmıştır.

Teşekkür Çalışma süresinde sayımlar alınırken, Isparta ili Emniyet Müdürlüğü ve Trafik Tescil Şube Müdürlüğü'ne gösterdikleri yardım ve destek için teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Baydar S. (2013) Uluslararası Güvenli Trafik Projeleri ve Türkiye. <http://www.trafik.org.tr/arsiv.html>. Erişim Tarihi: 04.05.2013.

Can, E. F. (2007). Edirne Şehir Merkezindeki Lise Öğrencilerinde Riskli Sağlık Davranışlarının Değerlendirilmesi. Uzmanlık Tezi. Trakya Üniversitesi. Sağlık Bilimleri Fakültesi. Edirne.

LeBlanc, J. A. (2012). 2012 Louisiana Seat Belt and Motorcycle Helmet Use Observation Survey Results.

EGM (1999) Emniyet Genel Müdürlüğü ve Trafik Hizmetleri Başkanlığı "Ülkemizde Emniyet Kemeri Kullanımı" Trafik Hizmetleri Başkanlığı Trafik Araştırma Merkezi Müdürlüğü Yayınları, Ankara .

TUİK (2011) Trafik kaza istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. ISBN 978-975-19-5333-9.

T.C. Sağlık Bakanlığı (2012) 2012 yılı kurumsal mali durum ve beklentiler raporu.

WHO (2013) World Health Organization. Global Status Report on Road Safety.

<http://www.trafik.org.tr/arastirmalar.html>. Türkiye’de Motosiklet Gerçeği ve Yaşanan Kayıplarımız Özel Araştırma 2009. Erişim Tarihi:16.05.2013

<http://apps.who.int/gho/data/node.main.A997?lang=en>. Erişim Tarihi: 02.05.2013.

<http://moteg.tr.gg/KASKIN--Oe-NEM%26%23304%3B.htm>. Erişim tarihi:16.05.2013.

<http://www.degistirebiliriz.org/dosya-konusu/detay.aspx?SectionID=n9xMRpol96pWIBIsoC15%2Bg%3D%3D&ContentID=%2BbEtGFhQ2%2FFcsG0%2Fe56VSA%3D%3D>. Erişim Tarihi: 16.05.2013.

Çok Şeritli Yollarda Yol Yüzey Bozukluklarının Sürücü Davranışı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Metin Mutlu Aydın, Ali Topal

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35160, Buca, İzmir
Tel.: (0232) 301 70 15

E-Posta: metin.mutluaydin@deu.edu.tr
Tel.: (0232) 301 70 40

E-Posta: ali.topal@deu.edu.tr

Serhan Tanyel

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35160, Buca, İzmir
Tel.: (0232) 301 70 18

E-Posta: serhan.tanyel@deu.edu.tr

Öz

Bir yol trafiğe açıldıktan belirli bir süre sonra, yol yüzeyinde trafik yükleri ve çevresel faktörler nedeni ile farklı özelliklerde bozulmalar meydana gelmektedir. Yapılan araştırmalar, bu bozulmalarının özellikle araçların daha fazla kullandıkları yol kesimlerinde oluştuğunu göstermektedir. Yol yapımında kullanılan bitümlü malzeme ve agreganın özelliklerine, trafik hacmine, çevresel koşullara ve tabii zeminin taşıma gücüne bağlı olarak yol yüzeyindeki deformasyon oluşumları değişiklik göstermektedir. Bu çalışma kapsamında, Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi içerisinde ana arterler üzerinde yer alan dokuz farklı deformasyon noktası belirlenmiş ve bu noktadaki sürücü davranışlarını incelemek amacıyla beş farklı araca GPS cihazı yerleştirilmiştir. GPS cihazları yardımıyla Şubat-Haziran 2012 tarihleri arasında bu yolu kullanan beş farklı sürücüye ait hız profili, ivmelenme/ters ivmelenme ve deformasyonlu yüzeyden kaynaklı oluşan gecikme değerleri elde edilmiştir. GPS cihazları ile toplanan hız ve konum verilerinin analizleri sonucunda araçların deformasyon noktalarına gelmeden önce ya hızlarını azalttıkları ya da şerit değiştirdikleri görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, sürücü karakteristiğinin trafik akımı içerisindeki en önemli parametre olduğunu göstermektedir. Yine çalışma kapsamında deformasyon etkisine maruz kalmamak için araçların hızlarını azaltmaları sonucu oluşan gecikme değerlerinin oldukça büyük olduğu ve bunun da yakıt tüketimi, hava kirliliği ve zaman kaybı açısından önemli olduğu saptanmıştır.

Anahtar sözcükler: Yol yüzey bozuklukları, sürücü davranışı, hız profili, gecikme, trafik hacmi.

Giriş

Bozulma, bir yol kaplamasının ilk yapıldığı duruma göre hizmet süresi boyunca gösterdiği her türlü değişim olarak tanımlanabilir. Üstyapı bozulmaları ise, yol trafiğe açıldıktan sonra tabii zemin üzerinde ek sıkışma ya da hareket şeklinde görülen zayıflık veya üstyapı tabakalarında trafik yüklerinin etkisi ile meydana gelen ek sıkışmanın sonucudur. Bu duruma bazen çatlaklar da eşlik etmekte, kaplamada meydana gelen şekil değişimi ile birlikte trafik akımı için tehlike oluşturmaktadır. Literatürde, kaplamalarda meydana gelen bozulmalarla ilgili çeşitli sınıflandırmalar mevcut olup Brown (2001) bozulmaları genel olarak 3 bölümde sınıflandırmıştır.

1. Kalıcı deformasyon
 - Tekerlek izi oluşumları
 - Ondülasyon ve çökmeler
 - Kabarmalar
 - Yığılmalar
2. Çatlaklar
 - Yorulma çatlakları
 - Düşük sıcaklık çatlakları
3. Suya bağlı bozulmalar

Yol yüzey karakteristiklerinin trafik akımı üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla yolların inşasından sonra yüzey karakteristiklerinin genel olarak şerit boyunca üniform şekilde dağıldığı varsayılmaktadır (Günay ve Wodward, 2006; Aydın, 2013). İdeal durumda bir şerit üzerinde araçların yanal yöndeki dağılımlarının etkisinin yol boyunca eşit şekilde olacağı ve kaplama yüzeyinin her bir parçasının eşit sürede aşınacağı varsayılmaktadır. Fakat gerçekte araçların yol üzerindeki dağılımları üniform olmamaktadır. Bir yol trafiğe açıldıktan belirli bir süre sonra yol yüzeyinde farklı türde bozulmalar meydana gelmeye başlamaktadır. Bu bozulmalar özellikle araçların daha fazla kullandıkları yol kesimlerinde görülmektedir. Bunun başlıca nedeni, yolun bu kesimini kullanan araç sayısına bağlı olarak etkiyen dingil yüklerinin artışıdır. Yol yapımında kullanılan bitümlü malzeme ve agreganın özelliklerine, trafik hacmine, çevre koşullarına ve tabii zeminin taşıma gücüne bağlı olarak yol yüzeyindeki deformasyon oluşumları değişiklik göstermektedir. Yol yüzeyinde zaman içinde aşınmalara bağlı olarak meydana gelen sürtünme direncindeki azalma ve/veya oluşan deformasyonlar, o yolun bakım onarım sıklığı ve maliyeti açısından büyük önem teşkil etmektedir.

Gelişen teknolojiyle birlikte taşıtların trafik akımı içerisindeki hareketleri hakkında detaylı veri elde etmek ve elde edilen bu verileri birçok gelişmiş bilgisayar yazılım programı ile değerlendirmek mümkün olmaktadır. Günümüzde bir trafik akımı içerisinde hareket eden bir taşıta ait hız, ivmelenme/ters ivmelenme, konum vb. birçok trafik karakteristiği Küresel Konumlandırma Sistemleri (GPS) olarak adlandırılan cihazları yardımıyla kolayca elde edilebilmektedir. GPS, trafik mühendisleri ve araştırmacıları tarafından trafik verisi toplanmasında gün geçtikçe önem kazanan alternatif bir araç olmaktadır (Wolshon ve Hatipkarasulu, 2000). Trafik analizlerinde kullanılmak üzere gereksinim duyulan bazı trafik karakteristikleri (taşıt hız profili, ivmelenme ve ters ivmelenme değerleri vb.) doğrudan ölçülememektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte bu verileri toplamak ve elde etmek gün geçtikçe daha da kolaylaşmaktadır. Teknolojik cihazlar yardımıyla elde edilen veriler, incelenen akım özelliklerini daha doğru ve detaylı şekilde yansıtmaktadır.

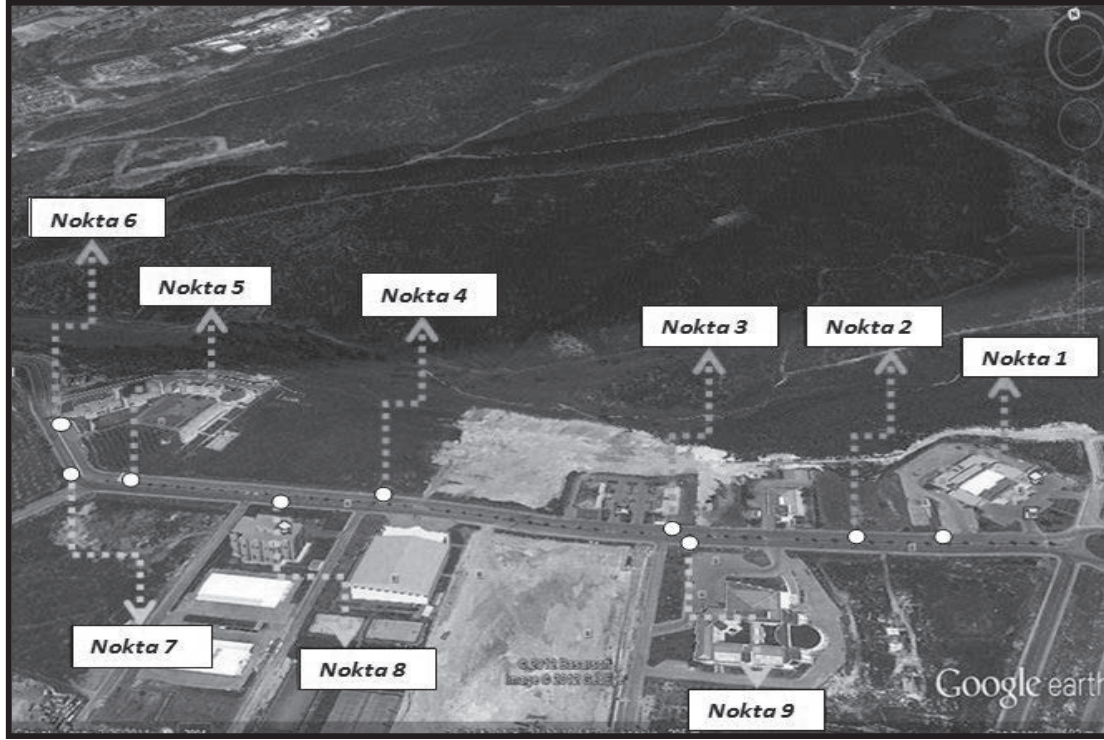
Jiang ve Li (2002), inşaat ve bakım çalışmaları sebebiyle kısmi olarak kapalı olan yollardaki trafik akımının özelliklerini belirleyebilmek ve bu yollardaki mevcut trafik akımı içerisinde hareket eden taşıtlara ait detaylı bilgi edinebilmek amacıyla GPS cihazı takılı gözlem aracının mevcut akım boyunca hareketini gözlemlemiştir. Xuan ve Coifman (2006) ise araçların bir yol boyunca taşıt, yol bozukluğu ya da yol çalışması nedeniyle şerit değiştirmelerini incelemek amacıyla mevcut GPS cihazlarından biraz farklı bir özelliğe sahip olan Diferansiyel Küresel Konumlandırma Sistemi (DGPS) cihazı kullanmışlardır. Xuan ve Coifman (2006), çalışma kapsamında ilk olarak yol güzergâhını göstermesi amacıyla bir referans mesafe-zaman (trajectory) grafiği oluşturmuştur. 24 km'lik belirli bir yol güzergâhı boyunca her gün aynı saatte ve aynı güzergâhta hareket eden bir gözlem aracına ait 24 turluk konum-zaman verilerini toplamış ve bu verilere göre aracın mesafe-zaman grafiklerini elde etmişlerdir. Elde edilen konum-zaman grafiklerini ilk başta oluşturulan referans konum-zaman grafiğiyle kıyaslayarak aracın yaptığı manevra değerlerinin eşik değerlere göre, nerelerde şerit değiştirdiği, şerit değiştirmenin zorunlu şerit değiştirme (ZŞD) mi yoksa keyfi şerit değiştirme (KŞD) mi olduğunu konum bazlı olarak incelenmeye çalışmışlardır. Ben-Edigbe ve Ferguson (2005) yaptıkları çalışmada, kaplama yüzeyinde meydana gelen bozulmalardan dolayı oluşacak olan kapasite kaybını incelemişlerdir. Aydın (2013) ise yaptığı çalışmada deformasyonlu ve çok şeritli yollarda sürücülerin şerit seçim, kullanım ve değiştirme davranışlarını incelemiştir. Aydın (2013) çalışmasında, deformasyonların büyüklüğünün, şerit genişliğinin ve sürücü karakteristiklerinin şerit seçim, kullanım ve değiştirme davranışları üzerindeki en önemli parametreler olduğunu saptamıştır.

Araçların Konum ve Hız Verilerinin Hesaplanması

Çalışma kapsamında Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi içerisinde ana arterler üzerinde yer alan 9 farklı deformasyon noktası belirlenmiş ve veriler bu noktalardan toplanmıştır. Bu noktaların yol üzerindeki konumlarına ait uydu görüntüsü Şekil 1'de, belirlenen deformasyon noktalarına ait yol yüzey bozukluklarının özellikleri ise Tablo 1'de verilmiştir. Bu deformasyon noktalarının seçilmesinde etkili olan faktörler aşağıda verilen şekilde özetlenebilmektedir:

- İncelenen arterler üzerinde çok sayıda ve farklı türde yol yüzey bozukluklarının görülmesi,
- Yerleşke içerisinde ana arterlerde farklı akım değerlerinin görülebilmesi ve böylece sürücülerin farklı akım türleri içerisindeki davranışlarının belirlenebilmesi,
- Yerleşke içi ulaşımı sağlayan otobüs vb. ağır araçlar ve yerleşke içerisinde çeşitli noktalarda devam eden inşaat çalışmalarından dolayı ağır araç etkisinin yol kaplama yüzeyinde belirgin olması,
- Arterler üzerinde farklı özelliklerde hem doğal hem de yapay deformasyonların mevcut olması,
- Verilerin toplandığı mevcut ana arterlerde herhangi bir yol kenarı parklanmasının olmaması,
- Akımın sinyal, kavşak vb. etkilerden dolayı kesintiye uğramaması,
- Yol üzerinde tünel, alt geçit ve köprü gibi GPS cihazından veri almayı engelleyecek herhangi bir etkinin bulunmaması,

- Aynı yolu her gün kullanan farklı yaş gruplarından ve farklı araçlara sahip sürücülerin mevcut olması.



Şekil 1 Deformasyon noktalarının yol üzerindeki konumlarına ait uydu görüntüsü.

Şekil 1’de gösterilen yolu kullanan 5 farklı araca GPS cihazı takılmıştır. Araçlara yerleştirilen bu cihazlar sayesinde, araçların deformasyonlu yollardaki hız profili, ivmelenme/ters ivmelenme ve deformasyonlu yüzeyden kaynaklı oluşan gecikme değerlerine ait veriler elde edilmiştir. Cihaz, aracın hareket güzergâhını birer saniye aralıklarla enlem ve boylam olarak koordinatlarıyla birlikte kaydetmekte ve bunun yanı sıra her bir saniye için aracın hız değerlerini vermektedir. İstenildiği takdirde cihazın bünyesinde bulundurduğu kamera sistemi vasıtasıyla da araçların deformasyonlu bölgelerde yanal yöndeki şerit kullanımı ve şerit değiştirme verileri de kolayca elde edilebilmektedir.

Çalışmada kullanılan veriler, Şubat ve Haziran ayları arasında farklı zamanlarda toplanmış olup, 5 farklı gözlem aracının her birinin yaklaşık 2 km’lik uzunluktaki 18 tur hareketini içermektedir. Araçların belirlenen deformasyonlu bölgelerden geçişleri sırasında cihazın kamera ve sarsıntıyı algılama özelliği sayesinde deformasyon noktalarının yerleri tam olarak belirlenmiş ve Tablo 1’de verilmiştir. Yapılan ölçümlerden, GPS cihazının araçların hız ve konum verilerini yaklaşık olarak 1 sn gecikmeli olarak verdiği tespit edilmiştir. GPS cihazından elde edilen sürelerdeki bu doğruluk oranının analizlerde kullanılmasında yeterli olduğu kabul edilmiş ve analizler bu doğrultuda yapılmıştır.

GPS cihazı yardımıyla 9 farklı deformasyon noktasından önce ve sonra 5 farklı sürücü için elde edilen maksimum, minimum ve ortalama hız değerleri ile deformasyon noktalarındaki maksimum, minimum ve ortalama hız değerleri ve bunlara ait standart sapma değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1 Yol yüzey bozukluklarının özellikleri.

Def. Noktası	Deformasyon Noktası			Yol Genişliği (B _r) (m)	Deformasyonun Yanal Yöndeki konumu (P _d) (m)	Def. Türü (S _d)
	Genişlik (W _d) (m)	Uzunluk (L _d) (m)	Derinlik/Yükseklik (D _d /H _d) (cm)			
1	2	1.8	6.5 (D)	9.6	3.6-5.6	Çökme ve timsah sırtı çatlak
2	2	1.5	6.7 (D)	9.6	1-3	Soğuk derz çatlağı, çökme ve timsah sırtı çatlak
3	0.3	9	3.5 (Y)	9.6	0.3-9.3	Beton yama ve hız kesici tümsek
4	1	9	5 (Y)	9.6	0.3-9.3	Hız kesici tümsek
5	0.3	9	3.5 (Y)	9.6	0.3-9.3	Beton yama ve hız kesici tümsek
6	3	2,3	4.3 (D)	9.6	0.5-3,5	Beton yamada oluşan derz çatlakları
7	0.3	(0.6)-(5)	3.5 (Y)	9.6	(1.9-2.5) – (1.9-6.9)	Beton yama ve sağ şeritte hızlı geçişe imkân veren parçalı hız kesici tümsek
8	1	9	5 (Y)	9.6	0.3-9.3	Hız kesici tümsek
9	3	4	5 (D)	9.6	0.5-3.5	Çökme ve timsah sırtı çatlak.

Deformasyonlu bölgelerdeki ortalama hız \bar{V} , taşıtların deformasyon noktalarından geçişleri sırasındaki mevcut hızlarının aritmetik ortalaması hesaplanarak elde edilebilmektedir (Denklem 1).

$$\bar{V} = \frac{\sum V_i}{N} \quad (1)$$

Burada;

\bar{V} : Deformasyon noktalarındaki ortalama hız (km/saat),

V_i : Deformasyon noktasındaki i. hız değeri (km/saat),

N : Hız değerlerinin toplam sayısıdır.

Diğer yandan bir deformasyon noktasında taşıtların ortalama yolculuk hızı (\bar{V}), mesafe (d) ve zaman (t) değerleriyle de hesaplanabilmektedir. Bu değer, deformasyonlu bölgenin uzunluğunun yolculuk süresine bölünmesiyle elde edilebilmektedir. McShane ve Roess (1990), seyahat süresini bir aracın bir karayolu kesitinin başlangıcından sonuna kadar ulaşıncaya kadar (Durma ve hareket süreleri dâhil) geçen süre olarak

tanımlamaktadır. McShane ve Roess (1990) tarafından tanımlanan seyahat süresine göre, bir aracın deformasyonlu bir noktadaki ortalama hızı Denklem 2 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$\bar{V} = \frac{d}{t} = \frac{d_1 - d_0}{t_1 - t_0} \quad (2)$$

Burada;

- \bar{V} : Deformasyon noktasındaki ortalama seyahat hızı (km/saat),
- d : Deformasyon noktasının uzunluğu (km),
- t : Yolculuk (seyahat) süresi (saat),
- d_1 : Deformasyon noktasının bitiş konumu,
- d_0 : Deformasyon noktasının başlangıç konumu,
- t_1 : Deformasyon noktasının sonundaki süre
- t_0 : Deformasyon noktasının başındaki süre olmaktadır.

Genel olarak Denklem 1 ve Denklem 2 birbirine eşdeğer değildir. Bununla birlikte bu çalışma kapsamında GPS cihazı vasıtasıyla elde edilen veriler için bu iki bağıntı birbirine eşit olmaktadır. Çünkü kaydedilen veriler 1'er saniye aralıklarla kaydedilmiş olup verilerin toplanma yönteminde herhangi bir farklılık bulunmamaktadır. Deformasyon noktasındaki ortalama hız değeri, deformasyon noktasının hemen öncesi ve sonrasındaki iki nokta arasındaki mesafe farkının bu iki nokta arasında geçen yolculuk süresine oranı ile elde edilmektedir.

Deformasyonlu Bölgelerden Geçen Araçların İvmelenme ve Ters İvmelenmesi

Jiang (1999) çalışmasında, araçların deformasyon bölgesine yaklaşmaları sırasında ters ivmelenmelerinden dolayı meydana gelen trafik gecikmelerini, deformasyon bölgesi boyunca araçların azalmış düşük hız değerlerini ve deformasyon bölgesinden sonra serbest akım koşullarındaki hız değerlerine ulaşıncaya kadar geçen süreyi incelemiştir. Bu çalışma kapsamında Jiang (1999)'un çalışmasından farklı olarak 9 farklı deformasyon bölgesi ve 5 farklı sürücü karakteristiğine göre araçların deformasyonlu noktalardaki ivmelenme ve ters ivmelenme değerleri hesaplanmış ve bu ivmelenme hareketlerinden dolayı meydana gelecek gecikme değerleri elde edilmiştir. Deformasyonlu noktalara giriş ve çıkıştaki gecikmeleri hesaplayabilmek amacıyla giriş ve çıkıştaki ivmelenme ve ters ivmelenme değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. GPS yardımıyla elde edilen hız verilerinden, taşıtların ivmelenme ve ters ivmelenme değerleri kolayca ve doğru şekilde hesaplanabilmektedir. Eğer bir taşıt (t_d) zamanında (v_d) hızıyla ters ivmelenmeye başlamışsa ve (t_b) zamanında (v_b) hızıyla deformasyonlu bölgeye ulaşmışsa, o taşıtın ters ivmelenme oranı Denklem 3 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$r_d = \frac{v_b - v_d}{t_b - t_d} \quad (3)$$

Burada;

- r_d : Ters ivmelenme oranı,

- v_b : Aracın yavaşlamaya başladığı andaki hızı (km/saat),
 v_d : Aracın deformasyon noktasındaki hızı (km/saat),
 t_b : Aracın yavaşlamaya başladığı andaki süre (saat),
 t_d : Aracın deformasyon noktasına geldiğindeki süre (saat).

Benzer şekilde bir taşıt deformasyon bölgesinin sonuna (t_s) süresinde ve (v_s) hızıyla ulaşmışsa ve serbest akım hızı (v_a)'ya ulaşmak için ivmelenmiş ve (t_a) süresinde buna ulaşmışsa o zaman ivmelenme oranı Denklem 4 yardımıyla elde edilmektedir.

$$r_a = \frac{v_a - v_s}{t_a - t_s} \quad (4)$$

Burada;

- r_a : İvmelenme oranı,
 v_a : Aracın serbest akım hızı (km/saat),
 v_s : Aracın deformasyon noktasının sonundaki hızı (km/saat),
 t_a : Aracın hızlanmaya başladığı andaki süre (saat),
 t_s : Aracın serbest akım hızına ulaştığındaki süre (saat).

Denklem 3 ve Denklem 4 kullanılarak farklı deformasyon noktaları için ivmelenme ve ters ivmelenme oranlarının ortalama değerleri hesaplanmıştır. Deformasyon noktalarından önce ve sonra araçların normal akım koşullarına ait hız değerleri GPS cihazı vasıtasıyla birer saniye aralıklarla elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 Deformasyon noktalarından geçen 5 farklı sürücünün ortalama hız değerleri ve bu ortalama hızlara ait standart sapma değerleri.

Def Nok	Konum	Sürücü 1			Sürücü 2			Sürücü 3			Sürücü 4			Sürücü 5							
		Vmaks	Vmin	Vort	σ	Vmaks	Vmin	Vort	σ	Vmaks	Vmin	Vort	σ	Vmaks	Vmin	Vort	σ				
1	Önce	44	27	34	5,15	49	30	38	4,83	40	35	38	2,51	39	36	37	1,09	45	36	41	4,23
	Def. N.	48	23	32	7,51	47	21	34	7,71	39	36	37	1,08	37	32	34	1,68	32	27	30	1,84
	Sonra	45	26	31	6,26	51	24	35	7,27	41	36	39	2,62	40	36	37	1,91	37	33	34	2,65
2	Önce	46	24	30	6,95	51	28	35	7,02	35	31	33	1,97	45	39	42	2,56	38	32	35	3,01
	Def. N.	47	17	29	9,51	49	17	31	11,67	36	29	33	2,79	45	42	44	1,55	29	23	25	2,44
	Sonra	53	25	36	7,7	55	28	40	7,77	42	34	37	4,03	51	42	47	4,56	45	30	37	6,15
3	Önce	54	23	38	8,19	58	31	42	7,45	46	40	43	2,85	53	48	51	2,26	45	37	41	4,06
	Def. N.	51	15	33	11,06	55	15	36	9,6	51	44	47	2,79	49	44	46	1,6	34	32	33	1,09
	Sonra	62	30	42	8,27	58	28	44	7,56	51	42	48	4,52	50	40	45	4,95	61	32	47	7,75
4	Önce	58	30	42	7,13	60	30	44	7,32	55	40	50	6,45	49	43	46	3,01	58	45	52	5,89
	Def. N.	49	23	34	6,97	50	22	36	7,77	38	35	36	1,09	47	43	45	1,4	45	40	42	1,95
	Sonra	54	27	38	7,01	60	32	44	7,89	49	33	39	6,71	55	47	50	4,12	52	44	47	4,15
5	Önce	53	24	37	7,83	55	31	45	6,51	47	41	45	2,91	51	33	41	7,65	50	35	45	6,01
	Def. N.	40	20	29	6,22	44	17	34	7,37	36	35	36	0,41	37	32	34	1,96	31	27	29	1,66
	Sonra	46	23	34	5,69	52	31	40	5,35	43	34	38	4,21	45	30	39	6,56	43	30	38	5,77
6	Önce	53	22	39	7,82	56	30	43	6,65	46	38	42	0,92	48	44	46	2,25	43	38	41	2,72
	Def. N.	51	21	37	8,4	52	26	40	6,86	46	42	44	1,47	47	42	45	1,67	43	39	40	1,56
	Sonra	48	25	34	6,45	51	30	40	5,05	46	33	38	5,47	46	37	39	4,61	44	36	39	4,21
7	Önce	64	30	52	6,45	54	38	45	4,01	52	42	48	3,96	48	38	42	4,08	56	35	42	6,72
	Def. N.	57	21	44	8,8	47	24	38	6,32	43	40	41	1,09	40	36	38	1,52	31	24	29	2,7
	Sonra	56	33	47	5,87	57	32	44	4,87	48	39	44	3,76	43	36	39	2,98	40	26	34	5,39
8	Önce	57	27	48	7,86	62	41	50	3,98	52	44	49	3,01	51	41	46	3,89	49	29	39	7,38
	Def. N.	60	17	48	10,04	60	32	47	7,41	54	49	51	1,76	50	45	47	1,76	29	26	28	1,05
	Sonra	64	26	47	8,01	59	35	44	3,68	52	43	51	3,34	47	41	44	2,92	42	25	32	5,46
9	Önce	66	20	53	9,63	59	37	49	4,99	55	48	52	2,83	42	37	39	1,89	46	35	41	4,11
	Def. N.	68	17	52	11,38	62	38	50	5,84	53	49	51	1,49	39	27	33	4,37	42	27	34	4,83
	Sonra	75	26	52	10,09	71	48	56	5,54	62	50	56	4,78	45	32	37	7,28	55	34	42	6,49

Vmaks : Deformasyon bölgesindeki maksimum hız (km/saat)

Vmin : Deformasyon bölgesindeki minimum hız (km/saat)

Vort : Deformasyon bölgesindeki ortalama hız (km/saat)

Vdef. : Deformasyon bölgesindeki hız değerleri(km/saat)

 σ : Hızlara ait standart sapma değerleri

Gecikme Değerlerinin Hesaplanması

Bir kaplama yüzeyinde deformasyon olması durumunda, o yolu kullanan taşıtların hareketleri yol yüzey bozukluğu ve/veya bozuklukları nedeniyle kısıtlanmaktadır. Mevcut taşıt hareketlerinin kısıtlanması ise en çok taşıtların hızlarının azalması şeklinde görülmektedir. Bir akım içerisinde araçların hızlarının azalması sonucu görülebilecek en önemli sonuçlar; kapasitenin düşmesi, yoğunluğun artması ve gecikmelerin meydana gelmesidir. Bunların meydana gelmesinde en önemli etmen deformasyonlu bölgelerde deformasyonun büyüklüğüne göre deformasyonun olduğu şeridin kullanılmaması ve buna bağlı olarak şerit sayısında azalma olmasıdır.

Deformasyon noktalarındaki gecikmeyi hesaplamak için yol üzerinde herhangi iki nokta seçilmeli, bunlardan ilki aracın deformasyon olan noktaya yaklaşırken ters ivmelenmeye başladığı, diğeri ise aracın deformasyon olan noktadan çıktıktan sonra normal akım koşullarına ulaştığı durum olmalıdır. Yani aracın deformasyon bölgesine girmeden ve deformasyon bölgesinden çıktıktan sonra normal akım koşullarında hareket ettiği durum için iki nokta seçilmelidir. Çünkü araçların deformasyon etkisiyle hızlarını azaltacakları ve bununda bir gecikmeye neden olacağı beklenmektedir. Aracın deformasyon olmayan kesitteki hızı (ortalama seyahat hızı= u_{do}), bu iki nokta arasındaki mesafe ve zaman değerleri sırasıyla (d_{fw1}), (t_{fw1}), (d_{fw2}) ve (t_{fw2})'dir. Deformasyon bölgesi için gecikme değeri Denklem 5 ile hesaplanabilmektedir.

$$T_{delay} = (t_{fw2} - t_{fw1}) \frac{d_{fw2} - d_{fw1}}{u_{do}} \quad (5)$$

Burada;

- T_{delay} : Gecikme süresi (sn),
 $(t_{fw2} - t_{fw1})$: Gerçek yolculuk süresi (sn),
 $(d_{fw2} - d_{fw1})$: İki nokta arasındaki mesafe (m),
 u_{do} : Ortalama seyahat hızı (m/sn).

Tablo 2’te beş farklı sürücü tipi için hız değerleri kullanılarak araçların ivmelenme/ters ivmelenme ve o nokta için gecikme değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen gecikme değerleri, mevcut yoldaki saatlik trafik hacmine karşılık gelen değerle çarpılarak deformasyon bölgesindeki taşıtların tümü için toplam gecikme değerleri elde edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3 Beş farklı sürücünün 9 deformasyon noktasından önce ve sonraki hareketine ait ivme ve gecikme verileri.

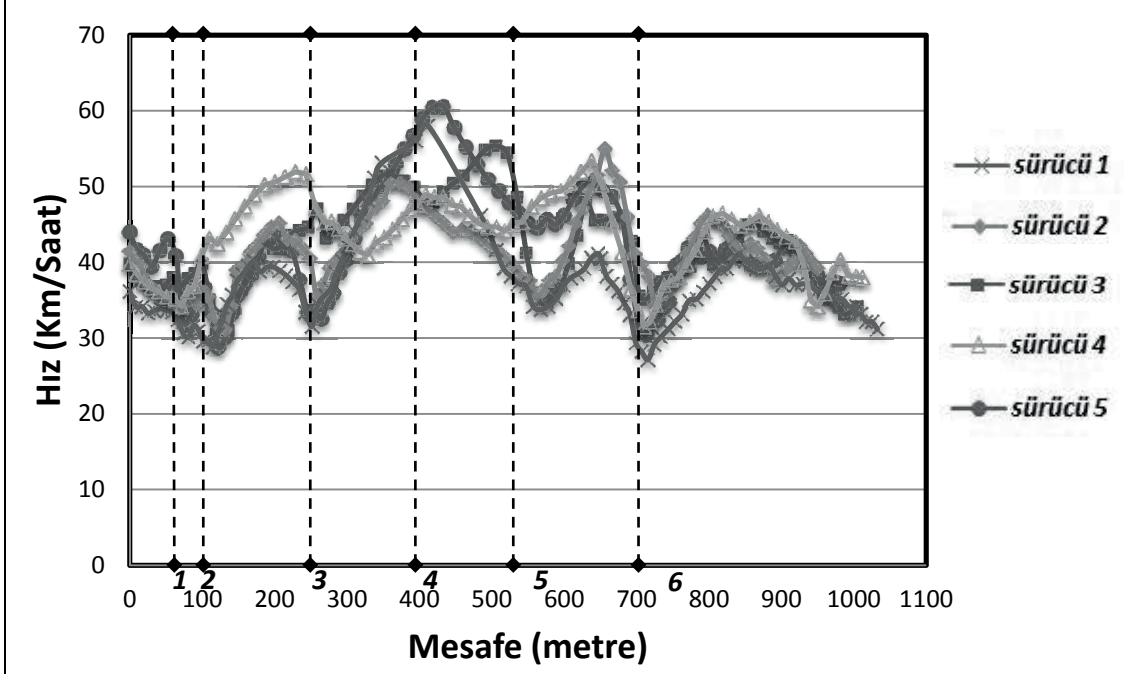
Def. Nok.	Konum	Sürücü 1			Sürücü 2			Sürücü 3			Sürücü 4			Sürücü 5		
		a(+) (km/s/sn)	a(-) (km/s/sn)	T _{delay} (sn)	a(+) (km/s/sn)	a(-) (km/s/sn)	T _{delay} (sn)	a(+) (km/s/sn)	a(-) (km/s/sn)	T _{delay} (sn)	a(+) (km/s/sn)	a(-) (km/s/sn)	T _{delay} (sn)	a(+) (km/s/sn)	a(-) (km/s/sn)	T _{delay} (sn)
1	Önce	-	0,622	6,21	-	0,763	13,49	-	0,242	2,80	-	0,438	11,03	-	1,233	32,77
	Sonra	0,138	-	0,659	-	0,926	23,19	-	0,926	2,355	-	-	11,03	1,828	-	-
2	Önce	-	0,161	20,62	-	1,411	8,48	-	1,412	1,080	-	-	12,62	-	2,316	58,88
	Sonra	0,992	-	1,277	-	1,263	8,15	-	-	1,319	-	1,070	12,62	1,841	-	-
3	Önce	-	0,896	2,93	-	0,851	8,15	-	-	0,239	-	-	17,87	-	1,990	20,68
	Sonra	1,705	-	1,305	-	0,963	8,15	-	1,124	0,963	-	0,134	17,87	1,677	-	-
4	Önce	-	1,655	1,68	-	0,851	8,15	-	1,124	5,22	-	-	15,03	-	1,773	4,05
	Sonra	0,568	-	1,573	-	2,364	12,14	-	1,769	0,437	-	3,068	15,03	0,717	-	-
5	Önce	-	1,506	18,10	-	1,179	4,08	-	-	1,569	-	-	11,95	-	3,808	35,67
	Sonra	0,829	-	1,179	-	0,992	4,08	-	0,498	-	-	0,301	11,95	1,089	-	-
6	Önce	-	0,298	8,14	-	0,247	4,08	-	0,574	-	-	-	14,29	-	0,334	0,49
	Sonra	-	2,415	8,14	-	0,992	4,08	-	0,574	13,96	-	0,578	14,29	-	0,231	-
7	Önce	-	1,364	13,50	-	1,090	24,83	-	0,917	-	-	-	4,03	-	1,969	40,41
	Sonra	0,652	-	0,974	-	1,090	24,83	-	0,521	0,410	-	-	4,03	0,967	-	-
8	Önce	-	0,136	6,00	-	1,316	6,40	-	-	0,160	-	-	15,59	-	1,878	45,81
	Sonra	0,387	-	0,138	-	1,316	6,40	-	0,576	0,160	-	0,540	15,59	1,445	-	-
9	Önce	-	0,256	0,23	-	0,312	0,93	-	0,269	-	-	-	18,18	-	0,191	21,68
	Sonra	-	0,312	0,23	-	1,258	0,93	-	0,750	0,860	-	2,002	18,18	0,681	-	-

a(+): Taşıtların deformasyon noktasından sonra pozitif ivmelenmesi.

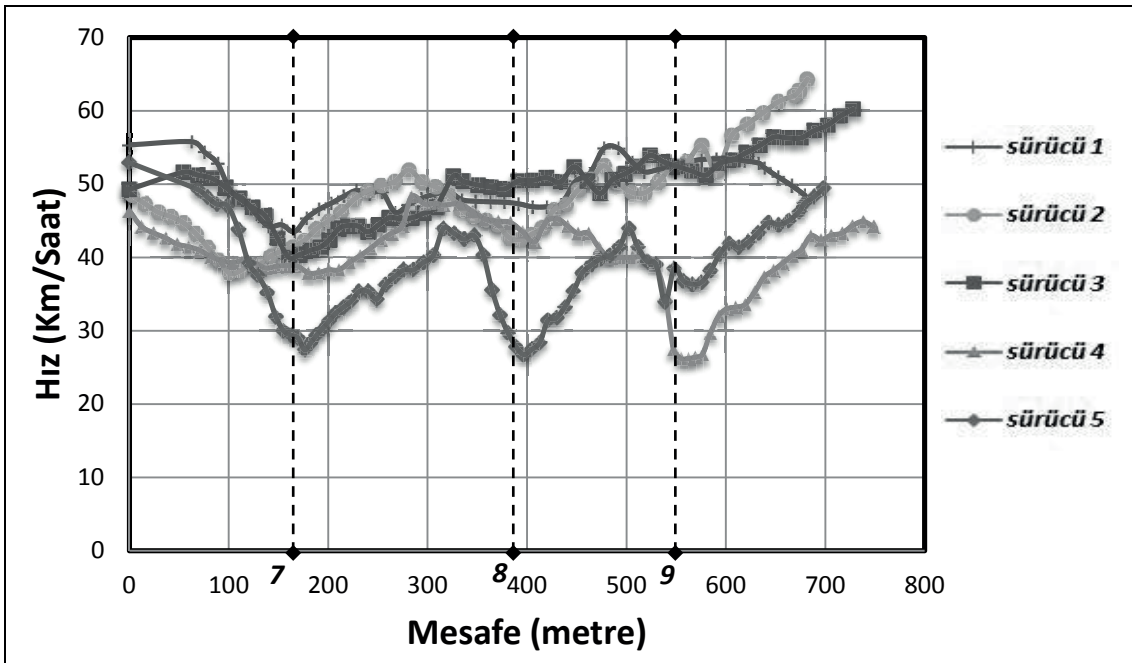
a(-): Taşıtların deformasyon etkisinden kaynaklanan negatif ivmelenmesi.

T_{delay}: Her bir deformasyon noktasının tüm yol boyunca neden olacağı gecikmenin miktarı.

Çalışma kapsamında incelenen ve deformasyonlu yolu kullanan beş farklı sürücüye ait hız-mesafe grafikleri deformasyon noktası 1- 6 için Şekil 2’de, deformasyon noktası 7-9 için ise Şekil 3’te verilmiştir. Deformasyon noktaları 1- 6 yerleşke çıkış yönünde, 7-9 ise yerleşke giriş yönünde aynı yol üzerinde yer aldığı için noktalar farklı iki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 2 Beş farklı sürücü için deformasyon noktası 1-6'daki hızları gösteren Hız-Mesafe grafiği (Yerleşke çıkış yönü).



Şekil 3 Beş farklı sürücü için deformasyon noktası 7-9'daki hızları gösteren Hız-Mesafe grafiği (Yerleşke giriş yönü).

Yukarıda verilen iki şekilden de görüldüğü üzere, deformasyon noktaları üzerinde hemen hemen tüm sürücüler hızlarını düşürmektedir. Yine deformasyonlar arası mesafede araçların zirve hızları aynı konum üzerinde olmakta fakat farklı değerler almaktadır. Buradaki en önemli etmen ise daha önce de değinildiği gibi sürücü karakteristikleri olmaktadır

Değerlendirme ve Sonuçlar

Yapılan çalışmada, yol yüzey deformasyonları bulunan çok şeritli bir yolda araçların boyuna yöndeki hareketleri incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla doymuş bir akımda çeşitli sebeplerle yol yüzeyinde oluşmuş veya yapay deformasyonların etkisine bağlı olarak araçların farklı akım durumlarındaki hareketleri araştırılmıştır.

İncelenen deformasyon noktalarına ait GPS cihazı yardımı ile toplanan hız ve konum verilerinden araçların deformasyon noktalarına gelmeden, deformasyon etkisine maruz kalmamak için ya hızlarını azalttıkları ya da şerit değiştirdikleri görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, araçların hızlarındaki düşüş üzerinde en önemli parametrelerin sürücü karakteristikleri ve deformasyonun büyüklüğü olduğunu göstermiştir.

Yapılan analizlerden incelenen deformasyon noktalarından geçen beş farklı sürücünün hızlarına ait standart sapma değerlerinin, deformasyondan önceki kısma göre önemsenecek derecede büyük olduğu görülmektedir. Bu da araçların deformasyon olmayan bölgelerde daha kararlı hızlarla hareketlerine devam ettiklerini göstermektedir. Dokuz farklı deformasyon noktası incelendiğinde, bu noktaların hızlarının standart sapmaları arasında Sürücü 1 için en büyük değer 9. noktada (11,38), Sürücü 2 için en büyük değer 2. Noktada (11,67), Sürücü 3 için en büyük değer 2 ve 3 noktasında (2,79), Sürücü 4 için en büyük değer 9. noktada (4,37) ve Sürücü 5 için en büyük değer 9. noktada (4,83) olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan üç sürücünün 9. deformasyon noktasındaki hızlarına ait standart sapma değerlerinin en büyük olduğu görülmektedir. Bu da deformasyonlu noktalar içerisinde en fazla hız değişiminin 9. noktada olduğunu göstermektedir. Buradaki en önemli faktör sürücü karakteristikleri olmaktadır. Sürücülerin algı, agresiflik gibi kişisel özellikleri deformasyonlu noktalardan geçişlerde sürücülerin davranışlarını etkileyen en önemli parametredir. 5 farklı sürücü tipi için bu veriler incelendiğinde her bir sürücü için hız değerleri ve bunlara ait standart sapma değerlerinin farklı değerler aldığı görülmektedir.

Verilen bu istatistiksel bilgiler yalnız bireysel hız verileriyle elde edilebilmiş olup ve her bir sürücünün deformasyon olan bir yolda trafik akımı içinde nasıl bir davranış sergilediği konusunda fikir vermektedir.

Sürücülerin trafik akımı içerisindeki hareketlerinin hesaplanmasında kullanılan iki denklemden Denklem 3 ve Denklem 4 ortalama seyahat hızını elde etmek için kullanılabilir olsa da eğer detaylı bir hız çalışması gerekli ise Denklem 3'ü kullanmak bireysel hız verisini, yolculuk hızını ve diğer istatistiksel değerleri hesaplamak için daha avantajlı olacaktır. Çünkü Denklem 4'ün hız karakteristikleri üzerinde, örneğin hız kararlılığı ya da standart sapmadaki dalgalanma, dağılım, maksimum ve minimum değerlerin elde edilmesinde daha doğru sonuçlar verdiği elde edilen sonuçlarla desteklenmiştir. Çalışma çok şeritli yollarda deformasyon etkisini belirleyebilmek amacıyla toplanabilen sınırlı sayıda veri yardımıyla yapılabilmektedir. İleri ki çalışmalarda

özellikle gelişmemiş ülkelerden daha çok sayıdaki şehirlerarası ve şehiriçi yol kesimlerinden toplanacak veriler ışığında araçların deformasyonlu bir yolda şerit üzerindeki yanal ve boyuna yöndeki hareketlerini, hem matematiksel bir model ile ilişkilendirmek hem de mevcut modelleri gerçek gözlem verileriyle kalibre etmenin mümkün olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

Aydın, M. M. (2013) Çok Şeritli Yollarda Sürücü Şerit Seçim Davranışlarının Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ben-Edigbe, J. and Ferguson, N. (2005) Extent of Capacity Loss Resulting from Pavement Distress. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Transport, 158 TR1, pp.27-32.

Brown, S.F. (2001) Practical Test Procedures for Mechanical Properties of Bituminous Materials, Journal of the Institution of Civil Engineers, 111, pp.289–297.

Günay, B. and Woddward, D. (2006) Lateral Position of Traffic Negotiating Horizontal Bends. Proceeding of the Institution of Civil Engineers, Transport, 160, TR(1), pp. 1-11.

Jiang, Y. (1990) Traffic Characteristics and Estimation of Traffic Delays and User Costs at Indiana Freeway Work Zones. Final Report FHWA/INDOT/SPR-2121. Indiana Department of Transportation.

Jiang, Y. and Li, S. (2002) Measuring and Analyzing Vehicle Position and Speed Data at Work Zones Using Global Positioning Systems. Institute of Transportation Engineer, ITE Journal, 72(3), pp.48-53.

McShane, W. R. and Roess. R. P. (1990) Traffic Engineering. Englewood Cliffs, Prentice Hall, NJ, USA.

Wolshon, B. and Hatipkarasulu, Y. (2000) Results of Car Following Analyses Using Global Positioning System. Journal of Transportation Engineering. 126 (4), pp.324-331.

Xuan, Y. and Coifman, B. A. (2006) Lane Change Maneuver Detection from Probe Vehicle DGPS Data. Intelligent Transportation Systems Conference ITSC,'06, B. Abdulhai (Ed.), University of Toronto, Department of Civil Engineering, Sept. 17-20, IEEE, pp.624-629.

Bitümlü Sıcak Karışım Tasarım Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Mehmet Yılmaz

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ELAZIĞ
Tel: (424) 2370000-5421
E-Posta: mehmetyilmaz@firat.edu.tr

Baha Vural Kök

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ELAZIĞ
Tel: (424) 2370000-5418
E-Posta: bvural@firat.edu.tr

M. Ertuğrul Çeloğlu

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ELAZIĞ
Tel: (424) 2370000-5431
E-Posta: meceloglu@firat.edu.tr

Erkut Yalçın

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ELAZIĞ
Tel: (424) 2370000-5431
E-Posta: erkutyalcin@gmail.com

Öz

Karayolu üstyapılarında kullanılan bitümlü sıcak karışımların servis ömrü boyunca beklenen performansı sergilemesi; uygun malzemelerin kullanılmasının yanında tasarımın da uygun şekilde yapılması ve uygulanması ile mümkündür. Geçmişten günümüze bitümlü sıcak karışımların tasarımında çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler içerisinde en sık kullanılan yöntemler; Hveem, Marshall ve Superpave yöntemleri olmuştur. 1990'larda Amerika'da geliştirilen Superpave yöntemi diğer yöntemlere göre uygulama bölgesinin iklim ve coğrafi koşullarını dikkate alması, bağlayıcıları dinamik deneylerle değerlendirmesi, karışımların sıkıştırılmasında arazi şartlarını laboratuvar ortamına yansıtan yoğurmalı pres kullanılması gibi olumlu özelliklere sahiptir. Buna karşın modifiye bitümlerin performansının değerlendirilmesinde, bağlayıcıların kısa-dönem yaşlandırılmasında ve geri dönüşüm malzemelerin kullanılmasında yetersiz kalmaktadır. Uygun bir karışım tasarım yönteminin geliştirilmesi ve kullanılması, her geçen gün bitümlü sıcak karışımla kaplı yol miktarı artan ülkemiz için büyük önem arz etmektedir.

Anahtar sözcükler: Bitümlü sıcak karışım, Tasarım yöntemleri, Hveem, Marshall, Superpave.

Giriş

Karayolu üstyapısının en pahalı kısmı olan kaplama tabakaları; sathi kaplama, road-mix ve bitümlü sıcak karışım gibi farklı şekillerde yapılabilmektedir. Bu yöntemler içerisinde en yüksek dayanıma sahip olan bitümlü sıcak karışımlar (BSK), temel olarak bitüm ve agrega olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. BSK'larda kohezyon, bitümlü bağlayıcı tarafından karşılanırken agrega ise karışımın içsel sürtünme direncini ve stabilitesini sağlamaktadır (Tunç, 2004). Bitümlü bağlayıcılar, viskoelastik ve termoplastik davranış sergilemektedir. Viskoelastik özelliğinden dolayı bitümlü malzemeler yüksek hızlı yüklemelerde elastik davranış ve yüksek mukavemet gösterirken, düşük hızlı yüklemelerde viskoz davranış ve düşük mukavemet gösterirler. Termoplastik özellik nedeniyle malzemeler yüksek sıcaklıklarda düşük mukavemet, düşük sıcaklıklarda ise yüksek mukavemet gösterirler (Tunay, 2008). Başta kırılma ve

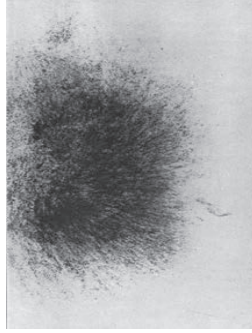
kalıcı deformasyon dayanımı olmak üzere, yol performansının birçok parametresinde büyük rol oynayan bitüm, asfalt karışımların da viskoelastik ve termoplastik özellik göstermesine sebep olmaktadır (Kuloğlu, 2001; Lav ve Lav, 2004).

Kaplama yapısının servis ömrü boyunca istenen düzeyde hizmet verebilmesi, kaplama tabakasını laboratuarda uygun şekilde tasarlamak ile mümkündür. Uygulama bölgesinin iklim ve coğrafi şartlarını dikkate alarak bağlayıcı ve karışım tasarımı yapmak, böylece kaplamanın rehabilitasyon ve yeniden yapım ihtiyaçlarını geciktirmek amacıyla daha iyi performans sergileyen asfalt kaplama (Superpave) metodu geliştirilmiştir (Zaniewski ve Pumprey, 2004; McGennis ve diğ. 1994). Bu yöntemde, standart bağlayıcı deneylerinin yerine bağlayıcı performans deneyleri kullanılmaktadır. Superpave bağlayıcı deney sonuçlarına göre bağlayıcıların performans seviyeleri (PG) belirlenmektedir. Bu sınıflandırma; kalıcı deformasyon, yorulma ve düşük ısı çatlağı parametreleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Dolayısıyla aynı performans seviyesine sahip bağlayıcılarla hazırlanan karışımların benzer kalıcı deformasyon, yorulma ve düşük ısı çatlağı performansı göstermesi beklenmektedir. Fakat Superpave bağlayıcı şartnamesinin özellikle modifiye bağlayıcılar için uygun olmadığı belirtilmiştir (D'angelo, 2013; Wasage ve diğ., 2010; Alataş ve diğ., 2012). Bu çalışmada farklı karışım tasarım yöntemleri ve bu tasarım yöntemlerinin olumlu ve olumsuz yönleri aktarılmaya çalışılmıştır.

Bitümlü Sıcak Karışım Tasarımının Tarihçesi

1890'da E.G. Love, karayolu kaplamaları üzerine bir seri makaleler yayınlamış ve bu makalelerde kaplama tasarımı ile ilgili fikirlerini belirtmiştir. Barber Asfalt Kaplama Şirketi'nden F.V. Greene'in bir yayını asfalt kaplamaların yapım şartnamesi üzerine olmuştur. Bu yayında tasarım teknolojisi tartışılmamış fakat asfalt yüzeyler için yöntem verilmiştir. Kaplama tabakası için verilen şartnameye göre karışım %12-15 asfalt çimentosu, %70-83 kum ve %5-15 kireç veya öğütülmüş malzemeden oluşmaktadır. Greene'in sisteminde kaplama iki tabaka halinde uygulanmıştır. Destek tabakası olarak isimlendirilen birinci tabaka, %2-4 oranlarında daha fazla bitüm içermiştir ve 1,5 inç kalınlıkta sıkıştırılmıştır. Yüzey tabakası yukarıda belirtilen kriterlere uygun olarak yapılmıştır. Kireç, soğuk olarak bitümlerle karıştırılmadan önce kuma ilave edilmiştir. Kireç oranı kumun özelliklerine göre belirlenmiştir. Oranlar, tecrübeli personelin karışımı görsel olarak değerlendirmesi sonucu belirlenmiştir (Huber, 2013a).

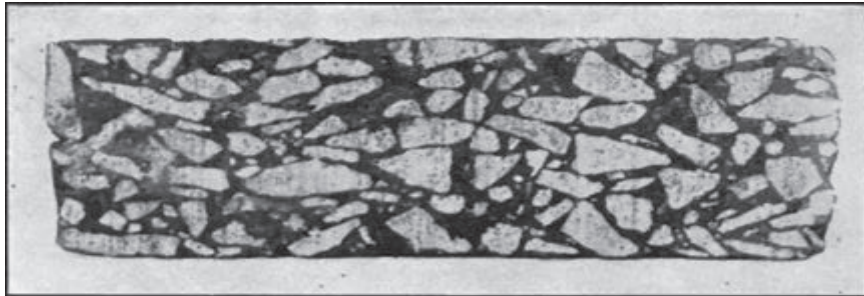
1905'te New York Deney Şirketi'nin sahibi Clifford Richardson, "Modern Asfalt Kaplamalar" isimli kitabı yayınlamıştır. 1912'de yayınlanan ikinci baskıda 1890 ve 1900'lerde Amerika'da yapılan birçok yol ile ilgili bilgi verilmiştir. Richardson, iki çeşit asfalt karışım tanımlamıştır. Bunlar; yüzey tabakaları ve asfalt betondur. Yüzey tabakası bir kum karışımıdır. Tipik gradasyonda malzemenin tamamı #10 elekten geçmekte ayrıca %15'i #200 elekten geçmektedir. Bitüm içeriği %9-14 aralığındadır. Bu karışımların bitüm içeriği "lekeli kâğıt deneyi" ile belirlenmiştir (Şekil 1) (Huber, 2013b).



Şekil 1 Lekeli kağıt deneyi (Huber, 2013b).

Lekeli kağıt deneyi için Richardson bitümün akıcı hale gelebilecek şekilde karışımın yeteri kadar sıcak olması gerektiğini belirtmektedir. Soğuk karışımlar sonuç vermemekte, aşırı sıcak karışımlar ise aşırı lekeye neden olmaktadır. Richardson detaylı şekilde deneyi tarif etmemesine rağmen kağıttaki izlerin fazla olması bitüm oranının fazla olduğu anlamına gelmektedir.

Asfalt betonu alt tabakalar için kullanılmıştır. Richardson, asfalt betonunun ana caddelerde yüzey tabakası için uygun olmadığını fakat ikinci derece yollarda kullanılabileceğini belirtmiştir. At nalları ve toynakları yüzeydeki parçaları sökmektedir. Richardson'a göre at nallarının bu olumsuz yönünü gidermek için daha fazla bitüm içeriği kullanılmalıdır. Asfalt betonu günümüzde kullanılan BSK'ya benzemektedir. Asfalt betonu kesiti aşağıdaki şekilde görülmektedir (Huber, 2013a).



Şekil 2 Asfalt betonu kesiti (Huber, 2013a).

Asfalt betonu tasarımında lekeli kağıt deneyi kullanılmamıştır. Bunun yerine mineral agregalar arasındaki boşluk oranını hesaplamıştır. Bu değeri VMA olarak isimlendirmiştir. Richardson doğru bitüm içeriği için VMA'nın ayarlanmasını tanımlamıştır. Şekilde görülen karışımına benzer gradasyon aşağıda verilmiştir. Karışımda VMA %13,2 ve bitüm içeriği %7,4'tür (Richardson, 2013).

Tablo 1 Asfalt betonu gradasyonu (Richardson, 2013).

Boyut	1,5 inç	1 inç	½ inç	¼ inç	No. 8	No. 200
% Geçen	100	83,6	50,1	40,3	36,8	5,2

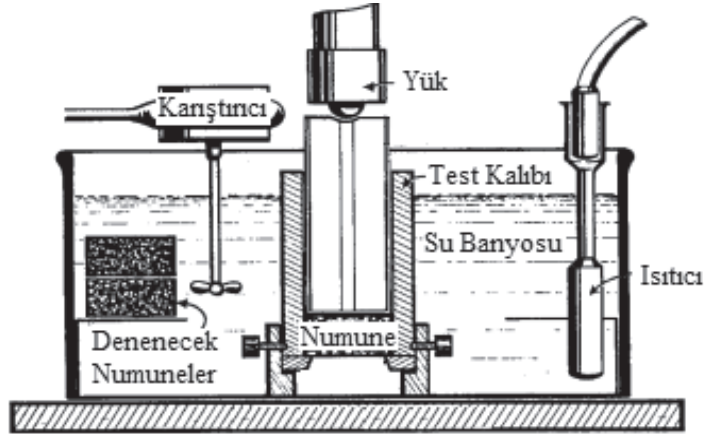
Bu karışımında belirtilmemesine rağmen 3/8 inç (9,75 mm) elekten geçen malzeme miktarı %40'dan fazla olduğu için ince gradasyonludur. Bu tip karışımlar için günümüz şartnamelerinde minimum VMA gereksinimi %11'dir. Bu değer Richardson'un

önerdiği değerden %2,2 daha düşüktür. Bu durum günümüzde kullanılan asfalt karışımların bitüm içeriğinin Richardson'un karışıma göre %0,9 daha düşük olacağı anlamına gelmektedir (Huber, 2013b).

Hava boşlukları Richardson'un karışım tasarımında hesaplanmamıştır. Fakat Richardson, birçok karışımı analiz etmiş ve yoğunluk seviyesi değeri teorik özgül ağırlık ile karşılaştırılarak hava boşluk oranları belirtilmiştir. Hesaplamalar sonucunda boşluk oranının %2 civarında olduğu belirlenmiştir. Boşluk oranının %5-8 gibi fazla olması durumunda kaplamanın termal dayanımının düşük olacağını ve çatlayacağını belirtmiştir. 20. yüzyılın başında kaplama tasarımındaki değişen fikir, asfalt betonunun temel tabakasında kullanılması ve yüzeyde kum-asfalt karışımının kullanılması şeklinde olmuştur (Huber, 2013a).

Hubbard Field Karışım Tasarımı

1920'lerin ortalarında Asfalt Enstitüsü'nde çalışan Charles Hubbard ve Frederick Field, Hubbard Field metodu olarak isimlendirilen karışım tasarımını geliştirmişlerdir. 1960'lara kadar Amerika'nın bazı eyaletlerinde kullanılmaya devam edilen bu yöntem 1920 ve 1930'larda karayolu kuruluşlarının çoğu tarafından kullanılmıştır. Başlangıçta Hubbard Field yöntemi, kum-asfalt aşınma tabakası üzerine odaklanmıştır. Numuneler 2 inç (50,8 mm) yüksekliğinde el tokmağı ile sıkıştırılmıştır. Modifiye Hubbard Field versiyonu asfalt betonu için geliştirilmiştir. 6 inç çapında numuneler kullanılmış ve bu numuneler iki farklı tokmakla sıkıştırılmıştır. Her bir numune 60°C (140°F) sıcaklıktaki su banyosunda bekletilmekte ve aynı sıcaklıkta 2,4 inç/dak (6,1 mm/dak) hızla yükleme yapılarak kırılmaktadır. Elde edilen en yüksek dayanım değeri stabilite olarak alınmaktadır. Deney düzeneği Şekil 3'te görülmektedir (Roberts ve diğ., 2002).



Şekil 3 Hubbard Field stabilite deney düzeneği (Roberts ve diğ., 2002).

Hubbard Field metodu Richardson'un tasarım yöntemine dayanmaktadır. Numuneler laboratuarda hazırlanmış fakat karışımları değerlendirmek için lekeli kağıt deneyi yerine tasarım bitüm içeriğini belirlemek için bir değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir. Karışımların hacim özgül ağırlıkları ve maksimum teorik özgül ağırlıkları belirlenmiştir. Karışımların boşluk oranları ve agregalar arası boşluk oranları tespit edilmiştir. Böylece bugünkü sistemle aynı şekilde hacimsel özellikler değerlendirilmiştir.

Hacimsel tasarıma ilave olarak Hubbard Field yönteminde sıkıştırılmış numuneden çapı biraz daha az olan bir halka boyunca basınç uygulayan bir stabilite deneyi kullanılmaktadır. Maksimum yük Hubbard Field stabilitesi olarak isimlendirilmekte ve karışım akmaya başlamadan önce elde edilmektedir. Bu deney Marshall stabilite deneyinin temelini oluşturmuştur. Hubbard Field yönteminde seçilen bitüm içeriği hava boşluğu ve stabilite baz alınarak belirlenmektedir. Agregalar arasındaki boşluk oranları karışımın stabilitesini ayarlamak için değerlendirilmektedir. Bu yöntem dönem şartları için uygun olmasına rağmen ilerleyen teknoloji ve artan trafikle ortaya çıkan ağır dingil yükleri için yetersiz kalmıştır. Ayrıca II. dünya savaşı yıllarında ortaya çıkan ağır askeri uçaklar, yeni bir tasarım yönteminin geliştirilmesi sürecini hızlandırmıştır.

Marshall Dizayn Metodu

Marshall tasarım yönteminin ilk hali 1939 yılında Bruce G. Marshall tarafından geliştirilmiştir. Marshall, II. dünya savaşı yıllarında askere alındığında havaalanı kaplama tasarımı için değişik yöntemler geliştirmeye başlamıştır. Amerikan Ordusu Mühendisler Birliği (USACE), büyük askeri uçaklarla ilgili yüksek lastik basınçları ve ağır tekerlek yükleri nedeniyle yeni karışım tasarım yöntemleriyle ilgilenmişlerdir. Marshall yönteminde, bitümlü bağlayıcı içeriği minimum stabilite değerini ve akma aralığını sağlayacak şekilde seçilmektedir. Marshall tasarım yöntemi, numunenin bir kısmı yerine bütün numuneye uygulanan gerilme esas alınarak tasarım yapıldığından USACE tarafından tavsiye edilmiş ve kullanılmıştır (Pap, 2009).

Marshall tasarım yöntemi 3 ana adımı içermektedir. Bunlar; agrega seçimi, bitümlü bağlayıcı seçimi ve optimum bitüm içeriği seçimidir. USACE, trafik yükü ve iklim şartlarına uygun olarak farklı malzemeler üzerinde çeşitli deneyler uygulayarak Marshall yöntemini geliştirmeye devam etmiştir. USACE, bitüm içeriğini belirlemede kullanılan akma ölçerin yardımıyla bir deformasyon ölçüm yöntemi eklemiştir. Günümüzde, Amerika'da bulunan 38 eyalette Marshall yöntemi kullanılmaktadır. Bunun nedeni Marshall metodunun basit ve ucuz oluşudur. Amerika askeri yol uygulamaları tasarımında da Marshall yönteminin geçerliliği devam etmektedir.

USACE, 1950'li yıllar boyunca değişik trafik yükleri ve iklim koşulları altında farklı malzemeler üzerinde çeşitli deneyler yapmaya devam etmiştir. Günümüzde Marshall yöntemi eksikliklerine rağmen dünyada en çok kullanılan BSK tasarım yöntemidir. Marshall tokmağı ve stabilite aleti Şekil 4'te görülmektedir.

Marshall yönteminin avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir (Huber, 2013a).

Avantajlar

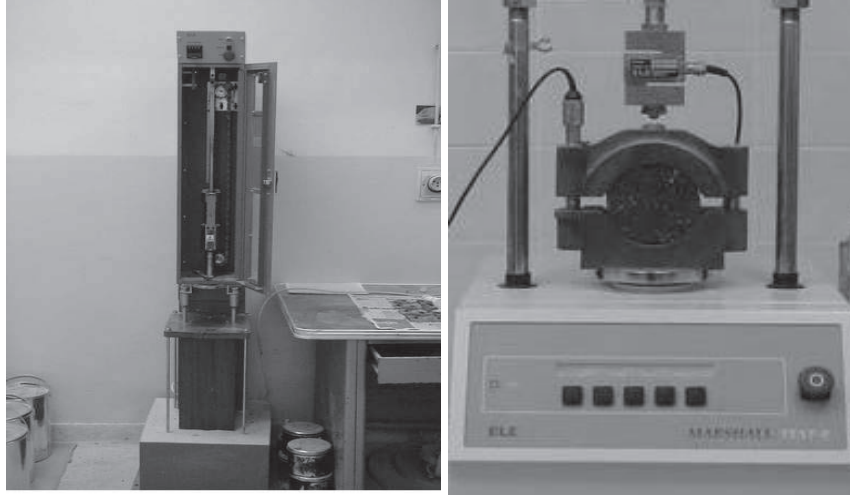
- Ucuz deney düzeneği
- Uygulamanın kontrolü ve kabulünün kolay olması
- Hava boşluğu, dayanım ve durabiliteye dikkat edilmesi

Dezavantajları

- Kesme dayanımını göz önünde bulundurmamaktadır
- Sıkıştırma yapılan eksene dik doğrultuda yükleme uygulanması
- Sıkıştırmada darbe uygulanması

Özellikle hazırlanan karışımların darbeli sıkıştırıcı ile sıkıştırılması, uygulama bölgesi özelliklerini dikkate almadan bağlayıcı seçimi, bağlayıcıların farklı sıcaklıklardaki

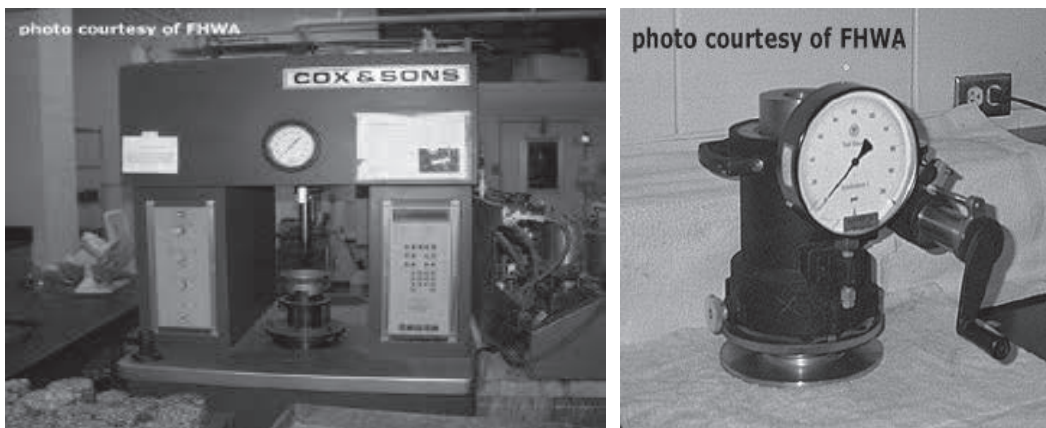
performansları yerine tek bir sıcaklıktaki özelliklerine göre (penetrasyon ve viskozite deneyi gibi) değerlendirilmesi, karışımda agregayla karıştırma sırasında bağlayıcının yaşlanma özelliğinin dikkate alınmaması gibi nedenlerden ötürü daha kapsamlı bir tasarım yöntemi geliştirmek üzerine çalışmalar başlamıştır.



Şekil 4 Marshall tokmağı ve stabilite aleti

Hveem Tasarım Yöntemi

Hveem karışım tasarımı California Karayolları Departmanı'nda çalışan Francis Hveem tarafından 1930'lu yıllarda geliştirilmiştir. Hveem yöntemi öncelikle Amerika'nın batı kıyı eyaletlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Halen California ve Idaho eyaletlerinde kullanılmaktadır. Yaklaşık bitüm içeriğini belirlemek için kullanılan yöntem Eşdeğer Santrifüj Kerosen deneyini içermektedir. Hveem karışım tasarımında numune hazırlamak için yoğurmalı pres kullanılmaktadır. Numunelerin stabiliteyi daha sonra Hveem stabilite aleti ile belirlenmektedir. Hveem sıkıştırıcısı ve stabilite aleti Şekil 5'te görülmektedir (Huber, 2013a).



Şekil 5 Hveem sıkıştırıcısı ve stabilite aleti (Huber, 2013a).

Numunelere sıkıştırma düzlemi boyunca yük uygulanmaktadır. Hveem stabilite aleti, aksenal yük altında yatay deformasyonu ölçmektedir. Hveem yönteminin avantaj ve dezavantajları aşağıda verilmiştir (Huber, 2013a).

Avantajlar

- Dayanım parametresi kesme dayanımının içsel sürtünme parametresinin direk göstergesidir.
- Hava boşluklarını, dayanımı ve durabiliteyi dikkate almaktadır
- Yoğurmalı sıkıştırma arazi şartlarına benzemektedir

Dezavantajları

- Ekipman pahalıdır ve kolaylıkla hareket ettirilememektedir

Marshall yönteminde olduğu gibi Hveem yönteminde de hazırlanan karışımların arazi şartlarını yansıtabilecek şekilde sıkıştırılması, uygulama bölgesi özelliklerini dikkate almadan bağlayıcı seçimi, bağlayıcıların tek bir sıcaklıktaki özelliklerine göre değerlendirilmesi, agregayla karıştırma sırasında bağlayıcının yaşlanma özelliğinin dikkate alınmaması bu yöntemin yetersiz görülme nedenlerindedir.

Superpave Tasarım Yöntemi

“Daha iyi performans sergileyen asfalt kaplama” ifadesinin kısaltması olan Superpave, 1990’ların başında Amerika’da bulunan Stratejik Karayolu Araştırma Programı (SHRP) altında geliştirilmiştir. Superpave, istenen performansa dayalı olarak uygulanan tasarım ve analiz sistemidir. Temel olarak, bitümlü sıcak karışımlar için geliştirilen Superpave tasarım yöntemi 3 aşamadan oluşmaktadır; 1) Malzeme seçimi 2) Agregada gradasyonu 3) Superpave yoğurmalı presi tarafından sıkıştırılan numunelerin hacimsel analizi. Superpave ilk oluşturulduğunda performansa bağlı olarak dört seviye olacak şekilde oluşturulmuştur. Fakat bu dört seviye hala uygulamaya girmemiştir. Amerika’da bulunan birçok karayolu kuruluşu sadece seviye 1’i ifade eden hacimsel tasarım ve nem hasarına karşı dayanımı dikkate almaktadır. Fakat performansa yönelik herhangi bir parametre dikkate alınmamaktadır. Ayrıca herhangi bir dayanım deneyi de Superpave yöntemlerinde bulunmamaktadır. Marshall ve Hveem yöntemlerinde bulunan stabilite deneyleri arazideki performansla ilgili bilgi vermemesine rağmen karışımın kalitesi hakkında fikir verebilmektedir. Günümüzde Amerika’da bulunan 52 karayolu kuruluşundan 50’si Superpave tasarım yöntemini kullanmakta ve diğer 2’si Superpave yöntemini kullanmaya başlamayı planlamaktadır (Huber, 2013a).

Superpave yöntemi Hveem ve Marshall gibi eski yöntemlerde dikkate alınmayan kalıcı deformasyon ve düşük ısı çatlağı sorunlarını aşmak amacıyla tasarlanmıştır. Superpave, belirli bir yere uygulanacak asfalt kaplama için iklim ve trafik şartlarına uygun malzeme ve karışımı seçmek için mühendislere imkan sağlamaktadır. Superpave yöntemi mühendislere ve müteahhitlere daha uzun süre hizmet verebilecek, az bakım gerektirecek ve servis ömrü boyunca daha düşük maliyet sağlayacak kaplamalar tasarlamalarına izin vermektedir. Superpave tasarımı; bağlayıcı deneylerini, gerekli şartnameler için bir seri agregada analizini, BSK tasarım ve analiz sistemini ve bilgisayar yazılımını içermektedir. Ilıman iklimli bölgelerdeki düşük trafik hacimli yollar için metod; malzeme seçimi, hacimsel tasarımı ve nem hasarına karşı dayanımı içerirken yüksek trafik hacimli yollarda dizayn ihtiyaçları artmakta, daha fazla malzeme ve performans deneyine ihtiyaç duyulmaktadır (Huber, 2013a).

İlk Superpave yöntemine göre tasarlanmış BSK 8 Temmuz 1992 yılında Wisconsin Ulaştırma Bölümü ve Mathy İnşaat şirketi tarafından tasarlanıp uygulanmıştır. 3 inç

(7,62 cm) kalınlığındaki kaplama, Superpave yönteminin geçerliliğini belirlemek için uygulanmıştır. Yıllar boyunca çeşitli çalışmalarla Superpave sisteminin geçerliliği araştırılmaya çalışılmıştır. NCHRP 9-7 projesi altında yürütülen çalışmalar sonucunda sadece Superpave hacimsel tasarımının çeşitli malzeme, trafik ve iklim şartları için tek başına yeterli olmadığı tespit edilmiştir. BSK endüstrisi kaliteli bir ürün üretildiğinin kontrolü için basit bir performans deneyine ihtiyaç duymaktadır. Hacimsel özelliklerin kontrol edilmesi iyi bir performans için tek başına yeterli olmamaktadır.

Yorulma çatlağı, kalıcı deformasyon, düşük ısı çatlağı, sürtünme kaybı ve nem hasarı olmak üzere BSK'larda oluşan başlıca beş çeşit bozulma türü vardır. Bütün bozulma türleri kaplamanın performansının azalmasına neden olmaktadır. Kalıcı deformasyon uygun olmayan kaplamanın araziye tatbikinden kısa bir süre sonra oluşurken diğer bozulma türleri yolun trafiğe açılmasından 3-4 yıl sonra görülmeye başlanmaktadır.

Superpave metodunun bariz bir eksikliği karışım dizaynında geri dönüşümü sağlanmış asfalt (GDA) kaplama kullanımı için herhangi bir tavsiyesi bulunmamasıdır. Superpave tasarım yöntemini kullanmaya başlayan kuruluşlar geri dönüştürülmüş asfalt kaplama kullanamamışlardır. Amerika Federal Karayolları İdaresi (FHWA) uzmanları Superpave yönteminde GDA kullanımı üzerine bir yönerge hazırlamışlardır.

BSK servis ömrünün sonuna ulaştığında dahi kaplama malzemeleri değerini korumaktadır. 1970'lerin başında GDA malzemeleri yeni yapılan yol kaplamalarının bir parçası olarak kullanılmaya başlamıştır. GDA kullanımı ekonomik faydanın yanında çevresel fayda da sağlamaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda uygun şekilde tasarlanmış GDA içeren karışımların GDA içermeyen kaplamalarla benzer performansa sahip olduğu belirlenmiştir.

Purdue üniversitesinde bulunan Kuzey Superpave Merkezi'nde yapılan çalışmalar sonucunda GDA malzemelerin BSK'larda kullanımı üzerine yönerge hazırlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda %10-20 gibi düşük oranlarda GDA kullanılması düşünüldüğünde GDA içerisinde bulunan bağlayıcının özelliklerini incelemeye gerek olmadan kullanılabilceği, daha yüksek oranlarda kullanılması düşünüldüğünde ise GDA içerisinden bitümün çıkarılarak incelenmesi gerektiği, ayrıca karışım hazırlandıktan sonra yeni ve eski bitümün ayrıştırılarak incelenmesi gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca yeni ve eski agrega özelliklerinin Superpave şartname limitlerini sağlaması gerektiği belirtilmiştir. Çeşitli kuruluşlar bu yönergenin uygun olduğunu, yapılan uygulanmalarla geçerliliği kabul edilebilir sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir.

Superpave tasarım yönteminin diğer yöntemlerden başka bir farkı bitümlü sıcak karışımların kısa dönem yaşlandırma işlemine tabi tutulmasıdır. Burada hazırlanan karışım 4 saat süresince 135°C sıcaklıkta bekletilmekte ve ardından sıkıştırılmaktadır. Bağlayıcılar üzerinde kısa dönem yaşlanmayı simüle etmesi amacıyla dönel ince film halinde ısıtma deneyi (RTFOT) kullanılmıştır. Fakat yapılan birçok çalışmada özellikle modifiye bitümler için RTFOT deneyinin yeterli olmadığı belirtilmiştir. Modifiye bitümler için modifiye RTFOT deneyi geliştirilmiştir.

Superpave bağlayıcı deneylerinin ve şartname kriterlerinin modifiye bitümleri karakterize etmede yetersiz kaldığı belirtilmektedir. Bu nedenle Amerika'da bazı eyaletler Superpave Plus olarak şartnamelerini yenilemişlerdir. Ayrıca yapılan çeşitli çalışmalarda da aynı performans seviyesi değerine sahip olmalarına rağmen saf ve

polimer modifiyeli bağlayıcılarla hazırlanan karışımların yorulma ve kalıcı deformasyona karşı dayanım parametrelerinin çok farklı olduğu belirlenmiştir. Bu durum Superpave deneylerinin veya şartname kriterlerinin modifiye bitümler için uygun olmadığını veya yetersiz kaldığını göstermektedir.

Superpave karışım yöntemi Marshall ve Hveem karışım tasarım yöntemlerinin değiştirilmesiyle elde edilmiştir. Superpave SHRP tarafından yapılan en büyük çalışmalardan biridir. Superpave 1990'ların başında geliştirilmiştir. Hveem ve Marshall yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan hacimsel tasarım Superpave karışım tasarımının temelini oluşturmuştur. Superpave yönteminde bitümlü bağlayıcı ve agrega seçimi karışım dizayn sürecinde birleşmektedir. Superpave yönteminde trafik ve iklim göz önünde bulundurulmaktadır. Superpave yönteminde karışımın sıkıştırılmasında arazi şartlarını en iyi şekilde laboratuvar ortamına yansıtan yoğurmalı pres kullanılmaktadır. Marshall yöntemiyle Superpave tasarım yöntemi arasındaki diğer bir fark agrega şartnamesidir.

Superpave hacimsel tasarımın başlıca elementleri;

- Kullanılacak malzemelerin seçimi
- Agrega ve bitüm oranlarının belirlenmesi
- Sıkıştırılmış numunelerin değerlendirilmesi

Superpave yönteminin avantajları;

- Diğer iki karışım yöntemine göre daha iyi şekilde bağlayıcı özelliklerinin tayini
- Daha detaylı düşük sıcaklık özelliklerinin incelenmesi
- Arazideki sıkıştırmayı daha iyi yansıtan yoğurmalı presin kullanılmasıdır

Superpave yönteminin dezavantajları ise;

- İlk maliyeti yüksektir
- Superpave yöntemi daha çok deney ve kontrol gerektirmektedir

Sonuçlar

Bitümlü malzemelerin kullanımı milattan önceki yıllara uzanmasına rağmen karayolu sektöründe kullanımı 1860'lı yıllara dayanmaktadır. İlk uygulamalardan itibaren belirli kurallar çerçevesinde günün ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde tasarım yapılmaya çalışılmıştır. İlk detaylı karışım tasarım yöntemi Hubbard-Field yöntemidir. Ardından Hveem ve II. Dünya savaşı yıllarında Marshall yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin en çok eleştirilen yanları arazi şartlarını yansıtmayan deneylerle tasarımın yapılmasıdır. Bu nedenle 1993 yılında Superpave tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem son dönemde karayolu kuruluşları arasında yaygın şekilde kullanılmasına rağmen bu sistemin de eksikleri bulunmaktadır. Geri dönüşümü sağlanmış malzemeleri içermemesi, modifiye bitüm kullanımı açısından performans kriterlerini değerlendirmede yetersiz kalması, kullanılan yöntemin yaşlanmayı yansıtamaması ve yöntemde özel deneyler bulunması nedeniyle ekipmanın pahalı olması Superpave yönteminin başlıca eksiklikleri olarak sayılabilir.

Ülkemizdeki duruma bakıldığında BSK tasarımını Marshall yöntemine göre yapılmaktadır. 2012 yılı KGM verilerine göre ülkemizde bulunan 65.049 km karayolu ağının %21'i bitümlü sıcak karışım kaplamalı, %74'ü ise sathi kaplamalıdır. KGM tarafından, 2013 yılı içerisinde 3.844 km sathi kaplamalı yolun bitümlü sıcak karışımla

kaplanması planlanmaktadır. Ayrıca, önümüzdeki yıllarda sathi kaplamalı yolların bitümlü sıcak karışım ile iyileştirme çalışmalarının devam edeceği belirtilmektedir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda ülkemize uygun bir BSK tasarım yönteminin geliştirilmesinin önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Kaynaklar

Alataş, T., Yılmaz, M., Kök, B. V. and Koral, A. F. (2012). Comparison of Permanent Deformation and Fatigue Resistance of Hot Mix Asphalts Prepared With The Same Performance Grade Binders', Construction and Building Materials, 30, pp. 66-72.

D'angelo J. Modified Binders and Superpave Plus Specifications. İnternet Adresi: http://www.asphaltinstitute.org/public/engineering/PDFs/Superpave/Modified_Binders_SP_Plus_Specification.pdf, Erişim Tarihi: 11.05.2013.

Huber, G. (a), History of Asphalt Mix Design in North America, Part 1, İnternet Adresi: <http://www.asphaltmagazine.com/news/detail.dot?id=03b09431-0bb3-410f-92ec-3dfc044302e6>, Erişim Tarihi: 11.05.2013.

Huber, G. (b), Paving Materials: Past, Present, Future, Western Canada Pavement Workshop, February 1, 2011, İnternet Adresi: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CViAF1ZDr6sJ:www.c-tep.com/C-TEP%2520Pavement%2520Workshop%2520Presentations%25202011/Gerry%2520Huber%2520%2520Paving%2520Materials.pdf+&cd=2&hl=en&ct=clnk&gl=tr>, Erişim Tarihi: 11.05.2013.

Lav, A. H. ve Lav, M. A., (2004) Shell Bitüm Elkitabı, 1. Baskı, İsfalt Yayınları, İstanbul.

McGennis, R.B., Shuler, S. and Bahia, H.U. (1994) Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods. Report No. FHWA-SA-94-069.

Kuloğlu, N. (2001) Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğine Etki Eden Parametreler, TÜBİTAK, Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, 25(1), pp. 61 - 67.

Pap, I. (2009) Practical Mix Design Model for Asphalt Mixture, Sustainable Pavements for European New Member States, 6. Framework Programme.

Richardson, C. (1905) The modern asphalt pavements, John Wiley and Sons Publications, New York, İnternet Adresi: <http://archive.org/stream/modernasphaltpa00richgoog#page/n8/mode/2up>, Erişim Tarihi: 11.05.2013.

Roberts, F. L., Mohammad, L. N. and Wang, L. B. (2002) History of Hot Mix Asphalt Mixture Design in the United States, Journal of Materials in Civil Engineering, 14(4), pp. 279-293.

Tunç, A. (2004) Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı, Asil Yayın Dağıtım, 352 s.

Tunay, C. (2008) Dekoratif Kaplama Sistemlerinde Asfalt Kullanımı ve Alternatif Yöntemler İle Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Wasage, T. L. J., Stastna, J and Zanzotto, L. (2010) Comparison of the Rutting Potential of Paving Mixes Produced From Different Asphalt Binders with the Same Superpave High-Temperature Performance, Canadian Journal of Civil Engineering, 37, pp. 1406–1413.

Zaniewski, J. P. and Pumphrey, M. E. (2004) Evaluation Of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol. Asphalt Technology Program.

SBS+Sasobit Modifiyeli Bitümün Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Baha Vural Kök, Mehmet Yılmaz

Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
424 2370000/5418
bvural@firat.edu.tr, mehmetyilmaz@firat.edu.tr

Mustafa Akpolat

Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ.
makpolat@firat.edu.tr

Öz

Günümüzde daha yüksek standartlı ve sağlam yollar inşa etme çabası çeşitli katkı maddelerinin bitümlü kaplamalarda kullanımının yaygın şekilde araştırılmasını gerektirmiştir. Artık polimer modifikasyonu etkin bir şekilde uygulanırken, işlenebilirlik özelliklerini iyileştirerek daha iyi sıkışma ve ekonomi sağlayacak katkılar da gündeme gelmektedir. Bu tür katkılar işlenebilirlik özelliğinin yanı sıra performans da katkı sağlayabilmektedir. Bu çalışmada değişik oranlarda stiren-butadien-stiren (SBS) ve bir ılık karışım katkısı olan Sasobit içeren bağlayıcıların orta ve yüksek sıcaklıktaki tekerlek izi parametreleri incelenmiştir. Katkıların bağlayıcı içerisinde hem ayrı olarak hem de birlikte kullanılmalarının etkileri değerlendirilmiştir. Kalıcı deformasyonlara karşı direnç bakımından SBS modifikasyonunda belirli oranlarda Sasobit ikamesi yapılabileceği tespit edilmiştir.

Giriş

Yollar, bölgenin sosyo-ekonomik durumuna bağlı olarak ihtiyaç ve talepleri karşılayacak şekilde tasarlanmaktadır. Yol kullanıcısı olarak sürücüler, düzgün, konforlu, kayma direnci yüksek, hızlı erişimli, ulaşım maliyeti ve gürültü seviyesi düşük yollar talep ederken, yol otoriteleri, dayanıklı, minimum bakım gerektiren, kalıcı deformasyonlara karşı dirençli, trafik güvenliği yüksek, uzun ömürlü yolları hedeflemektedirler (Önal ve Temren, 2004). Ülkemizde yol üstyapısı daha çok esnek üstyapı olarak inşa edilmektedir. Yol üstyapısının özelliklerini iyileştirmek amacıyla bu yapı içerisindeki her bir bileşenin ya ayrı ayrı yada tamamının özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Kaplama tabakasında kullanılan bitümlü sıcak karışımların mühendislik özelliklerini iyileştirmek için iki temel yoldan birisi gradasyonu ve dolayısıyla asfalt çimentosu oranlarını değiştirmektir. Taş mastik asfalt bu kategoride karışım performansının iyileştirilmesi bakımından tipik bir örnektir. Diğer bir yol ise ya bitüme yada doğrudan karışıma ilave edilen katkı maddeleriyle bitümlü sıcak karışım özelliklerini iyileştirmektir.

Bitümün ve bitümlü sıcak karışımların ısıya ve trafik yüklerine karşı dayanımını arttırmak amacıyla genellikle bitüme polimer kökenli katkı maddeleri ilave

edilmektedir. Bu katkı maddeleri içerisinde en çok stiren-butadien-stiren (SBS) blok kopolimerleri kullanılmaktadır. Polimer türü malzemelerin elastomer grubuna giren SBS blok kopolimerleri, bitümlü bağlayıcıların elastikiyetini arttırmaktadır. SBS modifiyeli bitümlerde modifikasyonun etkin oluşabilmesi; SBS konsantrasyonuna, bitümün yapısına, karıştırma sıcaklığı ve süresi gibi birçok faktöre bağlıdır. Yapılan birçok çalışma sonucunda SBS'nin yüksek sıcaklıklarda karışımların tekerlek izi oluşumu ve yorulmaya karşı dayanımlarını arttırdığı belirlenmiştir (Airey, 2002; Aglan, 1993; Khattak, 1998).

Son zamanlarda çevrenin korunması yönünde artan farkındalık ve enerji tasarrufu konusundaki sürdürülebilirlik yaklaşımları, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları sıcak karışımlar ile soğuk karışımlar arasında olan ve en az sıcak karışımlar kadar performansla sahip ılık karışımları gündeme getirmiştir. Ilık karışımlarda bitüme yada karışıma katılan doğal, organik, sentetik katkılar, düşük sıcaklıklarda karışıma işlenebilme özelliği kazandırarak enerjiden tasarruf sağlamakta aynı zamanda karbon salınımını azaltmakta, inşaat mevsimini uzatmakta, karışımın daha uzun mesafelere taşınabilmesini sağlamakta ve bağlayıcının üretim esnasında çok fazla ısıya maruz kalarak yaşlanmasını önlemektedir (Temren, 2009). Bu katkılar çoğu zaman karışımın mekanik özelliklerini de iyileştirebilmektedir.

Ilık karışım katkısı olarak son zamanlarda yaygın olarak kullanılan katkılardan biri Sasobittir. Sasobit doğal gaz yada kömürün Fischer-Tropsch sentezi ile üretilen uzun alifatik hidrokarbon zincirinden oluşan bir katkıdır (URL-1). Sasobit üzerine yapılan çalışmalarda en çok vurgulanan sonuç, Sasobit modifikasyonunun çok önemli ölçüde viskoziteyi düşürmesidir (Xiao ve diğ., 2012; Akisetty ve diğ., 2009; Hurley ve Prowell 2005, Hamzah ve diğ., 2010). Bitüm ağırlığınca %2 oranında kullanılan Sasobit modifiyeli karışımın sıcak karışımdan 30 °C daha düşük sıcaklıkta aynı işlebilirlik özelliklerine sahip olduğu belirtilmiştir (Zhao ve Guo, 2012). Banerjee ve diğ. (2012) Rediset, Sasobit, Evoterm gibi ılık karışım katkılarının zaman içinde bitümde meydana gelen sertleşme hızını azalttığını belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada öğütülmüş araç lastiği modifikasyonu ile birlikte kullanılan Sasobit'in, yüksek sıcaklık performans seviyesini artırarak tekerlek izine karşı direnci önemli derecede iyileştirdiği ve bu etkilerin kısa dönem yaşlandırmadan sonra söz konusu olduğu tespit edilmiştir (Wang ve diğ., 2012). Öğütülmüş araç lastiği karışımların mühendislik özelliklerini iyileştirirken artan viskoziteye neden olması üretim etkinliğini ve kullanım oranını azaltmaktadır. Bu tür karışımlar içinde Sasobit kullanımı bu dezavantajın önüne geçebilmektedir (Akisetty ve diğ., 2011). Difenderfer ve Hearon (2009) 150 °C yerine 110 °C'de Sasobit modifikasyonu ile hazırlanan karışımın laboratuvar numunelerinde sıcak karışıma göre %22 karot numunelerine göre %10 daha yüksek yorulma performansı verdiğini belirtmişlerdir. Jamshidi ve diğ. (2013) Sasobit modifikasyonunun orjinal karışımların hacimsel özelliklerini ve optimum bitüm oranını etkilemediğini düşük uygulama sıcaklığı dolayısıyla düşük yaşlanma özellikleri sunarak yüksek yorulma direnci sağladığı ve Sasobit modifikasyonu ile daha yüksek oranda geri dönüşüm malzemesinin kullanılabilceğini belirtmişlerdir.

Malzeme ve Metot

Bu çalışmada saf bağlayıcı olarak Batman rafinerisinden elde edilen B 50/70 sınıfı bitüm kullanılmıştır. Saf bağlayıcının polimer ile modifikasyonunda Shell Bitumen

şirketi tarafından üretilen ve stiren-butadien-stiren (SBS) blok kopolimer ihtiva eden KRATON D 1101 kullanılmıştır. Katkı maddesi saf bitüme, bitüm ağırlığınca %2, %3 ve %4 oranlarında 3 farklı içerikte ilave edilmiştir. Çalışmada kullanılan diğer bir katkı malzemesi ılık karışım katkısı olarak kullanılan ve Sasol firmasından temin edilen Sasobit'tir. Sasobit de SBS ile aynı oranlarda ağırlıkça %2, %3 ve %4 oranlarında kullanılmıştır. Çalışmada SBS ve Sasobit katkılarının hem ayrı ayrı olarak hem de aynı karışımda birlikte kullanılmasının, bağlayıcının dinamik kayma reometresi (DSR) deneyinden tespit edilen tekerlek izi parametresi ($G^*/\sin\delta$) ve faz açısı değerlerini nasıl etkilediği belirlenmiştir. Modifiye bağlayıcılar, katkı malzemesinin belirlenen oranlarda saf bağlayıcıya yavaş yavaş ilave edilerek, dört bıçaklı karıştırıcı ile 1000 dev/dk. hıza sahip karıştırıcıda 175 °C sabit sıcaklıkta 1 saat süre ile karıştırılarak elde edilmiştir. Çalışmada saf bağlayıcı ile birlikte Tablo 1'de verilen toplam 16 farklı bağlayıcı değerlendirilmiştir.

Tablo 1 Bağlayıcı kombinasyonları.

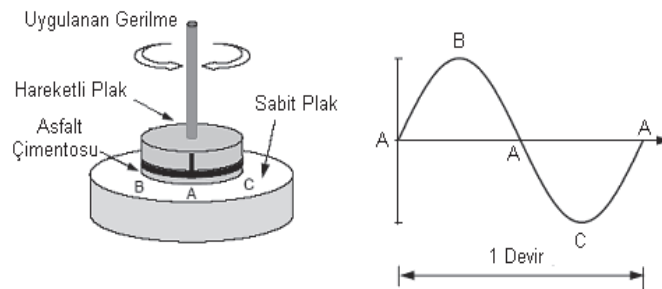
	Bağlayıcı ağırlığınca kullanılan katkı oranı (%)															
SBS	0	0	0	0	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4
Sasobit	0	2	3	4	0	2	3	4	0	2	3	4	0	2	3	4

Deney Yöntemleri

Dinamik Kayma Reometresi Deneyi

Dinamik kayma reometresi (DSR) deneyi, asfalt çimentosunun kompleks kayma modülü (G^*) ve faz açısını (δ) belirleyerek viskoz ve elastik davranışını karakterize etmektedir. G^* , tekerrür eden kayma gerilmelerinin oluşturduğu deformasyonlara karşı asfalt çimentosunun gösterdiği toplam direncin göstergesidir. Hem G^* hem de δ değerleri asfalt çimentosunun sahip olduğu ısı ve yükleme hızı ile önemli ölçüde değişmektedir. (Zaniewski ve diğ., 2004; McGennis ve diğ., 1994).

DSR deneyinde, bağlayıcılar Şekil 1'de görüldüğü gibi sabit alt plak ve hareketli üst plak arasında yerleştirilmektedir. Hareketli üst plaktaki A noktası, B noktasına gitmekte geri dönerek tekrar A noktasına geldikten sonra C noktasına gitmektedir. Daha sonrada tekrar A noktasına ulaşmaktadır. Bu döngüye bir devir denilmektedir ve deney boyunca tekrarlanmaktadır. Deneyde ortam şartlarını yansıtması amacıyla ön koşullandırma yapılmakta ve daha sonra 10 devirlik standart deney uygulanmaktadır.



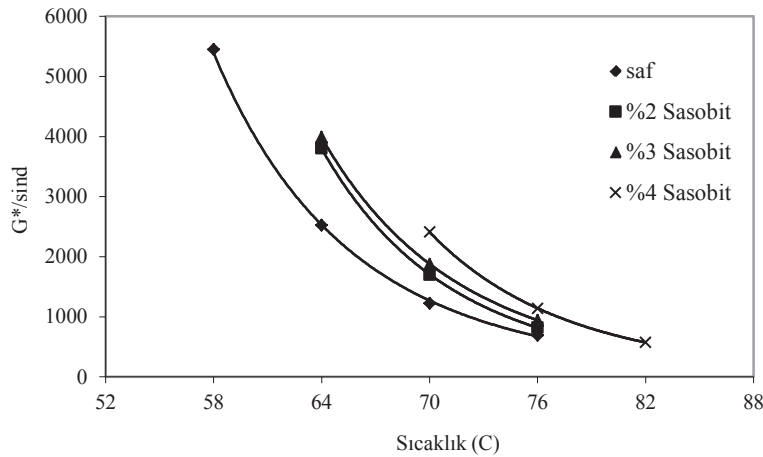
Şekil 1 DSR deneyinde deformasyon yönleri

Superpave sisteminde DSR deneyi, orijinal, kısa ve uzun dönem yaşlandırılmış bağlayıcılara uygulanarak bağlayıcıların orta ve yüksek sıcaklık davranışı tespit edilmeye çalışılmaktadır. Orijinal bağlayıcılara uygulana deneyde 25 mm çapa sahip paralel plaklar arasına 1 mm kalınlığında yerleştirilen bağlayıcılar kullanılmaktadır. Bitümlü karışımlarda kullanılan bağlayıcı toplam karışıma göre çok az bir oranda kullanılmasına rağmen kaplamanın bütün performansını önemli derecede etkilemektedir. Superpave sisteminde DSR deneyinden tespit edilen $G^*/\sin\delta$ değeri kaplamada oluşacak kalıcı deformasyonları kontrol etmektedir. Deneyde minimum 1,0 kPa $G^*/\sin\delta$ değerinin elde edildiği sıcaklık bu bağlayıcı ile hazırlanan karışımların tekerlek izine direnç gösterebileceği maksimum sıcaklık olarak belirlenmektedir. Bağlayıcının yüksek sıcaklık performans seviyesi olarak adlandırılan bu sıcaklıkta ayrıca kısa dönem yaşlandırılmış numunelerin $G^*/\sin\delta$ değerlerinin 2,2 kPa değerinden büyük olması gerekmektedir. Bu sistemde sıcaklık değerleri 6 derecelik artımlarla yapılmakta, hem orijinal hem de kısa dönem yaşlandırılmış numunelerin belirlenen kriterleri sağladığı ortak sıcaklık değeri belirlenmektedir. DSR deneyinde ayrıca karışımların yorulma çatlağı potansiyeli de uzun dönem yaşlandırılmış bağlayıcılarının $G^*/\sin\delta$ değerlerinin maksimum 5000 kPa ile sınırlandırılması ile kontrol edilmektedir.

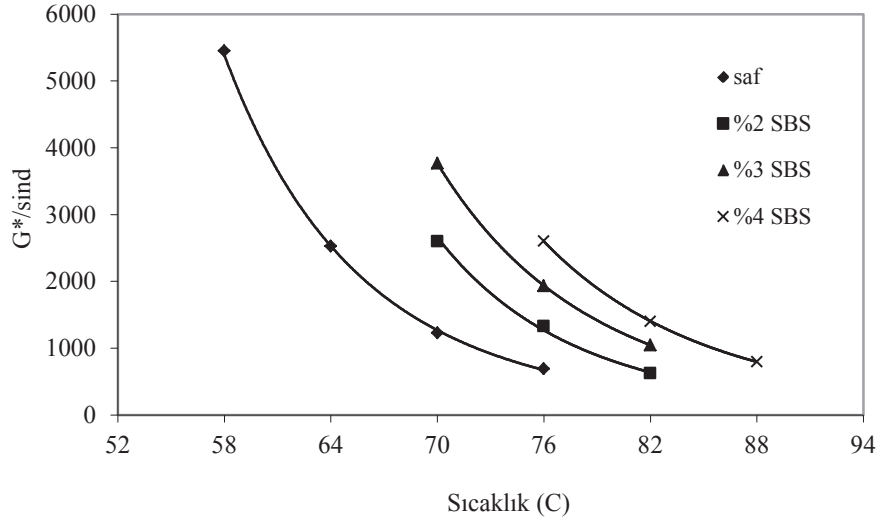
Deneyel Çalışma

DSR Deney Sonuçları

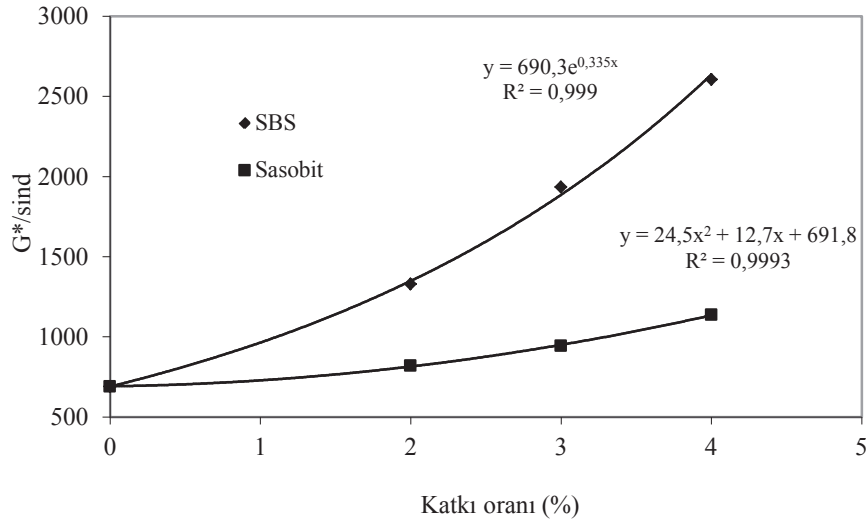
Çalışmada saf ve modifiye bitümlerin 1,59 Hz (10 rad/sn) frekansta ve her bağlayıcı için 6 derece artımlarla en az 3 farklı sıcaklıkta kompleks modülleri ve faz açıları tespit edilmiştir. Şekil 2 ve 3'te katkıların ayrı ayrı kullanılmaları durumunda farklı sıcaklıklardaki $G^*/\sin\delta$ değerlerine etkileri verilmiştir. Sıcaklık arttıkça her iki katkılı bağlayıcıda da $G^*/\sin\delta$ değerleri azalmakta bu azalış orta sıcaklıklarda daha fazla olmaktadır. Her 6 derecelik sıcaklık artışında bağlayıcıların tekerlek izi parametreleri yaklaşık olarak yarı yarıya azalmaktadır. Saf bağlayıcı minimum 1,0 kPa gereksinimini 70 °C'de sağlarken %4 Sasobit modifiyeli bağlayıcı 76 °C'de sağlamaktadır. %4 SBS modifiyeli bağlayıcı 82 °C'de 1,0 kPa gereksinimini fazlasıyla sağlamıştır. Şekil 4'te 76 °C'de katkıların ayrı olarak kullanılması durumunda katkı içeriğinin $G^*/\sin\delta$ üzerindeki etkisi verilmiştir.



Şekil 2 Sasobit modifiyeli bağlayıcıların $G^*/\sin\delta$ değerlerinin sıcaklıkla değişimi.



Şekil 3 SBS modifiyeli bağlayıcıların $G^*/\sin\delta$ değerlerinin sıcaklıkla değişimi.

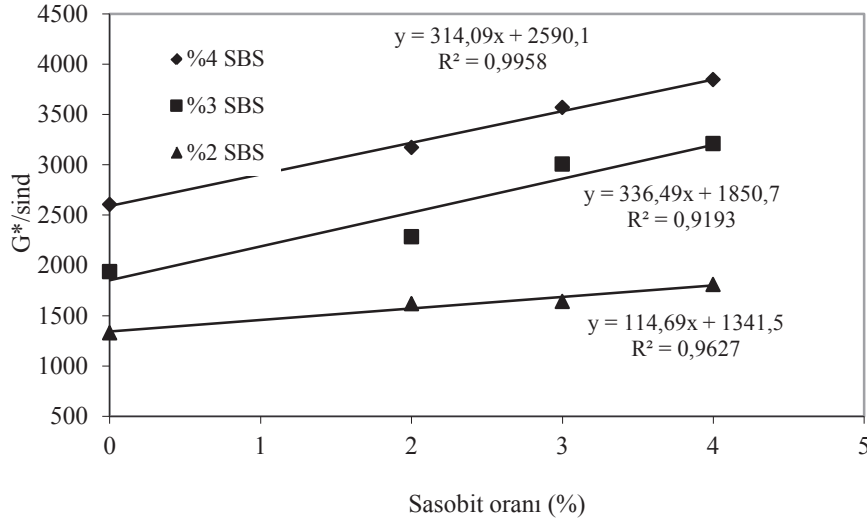


Şekil 4 76 °C'de katkı içeriğinin $G^*/\sin\delta$ üzerindeki etkisi.

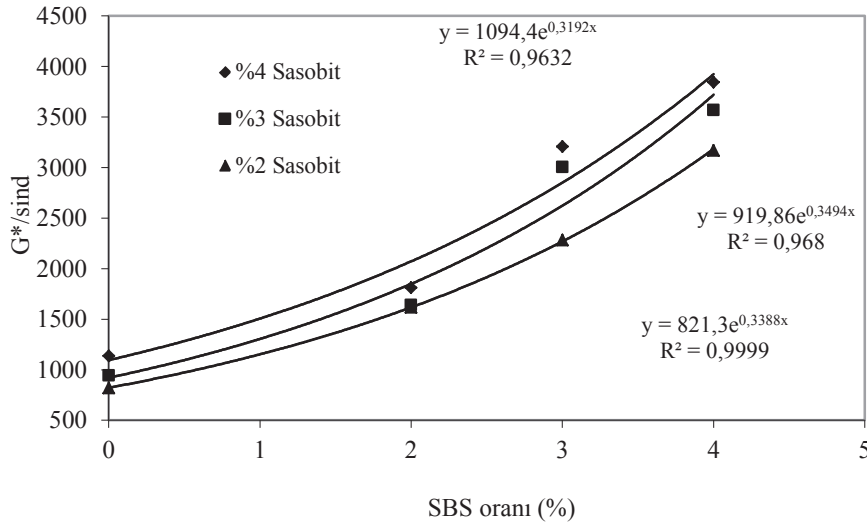
Katkı içeriğinin artması ile SBS modifikasyonunda $G^*/\sin\delta$ değerlerinin üstel bir şekilde, Sasobit modifikasyonunda ise polinomal bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. 76 °C'de %4 Sasobit modifiyeli bağlayıcının tekerlek izi parametresi saf bağlayıcınınkinden %64 daha fazladır. %4 SBS modifikasyonu saf bağlayıcıya göre 76 °C'de 3,77 kat daha yüksek tekerlek izi parametresi vermektedir. SBS modifikasyonu özellikle yüksek oranlarda Sasobit modifikasyonuna göre $G^*/\sin\delta$ üzerinde çok daha etkili olmaktadır. 76 °C'de %4 Sasobit modifikasyonunun performansı yaklaşık %1 SBS modifikasyonu ile elde edilebilmektedir.

Şekil 5'te SBS modifikasyonu ile birlikte Sasobit kullanımının, Şekil 6'da ise Sasobit modifikasyonu ile SBS kullanımının $G^*/\sin\delta$ üzerindeki etkileri verilmiştir. Aynı olarak kullanılmaları durumunda $G^*/\sin\delta$ değerlerinde katkı içeriği ile birlikte üstel ve polinomal olarak meydana gelen artış, SBS modifikasyonunda Sasobit kullanılması

durumunda doğrusal, Sasobit modifikasyonunda SBS kullanılması durumunda ise yine üstel olmaktadır.

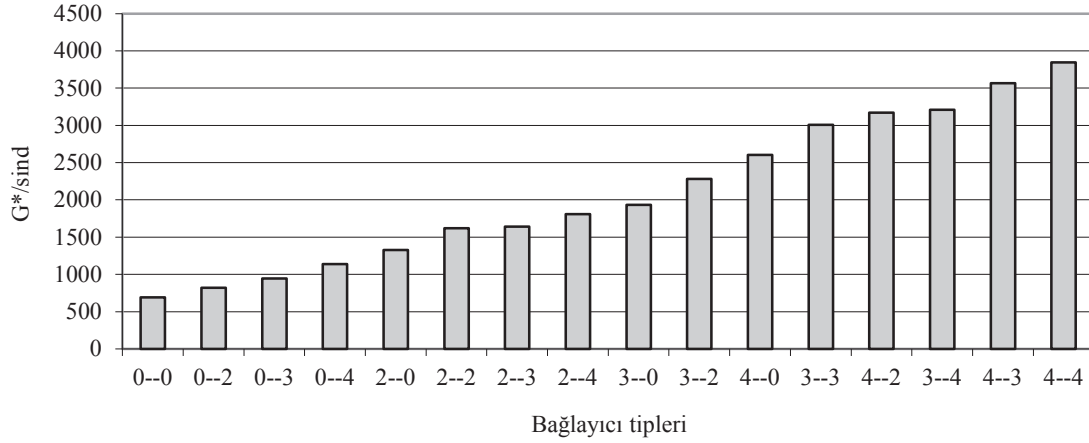


Şekil 5 SBS modifikasyonu içinde Sasobitin etkisi.



Şekil 6 Sasobit modifikasyonu içinde SBS etkisi.

Şekil 7'de bütün bağlayıcıların 76 °C'deki G*/sinδ değerleri küçükten büyüğe doğru sıralı olarak verilmiştir. Sadece Sasobit modifiyeli bağlayıcılar en düşük değerlere sahip olurken en yüksek değerleri katkıların birlikte kullanıldığı bağlayıcılar vermiştir. %4 SBS modifikasyonunun sağladığı performanstan daha iyisi %3 SBS+%3 Sasobit ile elde edilebilmektedir. Bu bağlayıcı saf bağlayıcıdan 4,35 kat; %4SBS+%4 Sasobit bağlayıcısı ise saf bağlayıcıdan 5,56 kat daha yüksek G*/sinδ değeri vermektedir.



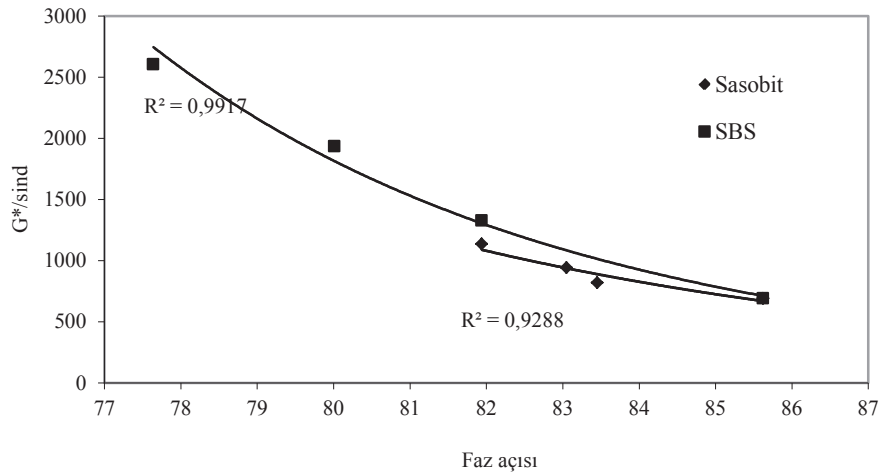
Şekil 7 76 °C’de bağlayıcı tipine göre G*/sinδ’da meydana gelen değişim.

Tablo 2’de bağlayıcıların 1,0 kPa gereksinimini sağladığı sıcaklıklar bir arada verilmiştir. %4 SBS ile birlikte %3 yada %4 Sasobit kullanımı bağlayıcının yüksek sıcaklığa karşı direncini önemli derece artırmaktadır.

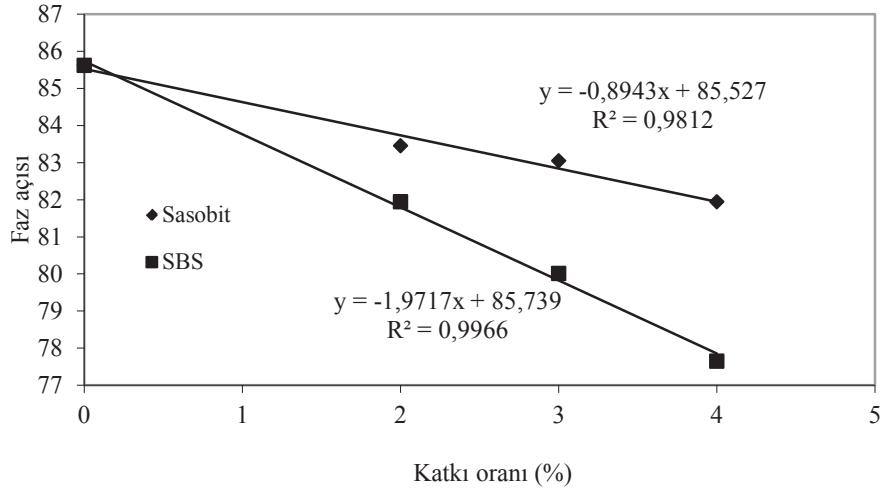
Tablo 2 Bağlayıcıları 1,0 kPa değerini sağladığı sıcaklıklar.

	0-0	0-2	0-3	0-4	2-0	2-2	2-3	2-4	3-0	3-2	3-3	3-4	4-0	4-2	4-3	4-4
°C	70	70	70	76	76	76	76	76	82	82	82	82	82	82	88	88

Bağlayıcıların tekerlek izi parametresinin büyük olması ya kompleks modülünün büyük olması ya faz açısının küçük olması yada her ikisinin birlikte olması durumunda oluşmaktadır. Şekil 8’de 76 °C’de G*/sinδ değerlerine karşılık faz açısı değerleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere aynı G*/sinδ değerinde Sasobit modifikasyonu daha düşük faz açısı sunmaktadır. SBS modifikasyonu yüksek tekerlek izi parametresi verirken Sasobit modifikasyonu da yüksek sıcaklıkta düşük kompleks modülüne karşılık düşük faz açısı vermektedir. Bu bakımdan katkıların birlikte kullanımı tekerlek izi parametresi açısından çok etkili olmaktadır. Şekil 9’da katkıların ayrı olarak kullanılmaları durumunda 76 °C’deki faz açısı üzerindeki etkileri verilmiştir.

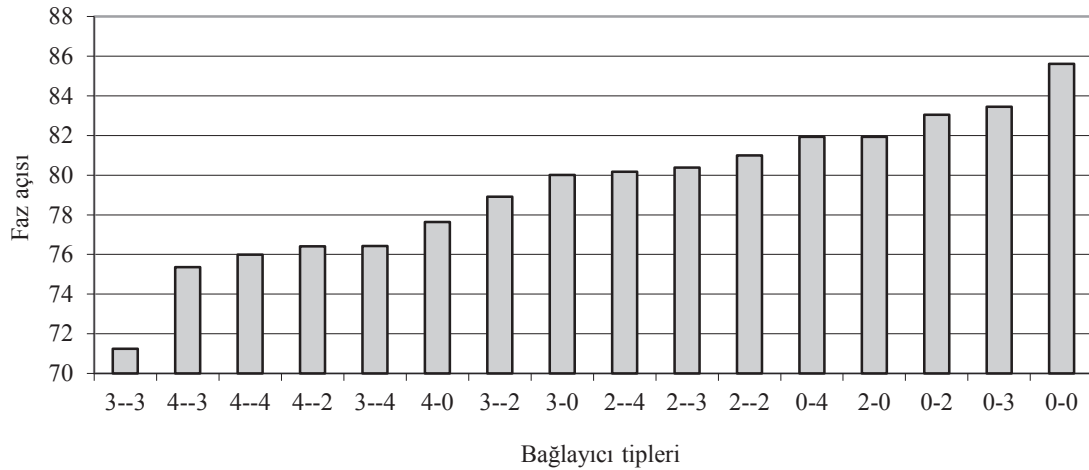


Şekil 8. 76 °C’de G*/sinδ değerine karşılık faz açısı değişimi.



Şekil 9 Katkı içeriği ile faz açısı değişimi.

Şekil 9'dan görüldüğü üzere katkı içeriğinin artması ile faz açıları azalmaktadır. Bu azalış SBS modifikasyonunda daha fazla olmaktadır. SBS modifikasyonu bir taraftan yüksek kompleks modülü verirken diğer taraftan elastik bileşenin daha fazla olduğuna işaret eden düşük faz açıları vermektedir. Bu da aynı orandaki SBS modifikasyonunun Sasobit modifikasyonuna göre daha esnek davranış sergileyerek daha uzun yorulma direnci ve daha üstün termal direnç göstereceğine işaret etmektedir. SBS modifikasyonu ile aynı faz açısını sağlaması için Sasobit oranının SBS'den 2 kat daha fazla kullanılması gerekmektedir. Şekil 10'da bütün bağlayıcıların 76 °C'deki faz açısı değerleri küçükten büyüğe doğru sıralı olarak verilmiştir.



Şekil 10 76 °C'de bağlayıcı tipine göre faz açılarında meydana gelen değişim.

Ayrı kullanım durumunda SBS modifikasyonu Sasobit modifikasyonuna göre daha düşük faz açısı değerleri verirken katkıların birlikte kullanımları faz açılarını azaltarak esnekliği artırmaktadır. Özellikle %3SBS+%3 Sasobit modifikasyonu çok düşük faz açısı vererek esnek davranış sergilemektedir.

Sonuç

SBS modifikasyonunun tekerlek izi parametresi üzerinde Sasobit modifikasyonundan özellikle yüksek katkı oranlarında daha fazla etkili olduğu, yüksek sıcaklıkta saf bağlayıcıya göre %4 SBS modifikasyonunun 3,77 kat, Sasobit modifikasyonunun ise %64 daha yüksek tekerlek izi parametresi verdiği tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklıkta SBS modifikasyonunun tekerlek izi parametresi azaltılan %1 SBS oranına karşılık %3 Sasobit ilavesi ile elde edilebilmektedir. %4 SBS+%4 Sasobit modifikasyonu tekerlek izi parametresi bakımından üstün performans sergilemektedir. %3 SBS+%3 Sasobit modifiyeli bağlayıcının tekerlek izi direnci, dikkate alınan bağlayıcıların 2/3'ünden daha iyi performans sunmaktadır. Katkıların birlikte kullanımları durumunda Sasobit SBS modifikasyonunun esnekliğini artırma yönünde bir katkı sunmaktadır. Bu çalışmada viskoziteyi düşürmesi özelliği ile ılık karışım katkısı olarak kullanılan Sasobit'in aynı karışım içinde SBS modifikasyonu ile birlikte performans artırıcı olarak kullanılabilmesi ve SBS oranından tasarruf sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Kaynaklar

Aglan, H., Othman, A., Figueroa, L. and Rollings, R. (1993) Effect of Styrene-Butadiene-Styrene Block Copolymer on Fatigue Crack Propagation Behavior of Asphalt Concrete Mixtures. Transportation Research Record, 1417, 178-186.

Airey, G.D. (2002) Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens. Fuel, 82(14), 1709-1719.

Akisetty, C.K., Lee, S.J., Amirhanian, S.N. (2009) High Temperature Properties of Rubberized Binders Containing Warm Asphalt Additives. Construction and Building Materials, 23, 565-73.

Akisetty, C., Xiao, F., Gandhi, T., Amirhanian, S.N. (2011) Estimating Correlations Between Rheological and Engineering Properties of Rubberized Asphalt Concrete Mixtures Containing Warm Mix Asphalt Additive. Construction and Building Materials, 25, 950-956.

Banerjee, A., Smit, A.F., Prozzi, J.A. (2012) The Effect of Long-Term Aging on the Rheology of Warm Mix Asphalt Binders. Fuel, 97, 603-611.

Diefenderfer, S and Hearon, A. (2009) Laboratory Evaluation of a Warm Asphalt Technology for Use in Virginia. FHWA/VTRC 09-R11, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, VA.

Hamzah, M.O., Jamshidi, A., Shahadan, Z. (2010) Evaluation of the Potential of Sasobit to Reduce Required Heat Energy and CO₂ Emission in the Asphalt Industry. Journal of Cleaner Production 18, 1859-1865.

Hurley, G.C., Prowell, B.D. (2005) Evaluation of Sasobit for Use in Warm Mix Asphalt. National Center for Asphalt Technology. NCAT Report# 05-06.

Jamshidi, A., Hamzah, M.O., You, Z. (2013) Performance of Warm Mix Asphalt Containing Sasobit State-of-the-art. Construction and Building Materials, 38, 530–553.

Khattak, M. J. and Baladi, G. Y. (1998) Engineering Properties of Polymer – Modified Asphalt Mixtures. Transportation Research Record, 1638, 12-22.

McGennis, R.B., Shuler, S., Bahia, H.U. (1994) Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods, No. FHWA-SA-94-069, pp. 104.

Önal, M.A., Temren, Z. (2004) Türkiye İle Bazı Avrupa Ülkelerinin Esnek Üstyapı Tasarımlarının Karşılaştırılması. 4.Ulusal Asfalt Sempozyumu 224-243.

URL-1 www.sasolwax.com

Temren, Z. (2009) Ilık Karışım Asfalt Uygulamaları ve Performansı. 5.Ulusal Asfalt Sempozyumu 50-60.

Wang, H., Dang, Z., You, Z., Cao, D. (2012) Effect of Warm Mixture Asphalt (WMA) Additives on High Failure Temperature Properties for Crumb Rubber Modified (CRM) Binders. Construction and Building Materials, 35, 281–288.

Xiao, F., Punith, V.S., Amirkhanian, S.N. (2012) Effects of Non-Foaming WMA Additives on Asphalt Binders at High Performance Temperatures. Fuel, 94, 144–55.

Zaniewski, J.P., Pumphrey, M.E. (2004) Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol. Asphalt Technology Program, 107.

Zhao, G.J., Guo, P. (2012) Workability of Sasobit Warm Mixture Asphalt. Energy Procedia, 16, 1230-1236.

Kolemanit Atıklarının Asfalt Beton Karışımlarda Filler Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi

**Serdal Terzi, Nihat Morova, Nefiye Çolak, Sercan Serin,
Mehmet Saltan**

Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fak., İnşaat Müh. Böl. Çünür/ISPARTA
Tel: (0246) 2111221
E-Posta: serdalterzi@sdu.edu.tr

Öz

Bu çalışmada, kolemanit atığının filler olarak kullanılmasının asfalt karışımların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Aynı agrega gradasyonuna sahip kireç taşı ve kolemanit fillerini içeren asfalt karışımları hazırlanmış ve optimum bitüm oranı Marshall stabilite testi ile belirlenmiştir. Kolemanit fillerlive kireç taşı kullanılan kontrol karışımlarının mekanik özellikleri Marshall stabilite testi yapılarak değerlendirilmiştir. Bu testler sonucunda, filler olarak kolemanit atığı kullanılan karışımların kireç taşı kadar olmasa da şartname sınırlarının üzerinde başarılı sonuçlar verdiği açıkça gözlenmiştir.

Anahtar sözcükler:Kolemanit, Atık malzemeler, Asfalt Beton karışımlar

Giriş

Dünyadaki doğal kaynaklar; yıllar geçtikçe nüfus artışına ve hızlı sanayileşmeye bağlı olarak azalırken, gereklilikleri her geçen gün artmaktadır. Buna karşılık, enerji ve doğal kaynakların tüketilmesiyle atık malzeme oluşumu da çoğalmaktadır. Doğal malzemeleri kullanmak yerine, bu malzemelerin üretimi ve işlenmesi sırasında oluşan yan ürünleri ve atık malzemeleri yeniden değerlendirerek kullanmak gerekmektedir. Böylelikle doğal kaynakların verimli kullanımıyla enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Ayrıca atık malzemelerin atılmak üzere depolanması durumunda çevreye vermiş olduğu zarar da en aza indirgenmiş olmaktadır. Böylece ülke ekonomisine de uzun vadede büyük faydalar sağlanması mümkün olacaktır (Öksüz, 2011).

Karayolu inşaatlarında atık malzeme kullanımı son yıllarda yaygınlaşmıştır. Atıklar, karayolu tabakalarında değerlendirilerek ortadan kaldırılabilirler. Karayollarında, aşınma ve binder tabakalarında, temel ve alt temel tabakalarında ve taban zemininde (dolgu malzemesi olarak) kullanılabilirler. Bunun yanı sıra rijit üst yapılarda da çimento betonunda agrega veya tamamlayıcı çimento malzemesi olarak da kullanılabilirler (Çağlar, 2007).

Agrega birçok inşaat imalatında olduğu gibi yol üst yapılarının da başlıca hammaddesidir. Üstyapıda kullanılan bitümlü sıcak karışımın (BSK) büyük bir bölümünü oluşturan agreganın özellikleri karışım performansını büyük ölçüde

etkilemektedir. Bu nedenle BSK'lar için gerekli özellikleri sağlayan agrega temininde sıkıntılar yaşanabilmekte ve agrega maliyetleri daha yüksek olmaktadır (Tayfur, 2003). Bağlayıcısız temel ve alt temel tabakalarının tamamı, bitümlü sıcak karışımlarının ağırlıkça %90-95'i, hacimce ise % 85'lik kısmı agregalardan oluşur (Tayfur, 2003).

Agrega-asfalt karışımlarının yol kaplaması olarak kullanılabilmesi için bazı koşulları sağlaması gerekir. Bu koşullar, kaplamalarla ilgili Teknik Şartnamelerde verilmiştir (Roberts, 2000). Yıllar boyunca, yol yapıları trafik yoğunluğu, dingil yükü ve lastik basıncı ve yetersiz bakım nedeni ile beklenenden çok daha hızlı bir şekilde bozulurlar. Bu durum, mevcut asfalt malzemesinin özelliklerini artırmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Asfalt, mineral agrega, filler, bitüm ve havadan oluşan çok fazlı kompleks bir malzemedir. Filler malzemesi, asfalt karışımlarının ana bileşenlerinden biri olarak dikkate alınır. Mineral filler malzemesinin özellikleri, onun asfalt betonunun performansını geliştirmedeki potansiyelini tespit etmek, özellikle de sıcak karışımın stabilitesini ve durabilitesini artırarak ötelenme ve tekerlek izi oluşumu ile ilgili sorunları azaltmak için araştırılmıştır. Belirli mineral filler malzemelerinin kullanımı, asfalt betonundaki rijitlik ve gerilme artışı için uygun bir değer artışı sağlar (Benson, 1984). Filler malzemesi, genellikle kalker, Portland çimentosu, siyah karbon ve uçucu kül agregalarının elenmesi ile elde edilir. Bu maddelerin özellikle de siyah karbon kullanılmasının karışımın durabilitesi, aşınma direnci ve sıcaklık hassasiyeti için faydalı olduğu belirtilmiştir (Roberts, 2000; Rogue, 2004).

Atık olarak elde edilen çeşitli ürünlerin depolanması veya doğaya terk edilmesi çok büyük güçlükler yaratmakta, çevre kirliliğidahil topluma çok büyük sorunlar getirmektedir. Yollarda kullanılan yüksek performanslı bitümlü sıcak karışım üretiminde uygulanan yöntemlerden birisi endüstriyel atık maddelerin bir katkı olarak kullanımınıdır. Atık malzemelerinin değerlendirilmesi ile hem atıkların oluşturacağı çevre kirliliği önlenmekte, hem de bu atıklar kullanılarak yolların bazı özellikleri iyileştirilmektedir. Ayrıca, atıkların değerlendirilmesiyle ülke ekonomisine de katkıda bulunmaktadır (Üstümkol, 2010).

Dünyada Bor yataklarına sahip sayılı ülke mevcuttur. Dünya Bor rezervinin %72'sine sahip olan Türkiye, bu rezerv oranıyla dünyada birinci sırada yer almaktadır. Türkiye'de ticari değere sahip önemli olan Bor çeşitleri; Boraks (Tinkal), Kernit (Razorit), Üleksit, Probertit ve Kolemanit olarak sıralanabilir. Bor ve Bor ürünleri birçok endüstri alanında ham madde olarak kullanılmanın yanı sıra Bor tüketiminin hızla artmasına paralel olarak kullanım alanlarında çoğalmaktadır. Günümüz Bor ve Bor bileşikleri, Cam Sanayi, Sanayi, Temizleme, Alev Geciktiriciler, Tarım Metalürji, Uzay ve Havacılık Enerji, Nükleer uygulamalar gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak, Bor ve Bor atıkları tuğla, seramik, sıva ve Borlu çimento gibi birçok yapı sektöründe kullanılmaya başlanmasıyla atık Bor atıklarının çevreye verdiği zararlar, en aza indirgenmeye çalışılmış ve bunun yanında ülke ekonomisine çok büyük katkılar sağlamıştır (Çolak, 2012; Yiğitbaşıoğlu, 2004).

Bu çalışmada, asfalt karışımlarda kolemanit atığının filler olarak kullanımı araştırılmış ve asfalt betonu karışımların mekanik özellikleri üzerinde kolemanit atığının olumlu ya da olumsuz etkisi olup olmadığı deneysel çalışmalar ile belirlenmeye çalışılmıştır.

Malzeme ve Özellikleri

Çalışmada, mineral agrega olarak kullanılan kireç taşı, Isparta çevresinden çıkarılan ve Isparta Belediyesinin asfaltlama çalışmalarında da kullanılmaktadır. Karışımda kullanılan kaba ve ince kireç taşına ait temel fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1 Çalışmada kullanılan agrega özellikleri.

Agrega Çapı	Özellik	Standart	Ort. Değer
Kireç Taşı	İnce	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	ASTM C 127-88
		Su Emme (%)	0.130
	Kaba	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	ASTM C 128-88
		Su Emme (%)	2.800
	Aşınma Kaybı (%) (Los Angeles)	ASTM C 131	20.38
Kolemanit Filler	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	ASTM C 128-88	2.46

Çalışmada kullanılan B50/70 bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitüm Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi (TÜPRAŞ)’dan temin edilmiştir. B50/70 asfalt çimentosunun fiziksel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

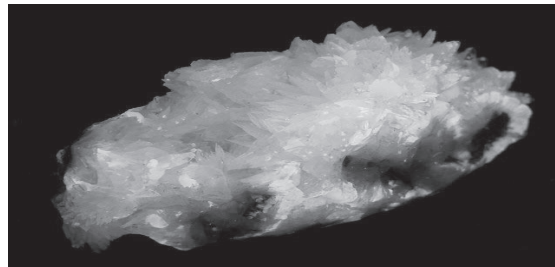
Tablo 2 Bitümün temel fiziksel karakteristikleri.

Bitümün Karakteristiği		
Deneyin Adı	Ortalama Değer	Standart
Penetrasyon (25 °C)	B50/70	ASTM D5
Parlama Noktası	180°C	ASTM D92
Yanma Noktası	230 °C	ASTM D92
Yumuşama Nok.	45,5°C	ASTM D36
Düktilite(5 cm/dk)	>100 cm	ASTM D113
Özgül Ağırlık	1.030	ASTM D70

Tablo 3’de karışımlarda filler olarak kullanılmış olan kolemanit malzemenin kimyasal analizi verilmiştir. Doğal kolemanite ait bir görüntü Şekil 1’de görülmektedir.

Tablo 3 Kolemanitinkimyasalözellikleri (Ustabaş, 2013).

B ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	SO ₄	Na ₂ O	As ₂ O ₃ (ppm)	As(ppm)	SrO
39.8	26.59	5.56	0.17	0.032	2.81	0.24	0.29	0.15	32	24.24	1.19



Şekil 1 Kolemanitin mineral şekli.

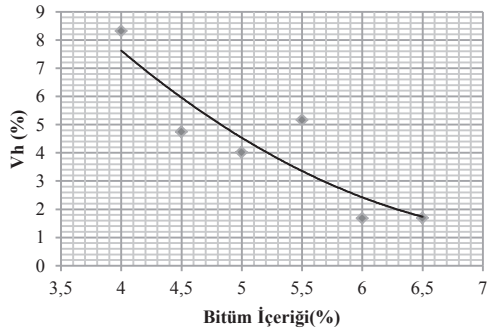
Tablo 4 binder tabakası için sıcak karışımlarda kullanılan KGM şartnamesi esas alınarak belirlenmiş agrega dağılımını ifade etmektedir.

Tablo 4 Binder tabakası için seçilen agrega granülometrisi.

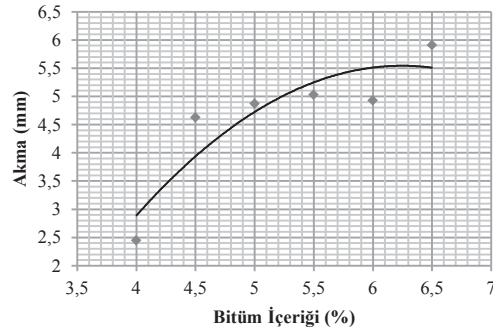
Elek Çapı (mm)	Ağırlıkça Geçen (gr)	% Kalan	% Geçen
19	120	10	90
12,5	252	21	69
9,5	120	10	59
4,75	216	18	41
2	132	11	30
0,425	180	15	15
0,180	66	5,5	9,5
0,75	60	5	4,5
Pan	54	4,5	0
TOPLAM	1200	100	-

DeneySEL Bulgular

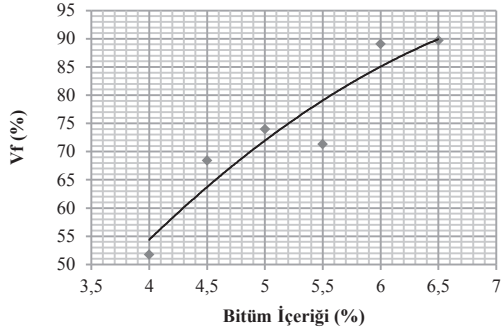
Çalışmada kullanılacak optimum bitüm içeriğinin tayini için kireç taşı kullanılarak altı (6) farklı bitüm içeriği ile KGM şartnamesi gradasyon limitleri esas alınarak ortalama filler değerinde 18 numune hazırlanmış ve optimum bitüm daha sonraki karışımlarda kullanılmak üzere optimum bitüm değeri elde edilmiştir. Bu karışımlara ait grafikler Hava boşluk oranı (Vh), Asfaltla dolu boşluk(Vf), Marshall Sıralı (MS), Birim Hacim ve Akma ile bitüm içeriği arasındaki ilişkiler Şekil 2-6 arasında verilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar ile %5,3 bitüm içeriği optimum bitüm olarak tayin edilmiştir. Devam edilen tüm çalışmalarda karışımın bitüm içeriği %5,3 olarak kullanılmıştır.



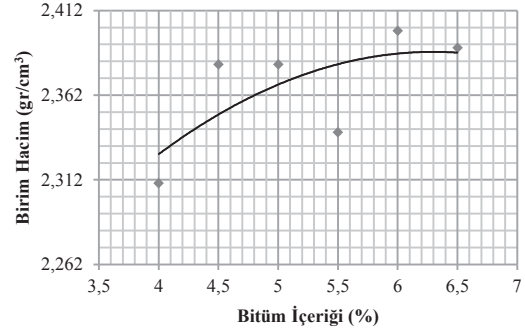
Şekil 2 Vh-Bitüm İçeriği ilişkisi.



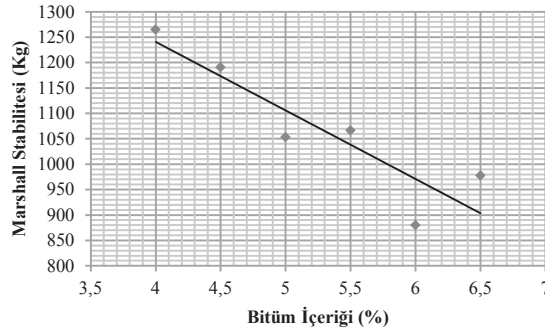
Şekil 3 Akma-Bitüm İçeriği ilişkisi.



Şekil 4 Vf-Bitüm İçeriği ilişkisi.



Şekil 5 Dp-Bitüm İçeriği ilişkisi.



Şekil 6 MS-Bitüm İçeriği ilişkisi.

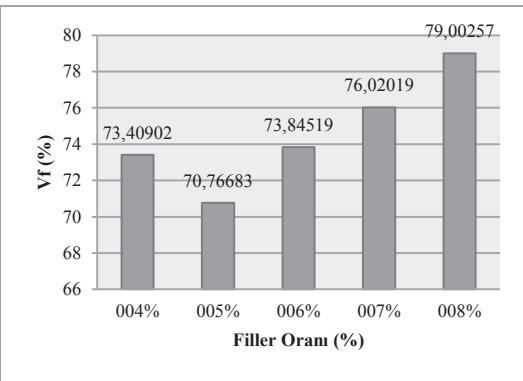
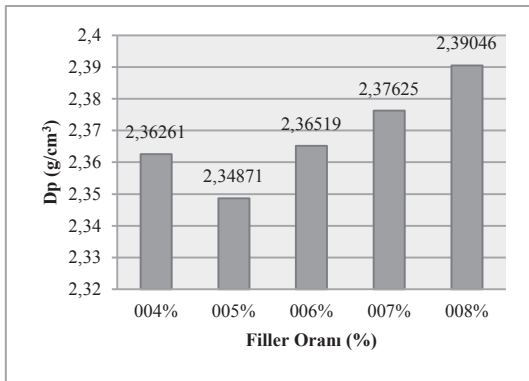
Optimum bitüm içeri belirlenirken KGM belirlemiş olduğu kriterler göz önünde bulundurulmuştur, bu kriterler kısaca aşağıda sıralanmıştır;

1. Maksimum Stabiliteyi veren bitüm içeriği
2. Maksimum birim hacim ağırlığı veren bitüm içeriği
3. Ortalama tasarım limitlerinde toplam karışımdaki hava boşlukları yüzdesine karşılık gelen bitüm içeriği (örn;4%)
4. Ortalama tasarım limitlerinde toplam karışımdaki bitümle doldurulmuş hava boşlukları yüzdesine karşılık gelen bitüm içeriği (örn;80%)

Kireç taşının optimum bitüm içeriği:

$$\frac{5.5 + 4 + 6.45 + 5.2}{4} = 5.30$$

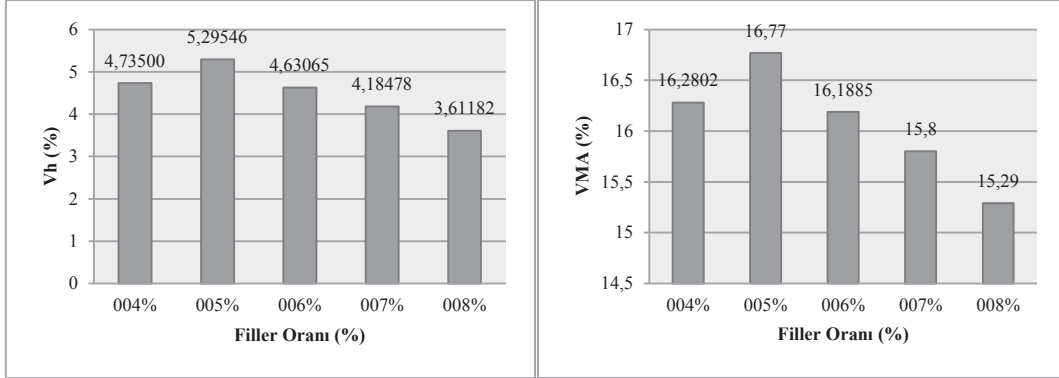
Yukarıda yapılan hesap neticesinde %5.3 optimum bitüm içeriği olarak kabul edilmiştir.



Şekil 7 Filler oranına göre Dp değişimi. Şekil 8 Filler oranına göre Vf değişimi.

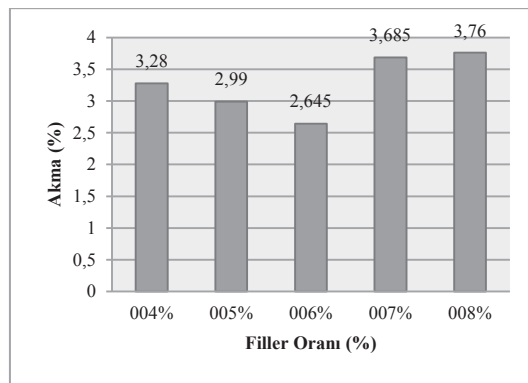
Şekil 7 incelendiği zaman pratik birim hacim ağırlık değerinin %4 filler oranı için %5'e geçerken bir düşüş gösterdiği, bu noktadan sonar ise sürekli yükselme eğilimi ile maksimum değerine %8 filler oranında sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 8 farklı filler oranları için değişik bitüm içeriklerindeki Vf değişimlerini ifade etmektedir. Grafikte filler oranının artması Dp grafiğinde olduğu gibi bir eğilim gösterdiği söylemek yanlış olmayacaktır. Tüm gruplar arasında en yüksek Vf değeri 79 % ile 8% filler ilaveli numunelerde oluşmaktadır. En düşük Vf değerine ise 5% filler ilaveli numunelerde görülmüş ve 70.77% olmuştur.



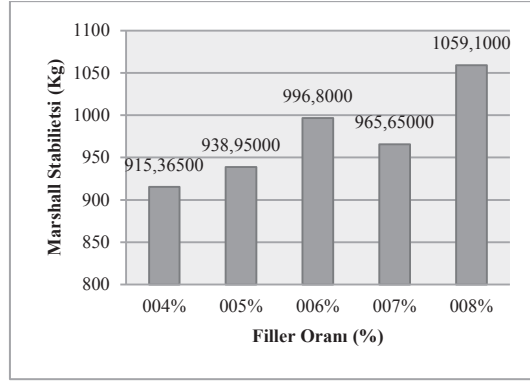
Şekil 9 Filler oranına göre Vh değişimi. Şekil 10 Filler oranına göre VMA değişimi.

Şekil 9 ve 10'da VMA ve Vh grafikleri verilmiştir. Her grafikte de tüm filler içerikleri için benzer bir eğilim göze çarpmaktadır. En yüksek Vh ve VMA değeri %5 filler içeriğinde saptanmış olup sırasıyla bu değerler Vh %5.30, VMA ise %16.77 olmuştur. En düşük değerler ise her iki ifade için de %8 filler oranında belirlenmiştir. En düşük Vh %3.61 ve en düşük VMA ise %15.29 dur. Karayolları teknik şartnamesi incelendiğinde minimum ve maksimum Vh, VMA ve Akma değerlerinin esas alınan binder tabakası için şartname sınırlarını sağladığı görülmektedir.



Şekil 11 Filler oranına göre Akma değişimi.

Şekil 11'deki filler oranına göre akma değişimi dikkate alındığında tüm gruplar arasında en düşük akma değerine %6 filler katkısı kullanılan numunelerde olduğu görülmüştür. En büyük akma değeri olan 3.76 mm değerine ise %8 filler ilavesinin kullanıldığı numunelerde ulaşılmıştır. Grupların tamamına bakıldığında akma değerleri %6 filler içeriğine kadar düşme eğilimli bu noktadan sonar ise artış eğilimi göstermektedir.



Şekil 12 Filler oranına göre MS değişimi.

Şekil 12 incelendiğinde %5.3 bitüm içeriği ile dökülmüş farklı filler ilaveli numuneler için stabilite değerlerinin %4'den itibaren artış gösterdiği %6'dan sonra %7 filler ilavesinde bir düşüş gösterdiği %8 filler ilavesinde ise maksimum değerine ulaştığı görülmektedir. En düşük stabilite değeri %4 filler içeriğinde 915.37 Kg olarak hesaplanmış, en yüksek stabilite değeri ise %8 filler katkısı kullanılan numunelerde belirlenmiş ve bu değer 1059.1 Kg olmuştur.

Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada, kolemanitlerin düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi esnasında ortaya çıkan atıklarının asfalt betonunda filler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır

Öncelikle aynı granülometri eğrisine sahip kireç taşı numuneleri ile hem kireç taşının filler olduğu hem de kolemanitfiller olduğu karışımlar hazırlanmıştır. Tamamı kireç taşı ile hazırlanan numunelere Marshall stabilite deneyi uygulanarak optimum bitüm yüzdesi belirlenmiştir. Daha sonra bu bitüm içeriği esas alınarak 5 farklı filler oranının kullanıldığı kolemanit filler katkılı numuneler hazırlanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bulunan optimum bitüm yüzdeleri karşılaştırılmıştır ve sonucunda birim ağırlığı düşük ve su emmesi yüksek olan kolemanitin belirlenen oranlarda katkı katılarak istenen sonuçları elde edebileceği görülmüştür.

Kireç taşı kullanılarak dökülmüş referans numunelerle karşılaştırıldığı zaman Kolemanit katkılı numunelerde stabilite değerlerinde küçük de olsa bir azalma söz konusu olsa da kolemanit filler katkılı sıcak karışımların şartname sınır değerlerinin bir hayli üzerinde olduğu görülmektedir. Atık malzemelerin kullanımı ve bertaraf edilmesi açısından ele alındığında kolemanit atıklarının karışımlarda değerlendirilmesi açısından kullanılabilir olması oldukça önem arz etmektedir.

Yapılan çalışmada hazırlanan numuneler sadece Marshall Stabilite ve akma testlerinin tabii tutulmuştur. Sonuç olarak özellikle kolemanitin yaygın olarak bulunduğu bölgelerde, taşıma ve kurutma maliyetlerin kireçtaşının maliyetini geçmediği kesimlerde, asfalt betonu karışımlarda kireç taşı yerine kolemanitin alternatif bir filler malzemesi olabileceği düşünülmekle beraber; asfalt betonu karışımlarda kireç taşı

yerine kolemanitin filler malzemesi olarak kullanılabilceği kesin kanısına varmak için çalışma farklı karışım testi ile güçlendirilebilir.

Kaynaklar

ASTM C 127-88. (1992) Test method for specific gravity and adsorption of coarse aggregate, USA: Annual Book of ASTM Standards.

ASTM C 128-88. (1992) Test method for specific gravity and adsorption of fine aggregate, USA: Annual Book of ASTM Standards.

ASTM C 131-96. (1992) Standard test method for resistance to abrasion of small size coarse aggregate by use of the Los Angeles machine, Annual Book of ASTM Standards.

ASTM D5. (1992) Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials, Annual Book of ASTM Standards USA.

ASTM D92. (1992) Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester, Annual Book of ASTM Standards USA.

ASTM D36. (1992) Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus), Annual Book of ASTM Standards USA.

ASTM D113. (1992) Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials, Annual Book of ASTM Standards USA.

ASTM D70. (1992) Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method), Annual Book of ASTM Standards USA.

Benson F. C., and Martinez D. F. (1984) Evaluation of several mineral fillers for use in item 340 hot mix asphaltic concrete, Report FHWA/TX/85/1, Texas Transportation Institute, USA.

Çağlar, G. A. (2007) Endüstriyel Atık Malzemelerin Karayollarında Kullanımı, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çolak, N. (2012) Kolemanit Atığının Mineral Filler Olarak Asfalt Betonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Öksüz, B. (2011) Asfalt Betonunda Kaplamalarda Volkanik Cüruf Ve Cam Atıklarının Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Roberts F. L., Kandhal P. S., and Brown E.R. (2000) Hot mix asphalt materials, mixture design, and construction, NAPA Education Foundation, Maryland, USA.

Rogue R., Birgisson B., and Tia M. (2004) Guidelines for use of modifiers in Superpavement mixtures: evaluation of Ground-Tire-Rubber (GTR), Report 4910/4504/718/12, University of Florida, USA.

Tayfur, S. Eren, K. Özen, H. Yıldırım, S. A. (2003) Sıcak Asfalt Karışımı (BSK) Üretimi Açısından İstanbul Taşocaklarının Genel Değerlendirilmesi: Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri, III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.

Ustabaş, İ. (2013) Investigting Usability of Kolemanite and Ulexite in Cement, (27.02.2013), [http://www.thbb.org/Files/File/\[367-375\].pdf](http://www.thbb.org/Files/File/[367-375].pdf)

Üstünkol, F. N., Turabi, A. (2010) Endüstriyel atık filler malzemelerin kullanılabilirliğinin araştırılması, BAÜ FBE Dergisi, Cilt:12, Sayı:1, 3-18.

Yiğitbaşoğlu, H. (2004) Türkiye İçin Önemli Bir Maden: Bor, Ankara Üniversitesi, Coğrafi Bilimler Dergisi, Cilt: 2 Sayı: 2.

Karayolu Darboğaz Yönetimi için Değişken Hız Yönetimi Uygulamaları

Ali Sercan Kesten

İTÜ İnşaat Fakültesi Ulaştırma Çalışma Grubu 34469 Ayazağa/ İstanbul
Tel: 0(212) 2857027
E-Posta: kesten@itu.edu.tr

Öz

Birçok ülkede uygulanan trafik kontrol stratejilerinin çoğu trafikten daha fazla taşıtın geçirilmesini amaçlamaktadır. Hâlbuki yaşanan gecikmelerin azaltılması ve trafik güvenliği de en az trafikten geçebilecek taşıt sayısı kadar önem arz etmektedir. Bu çalışmada, İstanbul Çevreyolu'nda uygulanmak üzere değişken hız yönetimi için dinamik bir algoritma önerilmiştir. Bu uygulamanın sonucu olarak geçen taşıtların sayısının en büyüklüğüne ve gecikmelerin en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, gün boyu değişen trafik koşullarını belirlemek için saha ölçümleri elde edilmiştir. Önerilen hız yönetim stratejisinde kontrol parametresi olarak zamana bağlı işgal değerleri kullanılarak tahmin edilen işgal değeri kullanılmıştır. Algoritma trafik akımının değişen koşullarına bağlı olarak değişen hız sınırlarını düzenlemektedir. Trafik akımını düzleştirme için önerilen trafik kontrol stratejisi mikro ölçekli trafik benzetim programında test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tek başına uygulanan bir değişken hız yönetiminin bile trafik sıkışıklığını hafiflettiğini göstermiştir.

Anahtar sözcükler: akıllı ulaşım sistemleri, trafik kontrolü, değişken hız yönetimi, trafik mikro benzetimi.

Giriş

Günümüzde bireysel hareketliliğin artmasına bağlı olarak ulaşım talebi artmakta bunun sonucunda da çevre yollarında trafik sıkışıklığı daha büyük bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır (Smulders, 1990). Yaşanan bu sıkışıklıkların hemen hemen yarısı yolun kapasitesinin aşılmasından kaynaklanırken bu tür trafik sıkışıklıkları “tekrarlanan” sıkışıklık olarak adlandırılmaktadır. Geçici karışıklıklarının veya olayların sebep olduğu trafik tıkanıklıkları “tekrarlanmayan” sıkışıklık olarak adlandırılmaktadır (Carvell ve diğ., 1997). Karayollarında oluşan bu sıkışıklığın birçok nedeni vardır. Şerit azalmalarından, kazalardan veya yol çalışmalarından kaynaklanan darboğaz kısımları karayollarında trafik sıkışıklığının en önemli nedenlerinden biridir. Darboğaz çevresinde taşıt ölümleri trafik akımını kesintiye uğratarak şok dalgası etkisi yaratmakta, uzun kuyruklanmalara ve trafik akım hızının azalmasına sebep olmaktadır.

Değişken hız yönetimi bir kontrol merkezi tarafından denetlenen değişken mesaj panoları üzerinde uyulması gereken hız limitinin gösterilmesi suretiyle uygulanmaktadır (van den Hoogen, 1994). Uyulması gereken hız limitlerini trafiğin o andaki durumuna bağlı olarak otomatik veya bazı durumlarda el ile değiştirilerek trafiğin daha düzenli

şekilde akması hedeflenmektedir. Geleneksel durağan hız tabelalarında ise böyle bir durum söz konusu olmadığı gibi aynı zamanda bu durum kabul edilebilirlik ve sürücülerin hız kurallarına uyumu açısından da problem teşkil etmektedir.

Genel olarak, değişken hız yönetimi trafik akımını düzgünleştirme, güvenliği artırma ve sürücü baskısını azaltma amacıyla uygulanmaktadır. Değişken hız yönetimi stratejileri ABD, İngiltere, Hollanda, Almanya, Avustralya, Avusturya, Japonya ve Türkiye gibi birçok ülkede başarıyla uygulanmaktadır (Kesten, 2012).

Değişken hız yönetimi yaklaşımının trafik akımı ve güvenliği üzerindeki etkilerini inceleyen birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle trafik güvenliğini iyileştirme üzerinedir (Abdel-Aty, 2006). Bu çalışmada, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak trafik sıkışıklığını hafifletmek için alternatif bir yöntem izlenmiştir. Uygulamada ise, İstanbul Fatih Sultan Mehmet Köprüsü girişindeki şerit daralmasından kaynaklı ve zamana bağlı olarak tekrarlanan trafik sıkışıklığı problemi ele alınmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında değişken hız yönetimi ve model tahmini yapan değişken hız yöntemi anlatılmıştır. Üçüncü kısımda çalışma sahası ve veri analizi yöntemleri belirtilerek trafik benzetimi çalışması anlatılmış, trafik model kalibrasyonu ve sonuçları aynı bölümde gösterilmiştir. Son olarak ilgili kesimlerle ilgili sonuçlar sunulmuştur.

Model Tahmini Yapan Değişken Hız Yönetimi Kontrolü

Değişken Hız Yönetimi

İdeal bir değişken hız yönetimi algılayıcılar, değişken hız limiti panoları ve kontrol işlemlerinin yürütüldüğü bir merkezi işlem biriminden oluşur. Şekil 1’de İstanbul’da sürücüler için uygulanacak hız limitini gösteren değişken mesaj panosu görülmektedir.



Şekil 1 İstanbul’da bir değişken mesaj panosu (İSBAK, 2013).

Yaklaşan taşıt hacimlerine, sürücülerin hız limitlerine uyma oranına ve trafik sıkışıklığına göre; merkezi işlem birimi zamana bağlı veya sistem algılayıcılardan elde ettiği verilere göre bu panolarda gösterilen hız limitini değiştirmektedir (Kang, 2004).

Sürücülerin bu hız limitlerine uyma oranının bu uygulamayı başarılı kılmakta önemli bir etken olmasından dolayı, bu uygulamada yaşanacak ihlallerin Elektronik Denetleme Sistemi (EDS) ile kontrol edilmesi gerekmektedir. EDS'nin trafik ihlallerini azalttığı konusunda İstanbul'da gerçekleştirilen çalışmalar bulunmaktadır (Ulucay, 2011).

Hız limitlerini her şeyden önce yolun proje standartları göz önüne alınarak belirlenmelidir. Yolun çeşitli kesimlerinde yolun geometrisinden (küçük yarıçaplı yatay ve düşey dönemeç kesimleri, boyuna eğimin yüksek olduğu kesimler gibi) kaynaklanan nedenlerden ilgili kesimde hız sınırlaması gerekebilmektedir. Bunun dışında yolun sınıfına bağlı olarak bağlantı yolları, ara yollar ve otoyollarda hız sınırları farklı olabildiği gibi otoyollardaki anakol ve katılımlarda da hız sınırları farklı olmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmada İstanbul'daki O-2 çevreyolunda anakol ile katılımların birleştiği darboğaz bölümlerindeki işgal oranlarını göz önünde bulunduran ve trafik akımını düzgentleştirmeyi amaçlayan değişken hız kontrol algoritması geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Model Tahmini Yapan Değişken Hız Yönetimi Kontrolü

Değişken hız yönetimi kontrolü uygulanması için, trafik durum değişimlerinin ve kontrol parametrelerinin birbirleri ile olan karmaşık ilişkilerini inceleyen birçok trafik modeli ortaya konulmuştur. Trafik durum hesaplarında genellikle trafik yoğunluğu ve yayılma hızı kullanılmaktadır (Van den Hoogen, 1994; Sisiopiku, 2001 ve Smulders, 1990).

Hâlbuki sahada algılayıcılardan ölçüm zorluğundan dolayı uygulamalarda yoğunluktan ziyade taşıt işgal oranı kullanılmaktadır. Taşıt işgal oranı; taşıtların, algılayıcıları ölçüm süresince hangi oranda işgal ettiğini gösterir. Örneğin, 120 saniyelik bir ölçüm süresince taşıtlar bu algılayıcıyı 46 saniye işgal ettiyse, o zaman aralığı taşıt işgal oranı 0,38 olmaktadır.

Bu çalışmada, önerilen algoritmada kontrol değişkeni olarak taşıt işgal oranı, kontrol edilen değişken ise hız olarak seçilmiştir. Bu algoritmada kullanılan taşıt işgal oranı sınırlarlarına bağlı olarak değişken mesaj panolarında gösterilecek hız limitleri ilgili stratejilere göre Tablo 1'de verilmiştir.

Modellenen trafiğin kontrol edilmediği durumla karşılaştırıl İlk stratejide, hız uyumu stratejisi olarak tüm taşıtlara taşıt işgal oranına bakılmaksızın 90 km/saat hız ile gidilmesi söylenmiştir. Bu hız yolun tüm kesimlerinde yapılabilecek olan en yüksek hızı belirtmektedir. İkinci stratejide katılımın hemen anayola bağlandığı akım aşağı yöne konulan algılayıcılardan okunan değerlere göre, Tablo 1'de belirtilmiş olan hızlar gösterilmiştir. Üçüncü ve son stratejide ise tüm taşıtlara, FSM Köprüsü boyunca en önemli darboğaz olan köprü girişinin 6 şeritten 4 şeride düştüğü yere konulan algılayıcılardan okunan taşıt işgal oranlarına göre yine aynı tablodaki belirtilen hızlar gösterilmiştir.

Model Öngörümlü Kontrol

Model öngörümü kontrol edilmek istenen sistemin matematiksel modeli kullanılarak, her örnekleme anında, belirli bir tahmin ufku da sistemin çıktılarının ne yapacağına göre, belirli bir kontrol ufku için kontrol kararı üretmeye dayalı bir süreç yönetimi olarak tanımlanabilir. Model öngörümü yapan kontrol ise zaman serisi olarak belli bir model tahmini ile uygulanan bir optimal kontrol yöntemidir. Trafik kontrolü için çeşitli optimal kontrol yöntemleri kuram ve uygulamada özellikle geçtiğimiz 20 yılda oldukça ivme kazanmıştır (Papageorgiou, 2003).

Tablo1 Kontrol Stratejileri.

Strateji	Taşıt İşgal Oranı	Taşıtlara Gösterilen Hız Limitleri (km/saat)
Hız Uyumu (Strateji 1)	-	90
Katılım Akım Aşağı Kontrol (Strateji 2)	0,15	120
	0,20	110
	0,25	100
	0,30	90
	0,35	80
Darboğaz Akım Aşağı Kontrol (Strateji 3)	0,10	120
	0,15	110
	0,20	100
	0,25	90
	0,30	80
	0,35	70

Model tahmini yapsın ya da yapmasın kapalı döngülü optimal kontrol uygulamaları, bir amaç fonksiyonunun optimum değerinde tutulması amacıyla oluşturulan geri besleme yapısına sahiptir. Ancak özellikle belirli bir tekrarlılık içeren olayların veya süreçlerin kontrolü için model tahmini yapan kontrol yapılarının daha avantajlı olduğu aşikârdır. Bu tip kontrol yapıları trafik durumu veya talebi doğrultusunda sürekli kendini yenileyen döngü yapısına sahiptir. Bundan dolayı model tahmini yapan kontrol yapılarının sahaya uygulanması daha kolaydır. Bu tip kontrol yapısının uygulanmasındaki zorluk ise, trafik davranışının modelde tahmin edilemeyen bir parametreye bağlı olarak (örneğin; kazalar, hava durumu değişimi, bakım dolayısıyla şerit kapanması gibi) aniden değiştiği durumlardır. Genelde ise yaygın kanı, gerçek zamanlı kontrol uygulamalarında kısa erimli ve karmaşık olmayan tahmin modellerinin kullanılmasının daha uygun olduğudur (Hegyi, 2005).

Bu çalışmada, kontrol parametresi olarak kullanılan taşıt işgal oranının tahmini için zaman serisi modeli kullanılmıştır. Bu modelde, O_t tahmin edilen taşıt işgal oranı ve O_{t-1} , O_{t-2} ve O_{t-3} ilgili zaman dilimleri için ölçülen taşıt işgal sürelerini belirtmek üzere

$$O_t = \beta_1 O_{t-1} + \beta_2 O_{t-2} + \beta_3 O_{t-3} \quad (1)$$

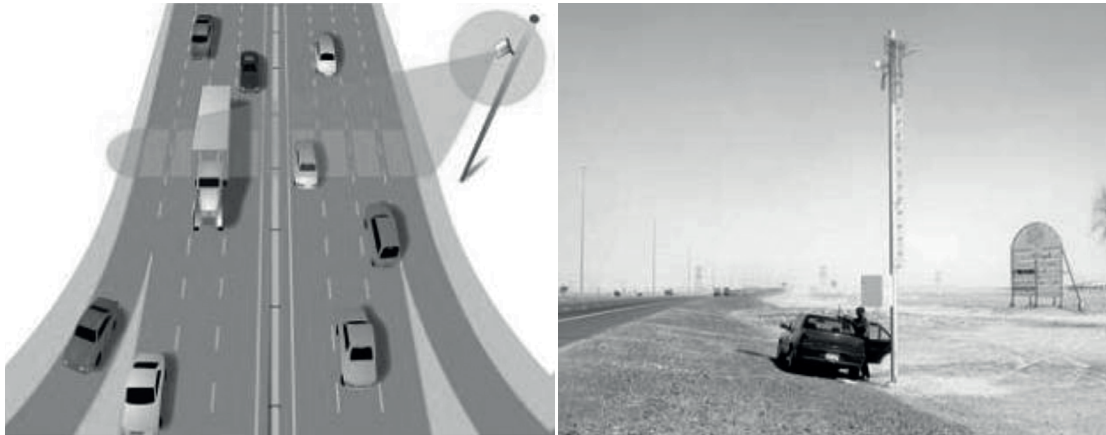
şeklinde. Burada β_1 , β_2 ve β_3 katsayıları regresyon analizinden elde edilen katsayılar olmak üzere sırasıyla 0,6, 0,2 ve 0,2 olarak bulunmuş ve modelin tahmin gücünün bir göstergesi olan R^2 değeri 0,96 olarak hesaplanmıştır.

Benzetim Çalışması

Değişken hız yönetimi uygulamalarının başarılarının ölçülmesi iki yolla gerçekleştirilebilir. Bunlardan ilki olan saha uygulamalarında daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesine rağmen, yüksek maliyetli ve zaman alan bir süreç olduğundan pek tercih edilmemektedir. Öte yandan ikinci yol olan benzetim uygulamaları daha az maliyetli ve esnek bir sürece sahip olduğundan daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, trafik mühendisleri tarafından geniş bir kullanım payı olan ayırık zamanlı ve koordinatlı, olasılıkçı bir trafik benzetim programı olan PTV VISSIM kullanılmıştır. PTV VISSIM programı taşıt takip ve şerit değiştirme modellerini içeren ve Wiedemann 1974 ve Wiedemann 1999 olmak üzere iki farklı sürücü davranışı çok geniş bir yelpazede trafik mühendisliği problemlerinin incelenebileceği bir programdır.

Bu çalışmada, değişken hız yönetimi kontrol stratejileri Wiedemann, 1999 sürücü davranışı yaklaşımı kullanılarak denenmiştir. Önerilen stratejiler iki alternatif senaryo kullanılarak, kontrolsüz durum ve geleneksel hız uyumu stratejileri ile karşılaştırılmıştır. Bu stratejilerin birbirlerine göre etkinliği ve üstünlüğü seçilen performans ölçütleri ile analiz edilmiştir.

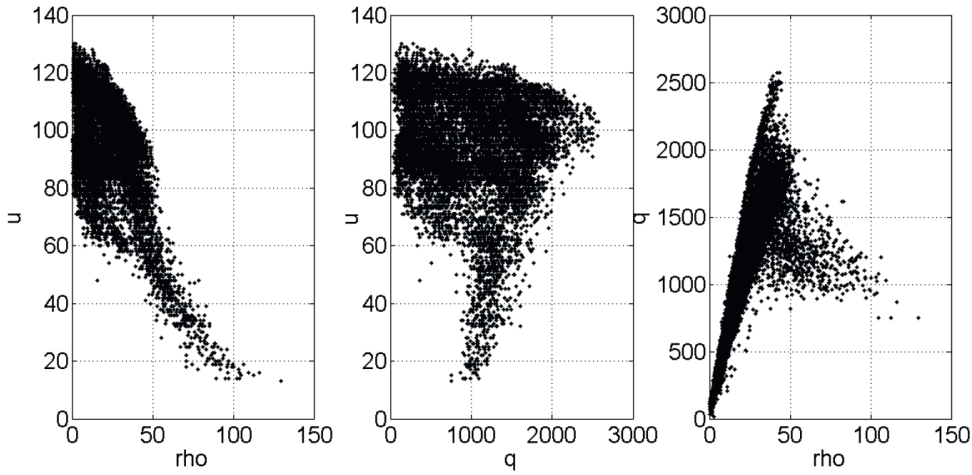
Çalışmada kullanılan veriler İstanbul O-2 Çevreyolu üzerinde bulunan algılayıcılardan elde edilmiştir. RTMS (Remote Traffic Microwave Sensor-Uzaktan Trafik Mikrodalga Algılayıcısı) kurulduğu karayolu kesiminden veri toplamaya yarayan bir çeşit mikrodalga algılayıcıdır. Taşıt işgal oranları, uzun ve toplam taşıt hacimleri ve hız verileri günlük olarak zaman ve şerit bazlı olarak elde edilebilir (Şekil 2).



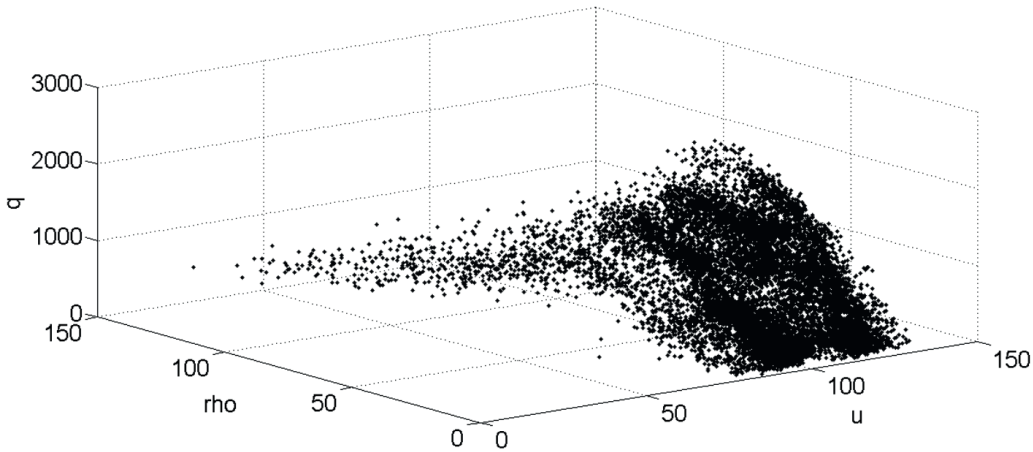
Şekil 2 RTMS ile veri toplama (Traffic Technology Today ve İSBAK, 2013).

RTMS verileri İstanbul Çevreyolu'nun FSM Köprü'süne gelmeden ilgili yerlerinden 06.07.2010-13.07.2010 tarihleri arasında olağan günlerde (resmi tatil olmayan, olağan hava koşullarının olduğu gibi) yoğunluğu 120 saniye olmak üzere 56 ile 599 saniye arasında değişen zaman aralıklarıyla toplanmıştır.

Ardışık 8 akım verisi yaklaşık 15 dakikalık akım verisi edecek şekilde birleştirilip saatlik akım değerine çevrilerek akım oranı (q) hesaplanmıştır. Hız (u) verilerinin birleştirilmesinde akımlara göre ağırlıklı ortalama hesaplanmış, yoğunluk (ρ) verilerinin birleştirilmesinde ise zaman aralıklarına göre ağırlıklı ortalama hesaplanmıştır. Verilerin ikili ilişkileri ve üçlü ilişkileri Şekil 3 ve 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3 Saha gözlemlerine göre trafik değişkenlerinin ikili ilişkileri.



Şekil 4 Saha gözlemlerine göre trafik değişkenlerinin üçlü ilişkileri.

Hazırlık ve Kalibrasyon

Çalışma alanı akşam trafiği yoğunluğu saatlerini ihtiva eden 17.30-20.30 saatleri arasında gerçekleştirilmiş, performans ölçümü olarak da 15 dakikalık zaman aralıkları seçilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda (Kesten, 2013), İstanbul için bu saatlerde sürücülerin daha girişken, frenleme yapmaya meyilli ve ivme değerlerinin varsayılan değerlerden daha yüksek girilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu saatlerde yine İstanbul'da trafiğin çok yoğun olduğu, akımın kesildiği; şerit değiştirme ve sollamaların çok olduğu bilinmektedir. Bundan dolayıdır ki, benzetim için bu tip durumlar için tavsiye edilen Wiedemann 99 modeli kullanılmıştır (PTV VISSIM, 2011). Bu modelin 10 adet sürücü davranışını modelleyen saha gözlemleri ile görsel ve sayısal uyumu sağlayan parametresi vardır (Lownes, 2006).

Tablo2 Benzetim modeli için kullanılan sürücü davranış parametreleri.

Sürücü Davranışı Parametreleri	Değerler
CC0 Dururken iki taşıt arası uzaklık	1.70 m
CC1 Taşıtlar arası süre	0.6 s
CC2 Takip mesafesi	4.00 m
CC3 Katılım eşiği	- 8.00
CC4 Negatif Takip Eşiği	-0.35
CC5 Pozitif takip eşiği	0.35
CC6 Bağımlı hız salınımı	1.14
CC7 salınım ivmesi	0.06 m/s ²
CC8 Duruştan ivmelenme	5.50 m/s ²
CC9 80km/saat'ten ivmelenme	1.50 m/s ²

Model kalibrasyonu sürecinde, model parametreleri saha gözlemleri ile benzetim sonuçları arasında nitel ve nicel bir uyum sağlanıncaya dek değiştirilmiştir (Tablo 2). Geleneksel olarak kalibrasyon benzetimlerin çoklu çalıştırılmasını gerektirir. Bu çalışmada iki adımlı kalibrasyon yöntemi uygulanmıştır. Bunlardan ilk adımı sürücü davranış model kalibrasyonu, diğeri ise modelin ince ayarıdır. Ortalama hedeflenen taşıt mesafesi ve sürücü reaksiyon süresi, taşıt takip ve şerit değiştirme modelleri için önemli birer parametredir (Lownes, 2006). Bu iki parametrenin kalibre edilmiş değerleri sırasıyla 0,6 saniye ve 1,5 saniyedir. Bu 10 parametrenin optimizasyonu gerçekçi bir benzetim sağlanması için önemli bir konu olmasına rağmen bu çalışmanın başlıca odaklandığı konu bu konu değildir. Benzer şekilde yerel arterler güzergah atamaları kalibrasyon sürecine dahil edilmediği için benzetim çalışmasına dahil edilmemiştir. Benzetimin çalıştırılma sayısı (N) performans ölçütlerinin ortalama ve standart sapmasından

$$N = \left(t_{\alpha/2} \frac{\delta}{\mu \varepsilon} \right)^2 \quad (2)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Bu formüle göre μ ve δ sırasıyla daha önce çalıştırılan benzetim modelinden elde edilen performans ölçütlerinin ortalama ve standart sapması, ε makul görülen ve μ ile ters orantılı hata oranı, $t_{\alpha/2}$ ise t-dağılımının $1 - \alpha$ güven aralığındaki kritik değeridir. Bu formüle göre 10 farklı benzetim çalıştırılması gerektiği hesaplanmıştır. Bundan dolayı 0 ile 100 arasında Tablo 3'de de görüleceği üzere 10 adet farklı taşıt geliş rastgeleliği (random seed) seçilmiştir.

Tablo3 Benzetim için seçilen taşıt geliş rastgelelikleri.

Sayı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Taşıt Geliş Rastgeleliği	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95

Kalibrasyon sürecinde Geoffrey Edward Havers tarafından ortaya konulan GEH istatistiği saha gözlemleri (Q_o) ile benzetim sonuçlarından (Q_s) elde edilen trafik

hacimleri arasındaki göreceli farklarını hesaplanması için kullanılır (Chu, 2003). GEH formülü

$$GEH = \sqrt{(2(Q_o - Q_s)^2 / (Q_o + Q_s))} \quad (3)$$

şeklinde dir. Hesaplanan GEH değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Genellikle GEH hesapları her bir linkin % 85'inde 5'ten küçük ve tüm linklerin toplamında da 4'ten küçük olması gerekmektedir.

Tablo 4 GEH değerleri.

Kesim Saatler	Katılım	Anakol	Tüm Ağ
17.30 – 18.29	2,5	3,0	3,3
18.30 – 19.29	3,2	3,8	4,2
19.30 – 20.29	4,1	4,9	4,4

Hacimler statik güzergâh tercihlerini temsil etmesi için 15 dakikalık kesin hacimler şeklinde girilmiştir. Hız limitleri benzetim programında modellenen koridor üzerinde yerleştirilen “hız sınırı bölgeleriyle” oluşturulmuştur.

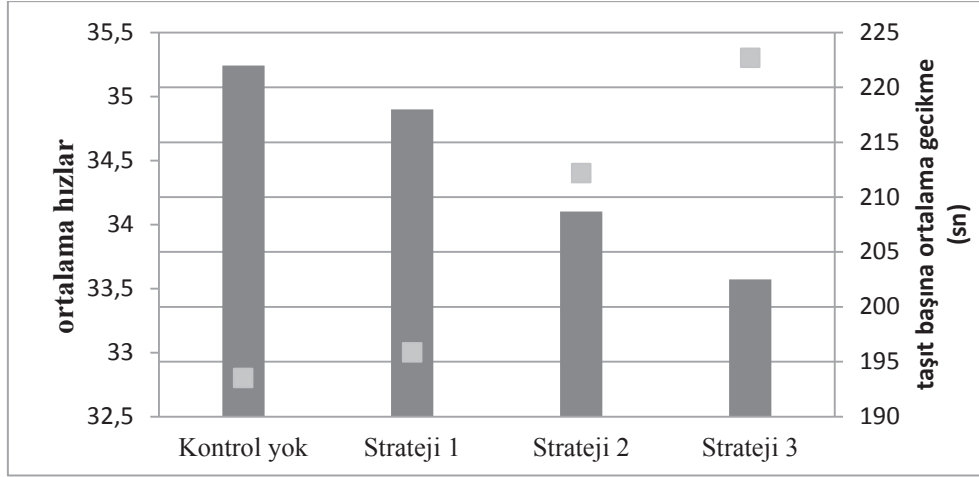
Benzetim Sonuçları

Çevre yollarında trafik kontrolü sürecinde amaç belli bir başarı ölçütünü optimize etmektir. Bu başarı ölçütleri seyahat süresi, gecikmeler, duruş sayısı, yakıt tüketimi, çevresel kirlilik veya tüm ağın zamansal ve mekânsal eşitliği gibi sosyal ölçütler olabilir. Ancak bu çalışmada her bir kontrol stratejisi için verimlilik ölçütleri değerlendirilmiştir.

Birinci başarı ölçütü olarak toplam seyahat süresi seçilmiştir. Toplam seyahat süresi tüm aktif ve gelen taşıtlar için saat olarak hesaplanmıştır. Toplam seyahat süresine ek olarak, toplam gecikmeler yine saat bazında, araçların toplam duruş sayıları ve km/saat cinsinden ortalama hızlar 15 dakikalık zaman dilimleri içerisinde her bir benzetim çalışmasında hesaplanmıştır.

Şekil 5'te görüldüğü üzere ele alınan hız denetimi stratejilerinin ortalama hız ve taşıt başına gecikme değerleri trafiğin kontrol edilmediği duruma kıyaslandığında daha iyi bir başarı göstermektedir.

Tablo 5'te tüm kontrol stratejilerine bağlı başarı ölçütleri gösterilmiştir. Bu tabloda görüldüğü üzere trafik kontrol stratejileri ağ başarısını gözle görülür bir şekilde artırmıştır. Model öngörümü yapan değişken hız yönetimi kontrolü stratejilerinin, kontrolsüz duruma ve geleneksel hız yönetimi kontrolü stratejisine göre daha iyi başarı ortaya koyduğu görülmüştür. Geleneksel hız yönetimi kontrolünde dahi kontrolsüz duruma göre gecikmeler azalmıştır. En iyi ağ başarısı ise 3. Strateji ile elde edilmiştir. Bu stratejide kontrolsüz duruma göre ortalama hız 30,1 km/saat'ten 35,3 km/saat'e çıkmakla kalmamış toplam seyahat sürelerinde ise yaklaşık % 8'lik bir düşüş yaşanmıştır. Model öngörümü yapan değişken hız yönetiminde, duruşlardan kaynaklanan toplam gecikme, taşıt başına ortalama duruş ve taşıt başına ortalama gecikme ölçütlerinde de önemli bir azalma gözlemlenmektedir.



Şekil 5 Hız denetimi stratejilerinin ortalama hız ve taşıt başına gecikme değerleri.

Tablo5 Hız yönetimi stratejilerin benzetim programındaki performansları.

	Taşıt Başına Ortalama Gecikme (saniye)	Taşıt Başına Ortalama Duruş Sayısı	Ortalama Hız (km/saat)	Duruşlardan Kaynaklanan Taşıt Başına Gecikme (saniye)	Duruşlardan Kaynaklanan Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)
Kontrolsüz	222,0	1,4	32,8	30,1	491,9	6047,9
Strateji 1	218,0	1,3	33,0	30,0	488,5	6003,6
Strateji 2	208,7	1,3	34,4	28,5	463,9	5853,1
Strateji 3	202,5	1,2	35,3	26,6	413,4	5653,0

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada geleneksel ve model öngörüllü değişken hız yönetimi kontrol stratejileri analiz edilmiştir. Çevre yollarında trafik kontrol stratejileri uygulamalarının trafik sıkışıklığının etkilerini azalttığı görülmüştür. İncelenen trafik koridoru mikro ölçekli trafik benzetim ortamında modellenmiş ve oluşturulan bu model yapılan analizlerle kalibre edilmiştir. Benzetim sonuçları kısmında belirtildiği gibi, ortaya konan model öngörüllü değişken hız yönetimi kontrol stratejileri, kontrol olmayan duruma ve geleneksel (sabit hız sınırı) kontrolüne göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu çalışmaya ek olarak gelecekte darboğaz oluşum tipolojisi incelenerek daha verimli kontrol stratejileri önerilmesi planlanmaktadır.

Bu çalışmada incelenen trafik kontrol stratejilerinde darboğaz kısmında yapılacak bir kontrolün kapasite artışından dolayı toplam gecikmeleri azaltacağı gösterilmiştir. Sonuçlara göre geleneksel hız kontrolü stratejisi her bir performans ölçütü göz önüne alındığında daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu çalışmanın esas ilgi çeken sonucu ise model öngörümü yapan değişken hız kontrolü stratejisinin trafik akımının verimini dikkat çekici bir biçimde arttırdığıdır. Özellikle toplam gecikmelerde ve duruşlardan kaynaklanan taşıt başına ortalama gecikmeler göstermektedir ki önerilen algoritma trafik akımını daha düzgün bir hale getirdiği görülmektedir. Bu stratejiye göre toplam seyahat süresi, toplam gecikmeler, toplam duruş sayıları önemli ölçülerde azalmakta ve

ortalama hızlar artmakta ve bu performans ölçütleri geleneksel hız kontrolü yaklaşımına göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Benzetim ortamında elde edilen bu sonuçların sahada uygulanabilirliği teşvik edici olduğu ve ilgili kurum ve kuruluşlarca değişken hız denetimi ve diğer trafik kontrolü yöntemlerinin de benzetim programlarıyla sınanarak uygulanmasının toplumun tüm kesimleri için fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşekkür Yazar bu çalışmaya verdikleri destekten dolayıPTV Japonya'ya ve Japonya Eğitim, Kültür, Spor, Bilim ve Teknoloji Bakanlığına, ayrıca çalışmada kullanılan verilerin işleyerek kullanılabilir hale getirilmesini sağlayan İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Araştırma Görevlisi Mustafa TANIŞ'a teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

Abdel-Aty, M., Dilmore, J., & Dhindsa, A. (2006) Evaluation of variable speed limits for real-time freeway safety improvement. Accident analysis & prevention, 38(2), 335-345.

Carvell Jr, J. D., Balke, K., Ullman, J., Fitzpatrick, K., Nowlin, L., & Brehmer, C. (1997) Freeway management handbook (No. FHWA-SA-97-064).

Chu, L.,Liu, H. X., Oh, J. S., &Recker, W. (2003) A calibration procedure for microscopic traffic simulation. In Intelligent Transportation Systems, 2003. Proceedings. 2003 IEEE (Vol. 2, pp. 1574-1579). IEEE.

Hegyi, A., De Schutter, B., & Hellendoorn, H. (2005)Model predictive control for optimal coordination of ramp metering and variable speed limits. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 13(3), 185-209.

<http://www.isbak.com.tr/Akilli-Ulasim-Sistemleri/Galeri/Degisken-Trafik-Isareti-DTI.html> 25.03.2013 tarihinde erişilmiştir.

<http://www.traffictechanologytoday.com/news.php?NewsID=17766> 15.05.2013 tarihinde erişilmiştir.

Kang, K. P., Chang, G. L., &Zou, N. (2004)Optimal dynamic speed-limit control for highway work zone operations. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1877(1), 77-84.

Kesten, A.S., Ergün, M, and Yai, T. (2012) Traffic congestion management on Bosphorus bridge by considering speed limit control. The 10th International Congress on Advances in Civil Engineering ACE, Ankara, Turkey.

Kesten, A.S., Ergün,M, and Yai,T. (2013) An Analysis on Efficiency and Equity of Fixed-Time Ramp Metering. Journal of Transportation Technologies 3: 48-56.

Lownes, N., and Machemehl, R. (2006) VISSIM: A multi-parameter sensitivity analysis, in Winter Simulation Conference, pp. 1406 –1413.

Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., Kotsialos, A., & Wang, Y. (2003) Review of road traffic control strategies. Proceedings of the IEEE, 91(12), 2043-2067.
PTV VISSIM (2011) 5.40 User Manual.

Sisiopiku, V. P. (2001) Variable speed control: Technologies and practice. In Proceedings of the 11th Annual Meeting of ITS America (pp. 1-11).

Smulders, S. (1990) Control of freeway traffic flow by variable speed signs. Transportation Research Part B: Methodological, 24(2), 111-132.

Ulucay, S. (2011) Traffic Management in an Intercontinental City: Istanbul. In 1st International Conference on Access Management.

Van den Hoogen, E., & Smulders, S. (1994) Control by variable speed signs: Results of the Dutch experiment.

Wiedemann, R. (1974) Simulation des Straßenverkehrsflusses. (In German) Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8.

**POSTER
BİLDİRİLER**

Esnek Yol Üstyapı Kaplamaları için Alternatif Bağlayıcılar (Poster Bildiri Metni)

Cahit Gürer

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
ANS Yerleşkesi, 6.Eğitim Bloğu, Gazlıgöl Yolu, 03200 Afyonkarahisar
Tel: (272) 228 14 23 (2164)
E-Posta: cgurer@aku.edu.tr

Öz

Dünya çapında petrol kaynaklarının giderek tükenmeye yüz tutması, rafine tekniklerinin gelişmesi sonucu eskiye göre daha az asfalt malzemesi elde edilmesi, petrol kaynaklı enerji birim fiyatlarındaki sürekli artış vb. sebeplerden dolayı reolojik özellikleri bitümlü bağlayıcılara benzer alternatif bağlayıcıların geliştirilmesine yönelik araştırmalara giderek daha da cesaret vermektedir. Çevre kaygılarından dolayı petrol kaynaklı yakıt kullanımını azaltmaya yönelik kamuoyu çabaları alternatif kaynaklardan özellikle de gıda dışı biyolojik kaynaklardan alternatif bağlayıcıların geliştirilmesi ve üretilmesi konularını daha da teşvik etmektedir. Son yıllarda yol kaplamaları için gıda dışı biyolojik kaynaklardan alternatif bağlayıcıların geliştirilmesi konusunda araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu tip bağlayıcıların yol kaplamalarındaki performanslarının araştırılması ve bunun için farklı deney yöntemlerinin geliştirilmesi en karmaşık konular arasındadır. Şayet asfalt kaplamanın konforunu ve avantajlarını devam ettirebilecek nitelikte bir bağlayıcı geliştirilebilirse petrol kaynakları tükendikten sonra da esnek yol üstyapıların avantajlarından yararlanılmaya devam edinebilecektir. Bu bildiride alternatif bağlayıcılar için yapılan çalışmalarla ilgili bir literatür derlemesi hazırlanmıştır.

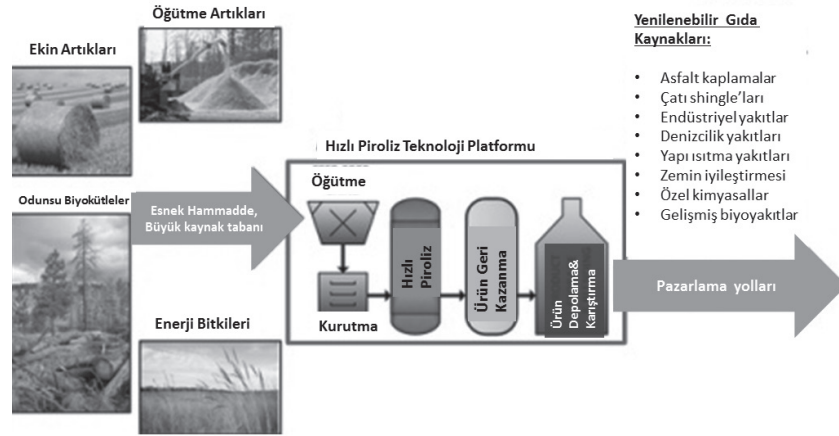
Anahtar sözcükler: Bitüm, Alternatif Bağlayıcı, Biyokütle, Biyo Yağlar

Giriş

Dünyadaki petrol kaynakları ispatlanmış rezervleri ve yıllık üretim miktarları açısından değerlendirildiğinde ve diğer enerji kaynakları da göz önünde bulundurulduğunda petrol için rezerv ömrünün 44 yıl olacağı tahmin edilmektedir. Bunun yanında giderek artan Dünya nüfusuyla birlikte petrol birim fiyatları artmakta, bu da kaplamalarda bağlayıcı olarak kullanılacak alternatif diğer malzemelerle ilgili araştırmalara olan ilgiyi daha da arttırmaktadır. Petrol kaynaklı enerji ve bağlayıcıların üretimi ve kullanımı sırasında çevrede oluşturduğu bir takım zararlar da kamuoyunun daha çevreci malzemelere ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesini bir diğer etken olarak tetiklemektedir. Birleşik Devletler'de yıllık 500 milyon ton bitümlü sıcak karışım üretilmekte ve bunun için 30 milyon ton bitümlü bağlayıcı kullanılmaktadır. Ülkemizde ise 2011 yılında 2.6 milyon ton bitümlü bağlayıcı tüketilmiştir (Web Site 2, 2013).

Toplam yenilenebilir enerji tüketiminin % 47'sini oluşturan biyokütle enerjisi en önemli enerji kaynaklarından birisidir (Mohan ve diğ., 2006). Antik çağda, Mısırlılar pişirme ve

evlerde ısınma sağlayan bir yanma yakıt olarak biyokütle enerjisinden faydalanmışlardır. Günümüzde biyokütlenin bol olarak bulunması ve maliyetlerinin düşük olması yüzünden biyolojik esaslı enerji üretimine ilgi artmış ve çeşitli biyolojik kaynaklar uygun işlemlerden geçirmek suretiyle enerji zengini ürünlere dönüştürülmeye başlanmıştır (Şekil 1) (Boateng ve diğ., 2007; Goyal ve diğ., 2006). İlk olarak antik çağlarda, Tarihte ilk olarak Mısırlılar, pişirme ve evlerde ısınma sağlayan bir yakıt olarak biyokütle enerjisinden faydalanmışlardır. Dünya nüfusundaki hızlı artış ve bunun neticesinde meydana gelen çevresel tehditler ve tabii kaynakların hızla tükenmeye başlaması bu tip enerji kaynaklarının giderek daha da artan miktarlarda kullanımını zorunlu kılmaktadır.



Şekil 1 Yenilenebilir biyokütle kaynaklarının değerlendirme yöntemleri

Biyokütle enerjisiyle birlikte gündeme gelen önemli bir konu da biyo yağlar ve bu maddelerden bitüme alternatif fakat geleneksel bitümle benzer özellikler taşıyan biyo bitümlü bağlayıcıların geliştirilmesidir. Kolay uygulanması, trafik için oluşturduğu sessiz ve konforlu yüzeyleri, bakım ve onarımlarının hızlı bir şekilde yapılabilmesi, deformasyonlara dayanıklı, geçirimsiz vb. olmaları nedeniyle esnek yol üstyapıları vazgeçilemeyecek bir takım özelliklere sahiptir. Bu nedenlerden dolayı bitüme alternatif bağlayıcıların geliştirilmesi hem çevremizin korunmasını sağlayacağı gibi hem de enerji tüketiminin azaltılması, sürdürülebilirlik ve belki de kaplama performansının geliştirilmesi gibi açılardan da yararlı olacaktır. Bu çalışmada alternatif bağlayıcılar üzerine yapılan araştırmalarla ilgili bir literatür derleme çalışması yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Geleneksel Bitümlü Bağlayıcılarda Aranılan Önemli Özellikler

Alternatif bitümlerin, geleneksel bitümlerle benzer davranışları sergileyebilmeleri için mühendislik özelliklerinin geleneksel bitümlere benzer olması gerekmektedir. Ayrıca bu malzemelerin kimyasal bileşenlerinin ve yüzdelerinin (hidrokarbonlar, aromatikler, doymuşlar ve asfaltenler) de geleneksel bitümlere eşdeğer olmalıdır. Geleneksel bitüm, orta molekül ağırlıklı hidrokarbonlar, orta miktarda sülfür, az miktarda oksijen ve nitrojen, diğer geçiş metallerinden oluşan iz elementlerini içeren baskın olarak alifatik ve aromatik bileşenlerden oluşan bir karışımdır. Tablo 1’de penetrasyon derecesi 100 olan bitümün dört grubuna ait tipik element analizi sonuçları görülmektedir.

Tablo 1 100 pen. Bitüme ait Tipik Element Analizi Sonuçları (Whiteoak, 1990).

Bileşenler	Bitümdeki Oranı (%)	C	H	N	S	O ₂	Atomik Oranı	Moleküler Ağırlık
Asfaltenler	5.7	82.0	7.3	1.0	7.8	0.8	1.1	11300
Reçineler	19.8	81.6	9.1	1.0	5.2	-	1.4	1270
Aromatikler	62.4	83.3	10.4	0.1	5.6	-	1.5	870
Doygunlar	9.6	85.6	13.2	0.05	0.3	-	1.8	835

Dünyada 1500 civarında farklı kaynaktan, ham petrol elde edilmektedir. Elde edilen ürünlerin kalite ve verimi gözönüne alındığında bunlardan yalnızca birkaç tanesi bitüm üretimi için uygundur. Geleneksel bitümler için sınırlı sayıda kaynak olması, bitüme alternatif bağlayıcı geliştirilmesine olan ilgiyi daha da arttıran bir diğer sebeptir (Whiteoak, 1990). Bağlayıcının davranış ve performansının belirlenmesinde çok sayıda kritik reolojik özellik bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlileri; viskoelastisite, sıcaklık hassasiyeti, yaşlanma veya oksidasyondur.

Viskoelastik Davranış

Bitümün viskoelastik bir malzeme olması onun eşzamanlı viskoz ve elastik bir davranış gösterdiği anlamına gelmektedir. Dolayısıyla bitümün gerilme anındaki deformasyonu hem sıcaklığın hem de yükleme süresinin bir fonksiyonudur. Yüksek sıcaklıklarda veya uzun süreli yükleme durumlarında viskoz bir sıvı gibi; çok düşük sıcaklıklarda ya da kısa süreli yükleme durumlarında ise elastik (gevrek) bir katı gibi davranmaktadır. Kullanım sırasındaki tipik koşulları yansıtan orta dereceli sıcaklık ve yükleme süreleri ise visko-elastik bir davranışa sebep olmaktadır.

Sıcaklık Hassasiyeti

Tüm bitümler termoplastik özellik gösterir. Termoplastiklikle kastedilen şey, sıcaklığın değişimiyle birlikte bağlayıcının tutarlılığında meydana gelen değişimdir. Bağlayıcıların sıcaklığa karşı yüksek duyarlılığa sahip olması iki nedenden dolayı istenmez;

- Yüksek sıcaklıklarda viskozite düşüktür bu yüzden sıkıştırma esnasında karışım problemleri meydana gelir.
- İkincisi düşük sıcaklıklarda viskozite çok yüksektir bu durumda düşük sıcaklık çatlakları meydana gelebilir.

Bitümlerin sıcaklıkla birlikte davranışlarının değişmesinden dolayı, kaplama bağlayıcılarının davranışları yüksek, orta ve düşük olmak üzere üç farklı sıcaklık aralığında çalışılır.

- Yüksek sıcaklıklarda veya sürekli yük (taşıtlar yavaş hareket ederken veya park halindeki kamyonlar) altında, asfalt bağlayıcı viskoz bir sıvı gibi davranır(Asphalt Institute 2003).
- Ortalama sıcaklıklarda asfalt bağlayıcı hem viskoz hem de esastik katı davranışları sergileyebilir.
- Düşük sıcaklıklarda veya hızlı bir şekilde uygulanan dolaylı yükler altında asfalt bağlayıcı tıpkı bir elastik katı davranışı sergiler.Elastik katılar yüklendiği zaman

deforme olan, yük boşaldığında eski şekline geri dönen lastik bandlar olarak tanımlanabilir.

Bu aralıktaki davranışlarından dolayı asfalt bağlayıcılar yol kaplamaları için mükemmel bir bağlayıcıdır. Yıllar boyunca asfalt uzmanları asfalt bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetlerine bağlı sınıflandırmalarında viskozite-sıcaklık hassasiyeti (VTS) yöntemini kullanmışlardır (Rasmussen ve diğ., 2002; Roberts ve diğ., 1996). Bunun için kullanılan ortak bir indeks değeri olmamasına rağmen, basit bir formülasyonla ifade edilmektedir:

$$VTS = \frac{\log[\log(\eta_{T_2})] - \log[\log(\eta_{T_1})]}{\log(T_2) - \log(T_1)}$$

Burada;

T₁ ve T₂: Bağlayıcının bilinen noktalardaki sıcaklıkları (R=Rankine derecesi)
η_{T1} ve η_{T2}: Bağlayıcının aynı noktalardaki viskozite değerleridir (cp).

Yaşlanma/Oksidasyon

Organik maddelerin çoğunda olduğu gibi bitümde havayla temas ettiğinde yavaşça oksidasyona uğrar. Oluşan polar oksijen içeren gruplar daha büyük moleküler ağırlıklara sahip miseller halinde toplanır ve bu nedenle bitümün viskozitesi artar. Polar hidroksil, karbonil ve karboksil gruplar oluşur ve bunun sonucunda bitümü daha sert daha az esnek yapan geniş ve karmaşık moleküller meydana gelir (Ilıcalı ve diğ., 2001). Bitümlerde oksidasyon hızı sıcaklıkla artar. 100 °C'nin üzerindeki her 10 °C'lik artış için oksidasyon oranı ikiye katlanır. Aynı durum biyo yağlar için de geçerlidir. Biyo yağlar kimyasal olarak organik olduklarından, ortamdaki oksijen ile aynı doğal bitümlerde olduğu gibi «oksidasyon» olarak adlandırılan bir çeşit reaksiyona girerler, bu da biyo yağların yapısının ve bileşiminin değişmesine neden olur. Asfalt kaplamalarda oksidatif sertleşme veya yaşlanma düşük hızlarda meydana gelir fakat sıcak iklimlerde bu artar. Yaşlanma bağlayıcılar da reolojik özelliklerin değişmesine yol açan en önemli nedenlerden birisidir. Roberts ve diğ. (1996) tarafından bağlayıcıların sertleşmesi üzerinde, oksidasyon, volatilizasyon, polimerizasyon vb. birçok faktörün etkili olduğu rapor edilmiştir. Volatilizasyon bağlayıcıdaki hafif bileşenlerin buharlaşmasıdır ve genellikle sıcaklığın bir fonksiyonudur ve uzun-dönem yaşlanma üzerinde tetikleyici değildir.

Kayma Hassasiyeti

Roberts ve diğ. (1996) kayma hassasiyetini kayma oranıyla birlikte viskozitede meydana gelen değişiklik olarak tanımlamıştır. Diğer bir ifade ile, Newtonian akışkanları için, viskozite kayma oranına bağlı olduğundan, akışkan kayma hassasiyetine sahip olmayacaktır. Diğer taraftan, Newtonian akışkanı olmayanlar için, kayma oranının artışıyla birlikte viskozite artacağından akışkan kayma hassasiyetine sahip olacaktır. Farklı kaplama malzemelerinin farklı yaşlanmalarından dolayı, kayma hassasiyeti değişimleri de farklı oranlarda olacaktır. Bunlara ilaveten kayma hassasiyeti, kaplama malzemelerinin kimyasal bileşimlerinden de etkilenmektedir. Kayma duyarlılığı yaşanan malzemenin viskozitesine büyük ölçüde bağlı değildir ancak viskozitedeki artışa nazaran kayma duyarlılığındaki kazanç oranına bağlıdır. Göreceli

olarak düşük kayma duyarlılığı ile viskozitedeki artış ilişkilidir ve iyi bir kaplama performansı üzerinde etkilidir.

Alternatif Bağlayıcılar Konusundaki Araştırmalar

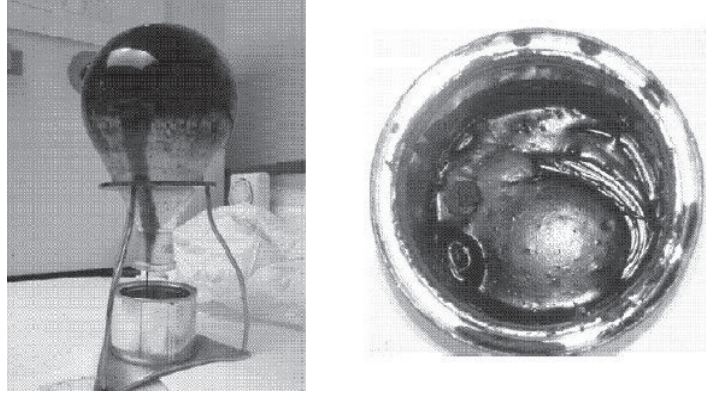
Yol kaplamalarında alternatif bağlayıcıların kullanılması en karmaşık konular arasında yer almaktadır. Özellikle bu bağlayıcıların karşım içerisinde kullanılabilirliği ve elde edilen deney sonuçlarının şartnamelerle uyum içerisinde olması önem arz etmektedir. Bu yüzden asfalt kaplamalarda alternatif bağlayıcıların kullanımı için birçok araştırmanın yapılması gerekmektedir (Huang ve diğ., 2012). Son yıllarda yapılan araştırmalar özellikle şu sorular üzerine yoğunlaşmıştır:

- Hangi tip malzemeler alternatif bağlayıcı kullanılabilir ?
- Kullanılan bağlayıcı hali hazırdaki bağlayıcı şartnamelerini karşılayabilecek mi?
- Alternatif bağlayıcının yaşlanma, suya karşı dayanım vb. performans özelliklerini karşılayabilecek mi?

Alternatif kaplama bağlayıcıları için yapılan araştırmalarda, bu tip bağlayıcıların soya fasülyesi, palmye, sebze yağları, kullanılmış motor yağı artıkları ve üzüm artıklarının yağlarından üretilmesi üzerine araştırmalar yapılmaktadır.

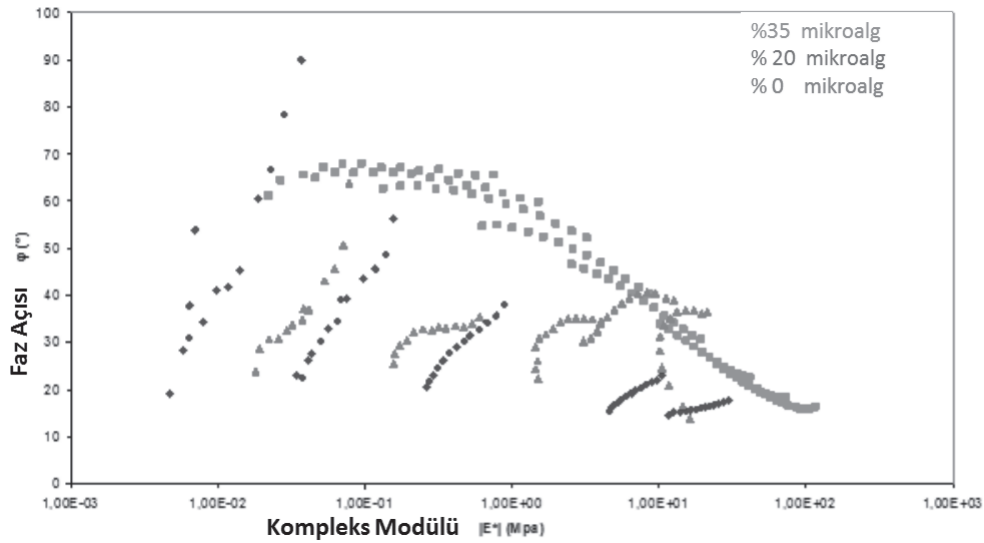
Shell Petrol Şti. 2007 yılında Norveç’de sebze bitkileri yağlarından üretilmiş bağlayıcı ile asfalt yapımı (Vegecol) gerçekleştirmiş ve 2004 yılından patentini almıştır(Website, 2013).

Chailleux ve diğ. (2012) mikroalglerden alternatif bağlayıcı üretilmesiyle ilgili bir çalışma gerçekleştirmişler ve ilginç sonuçlar elde etmişlerdir. Son on yılda mikroalglerdeki yağların ekstraksiyonundan biodizel üretimine giderek daha da ilgi artmaktadır. Mikroalglerin diğer enerji üretilebilen ekin gruplara göre sahip olduğu yüksek biyokütle üretim kapasitesi, insan gıda üretime karşı rakip olmaması gibi birçok avantaj bu ilginin giderek daha da artmasına sebep olmaktadır. Mikroalglerden elde edilen biyo bitümlerin agregaları bağlayıcı olarak kullanılabilmesi için, bu bağlamda yan ürünlerin bileşenlerinin ve doğal özelliklerinin belirlenmesi farklı bileşiklerin reolojik özelliklerinin de ölçülmesini gerektirir. Yapılan çalışmada, araştırmacılar mikroalglerden gelen çeşitli fraksiyonları kızılötesi (IR), nükleer manyetik rezonans (NMR) (1H ve 13C) ve gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) ile ekstarksiyona tabi tutmuşlar ve özelliklerini belirlemişlerdir. Ayrıca herbir fraksiyona ait kompleks modülleri belirlenmiştir. Bitümle kıyaslandığında reolojik ve kimyasal analizler, bileşimdeki bazı kimyasal türlerin sıcaklığa bağlı davranış sergilediğini göstermiştir. Mikroalglerden polarite ve kimyasal yapısına göre yağ fraksiyonunu ayırmak için Soxhlet aparatı ile ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir. Heksan, kloroform ve kloroform-metanol için ekstraksiyon verimi sırasıyla % 5, % 5 ve % 12 olarak elde edilmiştir. Toplam verim ise % 22 olmuştur. Soxhlet ekstraksiyonu sonucunda termo-viskoz bir siyah pasta oluşmuştur. Şekil 2’de Chailleux ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmada mikroalglerin soxhlet ekstraksiyonu sonucunda oluşan termo-viskoz siyah pasta görülmektedir.



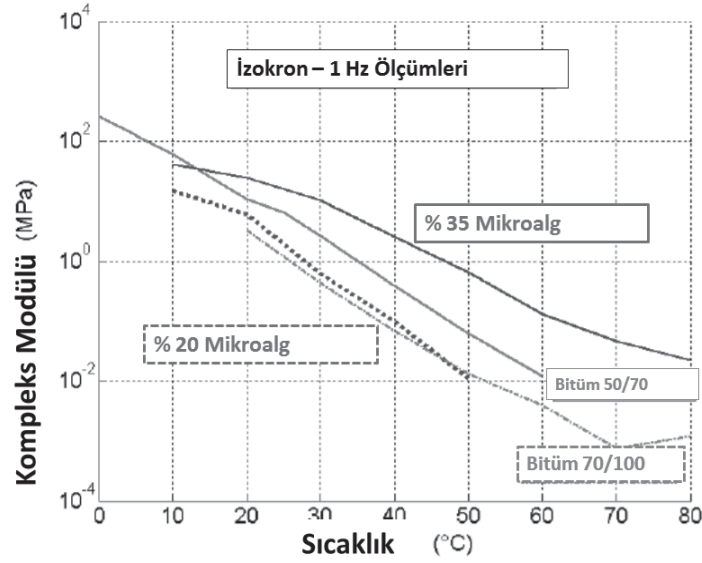
Şekil 2 Chailleux ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmada mikroalglerin soxhlet ekstraksiyonu sonucunda oluşan termo-viskoz siyah pasta.

Karışım içerisindeki her bir bileşenin (serbest yağ asitleri ve mikro algler) karışımın fiziksel özellikleri üzerine olan etkisini daha iyi anlayabilmek için araştırmacılar reolojik özelliklerin (faz açısı ve norm kompleks modülün ölçümü gibi) belirlenmesine yönelik deneyler gerçekleştirmişlerdir. % 0, %20 ve % 35 mikroalg (algean) içeren üç örnek üzerinde çalışılmıştır. Tüm numuneler arasındaki farkları görselleştirmek için $|E^*|$ kompleks modülüne karşın faz açısını belirten grafikler çizilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3 Mikroalg içeriğine bağlı olarak kompleks modül-faz açısı ilişkisi (Chailleux ve diğ., 2012)

Araştırmacıların elde ettiği sonuçlar serbest yağ asitlerine karşılık mikroalg oranının ayarlanarak malzemenin reolojik özelliklerini değiştirmenin mümkün olduğunu göstermektedir. Chailleux ve diğ.'ne (2012) göre bu bitüme benzer özellikte malzeme elde etmenin kolay bir yolu olabilir. Numunelerin kompleks modülü normu (1 Hz ile ölçülür), iki farklı penetrasyon sınıfı bitüm ile karşılaştırılmıştır. Test edilen sıcaklık aralığı üzerinde, mikroalglerin asfaltın biri ne 'e benzer bir termo hassasiyet gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4). Dolayısıyla mikroalg esaslı bağlayıcıların yol kaplamalarında kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4 Mikroalg ekstraksiyonu ve bitüm arasındaki reolojik kıyaslama (Chailleux ve diğ., 2012).

Son yıllarda biyo yenilenebilir gıda dışı atıkların hızlı pirolizi sonucu üretilen yağdan petrol dışı bağlayıcı geliştirilmesi üzerine çalışmaların yürütüldüğü araştırma merkezlerinden birisi de Iowa State Üniversitesindedir. Peralta ve diğ.(2012), biyo-petrol ve kırıntı kauçuk kullanılarak esnek kaplamalarda yapımında kullanılan petrol türevi asfaltın % 100'ü yerine bir biyo bağlayıcı geliştirmeyi amaçlamışlardır. Yapılan araştırmalar biyo bitümlerin geleneksel petrol bitümlerinde modifikatör, genişletici ve antioksidan olarak kullanılabilceğini göstermiştir. Araştırmacıların gerçekleştirdiği çalışma sonuçlarına göre petrol esaslı olmayan bağlayıcılar etkili bir şekilde geliştirilebileceğini ve PG 44-22 penetrasyon dereceli kaplama asfaltlarının yerine kullanılabilceğini göstermiştir.

Biyo bitüm üretiminde kullanılan biyoyağlar hızlı piroliz adı verilen termokimyasal işlem sonucu ile üretilirler. Mısır sapları, odun atıkları veya diğer biyokütle türleri hızla oksijen olmadan ısıtılır. Bu işlem sonucunda yakıt üretiminde kullanılacak sıvı biyo yağlar üretilir. Kimyasallar, asfalt ve katı bir ürün biochar zemin zenginleştirmek ve atmosferden sera gazlarının uzaklaştırılması için kullanılır (Metwally ve Williams, 2010)

Williams ve diğ. (2009) damıtılmış biyo yağların asfalt içerisinde kullanılabilirliği ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada üç farklı biyo kütle kaynağı (meşe, darı ve mısır koçanı) pirolize tabi tutulmuş ve biyo bağlayıcı üretmek için damıtılmıştır. Kullanılan biyo kütlelerin elektrostatik çökeltileri, ASSHTO M320'ye uygun olarak karakterize edilmiş ve ağırlıkça üç farklı yüzde (%3, %5 ve %9) asfalt bağlayıcı ile karıştırılmıştır. Çalışma sonucunda meşe ve darıdan elde edilen biyo yağların geleneksel polimer modifiye asfalt bağlayıcılar ile karıştırılmasıyla karışımın özelliklerinde gelişmeler görülmüştür. Biyoasfalt ve geleneksel asfalt arasındaki kimyasal bileşim sonuçları benzerlik göstermektedir. Biyomodifiye bağlayıcının reolojik özellikleri dinamik kayma reometresi (DSR) ve kiriş eğilme reometre deneyi (BBR) ile tespit edilmiştir. DSR deneyi göstermiştir ki biyo bağlayıcı ilavesi ile tekerlek izi parametrelerinde (G^* sinδ) ve tekerlek izine dirençte artış görülmüştür. BBR deneyleri

sonucunda ise biyo bağlayıcı ilavesi ile bağlayıcının m-değeri azalmıştır. Bir başka deyişle biyo bağlayıcı düşük termal sıcaklıklara karşı azalan bir direnç göstermektedir.

Williams (2010) araştırma raporunda modifiye edilmemiş biyo bağlayıcıların reolojik özelliklerinin bitümlü bağlayıcılara göre oldukça değişken olduğunu belirtmiştir, bununla birlikte polimer modifikatör katkıların bu tip bağlayıcılara ilave edilmesiyle özelliklerinin büyük ölçüde değişip daha kararlı hale gelebileceklerini belirtmiştir. Geliştirilen biyo bitümlerin yüksek sıcaklıktaki davranışlarının geleneksel bitümlü bağlayıcılara göre değişken olmamakla birlikte düşük sıcaklıklardaki performans sınıfları değişkenlik gösterebilmektedir.

Williams (2009) % 9 oranında biyo bağlayıcı ilavesi ile asfalt bağlayıcının modifiye edildiğinde performans derecelerinin önemli ölçüde geliştiğini belirtmiştir. Domuz gübresi esaslı biyo bağlayıcıların asfalt modifikatörü olarak kullanılabileceğini ve asfaltın düşük sıcaklık davranışını geliştirdiği literatürden bilinmektedir. Bu araştırmaların sonuçları esas alındığında, biyo yağların bitüm modifikatörü olarak kullanımının oldukça umut verici olduğu belirtilmiştir.

1970'lerin ortasındaki petrol krizinden sonra biyokütleden sıvı yakıtlar üretmek için süreçlerin geliştirilmesine önemli çabalar harcanmaya başlamıştır. Oasmaa vd.'ne göre bu tip dönüşümlerden en etkili olan piroliz yöntemidir. Bu yöntem eski Mısırlılar zamanında, gemilerin alt yüzeylerinde geçirimsizlik sağlaması için katran üretiminde kullanılmıştır (Mohan ve diğ., 2006). Tanım olarak biyokütle pirolizisi; organik maddelerin oksijensiz ortamda ısı ile ayrıştırılarak katı, sıvı ve gaz ürünlerin elde edilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Farklı kaynağa sahip biyokütlelerin pirolizi sonucunda çok geniş bir yelpazede yakıt, çözücü (solvent), kimyasal ve diğer maddeler üretilebilir. Demirbaş ve Balat (2006) tarafından farklı biyo kütle kaynaklarının farklı yöntemlerle biyo yakıt veya hidrojene dönüştürüldüğü belirtilmiştir. Organik biyokütleler; biyopolimer, selüloz, hemiselüloz ve ligninlerden oluşur. Dolayısıyla lignoselülozik biyokütlenin hızlı pirolizi kapsamlı depolarizasyon ve parçalanmaya yol açar (Mullen ve diğ., 2008) Farklı biyokütle kaynaklarından dolayı, sıvı biyo yağların, katı karakterli maddelerin ve çözünemeyen gazların miktarı da değişkenlik gösterir. Örneğin hızlı pirolizis prosesi ile;

- Ağırlıkça % 60-75 sıvı biyo yağ,
- Ağırlıkça % 15-25 katı karakterli madde,
- Ağırlıkça % 10-20 çözünemeyen gaz ortaya çıkar (Mohan ve diğ., 2006)

Bazı araştırmacılar hızlı pirolizis yöntemi ile üretilen biyo yağlarla ilgili olarak bazı potansiyel problemlerden bahsetmişlerdir. Biyo kütlelerden üretilen biyo yağların yüksek oksijen ve su içeriklerinden dolayı zayıf uçuculuk (votalite), yüksek viskozite ve korozyona (durabilite azlığı) eğilime yol açabileceğinden bahsetmişlerdir. Buna ilave olarak, biyo yağların oldukça reaktif yüzlerce değişik oksijenli organik bileşenleri kararsızlık problemlerine ve zaman içerisinde viskozite artışı gibi problemlere de neden olabilmektedir (Mullen ve diğ., 2008).

Wen ve diğ.'ne (2012) göre son yıllarda yeni sondajlar için artan çevre ile ilgili yaptırımlar, öz kaynakların giderek azalması, rafine işlemlerinin geliştirilerek yakıt üretiminin (hafif ürünlerin) arttırılarak son ürün olan asfaltın giderek azaltılması asfalt

birim fiyatlarının yükselmesine neden olmuştur. Günümüzde endüstri bu zorlu sorunları çözmek için BSK üretiminde petrol esaslı bağlayıcı kullanımını azaltma veya alternatif bağlayıcılarla değiştirmenin yollarını aramaya başlamıştır. Yeni tür asfalt bağlayıcılar çevre dostu yeşil teknolojiler kullanılarak üretilmelidirler. Kaplama endüstrisi tarafından sürdürülen sürdürülebilirlik yaklaşımları, araştırmacıların ekolojik ve dayanıklı bir asfalt olan biyo bitümü geliştirmelerine neden olmuştur. Araştırmacılar biyobitümü üç farklı geleneksel bitüm numunesiyle ağırlıkça iki farklı oranlarda karıştırmışlardır. PG 58-28 bağlayıcısı ile % 30 ve 60 oranlarında biyobitüm karıştırırlarken, PG 82-16 ve PG 76-22 bağlayıcıları ile % 30 ve 10 oranlarında biyobitüm karıştırmışlardır. Dinamik kayma reometresi ve kiriş eğilme reometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Geleneksel bitüme biyobitüm ilavesi ile, penetrasyon derecesinde azalma görülmüş bununla birlikte termal çatlaklara karşı artan bir direnç görülürken, tekerlek izine karşı direnç azalmıştır. Tekdüze yükleme altında, geleneksel bitümle kıyaslandığında, ortalama sıcaklık altındaki deneyde kırılma enerjisinde azalma görülürken, yorulma çatlaklarına karşı dirençte de azalma görülmüştür. Biyobitüm ilavesiyle birlikte, geleneksel bitümün J_{nr} değerlerindeki artışla birlikte tekerlek izi deformasyonuna olan hassasiyet de artmıştır. Biyobitüm ilavesiyle birlikte karışımın dinamik modülünde azalma görülmüştür. Biyobitüm kullanılarak üretilen BSK karışımların akma değerinin de geleneksel BSK karışımlardan düşük olduğu görülmüştür. Bu bulgu, biyobitüm kullanılan BSK karışımların, geleneksel karışımlara göre tekerlek izi deformasyonuna daha eğilimli olduklarını göstermiştir. Biyobitüm ilavesiyle üretilen BSK karışımlarda yapılan indirekt çekme deneyi sonuçlarına göre kırılma enerjisinin azaldığı ve geleneksel BSK karışımlara göre yorulma kırılmasına eğilimin arttığı görülmüştür. Bununla birlikte biyo bitüm ilaveli karışımların düşük sıcaklık çatlaklarına dirençlerinin geliştiği görülmüştür. Deney sonuçlarına göre tüm biyobitüm ilaveli BSK numunelerinin AASHTO TSR şartname limitlerini sağladığı belirtilmiştir.

Sonuçlar

Biyobitümlerin bitümlü karışımlarda kullanımı gelecekte de daha da artacak ve geleneksel bağlayıcıların % 100'ü yerine biyobitümlerin kullanılması kaçınılmaz olacaktır. Petrol kaynakları tükenmeden geleneksel bitümün özelliklerini gerek kimyasal bileşim gerekse reolojik özellikler bakımından sağlayan biyo bitümler geliştirilmeli ve bunların karışım içerisindeki davranışları detaylı bir şekilde incelenmeli ve bu malzemeler için geleneksel deney yöntemleri modifiye edilerek değiştirilmeli ve gerekirse yeni deney yöntemleri önerilmelidir. Yerindeki performans kriterlerini laboratuvar şartlarında sağlamak her zaman için mümkün olmamaktadır, dolayısıyla biyo bağlayıcıların arazideki performansları petrol kaynakları tükenmeden uzun yıllar boyunca gözlenmeli ve geleneksel bitümlü karışım kaplamaların konforunu ve avantajlarını devam ettirecek alternatif bağlayıcılar geliştirilmelidir.

Kaynaklar

Metwally, M.A.R.M. and Williams R.C. (2010) Development of Non-Petroleum Based Binders for Use in Flexible Pavements. Final Report, Iowa State University, Institute for Transportation.

Mohan, D., C. U., Pittman, and P. H. Steele. (2006) Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-Oil: A Critical Review. Energy and Fuels, Vol. 20, No. 3, pp. 848–889.

Boateng, A.A., P.H. Cooke, and K.B. Hicks. (2006) Microstructure development of chars derived from high-temperature pyrolysis of barley (*Hordeum vulgare* L.) hulls. Fuel, V. 86, pp. 735-742.

Goyal H.B., Diptendu Seal, and R.C. Saxena. (2006) Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, V. 12, pp. 504–517.

Whiteoak, D. (1990) The Shell Bitumen Handbook. Shell Bitumen, pp-287-290. England.

Roberts, F.L., P.S. Kandhal, E.R. Brown, D.Y. Lee, and T.W. Kennedy. (1996) Hot Mix Asphalt Materials, Mixture, Design, and Construction. Lanham, Maryland: National Asphalt Pavement Association Research and Education Foundation.

Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ, Eren, K., (2001) Asfalt ve Uygulamaları. ISFALT Yayınları, no:1. İstanbul, 280.s.

Huang, S-C., Salomon, D. and Haddock, J.E. (2012) Workshop Introduction. Transportation Research Circular-Alternative Binders for Sustainable Asphalt Pavements, Washington, January 22, Elsevier Science Ltd., pp. 1-2.

Rasmussen, Robert Otto, Robert L. Lytton, F., and George K. Chang. (2002) Method to Predict Temperature Susceptibility of an Asphalt Binder. Journal of Materials in Civil Engineering, May/June, pp. 246-253.

Chailleux, E., Bujoli, B., Legrand J., Lepine O. (2012) Laboratory Evaluation of Waste Cooking Oil-Based Bioasphalt as Sustainable Binder for Hot-Mix Asphalt. Transportation Research Circular-Alternative Binders for Sustainable Asphalt Pavements, Washington, Transportation Research Circular., pp. 7-14.

Peralta, J., Williams, R.C., Rover, M.Silva, H.M.R.D. (2012) Development of Rubber-Modified Fractionated Bio-Oil for Use as Noncrude Petroleum Binder in Flexible Pavements. Transportation Research Circular-Alternative Binders for Sustainable Asphalt Pavements, Washington, Transportation Research Circular., pp. 23-37.

Williams, R. C., J. Satrio, M. Rover, R. C. Brown, and S. Teng.(2009) Utilization of Fractionated Bio-Oil in Asphalt. Presented at 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

Demirbas, M.F., and M. Balat. (2006) Recent Advances on the Production and Utilization Trends of Bio-fuels: A Global Perspective. Energy Conservation and Management, V. 47, pp. 2371-2381.

Mullen, Charles A., and Akwasi A. Boateng. (2008) Chemical Composition of Bio-oils Produced by Fast Pyrolysis of Two Energy Crops. Energy Fuels, V. 22 (3), pp. 2104-2109.

Wen, H., Bhusal, S., Wen, B. (2012) Alternative Binder from Microalgae. Transportation Research Circular-Alternative Binders for Sustainable Asphalt Pavements. Washington, August 2012, Transportation Research Circular, pp. 49-60.

Web Site 1: <http://www.treehugger.com/green-architecture/bike-trail-being-paved-with-asphalt-made-from-plants-instead-of-oil.html> (Erişim Mart 2013)

Web Site 2: www.asmud.org.tr (Erişim Mart 2013).

Sürdürülebilir Ulaşım İçin Bütünleşmiş Toplu Taşıma Sistemi (Poster Bildiri Metni)

Ahmet ATALAY

Atatürk Üniversitesi,
Narman Meslek Yüksekokulu,
İnşaat Bölümü, 25530 Narman/Erzurum
Tel: (533)-818-50-10 E-Posta: ahatalay@atauni.edu.tr

Ahmet TORTUM

Atatürk Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği, 25240, Erzurum
Tel: (543)-426-59-85 E-Posta: atortum@atauni.edu.tr

Öz

Sürdürülebilirlik kavramı bugünün kaynaklarını, hem bugün yaşayanlar hem de gelecek nesillerin ihtiyaçları doğrultusunda kullanabilme olarak tanımlanabilir. Sürdürülebilir kalkınma için sürdürülebilir ulaşım gereklidir. Sürdürülebilir ulaşım, özel araç kullanımı yerine bütünleşmiş bir ulaşım sisteminden faydalanmayı gerektirir. Bu sistem; yürümeden bisiklet kullanımına, taksiden otobüse, trenden metroya, vapurdan feribota tüm ulaşım yöntemlerini kapsamaktadır. Bunun için toplumun beklentilerini ve ihtiyaçlarını karşılayacak, konforlu, tüm paydaşları gözeten, çevreci ve engellilerin rahatça erişebileceği toplu taşıma araçlarının hizmete sunulması gerekmektedir. Bu bildiride, sürdürülebilir ulaşım için kent içi toplu taşıma sistemlerinin bütünleştirilmesine dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Bütünleştirilmiş toplu taşıma için yapılması gereken işlemler anlatılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

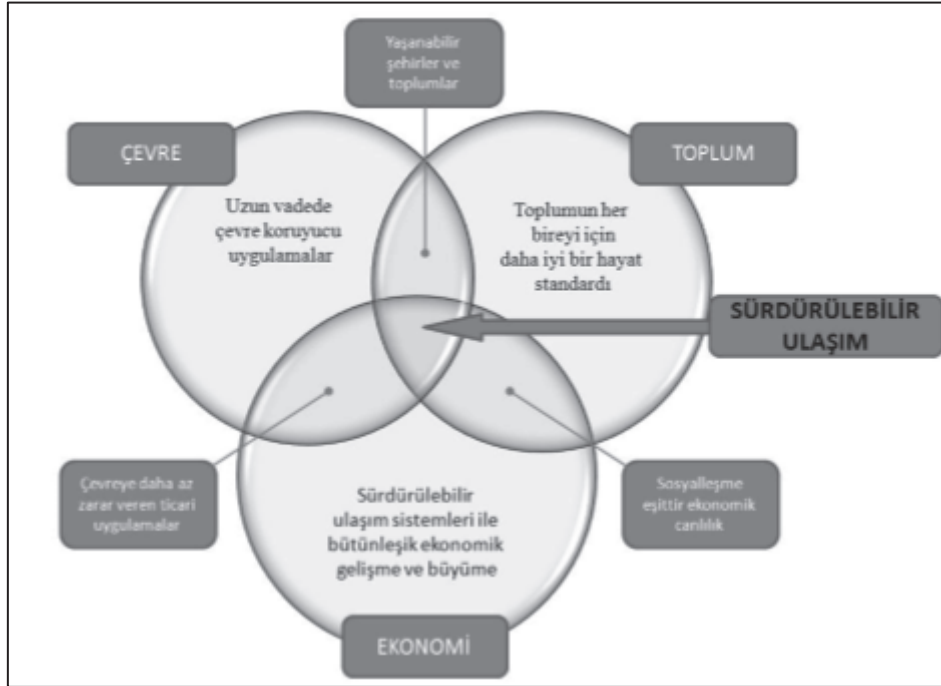
Anahtar kelimeler: Toplu Taşıma, Sürdürülebilir Ulaşım, Bütünleşmiş Toplu Taşıma

Giriş

Köylerden kentlere yapılan sürekli göç beraberinde birçok sorunu (barınma, sığınma, sağlık, ulaşım, haberleşme, altyapı vd.) da birlikte getirmektedir. İnsanların ulaşmak istedikleri yerlere normal sürelerde gidememesi; zaman, işgücü, enerji ve verim kayıplarına sebep olmakta, kentlerdeki yaşam konforunu da düşürmektedir.

Çevreyi, ekonomiyi ve toplumu bir bütün olarak ele alıp bugünün kaynaklarını gelecek nesillerin ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak, yani sürdürülebilir büyümeyi benimseyerek, büyükşehirlerdeki alışkanlıklarımızı gözden geçirmemiz gerekmektedir. Büyükşehirlerdeki yaşamı etkileyen en önemli konulardan biri ulaşımdır. Şehirlerdeki yaşam alanlarının genişlemesi, nüfusun artışı, ekonomikhareketliliğin çoğalması

bireylerin ulaşım ihtiyacını daha da önemli bir hâle getirmektedir. Sürdürülebilir kalkınma için sürdürülebilir ulaşımın (Şekil 1) sağlanması gereklidir.



Şekil 1 Sürdürülebilir ulaşım (UITP, 2005; Sevginer ve diğ., 2011).

Sürdürülebilir Ulaşım

Sürdürülebilirlik günümüzün önemli ve gündemde olan kavramlarından biridir. Bu kavramailşkin genel kabul gören bir tanımlama yoktur. Başlangıçta enerji ve çevreyle ilgilikaygılardan kaynaklanan bir yaklaşımla tanımlanan kavramın kapsamı zaman içindegenişlemiştir. Ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan ulaşımın sürdürülebilirlik amaçlarınaolumsuz etkileri şöyle özetlenebilir (Evren, 2010):

Ekonomik açıdan

- Trafik tıkanıklığı
- Hareketliliği kısıtlayıcılık
- Kaza hasarları
- Ulaşım altyapı maliyetleri
- Kullanıcının ulaşım maliyetleri
- Yenilenemeyen kaynakların tükenmesi

Sosyal açıdan

- Etkilerin eşitsizliği
- Hareketliliğin zarar görmesi
- İnsan sağlığına etki
- Toplumsal uyum
- Toplumsal yaşanabilirlik
- Estetik

Çevresel açıdan

- Hava kirlenmesi
- İklim değişikliği
- Doğal yaşam alan kaybı
- Su kirliliği
- Hidrolojik etkiler
- Gürültü kirliliği

Ulaşım etkinliklerinin, sürdürülebilirliğe çok yönlü ve birbirleri ile çelişen etkileri olduğu için, bir sorunu çözerken diğerlerini ağırlaştırarak stratejilerden sakınmak, çok amaçlılık niteliğine uygun stratejiler belirlemek ve kapsamlı planlama yapmak önem taşımaktadır. Aksi halde sürdürülebilir çözümler oluşturulamaz.

Geleneksel planlamada, örneğin otomobillerin yarattığı tıkanıklığının toplu taşımaya ve yayalara zararı önemsenmeyip otomobillere öncelik verilirken, sürdürülebilirlik doğrutusundaki stratejilerde yayalık, bir yandan bisiklet kullanımı ve toplu taşımaya destek verilirken, öte yandan otomobillerin kısıtlanması söz konusu olabilmektedir. Sürdürülebilir ulaşım, ekonomik göstergeler yanında, doğrudan ölçülmesinin güçlüğüne karşın, hava ve gürültü kirliliği, düşük gelirli insanların durumlarının iyileştirilmesi, engellilerle sağlanan hareketlilik olanakları, yürüme ve bisiklet kullanabilme koşullarının iyileştirilmesi, nitelikli doğal yaşam alanlarının korunması, estetik çevre görünümü gibi göstergelere de özel önem verilmektedir. Kısacası sürdürülebilir ulaşım yaklaşımı, geleneksel değer tanımlamalarına veya yaklaşımına göre köklü denilebilecek bir anlayış değişimini gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak dolaylı dolaysız olası tüm etkilerin kapsamlı analizi, bu bağlamda talep analizi yönteminin yeniden geliştirilmesi konularını gündeme getirmektedir. Bu bağlamda toplumun ulaşım kararlarına katılımı gereği önem kazanmaktadır. Sürdürülebilir ulaşımaya yönelik olarak bir çok strateji geliştirilmektedir. Sürdürülebilirliğin önemli ilkelerinden olan ekonomik verimlilik ve kaynakların korunması, çevreye ve topluma uyum açısından etkin stratejinin ulaşım talep yönetimi olduğu konusunda görüş birliği bulunmaktadır (Evren, 2010).

Sürdürülebilir ulaşım sistemi;

- nesiller arasındaki dengeyi koruyarak, hem insan hem de çevre sağlığını gözetip bireylerin ve toplumun temel erişim ihtiyaçlarını güvenli bir şekilde karşılar;
- ucuzdur, etkin çalışır, farklı seçenekler sunar ve canlı bir ekonomiyi destekler;
- emisyonları ve atıkları gezegenin dengeleyebileceği düzeyde tutar, yenilenemez kaynakların tüketimini azaltır;
- yenilenebilir kaynakların tüketimini sürdürülebilir seviyede tutacak şekilde kısıtlar, yeniden kullanımı ve geri dönüşümü ön planda tutar;
- arazi kullanımını ve ses oluşumunu kısıtlar (The Centre ST, 2002; Sevginer ve diğ., 2011).

Sürdürülebilir ulaşım, özel araç kullanımı yerine bütünleşmiş bir ulaşım sisteminden faydalanmayı gerektirir. Bu sistem; yürümeden bisiklet kullanımına, taksiden otobüse, trenden metroya, vapurdan feribota tüm ulaşım yöntemlerini kapsamaktadır.

Toplu taşımaya yaygınlaştırılması, sürdürülebilir ulaşımın temel unsurlarından biridir. Toplu taşımaya tercih edilmesini sağlamak için hizmet kalitesinin yükseltilmesi ve

kullanıcıların beklentilerini karşılar nitelikte ulaşım araçlarının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Bütünleşmiş Toplu Taşıma Sistemi

Bir ulaşım sisteminin en uygun durumu kullanıcı açısından gereksinimin en güvenli, en ucuz ve konforlu olarak sağlanmasıdır. İşletmeci açısından ise ulaşım maliyeti en küçükleyen ve kârı enbüyükleyen biçimde talebi karşılayacak bir hizmet üretme istemidir. Asıl önemli olan ise, dışsal etkileri de kapsamak üzere, kamu yararının gözetilmesidir. Hangi açıdan bakılırsa bakılsın ulaşım sisteminin bir bütün olarak görülmesi gerektir. Yani, alt sistemlerin ayrı olarak en iyi çözümlerinin bulunması yerine alt sistemlerinin oluşturduğu sistemin bir bütün olarak en uygun çözüm olması amaçlanmalıdır. Günümüzde büyük kentlerin ulaşım sorunlarının çözümünün toplu taşımanın etkinleştirilmesine bağlı bulunduğu genel kabul gören bir ilkedir (Evren, 2010).

Kentlerde var olan yolcu taşıma sistemleri incelendiğinde kentlilerin ulaşım taleplerinin karşılanması yönünde var olan kaynakların yeterince kullanılmadığı görülmektedir. Kentlerde hizmet veren yolcu taşıma sistemleri arasında yeterli eşgüdümün bulunmaması, kamuya ait sistemlerin maliyetleri azaltacak yönde verimliliği öne çıkartmaması, özel sektör işletmelerinin ise toplumsal hizmetten ziyade ticari karlılıkları doğrultusunda çalışmaya yönelmesi, çözüm için var olan kaynakların atıl kullanımı, dolayısıyla da sorunun büyümesi sonucunu doğurmaktadır.

Bu nedenle, yolcu taşımacılık sistemi içinde yer alan, hizmet veren, planlama, yatırım, işletme, yönetim ve denetim bakımından bağımsız hareket eden taraflara tanımlar, düzen ve disiplin getirilmesinin zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Söz konusu karmaşa ve sorunların ortadan kaldırılabilmesi için değişik tarafların, değişik türlerde sundukları hizmetlerin bir bütünlük içinde ele alınması gerekmektedir. Aşağıdaki dört bileşenin birlikte ele alınması ile yaratılacak “**Yolcu Taşıma Sistemleri Bütünleşmesi**” ulaşım ve trafik sorununu önemli ölçüde hafifletebilecektir (Acar, 2010):

Yönetim Bütünleşmesi,
Hat ve Zaman Tarifesi Bütünleşmesi,
Ücret Ödeme ve Ücret Tarifesi Bütünleşmesi,
Fiziki Bütünleşme.

Yönetim bütünleşmesi

Kent içi ulaşım ve trafik sorunu çeşitli kamu ve özel girişimciler tarafından kentlilere sunulan toplu taşıma hizmetlerinin, daha etkin, daha ekonomik ve eşgüdüm içinde sunulmadığından kaynaklanmaktadır.

Ulaşım, kamusal bir haktır. Kamusal hak bir kamu kurumu tarafından sağlanmalı ve/veya sağlatılmalı ve de denetlenmelidir. Söz konusu kamusal hizmetin sağlanmasında “özel sektör” olanaklarının devreye sokulması ve denetlenmesi ile kamusal yatırımın azalmasının yanı sıra işletmelerde kalite, konfor ve de verimlilik artacaktır. Ancak “özel sektör”ün devreye sokulması “özelleştirme”, “hizmetin

ticarileştirilmesi” olarak ortaya konulmamalıdır. Bu yaklaşım kamu yönetim ve denetimi altında “özel sektör”den “hizmet alınması” veya “kamu-özel sektör iş-birliği/ortaklığı” olarak okunmalıdır. (Acar, 2010).

Hat ve zaman tarifesi bütünleşmesi

Kent içinde hatlar planlanırken deniz, raylı sistemler ve metrobüs gibi “ana-hat sistemleri”nin sabit güzergâhları ile oynamak imkânsızdır. Buna karşılık, otobüs, minibüs/midibüs gibi “ara/besleyici hatlar” lastik tekerlekli sistemlerin hat yapıları esnekler. Bu nedenle lastik tekerlekli taşımacılık türlerinin, sabit hat güzergâhları olan sistemlere doğru taşımacılık yapması hedeflenmelidir.

Ancak lastik tekerlekli sistemler arasında da “birbirleri ile rekabet eden değil, birbirlerini bütünleyen” bir düzenleme yapılması gerekir. Bu anlayış doğrultusunda hatların yapılandırılması, planlanması ile sabit güzergâhlı türlerin taşımacılıktan daha fazla pay almaları söz konusu olacaktır. Farklı ulaşım hizmetlerinin bir bütün olarak yolcuya sunulabilmesi için hizmetlerin “zaman” içinde de kesintisiz sunulması önemli bir koşuldur. Bu nedenle yolcuların aktarma yaptıkları iki ulaşım türü arasında kaybedilen zamanın en aza indirilmesi planlamada temel amaçlardan biri olmalıdır (Acar, 2010).

Ücret Ödeme ve Ücret Tarifesi Bütünleşmesi

Bütünleşik yolcu taşıma sistemlerinde kullanılacak ücret ödeme sistemi bütünleşik sisteminin ortak dilidir. “Ücret ödeme sistemi”, bütünleşik sistem içinde hizmet veren işletmelerin bir bütün olduğunu ortaya koyan, yolcular için sistemden sisteme geçişlerde kolaylık ve ekonomi sağlayan en önemli elemandır. “**Park et-Bin Otopark**” alanlarını da içeren bir ödeme sistemi toplu taşıma sistemleri ile otomobil, bisiklet gibi bireysel taşıma türlerini de kapsama alanına alıp, yaygın bir yapıyı oluşturacaktır.

Günümüzün teknolojik gelişmeleri bu yöndeki uygulamalara, özellikle elektronik ve bilgisayar destekli ücret ödeme sistemleri uygulamalara geniş imkânlar kazandırmıştır. Başlangıç ile bitiş arasında aktarmalı seyahate olanak tanıyan elektronik ödeme sistemleri hem yolcular, hem de işletmeler için kolaylıklar getirmektedir. Özellikle de elektronik sistemler aracılığı ile toplanan veriler hat planlamasının temel taşları olmaktadır. Bu sistem planlamacılar için de, hatlara göre taşınan yolcu adedi hakkında gerçek bilgi vermektedir. Gerçek yolcu talebi bilindiği için güzergâhlara talebe uygun kapasitede yolcu taşıma aracının tahsis edilmesi, böylece var olan kaynakların verimli kullanımı gerçekleştirilmektedir.

Bütünleşik sistemde “**ücret tarifesi**” oluşturulurken, farklı ulaşım türleri ve işleticiler kullanılarak tamamlanan aktarmalı bir yolculuğun toplam maliyetinin, bu yolculuğun tek bir araçla yapılması alternatifinden daha düşük olması hedeflenmelidir. Aktarma sonucu verilen aktarma zorluğu ve zaman kaybı gibi yüklerin karşılığında yolcuya indirim yapıldığı “**aktarma fiyatlandırması**” ile yolcuya hissettirilmelidir. Ödeme sisteminin “**Park et-Bin Otoparkları**” da içerecek şekilde planlanması ve ücret tarifelerinin otomobil kullanıcılarını toplu ulaşım araçlarına çekecek şekilde yapılandırılması, yollardaki otomobil adedinde azalmayı beraberinde getirecektir (Acar, 2010).

Fiziki bütünleşme

Aktarmalı taşımacılık yöntemi ile yolcu taşımacılığın bütünleştirilmesinde başarı, gereğince tasarlanmış “**aktarma merkezleri**”nde yatmaktadır. Yolculuğun farklı ayaklarını birleştiren aktarmaların kolaylaştırılması, yürümenin ve zaman kaybının azaltılması için aktarma yapılan türlerin birbirlerine olabildiğince yaklaştırılmaları gerekir. Aktarmalı yolcu taşımacılığının başarısı, birbirine değen değişik hatlar arasında kolay ve konforlu aktarmayı sağlayan çekici, aktarmayı sıkıntı haline getirmeyen canlı, hareketli, güvenli ve olumsuz hava koşullarından korunmalı fiziki aktarma mekânlarının yaratılması ile gerçekleşir. Eğer aktarma merkezleri iyi planlanmamış ve çekici şekilde düzenlenmemiş ise aktarma süresin- de kaybedilen zaman sıkıntı ve rahatsızlık yaratır. Aktarma merkezleri aktarma yapacak yolcular için hoşça vakit geçirilebilecek, yiyip-içilebilecek, alış-veriş yapılabilecek mekânlar olarak düzenlenmelidir. Aktarma merkezleri sadece ulaşım amacıyla kullanılmamalı, aynı zamanda bu mekânlar kentin canlı, hareketli parçaları haline getirilmelidir. Kentin çeperlerinde yer alacak aktarma merkezlerinde özellikle “**Park et-Bin Otoparkları**” planlanmalıdır (Acar, 2010).

Sonuç ve Öneri

Bu çalışmada; sürdürülebilir bir ulaşım için toplu taşıma sistemlerinin bütünleşmesine dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Kentlerde yaşayan insanları toplu taşımaya yönlendirebilmek için öncelikli olarak toplu taşıma sistemlerinin bütünleştirilmesi çalışmalarının yapılması gereklidir.

Toplu taşıma hizmetlerinin bütünleşmesi için öncelikle kamunun, sonra da taşımacılık içinde yer alan işleticilerinin çıkarları doğrultusunda çözümler üreten ve kararlar veren, işletmeler arasında öncelikle kamu lehine çıkar dengelerini sağlayan, bütünleşik hizmet sistemini yöneten yasal yetkilerle donatılmış, bağımsız finans ve yürütme gücü bulunan kamu kurumuna gereksinme vardır (Acar, 2010).

Kent içinde ulaşım türleri arasında aktarmada geçen sürenin yolcular tarafından, psikolojik olarak araç içinde geçen süreden daha uzun değerlendirilmektedir. Bundan dolayı bekleme süresinin en aza indirilmesinin hedeflenerek planlamanın yapılması toplu taşımada bütünleşmenin başarısı için önemlidir.

Ayrıca kent içinde hatlar arasında kolay ve konforlu aktarmayı sağlayan çekici, hareketli, güvenli ve olumsuz hava koşullarından korunmalı fiziki aktarma mekânlarının planlanması ve yapılması aktarmalı yolcu taşımacılığını cazip hale getirecektir.

Ulaştırma yatırımları, uzun dönemli etkileri olan yüksek maliyetli yatırımlardır. Bu sebepten bu tür projelere ilişkin önceliklerin doğru belirlenmesi ve kısıtlı ekonomik kaynakların en fazla yarar getirecek şekilde kullanılması çok önemlidir. Ulaştırmanın bir bütün olarak arazi kullanımı ile etkileşimleri de göz önünde tutularak planlanması gerekmektedir (Gökdağ, 1999).

Ulaşım planlamaları yapılırken kamuya ait alanların kentte yaşayan bütün herkes dikkate alınarak kullanımı planlanmalıdır. Modern bir kent; bütün insanların kendilerini özgür, güvenli ve rahat hissettikleri bir yerleşimdir. Kentte yaşayan bütün bireylerin,

kentin sunduğu kamusal hizmetlerin tümüne ulaşabilmesi ve kamusal yaşama katılabilmesi demektir.

Kaynaklar

Evren G., (2010) İstanbul Ulaştırması Yönetimi Sorunu ve Sürdürülebilir Ulaştırma Bağlamında Bir Değerlendirme, Ulusal Toplu Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi, İstanbul.

Acar İ.H., (2010) Yolcu Taşıma Sistemlerinde Bütünleşme, Ulusal Toplu Ulaşım Sempozyumu ve Sergisi, İstanbul.

Sevginer, C., Bilge, E., Demir, Ö., Gezer, U. Y. (2011)Sürdürülebilir Ulaşım İçin Çözüm Önerisi: Taksiye Yönelik Araç Platformu, 9. Ulaştırma Kongresi.

International Association of Public Transport (UITP) (2005) Bringing Quality to Life.

The Centre for Sustainable Transportation (The Centre ST) (2002) Definition and Vision of Sustainable Transportation.

Gökdağ M. (1999) Kentsel Ulaşımında Karayolu ve Raylı Taşıma sistemlerinin Bazı Önemli Faktörlere Göre Karşılaştırılması, II. Ulaştırma ve Trafik Kongresi ve Sergisi.

Havaalanı Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması (Poster Bildiri Metni)

Murat Aziz Özdemir, Necati Kuloğlu

Hava Lojistik Komutanlığı, Fırat Üniversitesi

Tel: 0 312 249 10 11, 0 424 237 00 00

E-Posta: maziz_ce@hotmail.com, nkuloglu@firat.edu.tr

Baha Vural Kök, Mehmet Yılmaz

Fırat Üniversitesi

Tel: 0 424 237 00 00

E-Posta: bvural@firat.edu.tr, mehmetyilmaz@firat.edu.tr

Öz

Havaalanlarında bulunan üstyapılar rijit, kompozit ve esnek üstyapı olmak üzere inşa edilmektedir. Bu sahalar hava araçlarının güvenliği için uygun yapısal ve yüzeysel koşullara sahip olmalıdır. Yapımı oldukça maliyetli olan ve insansız hava araçları, sabit kanat ve döner platformlar gibi çeşitli hava araçlarınca kullanılan üstyapıların hem yapısal açıdan emniyetli hem de maliyet-etkin olacak şekilde tasarlanması, maliyetleri çok daha fazla olan söz konusu hava araçlarının ve özellikle yolcuların güvenliği için büyük önem arz etmektedir.

Havaalanı esnek üstyapılarının matematiksel modellenmesinde güçlüklerle karşılaşıldığı için analitik yöntemlere nazaran genellikle ampirik tasarım yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ampirik tasarım yöntemlerinden olan USCOE CBR (United States Army Corps of Engineer California Bearing Ratio) ve FAA CBR (Federal Aviation Administration California Bearing Ratio) yöntemleri ile mekanistik-ampirik tasarım yöntemlerinden olan FAARFIELD (FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design) yöntemi incelenmiştir.

Aynı tasarım koşulları altında söz konusu yöntemler tarafından önerilen esnek üstyapı kalınlıkları hesaplanmış ve elde edilen kalınlıklar karşılaştırılmıştır. Değerlendirme sonucunda; taban zemini taşıma gücü, uçak ağırlığı, tekerlek ve iniş takımı düzeni ve operasyon sayısının (trafik hacmi) esnek üstyapı kalınlığı üzerinde oldukça etkili olduğu ve taban zemini taşıma gücü arttıkça incelenen yöntemlerce önerilen esnek üstyapı kalınlıklarının azaldığı görülmüştür. Kalınlık azalışının yavaşladığı kritik taban zemini taşıma gücü değerlerinin; FAARFIELD yöntemi için 10 CBR, FAA CBR yöntemi için 6 CBR ve USCOE CBR yöntemi için yüksek ağırlıkta 6 CBR, düşük ağırlıkta 10 CBR olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Havaalanı, Esnek Üstyapı, CBR, FAARFIELD.

Giriş

Yapımı oldukça maliyetli olan ve çeşitli hava araçlarınca kullanılan havaalanı üstyapısının yapısal açıdan iyi tasarlanması, maliyetleri çok daha fazla olan hava araçlarının emniyeti ve yolcuların güvenliği için büyük önem arz etmektedir. Bu anlamda, daha güvenli ve maliyet-etkin üstyapı inşa edilmesiyle sosyal ve ekonomik alanda büyük kazançlar elde edilebilir.

Son yıllarda ülkemiz havacılığının gelişmesi ile birlikte Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı tarafından özellikle havaalanı pistlerine yönelik olarak kapsamlı onarım ve yenileme faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte, onarım, yenileme ve inşa projelerinin maliyet-etkin olarak hazırlanması gün geçtikçe gelişen sektöre ivme kazandıracak ve ülke ekonomisine doğrudan ve dolaylı olarak katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmanın amacı, havaalanı esnek üstyapı tasarımında kullanılan USCOE CBR (United States Army Corps of Engineer California Bearing Ratio), FAA CBR (Federal Aviation Administration California Bearing Ratio) ve FAARFIELD (FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design) yöntemleri ile aynı koşullar altında elde edilen esnek üstyapı kalınlıklarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesidir.

Çalışmada, tasarım yöntemlerinin uygulama esaslarından daha çok karşılaştırma ve değerlendirme sonuçlarına ağırlıklı olarak değinilmiştir. Tasarım yöntemlerinin uygulama esasları, Kuloğlu ve diğ. (2007) ile diğer kaynaklarda açıklanmaktadır.

Üstyapı

Havaalanı üstyapısı, hava araçlarından gelen yükleri emniyetle taşıyacak dayanımda, kapalı ve açık alanlarda inşa edilebilen, üstyapı tabanı üzerindeki tüm tabakaları kapsayan yapıdır (USCOE, 2001). Horonjeff (1975)'e göre üstyapı, düzgün ve her hava durumunda güvenli taksi yapma ve konfor koşullarını sağlayacak şekilde inşa edilir. Üstyapıyı oluşturan her tabakanın kalınlığı uygulanan yüklerden dolayı aynı veya farklı tabakalarda, kopma ve kırılmaya sebebiyet vermeyecek şekilde yeterli kalınlıkta tasarlanır. Çok tabakalı bir sistem olarak projelendirilen üstyapının tasarımında, hizmet ömrü boyunca tasarım trafiği yüklerinin emniyetli ve ekonomik olarak taşınması esas alınır. Havaalanı üstyapısı karayolu üstyapı sistemlerine benzer şekilde, yapım yöntemlerine ve kaplama tabakasında kullanılan malzemenin özelliğine göre; rijit üstyapı (kaliteli beton kaplamalı), kompozit üstyapı ve esnek üstyapı (asfalt betonu kaplamalı) olarak sınıflandırılmaktadır (Tunç, 2004).

Esnek üstyapı; tekerlek yükleri altında elastik davranış sergileyebilen, küçük ölçekli deformasyonlara olanak sağlayan, yükleri yapısında bulunan bitüm bağlayıcılı kaplama tabakası (asfalt betonu), temel ve alttemel tabakaları aracılığıyla taban zeminine ileten üstyapı tipidir. Havaalanı üstyapıları karayollarında olduğu gibi taban zemini üzerinde ve üst tabakalara doğru daha kaliteli malzemeler kullanılarak inşa edilir. Üstyapı, taban zemininden itibaren sırasıyla seçme granüler malzeme veya alttemel tabakası, temel tabakası ve kaplama tabakasından oluşur.

Esnek üstyapının temelini oluşturan taban zemini üzerinde, seçme granüler malzeme veya alttemel tabakası inşa edilir. Bu tabakanın esas görevi, don olayının olumsuz etkilerini azaltmak ve üstyapının taşıma gücünü artırmaktır. Bununla birlikte, yükleri taban zeminine iletmek, temel tabakası için uygun çalışma yüzeyi oluşturmak, yüzey altı suyunun olumsuz etkilerini azaltmak ve taban zemininden sızabilecek ince daneli malzemelerin yüksek kalitedeki üst tabakaların fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemesini engellemek bu tabakanın diğer görevleridir (DoE, 1989).

Temel tabakası, uçak yüklerini alt tabakalara iletmek, üstyapının stabilitesini artırmak, drenajı sağlamak, alt tabakaları don olayının olumsuz etkilerinden korumak, düzgün taşıma yüzeyi elde etmek, çalışma platformu oluşturmak ve üstyapının taşıma gücünü artırmak amacıyla inşa edilir. Bu anlamda temel tabakası üstyapının yapısal anlamda başlıca tabakasıdır (FAA, 1995). Bu tabakada belirli fiziksel ve mekanik özelliklere sahip uygun gradasyonda, genellikle kırılmış ve işlenmiş kaliteli malzeme kullanılır. Genellikle alttemel tabakasına göre daha yüksek birim maliyetle inşa edilir (FAA, 1995). Yüksek lastik basıncı altında üstyapının stabilitesini sağlayan temel tabakası, bağlayıcısız olarak veya proje gereksinimi doğrultusunda bitüm, kireç, çimento veya uçucu kül gibi kimyasal katkıları kullanılarak bağlayıcılı olarak inşa edilebilir.

Uçak yüklerine, çevre ve iklim koşullarına doğrudan maruz kalan ve üstyapının en üst tabakasını oluşturan tabaka kaplama tabakasıdır. Günümüzün modern ve ileri teknoloji ürünü hava araçlarına hizmet veren havaalanı esnek üstyapılarının kaplama tabakası asfalt betonu ile inşa edilir. Havaalanı asfalt betonu karayolundakinden çok daha yüksek yüklere maruz kalmaktadır. Bu nedenle karayolu asfalt betonu karışımının havaalanında doğrudan kullanımı kabul edilebilir bir uygulama değildir. Üstyapının en üst tabakasını oluşturan kaplama tabakası, uçağın iniş takımlarında bulunan tekerleklerden iletilen ağır yüklere doğrudan maruz kalmaktadır. Bu nedenle diğer tabakalara göre çok daha yüksek elastisite modülüne sahip olması gerekmektedir. Üstyapının stabilitesi ve durabilitesini sağlayan bitümlü kaplama tabakası, genellikle aşınma ve binder tabakalarından oluşur.

Aşınma tabakası, emniyetli ve konforlu trafik seyri için uygun pürüzlülükte düzgün sürtünme ve yuvarlanma yüzeyi sağlar. Trafik, çevre ve iklim gibi faktörlerinin aşındırıcı etkisine karşı direnç gösterir. Ayrıca, üstyapıya sızabilecek yüzeysel sulara karşı geçirimsizlik sağlar. Üstyapıyı yüzey altı ve yüzey sularının zararlı etkilerinden korumak ve suyu araziden hızla uzaklaştırmak amacıyla drenaj sistemi tesis edilir.

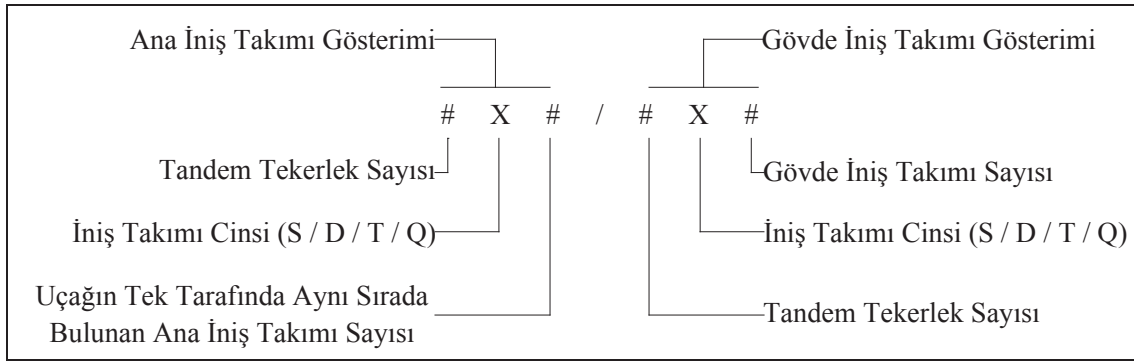
Uçak Karakteristikleri

Havaalanı üstyapı tasarımında taban zemininin taşıma gücü ve üstyapı tabakalarında kullanılacak malzemelerin özellikleri ile birlikte; *uçak ağırlığı, tekerlek ve iniş takımı düzeni ve trafik* gibi faktörler önemli rol oynamaktadır.

Üstyapı tasarımında ağırlık önemli bir faktördür. Tasarımda *MTOW (Maximum Take-Off Weight)* yani *maksimum kalkış ağırlığı* dikkate alınır. Genellikle bu ağırlığın %95'inin ana iniş takımları, % 5'inin burun iniş takımı tarafından taşındığı kabul edilir. MTOW, boş işletme ağırlığı ile ticari olarak taşınan yolcu ve yük ağırlıkları ile yakıt ağırlığı kombinasyonundan oluşan toplam ağırlıktır. Kalkış anındaki maksimum kalkış ağırlığı olarak tanımlanır. Bir uçak için MTOW sabittir. Havanın sıcaklığı, havaalanı rakımı ve pist uzunluğu ile bu ağırlık değişmemektedir.

Tekerlek ve iniş takımı düzeni, uçak yükünün üstyapıya aktarılma şeklini ifade etmektedir. Dolayısıyla üstyapı tabakalarında oluşacak gerilmeler bu geometriye bağlı olarak değişmektedir. Günümüz modern hava araçlarının sahip oldukları tekerlek ve iniş takımı düzenleri için ortak isimlendirmenin kullanılabilmesi amacıyla FAA tarafından standart adlandırma sistemi geliştirilerek 2005 yılında yayınlanmıştır (FAA, 2005). Standart adlandırma sistemi ile pilotların ve havaalanı yetkililerinin farklı adlandırma sistemlerini öğrenme gereksinimleri ortadan kalkmış ve tüm havacılık faaliyetlerinde ortak adlandırmanın kullanılabilmesi sağlanmıştır.

Standart adlandırma sistemde kullanılan *ana iniş takımı* terimi; uçak gövdesine en uzak ve uçak eksenini boyunca her iki tarafta simetrik olarak bulunan iniş takımı şeklinde tanımlanmaktadır. Ana iniş takımları arasında ve uçağın ortasında bulunan ilave iniş takım veya takımları ise *gövde iniş takımı* olarak adlandırılır. Gövde iniş takımı ana iniş takımından farklı düzende ve asimetrik olabilir. FAA (2005) tarafından önerilen standart adlandırma sisteminde tekerlek ve iniş takımı düzeni kodlu olarak belirtilir (Şekil 1).



Şekil 1 Standart tekerlek ve iniş takımı düzeni adlandırma sistemi (FAA, 2005).

Bu sistemde; tek tekerlekli iniş takımı için “S”, iki tekerlekli iniş takımı için “D”, üç tekerlekli iniş takımı için “T” ve dört tekerlekli iniş takımı için “Q” kodu kullanılır. Ana iniş takımı gösteriminde “1” değeri kullanılmaz. Gövde iniş takımı gösteriminde, gövdede bulunan iniş takımı sayısını belirtmek amacıyla “1” kullanılabilir.

Havaalanı Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemleri

Havaalanı esnek üstyapı tasarımında USCOE CBR, FAA CBR ve FAARFIELD vb. tasarım yöntemleri kullanılmaktadır. Esnek üstyapı tasarımında kullanılan yöntemler ampirik, mekanistik ve mekanistik-ampirik olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. *Ampirik* tasarım yöntemleri, saha tecrübelerinin ve deneysel sonuçların istatistiksel olarak düzenlenmesi ile geliştirilmiştir. Uçak yükleri altında esnek üstyapının sergilediği performansı yansıtan tekerlek izinde oluklanma, çatlama, oturma vb. hasarlar incelenmiş ve yapılan deneyler sonucunda elde edilen bilgiler çeşitli istatistiksel yöntemlerle düzenlenmiştir. Tecrübe ve deneye dayalı olarak geliştirilen ampirik tasarım yöntemleri, üstyapıyı oluşturan tabakalarda kullanılan malzemelerin özellikleri ile bu malzemelerin yük, iklim ve çevre koşulları altında sergiledikleri davranışların nedenlerinden daha çok davranışın kendisi, diğer bir ifadeyle üstyapının gösterdiği

performansla ilgilenmektedir. Saha tecrübesi ve deney sonuçları neticesinde, benzer üstyapı taban zemini, üstyapı tabakaları, trafik ve iklim koşulları için makul ve tutarlı sonuçlar verebilen ampirik yöntemler, farklı koşullar için aynı tutarlılığı göstermeyebilir. Bu nedenle, ampirik yöntemlerin saha şartları ve deney koşulları ile sınırlı olduğu göz ardı edilmemelidir. USCOE CBR ve FAA CBR yöntemleri ampirik yöntemlerdir. *Mekanistik* tasarım yöntemleri, ampirik tasarım yöntemlerinin aksine mekaniğin temel prensiplerini kullanır. Malzeme özellikleriyle birlikte iklim, trafik ve çevre koşullarının dikkate alındığı mekanistik yöntemler ampirik yöntemlere göre daha teorik esastır. Ampirik ve mekanistik tasarım yöntemleri gerçekçi esnek üstyapı tasarımı için yeterli olmamaktadır. Mekanistik yöntemler, mekanik prensipleri kullanıp geniş bir aralıkta ekstrapolasyona imkan verip teorik olarak doğru sonuçlar vermektedir. Ancak, teorik olarak geliştirilen üstyapının sahada uygulanması ve beklenen performansın elde edilmesi oldukça zordur. Diğer taraftan ampirik yöntemler bir çok belirsizlik bulundurmakla birlikte saha mühendisliği açısından uygulama kolaylığı bulunmaktadır. Birçok araştırmacı tarafından, havaalanı esnek üstyapı tasarımında uygun yöntem olarak savunulan *mekanistik-ampirik* yaklaşım ampirik tasarımın uygulama kolaylığı ile mekanistik çözümlerin teori esaslı prensiplerini birleştirmektedir. Bu çalışmada anlatılan FAARFIELD yöntemi mekanistik-ampirik bir yöntemdir.

Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Bu çalışmada, havaalanı esnek üstyapı tasarımında kullanılan USCOE CBR, FAA CBR ve FAARFIELD yöntemleri, üstyapı kalınlığına önemli oranda etki eden; tekerlek ve iniş takımı düzeni, uçak ağırlığı, taban zemini taşıma gücü ve trafik hacmi değişkenleri açısından incelenmiştir. Hesaplamalarda; USCOE CBR ve FAA CBR için tasarım abakları, FAARFIELD yöntemi için FAARFIELD programı kullanılmıştır. Değerlendirmede kullanılan değişkenler Tablo 1’de verilmiştir. S, 2S ve 2D olmak üzere üç farklı tekerlek ve iniş takımı düzeni için tipik uçak cinsi belirlenmiştir. Bu uçaklar sırasıyla F-4, C-130 ve C-141 uçaklarıdır (Şekil 2). Belirlenen her uçak için, farklı yük özelliklerinin temsil edilmesi amacıyla üç farklı ağırlık dikkate alınmıştır. Bu ağırlıklardan en fazla olanı her uçak için MTOW değeridir.



Şekil 2 Farklı tekerlek ve iniş takımı düzenleri: F-4 (S), C-130 (2S), C-141 (2D).

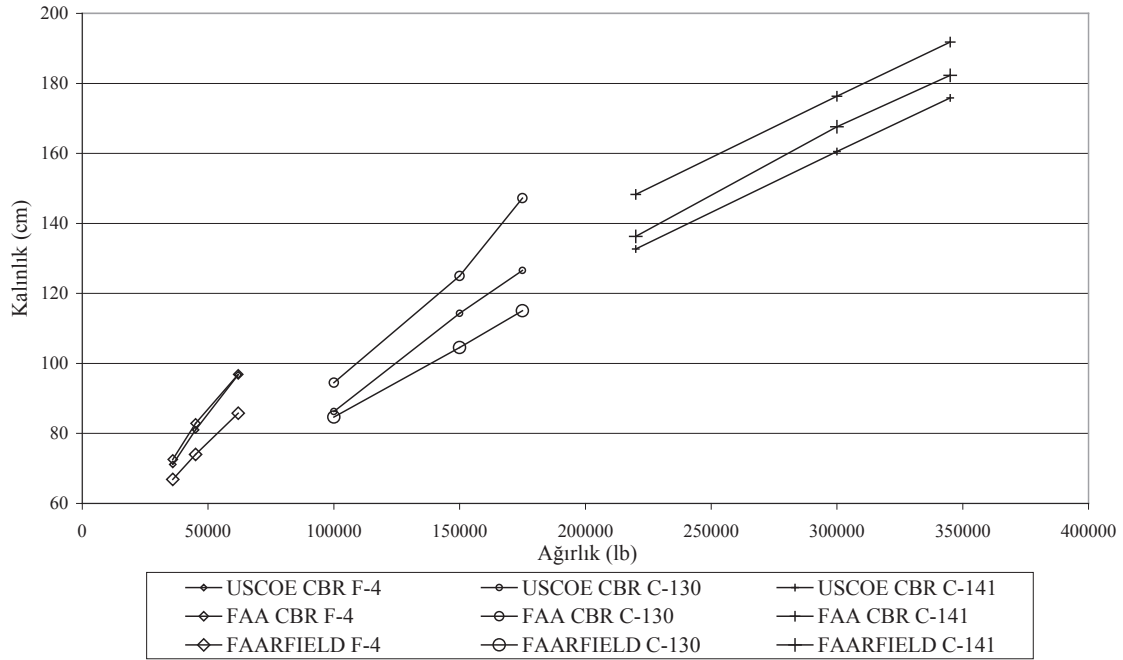
Taban zemini taşıma gücü hesaplamalara dört ayrı kategoride dahil edilmiştir. 3, 6, 10 ve 15 CBR değerleri tasarım CBR değerleri olarak alınmıştır. Bu değerlerin seçiminde, 3’ten küçük tasarım CBR değerine sahip zeminlerde havaalanı esnek üstyapı inşaatının –gerekli teknik koşullar sağlanmadıkça-uygun olmayacağı ve 20’den büyük tasarım CBR değerine sahip zeminlerde seçme granüler malzeme veya alttemel tabakası inşa edilmesinin gerekli olmayacağı durumları dikkate alınmıştır. Hesaplamalarda trafik hacmi olarak *yıllık* 1.200, 3.000, 6.000, 15.000 ve 25.000 operasyon sayıları

kullanılmıştır. Her üç yöntemde alttemel ve temel tabakası için tasarım CBR değerleri sırasıyla 20 ve 80 olarak belirlenmiştir. Kaplama tabakası kalınlığı her üç yöntem ile yapılan hesaplamalara 4 inç (yaklaşık 10 cm) olarak dahil edilmiştir. Her bir yöntem için 180 adet olmak üzere toplamda 540 adet esnek üstyapı kalınlığı hesaplanmıştır.

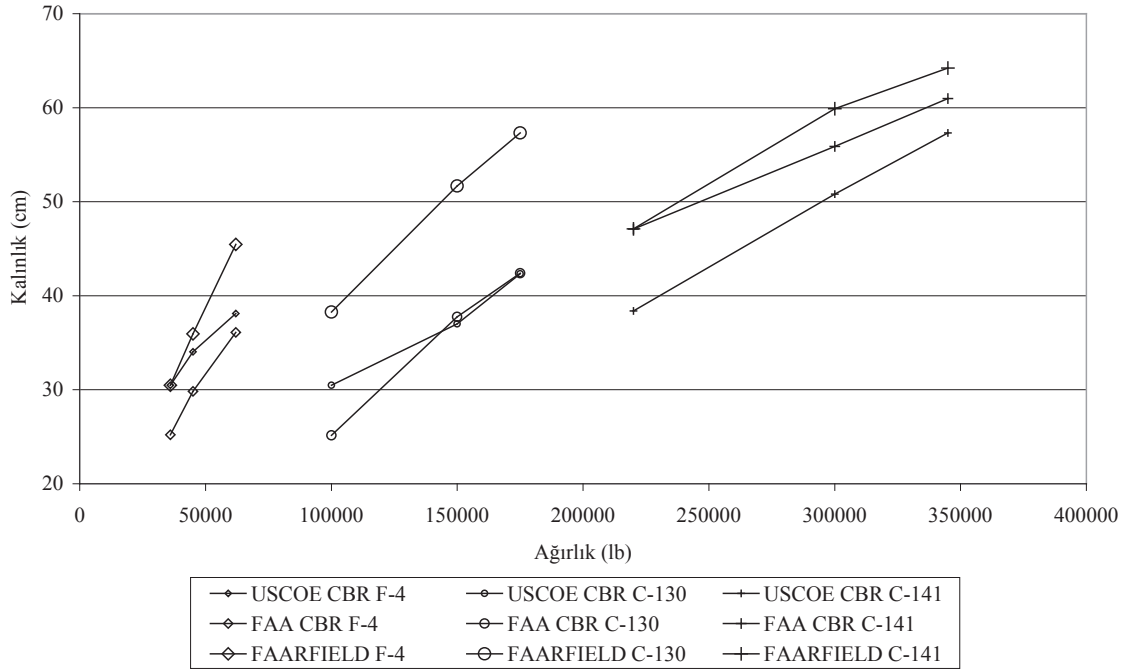
Tablo 1 Esnek üstyapı kalınlığı hesaplamalarında kullanılan değişkenler.

Uçak Cinsi (Tekerlek ve İniş Takımı Düzeni)	Uçak Ağırlığı (lb)	Taban Zemini (CBR)	Trafik Hacmi (Yıllık)	Alttemel Tabakası (CBR)	Temel Tabakası (CBR)
F-4 (S)	36.000	3	1.200	20	80
	45.000				
	62.000				
C-130 (2S)	100.000	6	3.000	20	80
	150.000	10	6.000		
	175.000	15	15.000		
	220.000		25.000		
C-141 (2D)	300.000				
	345.000				

Şekil 3 ve Şekil 4'te görüldüğü üzere, yöntemlerin sunduğu üstyapı kalınlıkları zayıf ve sağlam taban zeminlerinde çok farklı olmaktadır. Zayıf taban zemininde en fazla kalınlıkları bütün ağırlıklar için FAA CBR yöntemi verirken, sağlam taban zemininde ise en yüksek kalınlık değerlerini FAARFIELD yöntemi vermektedir. USCOE CBR yöntemi her iki taban zemini tipinde 175.000 lb ağırlığa kadar diğer yöntemlerin arasında kalacak şekilde, bu ağırlıktan sonra en düşük kalınlık değerlerini vermiştir. Bütün yöntemlerde ağırlığın artması ile üstyapı kalınlığındaki artış oranı "S" tekerlek ve iniş takımı düzeninde diğer ağırlıktaki artışlara göre daha fazladır.



Şekil 3 CBR=3 ve T=25.000 için yöntemlere göre uçak ağırlığı-üstyapı kalınlığı ilişkisi.



Şekil 4 CBR=15 ve T=25.000 için yöntemlere göre uçak ağırlığı-üstyapı kalınlığı ilişkisi.

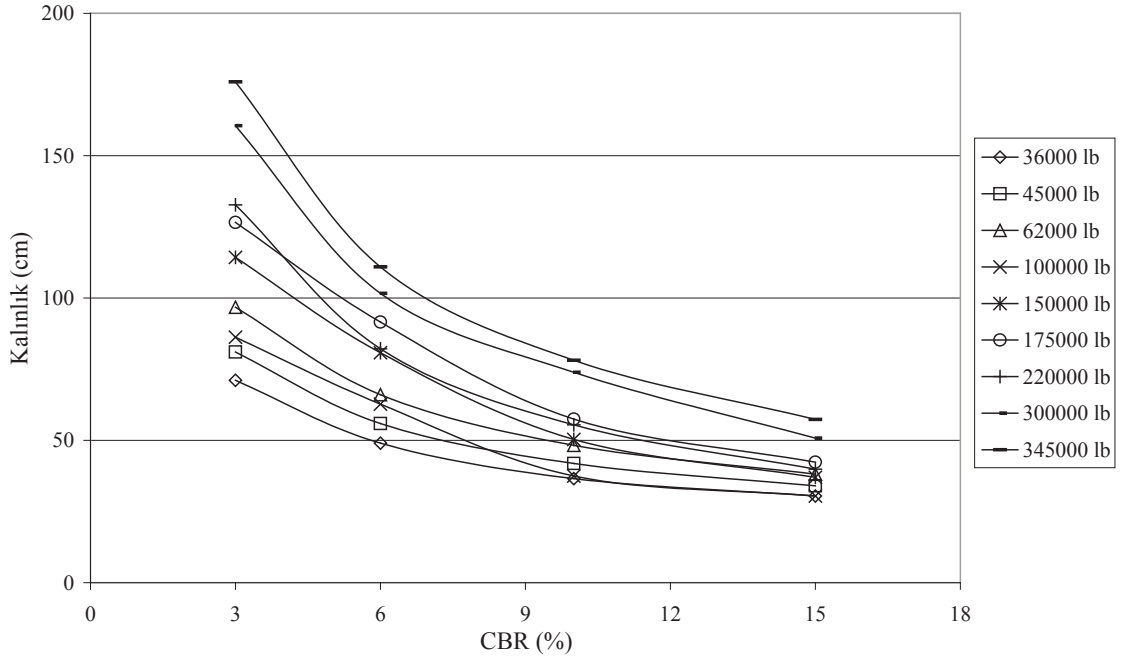
Tekerlek ve iniş takımı düzenlerinin zayıf ve sağlam taban zeminlerindeki etkisi incelenen yöntemlere göre Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 Taban zemini taşıma gücüne göre tekerlek ve iniş takımı düzeninin üstyapı kalınlığına etkisi.

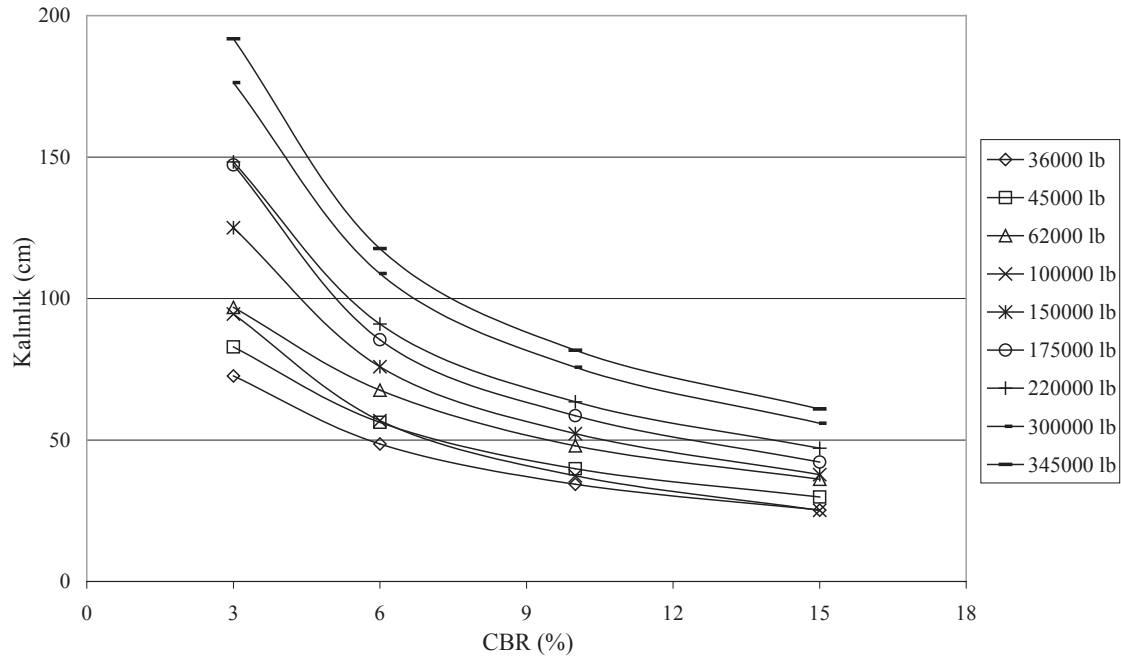
Yöntem	Zayıf Taban Zemini (CBR 3)		Sağlam Taban Zemini (CBR 15)	
	S’den 2S’ye	2S’den 2D’ye	S’den 2S’ye	2S’den 2D’ye
USCOE CBR	Çok etkili	Etkili	Çok etkili	Çok etkili
FAA CBR	Etkili	Etkili	Çok etkili	Etkisiz
FAARFIELD	Etkili	Etkisiz	Çok etkili	Çok etkili

Elde edilen veriler, bütün yöntemler için taban zemini CBR değerinin 3 olduğu durumda “S” tekerlek ve iniş takımı düzeninden “2S” tekerlek ve iniş takımı düzenine geçişin etkili, CBR değerinin 15 olduğu durumda ise çok etkili olduğunu göstermektedir. Taban zemini CBR değerinin 3’ten 15’e artması durumunda “2S”den “2D”ye geçiş FAARFIELD yöntemi için etkisiz durumdan etkili duruma gelirken, FAA CBR yöntemi için bu durumun tersi meydana gelmektedir. USCOE CBR yönteminde ise tekerlek ve iniş takımı düzeninin zayıf ve sağlam taban zeminleri için önemli olduğu görülmektedir.

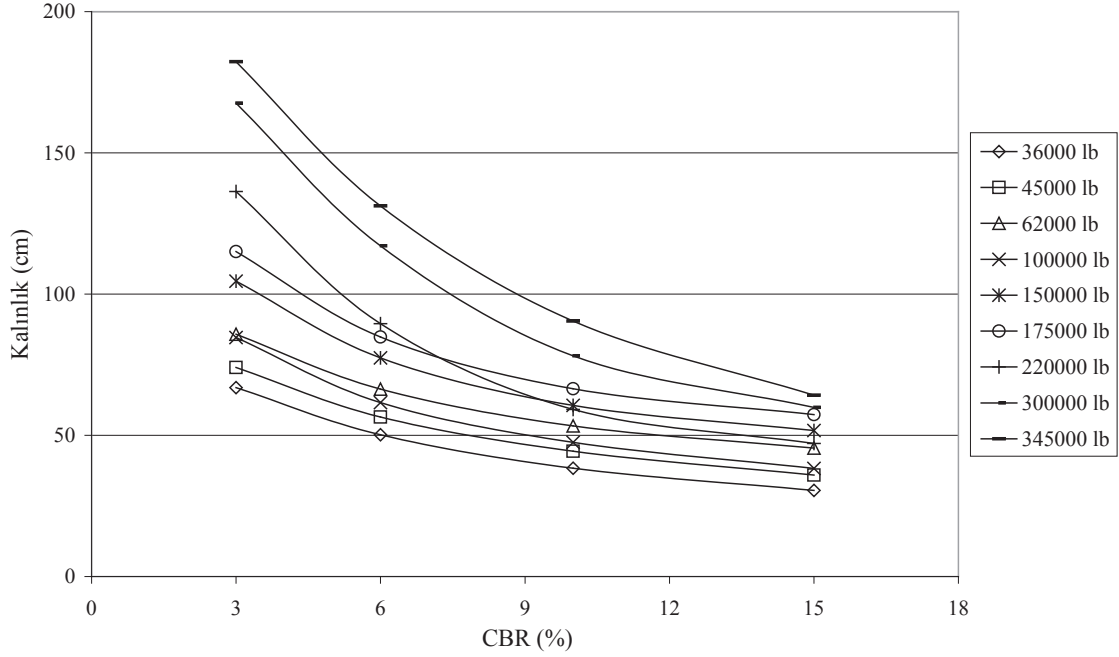
Taban zemini taşıma gücünün üstyapı kalınlıkları üzerindeki etkisini gösteren Şekil 5-7 birlikte değerlendirildiğinde; üstyapı kalınlık artışının hızlandığı kritik değer FAARFIELD yöntemi için 10 CBR, FAA CBR yöntemi için 6 CBR, USCOE CBR yöntemi için yüksek ağırlıklarda 6, düşük ağırlıklarda 10 CBR olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5 USCOE CBR yöntemi, T=25.000 için farklı ağırlıklarda taban zemini CBR değeri-üstyapı kalınlığı ilişkisi.



Şekil 6 FAA CBR yöntemi, T=25.000 için farklı ağırlıklarda taban zemini CBR değeri-üstyapı kalınlığı ilişkisi.



Şekil 7 FAARFIELD yöntemi, T=25.000 için farklı ağırlıklarda taban zemini CBR değeri-üstyapı kalınlığı ilişkisi.

Değerlendirme ve Sonuç

USCOE CBR, FAA CBR ve FAARFIELD yöntemleri kullanılarak aynı tasarım koşulları altında hesaplanan esnek üstyapı kalınlıklarının incelenmesi ve karşılaştırılması sonucunda yapılan değerlendirme aşağıda belirtilmiştir.

- Taban zemini taşıma gücü, uçak ağırlığı, tekerlek ve iniş takımı düzeni ve operasyon sayısı esnek üstyapı kalınlığı üzerinde oldukça etkilidir.
- Taban zemini taşıma gücü arttıkça önerilen esnek üstyapı kalınlıkları azalmaktadır. Kalınlık azalışının yavaşladığı kritik taban zemini taşıma gücü değerleri; *FAARFIELD* yöntemi için 10 CBR, *FAA CBR* yöntemi için 6 CBR ve *USCOE CBR* yöntemi için yüksek uçak ağırlığında 6 CBR ve düşük ağırlıkta 10 CBR olmaktadır.
- Mekanistik-ampirik bir yöntem olan ve 2009 yılında FAA tarafından önerilen *FAARFIELD* yöntemi taban zemini taşıma gücünün düşük olduğu durumlarda genellikle daha az üstyapı kalınlığı önermektedir. Aynı idare tarafından 1995 yılında önerilen, *FAARFIELD* yönteminden önce kullanılan ve ampirik bir yöntem olan *FAA CBR* yönteminin düşük taşıma gücü durumunda en yüksek üstyapı kalınlıkları önerdiği görülmektedir. Bu durum, düşük taşıma gücü değerlerinde ampirik yöntemlerde genel olarak bulunduğu öngörülen emniyet katsayısı yüksek tasarımlara neden olmaktadır.
- Havaalanı esnek üstyapıları için kritik durum olarak kabul edilen düşük taban zemini taşıma gücü ve yüksek operasyon sayısında (CBR=3 ve T=25.000), *FAARFIELD* yöntemi *FAA CBR* yöntemine göre F-4, C-130 ve C-141 uçakları için sırasıyla %11,43, %21,84 ve %4,96 daha az kalınlıkta esnek üstyapı önermektedir. Aynı durum için

FAARFIELD yöntemi USCOE CBR yöntemine göre F-4 ve C-130 uçakları için sırasıyla %11,36 ve %9,08 daha az kalınlıkta esnek üstyapı önermektedir. Ancak C-141 uçağı için FAARFIELD yöntemi %3,64 daha fazla kalınlıkta esnek üstyapı önermektedir. Buna göre, trafiğın ve taban zemini özelliklerinin gerçekçi olarak belirlendiğı durumlarda uygun tasarım yönteminin kullanılması durumunda daha az kalınlıkta esnek üstyapıların gerekli olacağı ve inşaat maliyetinin önemli oranda azalacağı değerlendirilmektedir.

- FAA CBR yönteminin 1995, USCOE CBR yönteminin 2001 ve FAARFIELD yönteminin 2009 yılında ilgili idareler tarafından önerildiğı ve bu yöntemler kullanılarak elde edilen veriler genel olarak değerlendirildiğinde; geliştirilen tasarım yöntemlerinin artan trafik hacmi ve uçak ağırlıklarına rağmen daha az kalınlıkta esnek üstyapılar önerdiği görülmektedir. Ampirik tasarım yöntemlerine ait korelasyonların geliştirilmesi ve mekanistik-ampirik tasarım çalışmalarında malzeme özellikleri ile yük koşulları daha gerçekçi olarak hesaplamalara dahil edildiğı durumda ihtiyaca cevap veren, emniyetli ve aynı zamanda maliyet-etkin çözümler üretilebileceğı değerlendirilmektedir.

- Her uçak cinsi (tekerlek ve iniş takımı düzeni) için uçak ağırlığının ve trafik hacminin artırılması sonucunda elde edilen üstyapı kalınlıklarının düzenli olarak artmakta olduğı görülmektedir. Uçak ağırlıklarının üstyapıya aktarılma şeklini oluşturan tekerlek ve iniş takımı düzeninin önerilen üstyapı kalınlıkları üzerinde etkili olduğı değerlendirilmektedir. Tekerlek sayısının artırılması ve iniş takımı geometrisinin değiştirilmesiyle artan uçak ağırlıklarının üstyapı üzerine etkisinin azaltılabileceğı ve böylece daha az kalınlıkta üstyapıların gerekli olabileceğı görülmektedir.

Kaynaklar

DoE (1989) A Guide to Airfield Pavement Design and Evaluation, U.K.

FAA (1995) Airport Pavement Design and Evaluation AC 150/5320-6D.

FAA (2005) Standard Naming Convention for Aircraft Landing Gear Configurations Order 5300.7.

FAA (2009) Airport Pavement Design and Evaluation AC 150/5320-6E.

Horonjeff, R. (1975) Planning and Design of Airports, McGraw-Hill.

Kuloğlu, N., Özdemir, M. A., Kök, B. V. (2007) Havaalanı Üstyapı Tasarım Metotlarının Değerlendirilmesi. 7.Ulaştırma Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Bildiriler Kitabı, s. 205-215, ISBN: 978-9944-89-336-7, 19-21 Eylül, İstanbul.

Tunç, A. (2004) Kaplama Mühendisliğı ve Uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım, Ankara.

USCOE (2001) Unified Facilities Criteria 3-260-02, Washington, DC.

Tozlu Agregaların Bitümlü Sıcak Karışım Performansına Etkileri

(Poster Bildiri Metni)

Hüseyin Akbulut^{*}, Cahit Gürer, Sedat Çetin, Hasan Doğan

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
ANS Yerleşkesi, 6.Eğitim Bloğu, Gazlıgöl Yolu, 03200 Afyonkarahisar

^{*}Tel: (272) 228 14 23 (1215)

^{*}E-Posta: hakbulut@aku.edu.tr

Öz

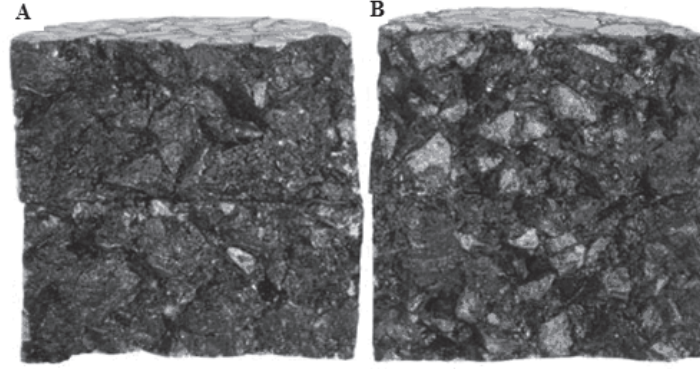
Bitümlü sıcak karışımların uzun dönem performansları açısından agrega-bitüm arasındaki adezyon hayati önem taşımaktadır. Yapışmayı birçok faktör etkili olmaktadır. Bunlardan en önemlisi agrega üzerindeki toz ve ince maddelerdir. Toz yapışmayı olumsuz etkileyerek sökülme, tekerlek izi, segregasyon vb. bozulmaların meydana gelmesine ve kaplamanın uzun dönem performansının azalmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, agregaların farklı kirlilik derecesinin bitümlü sıcak karışımların mühendislik özelliklerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Çalışmada bir kırmataş agrega numunesi üç farklı toz içeriğinde (tozsuz, orta tozlu, tozlu) kullanılmıştır. Agrega numuneleri üzerinde; özgül ağırlık, birim ağırlık, elek analizi, su emme, nem durumu, Los Angeles, darbelenme ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Sıcak Karışım deneyleri olarak; soyulma, Vialit, dolaylı çekme, Marshall Stabilité ve Akma ve Marshall Mekanik Batırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, agrega yüzeyindeki toz miktarının artışıyla birlikte karışımın özelliklerinin de kötüye doğru azalmalar görüldüğünü göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Agrega, toz, adezyon, bitümlü sıcak karışım.

Giriş

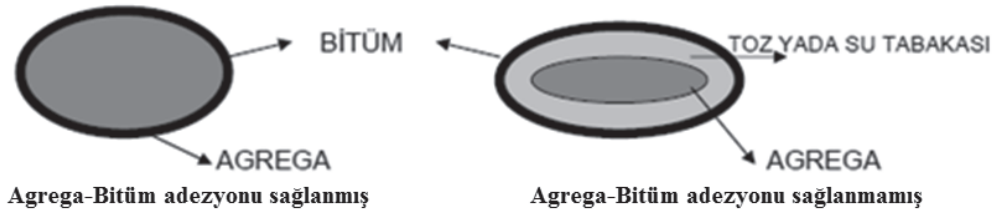
Tüm bitümlü sıcak karışımlar (BSK) temel olarak iki bileşenden meydana gelirler; bitüm ve agrega. Bitüm kaplamanın ağırlıkça %4 ila 7'si ni oluşturur ve agrega iskeletinin birbirine yapışmasını sağlayarak bitümlü sıcak karışıma bir iç kohezyon sağlar. Bu yüzden bitümün agregaya güçlü bir bağ (adezyon) ile yapışması oldukça önemlidir. Adezyon iki farklı maddeyi birbirine yapıştıran fiziksel özellik veya moleküler kuvvet olarak tanımlanmaktadır (Hicks, 1991). Geçmişten günümüze bitümlü sıcak karışım kaplamalarda agrega ile bitüm arasındaki adezyon ve bununla ilgili mekanizmalar birçok bilim adamı tarafından araştırılmıştır (Scott, 1978; Yoon ve Tarrer, 1988; Labib, 1992; Little ve Jones, 2003; Doğan, 2011). Adezyon yetersizliği bitümlü sıcak karışım kaplama performansını önemli ölçüde etkilemekte ve kaplama yüzeyinde sökülme, tekerlek izi deformasyonu, segregasyon vb. farklı bozulmalara neden olmaktadır. Ayrıca yol yüzey düzgünlüğüne, donma-çözülme bozulması hassasiyetlerine ve çatlamalara karşı hassasiyetlerin artmasına yol açabilmektedir (Kandhal, P.S. 1992; Senadheera, 2006; AkzoNobel, 2007; Mansell, 2010; Doğan, 2011). Açık veya yoğun dereceli kalınlığı az olan BSK kaplamalarda adezyon eksikliği

stabilite ve yük taşıma kapasitesinde azalmaya yol açabilir (James et.al., 1988). Adezyonla ilgili sorunların en önemli nedenleri kaplama yapımında kullanılan agregaların yüzeyindeki toz ve su filmi, agrega gözenekliliği ve agrega yüzeyi kimyasal özellikleri, bitümün viskozite ve kimyasal özellikleri ve karışım içindeki su muhtevassından kaynaklandığı söylenebilir (Hicks, 1991; Tarrar ve Wagh; 1992, Senadheera vd., 2006; Kardeş vd., 2009). Tozlu agrega bitümün agregayı etkili bir şekilde ıslatmasını engeller ve agrega-bitüm yapışması sağlanamaz (Şekil 1).



Şekil 1 (A) Tozsuz ve (B) Tozlu Agregayla Üretilmiş BSK Numunelerinin Kesiti (Akzo Nobel, 2007).

Tarrar ve Wagh (1992) tozlu agregaların bitümle karıştırıldığında hava karışım içerisinde hapsolmakta ve bunun sonucunda agrega-bitüm bağı da giderek zayıflamaktadır. Şekil 2’de agrega ve bitüm arasındaki iyi ve kötü adezyonun şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 2 Yüzeyi Toz veya Su İle Kaplanmış ve Kaplanmamış Agreganın Bitüm İle Bağının Şematik Gösterimi.

Anderson’a göre (1987) 75mm’lik eleği geçen malzeme BSK özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Bu tip malzemeler BSK üzerinde şu olumsuz etkileri yapmaktadır:

- Bitümlü bağlayıcının sertleşmesine neden olmaktadır.
- Bitümlü bağlayıcı kalınlığını inceltmektedir.
- Karışımın su etkisine karşı olan direncini azaltmaktadır.
- Karışımın yaşlanma özelliklerini etkilemektedir.
- Karışımın işlenebilirlik ve kompaksiyon özelliklerini etkilemektedir.

Bu çalışmada agrega toz içeriğinin bitümlü sıcak karışımlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bunun için iki farklı agrega türü ve 50 – 70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı kullanılarak sıcak karışım dizaynı gerçekleştirilmiştir. Bu sınıflandırma işleminde temiz agrega numuneleri öğütme değirmen cihazı yardımıyla 10, 30 ve 40 dakikalık bilyesiz çevirme işlemiyle tozlandırılmış ve tozsuz, az tozlu ve çok tozlu olarak gruplandırılmıştır. İki farklı agrega türü ve üç farklı tozluluk durumu için Marshall dizayn yöntemi kullanılarak, 6 farklı aşınma tabakası dizaynı yapılmış ve optimum bitüm oranları belirlenmiştir. Temiz agrega ve tozlu agregalar ile üretilen bitümlü sıcak karışımların mühendislik özellikleri kıyaslandığında, tozlu agregalar kullanıldığında karışım özelliklerin kötüye doğru gitme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Çalışmada A koduyla gösterilen iki farklı agrega türü kullanılmıştır. Agrega numuneleri toz içeriklerine göre % 0,0-0,3 arasında tozsuz (A_1), % 0,3-0,7 arasında orta tozlu (A_2) ve % 0,7'den büyük durumlarda çok tozlu (A_3) olarak sınıflandırılmıştır. Bağlayıcı olarak ise Aliğa Rafinerisinden temin edilen 50/70 sınıfı penetrasyon bitümü kullanılmıştır. .

Yöntem

Yapılan deneysel çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada agrega numuneleri, bilyasız bir tamburda süreli çevrime tabi tutularak tozlandırılmıştır. İkinci aşama agrega deneylerinden oluşmaktadır. Agregalar üzerinde elek analizi, özgül ağırlık (ASTM C127-88), birim hacim ağırlık, Los Angeles aşınma (ASTM C 131-89), darbelenme kaybı, donma-çözülme sonrası direnç kaybı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşama ise bitümlü sıcak karışım deneylerinden oluşmaktadır. Marshall Stabilite-Akma deneyleri (ASTM D 1559-89) yapılarak, optimum bitüm yüzdeleri belirlenmiş, Marshall Stabilite-Bitüm %, Marshall Akma-Bitüm %, Marshall Boşluk-Bitüm %, Özgül Ağırlık-Bitüm %, Bitümle Dolu Boşluk-Bitüm % ve Mineral Agregalar Arasındaki Boşluk-Bitüm % grafikleri çizilmiştir. Herbir numune için ayrıca Marshall Mekanik Batırma deneyi (AASHTO T 165-2) gerçekleştirilmiştir.

Deney Bulguları

Agregaların Laboratuvarda Tozlandırılması

Bilyasız tambur içerisinde agrega numunelerinin belirli süreler boyunca çevrilmesinden sonra toz miktarları ağırlıkça belirlenmiş ve toz miktarlarının 40 dk'lık çevrim süresi sonunda belirgin bir değişim göstermediği tespit edilmiştir (Tablo 1.).

Tablo 1 Yapay agrega tozlandırılması için yapılan tambur döndürme deneyi sonuçları.

Tambur Dönme Süresi (dk)	10	20	30	40	50
Agrega Yüzeyinde Oluşan Toz Miktarı (%)	0.20	0.37	0.47	0.81	0.78

Çalışmada yapay olarak tozlandırılmış agregalar kullanılmıştır. Bunun en önemli nedeni ise aynı numune üzerinde iki farklı toz içeriği oluşturmak içindir. Doğal tozlu halleri kullanılmış olsaydı her agrega numunesi için iki farklı toz içerikli numune oluşturmak mümkün olmazdı. Agreganın numuneleri üzerinde yapılan yapay tozlandırma ile tüm karışımlarda belirgin farkı görmek mümkün olmuştur.

Agrega Deneyi Sonuçları

Agrega numunesinin gradasyonları Karayolu Teknik Şartnamesi, aşınma tabakası tip-1'e uygun olacak şekilde ayarlanmıştır. Karışımlarda kullanılan agregalara ait elek analizi sonuçları Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2 Agreganın Numunelerinin Dizayn Elek Analizi Sonuçları.

Elek	No	3/4	1/2	3/8	4	10	40	80	200
	mm	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.42	0.180	0.074
Geçen %		100	92	80	48	32	15	11	7
Alt-Üst Sınır %		100	83-100	70-90	40-55	25-38	10-20	6-15	4-10

Agrega numunelerinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için agrega deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 3'de sunulmuştur. Deney sonuçlarına göre agrega fiziksel ve mekanik özelliklerinin şartname sınırları içerisinde kaldığı görülmüştür (Tablo 3).

Tablo 3 Agreganın Numunelerinin Fiziksel ve Mekanik Deney Sonuçları.

Deney	Agrega		Sınır	Şartname
Los Angeles Aşınma Kaybı (%)	23.7		< 35	ASTM C131-89
Agrega Darbelenme Kaybı (%)	10.2		< 18	ASTM D3744
Donma-Çözülme Kaybı (%)	1.3		< 12	TS EN 1097-2
Donma-Çözülme Sonrası Direnç Kaybı (%)	35.2		-	TS EN 1097-2
	>No:4	<No:4		
Gevşek Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	1.55	1.62	-	
Sıkı Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	1.62	1.69	-	
	> No:4	No:4-No:200	< No:200	-
Görünen Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.840	2.810	2.870	-
Hacim Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.840	2.750	-	-

Su Emme (%)	0.34	0.68	-	-	
-------------	------	------	---	---	--

Bitüm Deneyi Sonuçları

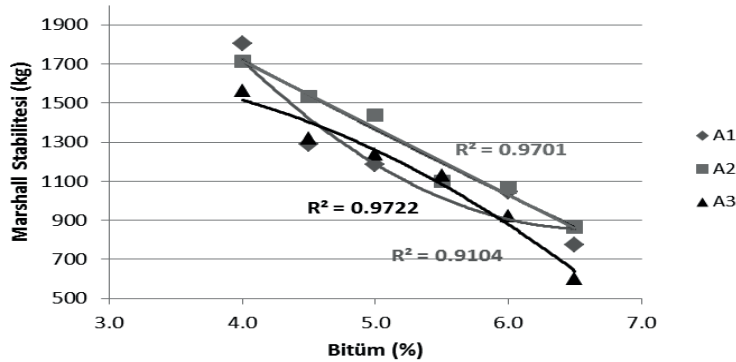
Kullanılan 50/70 sınıfı penetrasyon bitümüne ait deney sonuçlarının şartname sınırları içerisinde olduğu görülmüştür. Bitüm numunesi üzerinde yapılan deney sonuçları ve kullanılan standartlar Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4 Bitüm Numunesinin Deney Sonuçları.

Özellikler		Kullanılan Şartnameler
Kaynak	Aliğa	-
Penetrasyon	50/70	-
25 °C’de Penetrasyon	63	ASTM D 5
Özgül Ağırlık	1,060	ASTM D 70
Yumuşama Noktası (°C)	49	ASTM D 36
Isıtma Kaybı (%)	2	ASTM D 6
Yanma Noktası (°C)	296	ASTM D 92
Düktilite (5 cm/dk)	>100 cm	ASTM D 113
135 °C’de Viskozite	0,420 Pa s	ASTM D 4402
165 °C’de Viskozite	0,114 Pa s	ASTM D 4402

Marshall Stabilite ve Akma Deneyi Sonuçları

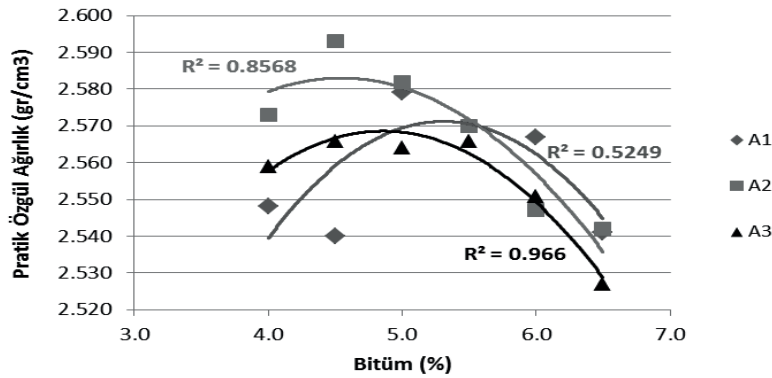
Agrega numunesi üç farklı toz içeriğinde kullanılarak altı farklı aşınma tabakası Marshall dizaynı yapılmıştır (A₁, A₂, A₃). Marshall dizaynı için tüm numunelere TCK Aşınma Şartname gradasyon eğrisi arasında kalan bir gradasyon için karışım hazırlanmış ve karışım sabit tutularak % 4,0, 4,5, 5,0, 5,5, 6,0, 6,5 oranlarında bitüm verilerek numuneler hazırlanmıştır. Her bir bitüm miktarı için üç adet bitümlü sıcak karışım briketi üretilmiştir. Tüm briket numuneleri için Marshall Stabilite ve Akma deneyi yapılmış, briketlerin sudaki, havadaki ve YKSD ağırlıkları hesaplanarak Stabilite-Bitüm %, Pratik Özgül ağırlık-Bitüm%, Bitümle Dolu Boşluk % - Bitüm %, Boşluk-Bitüm % grafikleri çizilmiştir. Optimum bitüm miktarı her bir dizayn grubu için ayrı ayrı hesaplanarak belirlenmiştir. Buna göre A₁, A₂ ve A₃ numuneleri için optimum bitüm miktarları sırasıyla % 4,35 – 3,93 – 4,18 olarak belirlenmiştir. Agregada numuneleri için yapılan Marshall Stabilite – Bitüm % ilişkisine ait sonuçlar Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 3 Marshall Stabilitesi ve Bitüm Miktarı Arasındaki İlişki.

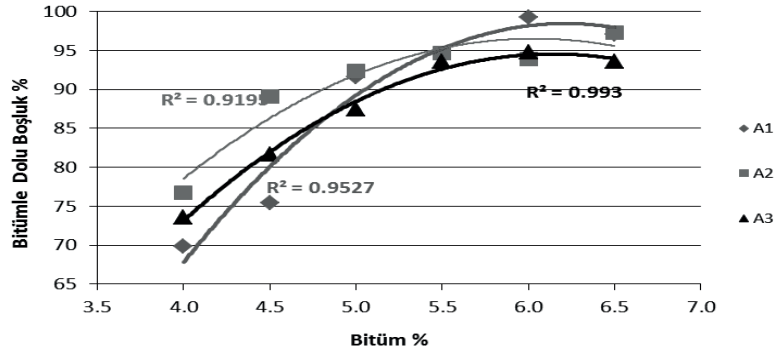
Stabilite bitümlü sıcak karışımlardaki en önemli özelliklerden bir tanesidir. Bitümlü sıcak karışımın trafiğin etkisiyle oluşan basınç, kayma ve yatay gerilmelere karşı dayanımını belirleyen en önemli özelliklerden birisidir. Şekil 3’den anlaşılacağı gibi agrega toz miktarının artışıyla birlikte en yüksek stabilite değerinin düştüğü görülmüştür. Bununla birlikte A₃ numunelerindeki en yüksek stabilite değerlerindeki azalma daha belirgindir. A₃ numunelerinde yapışma ara yüzeyindeki toz filminin daha kalın oluşu bitüm-agrega yapışmasının daha zayıf olmasına neden olmuş olabilir.

Bitümlü sıcak karışımlar açısından bir diğer önemli özellik ise yoğunluktur. Bitümlü sıcak karışımların yoğunluğu arttıkça geçirimsizlik, yaşlanma, soyulma ve sökülme etkilerine karşı dayanımlarının da daha iyi olacağı söylenebilir (Akbulut ve Gürer 2007; Akbulut vd., 2011). Deney sonuçlarına göre, maksimum stabilite değeri agrega yüzeyinde toz miktarındaki artışla ters orantılıdır. Bununla birlikte, pratik özgül ağırlıkta stabilite azalmasına paralel olarak bir azalma görülmemiştir. Agregalar üzerindeki tozun bir kısmı filler etkisi göstererek karışımın yoğunluğunun artmasına neden olmuştur. A₁, A₂, A₃ karışımlarının en yüksek yoğunluk değerleri sırasıyla, 2.572, 2.583, 2.568 gr/cm³ olarak elde edilmiştir. Karışımlara ait pratik özgül ağırlık – bitüm % ilişkileri sırasıyla Şekil 4’de görülmektedir.



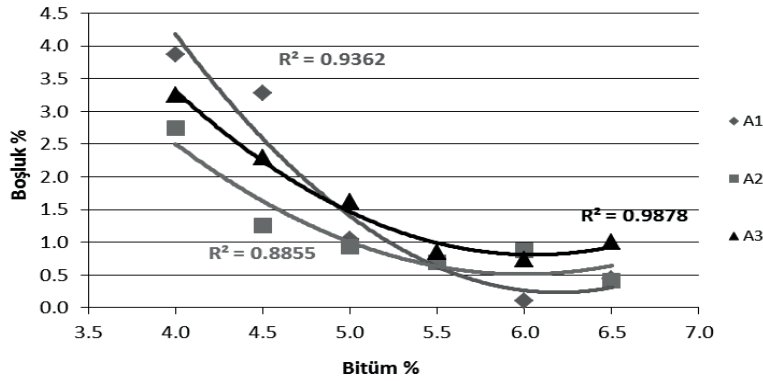
Şekil 4 Pratik Özgül Ağırlık ve Bitüm Miktarı Arasındaki İlişki.

Bitümle dolu boşluk karışımın plastisite, durabilite ve sürtünme katsayısı gibi özellikleri kontrol etmekle birlikte agrega taneleri etrafında da kati bir bitüm filmi teşekkülü sağlar. Bu da soyulma, sökülme ve hava tesirlerine karşı dayanım açısından oldukça önemli bir özelliktir. A₁, A₂ ve A₃ karışımlarında optimum bitüm miktarlarına karşılık gelen bitümle dolu boşluk oranları sırasıyla % 76, % 73 ve % 76 olarak elde edilmiştir. Agrega yüzeyinde toz miktarının artışıyla birlikte bitümle dolu boşluk yüzdelerinde de azalma görülmektedir. Dolayısıyla agrega toz içeriğinin artmasıyla birlikte karışımın durabilitesinin de azalacağı söylenebilir. Şekil 5.’de karışımlara ait bitümle dolu boşluk % – bitüm % ilişkileri görülmektedir.



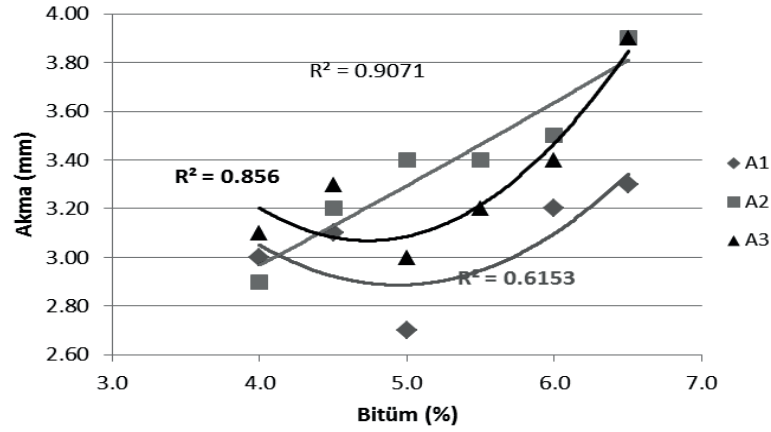
Şekil 5 Bitümlü Dolu Boşluk ve Bitüm Miktarı Arasındaki İlişki.

Önemli bir diğer bitümlü sıcak karışım özelliği de boşluktur. Bitümlü sıcak karışımlarda şartnamelerde boşluk için bir alt bir de üst sınır tanımlanmıştır (TCK, 2006). Şayet boşluk şartname sınırlarının üstüne çıkarsa stabilite de düşme ve kaplama da erken bozulma görülebilir. Bununla birlikte sıcak iklimlerde kuma bozulması kontrolünün sağlanabilmesi için karışımda bir miktar boşluk olmalıdır (Akbulut vd., 2011). A₁, A₂ ve A₃ karışımlarında optimum bitüm miktarlarına karşılık gelen boşluk yüzdeleri sırasıyla %3.0, %2.5 ve % 2.8 olarak belirlenmiştir. A₂ ve A₃ karışımlarında şartname sınırından (% 3.0) daha düşük boşluk %'si elde edilmiştir. Bununla birlikte diğer karışımlardaki boşluk %'si şartname sınırları içerisindedir. A₂ ve A₃ karışımlarındaki agregalardaki toz içeriğinin filler etkisi yaparak boşluğu azalttığı düşünülmektedir. Şekil 6'da karışımlara ait boşluk % – bitüm % ilişkileri görülmektedir.



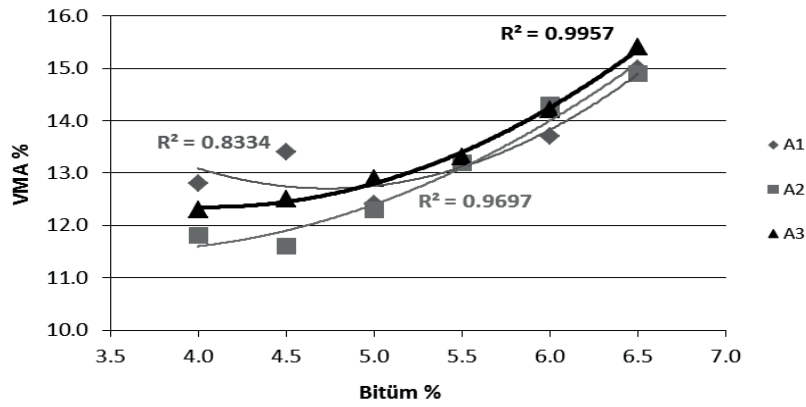
Şekil 6 Boşluk ve Bitüm Miktarı Arasındaki İlişki.

Akma değeri karışımın plastiklik ve esneklik özellikleri hakkında fikir verebilir ve sıkışmış karışımların iç sürtünmelerinin bir ölçüsüdür (Gürer, 2005). A₁, A₂ ve A₃ karışımlarında optimum bitüm yüzdesine karşılık gelen akma miktarları sırasıyla 2.92, 2.96 ve 3.14 mm olarak belirlenmiştir. Tüm akma değerleri şartname sınırları içerisindedir (TCK, 2006). Dolayısıyla elde edilen akma sonuçlarına göre karışımda kullanılan agregalarda toz içeriğinin artışıyla birlikte karışımın içsel sürtünmesinin azaldığı ve plastik deformasyona karşı daha eğilimli olmaya başladığı düşünülmektedir. Şekil 7'de akma – bitüm % ilişkileri görülmektedir.



Şekil 7 Akma ve Bitüm Miktarı Arasındaki İlişki,

Mineral agregalar arasındaki boşluk agreganın bitüme kenetlenmesi ve durabilite açısından önemli bir özelliktir (Gürer, 2005). Karışımlar için optimum bitüm %'sine karşılık gelen mineral agregalar arasındaki boşluk sırasıyla %12.8, %11.6, % 12.4 olarak elde edilmiştir. Genel itibari ile agregalardaki toz içeriğinin artmasıyla birlikte agregalar arasındaki boşluğunda azalmaya başladığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeninin agregalar üzerindeki tozun mevcut bitümü emmesi olarak düşünülmektedir. Şekil 8'de karışımlara ait agregalar arasındaki boşluk – bitüm % ilişkileri görülmektedir.



Şekil 8 Mineral Agregalar Arasındaki Boşluk ve Bitüm Miktarı Arasındaki İlişki.

Marshall Batırma Deneyi Sonuçları

Agrega üzerindeki tozun bir diğer önemli etkisi de suyun etkisi ile meydana gelen soyulmadır. Tozun bitümlü sıcak karışımlarda bitüm filmi soyulmasını nasıl etkilediğini belirlemek için bu deney gerçekleştirilmiştir. Buna göre sıcak karışım briketlerinin stabilite kaybı değeri, agrega numunesi üzerindeki toz içeriğinin artışına paralel olarak giderek artmıştır. Mekanik batırma deney sonucu Tablo 5'de verilmiştir. Deney sonuçları agregalardaki toz içeriği arttıkça karışımın çevresel etkilere olan durabilitesinin de giderek azalacağını göstermektedir.

Tablo 5. Marshall Batırma Deneyi Sonuçlarına Göre Stabilite Kayıpları

Numune	A ₁	A ₂	A ₃
Marshall Stabilite Kaybı (%)	9.5	9.7	12.3

Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

A ve B serisi agrega numuneleri ile yapılan Marshall Stabilite ve akma deneyi sonuçlarına göre stabilite değerleri $A_1 > A_2 > A_3$ şeklinde elde edilmiştir. Toz içeriği fazla olan A3 serisi numunelerdeki stabilite azalması diğerlerine göre daha belirgin olmuştur.

Marshall Batırma Deneyi sonuçları göstermiştir ki A ve B numunelerinde toz içeriğinin artmasıyla birlikte su etkilerine olan dayanım da azalmıştır. Bunun en önemli nedeni agrega yüzeyindeki tozun artışıyla birlikte adezyonun daha da zayıflaması olabilir.

A numunesinde toz içeriğinin artmasıyla birlikte boşluk miktarlarında da azalmalar görülmüştür. Bunun en önemli nedeni olarak tozun A numunesinde filler etkisi yaparken B numunesinde ise toz etkisi yapmasıdır. Nitekim, B numunesindeki Marshall stabilite kayıpları A numunesine göre oldukça yüksektir aynı zamanda her iki numunede toz miktarının artmasıyla birlikte yoğunluk artışları görülmüştür. Agrega yüzeylerindeki toz içeriğinin artması mineral arasındaki boşluk miktarlarının da azalmasına neden olmuştur.

Akma sonuçları göstermiştir ki, agrega üzerindeki toz miktarı arttıkça plastik deformasyonlara olan eğilim de giderek artmaktadır. Bu artış tüm serilerde (A₁, A₂, A₃) oldukça belirgindir. Genel olarak tozlu agrega numuneleri ile yapılan tüm bitümlü sıcak karışım deneylerinde olumsuz sonuçlar elde edilmiştir.

Marshall batırma deneyinden elde edilen sonuçlara göz önüne alındığında yol yüzeysel ve yüzey altı drenajı iyi bir şekilde yapılmaz ve tüm bunlara ilaveten bitümlü sıcak karışım imalatında tozlu agrega kullanılırsa soyulma nedeniyle oluşacak bozulmaların beklenenden çok daha kısa sürede meydana geleceği düşünülmektedir.

Yapılan Vialit yapışma deneyi sonuçları göstermiştir ki, agrega üzerindeki toz miktarı arttıkça bitüm-agrega yapışması önemli ölçüde azalmaktadır. Temiz agregalar ile tozlu agrega numuneleri arasında önemli bir yapışma kabiliyeti farkı görülürken, farklı toz miktarlı numuneler arasında belirgin bir fark görülmemiştir.

Yapılan çalışmalar agrega yüzeyinin tozlu olması durumunda BSK kaplamalarda adezyon bakımından zayıflama olduğunu ve BSK kaplamalarda beklenenden daha kısa sürede bozulmaların görülebileceğini göstermiştir. Yığından temiz kabul edilerek alınıp kullanılan agrega yüzeyinde % 0,2-0,5 mertebesinde toz bulundurabilmekte bu da adezyonla ilgili bozulmalara neden olabilmektedir. Bu çalışmada yapay olarak tozlandırılmış agregalar kullanılmıştır. Dolayısıyla arazi de elde edilecek sonuçlar daha farklı sonuçlar verebilir. Gelecekte eş zamanlı yıkama-kurutma yapabilen yeni plant sistemlerinin geliştirilmesiyle bu tip erken bozulmalar ortadan kaldırılabilir.

Kaynaklar

- Akbulut, H., Güre, C.(2007) Use of Aggregates Produced From Marble Quarry Waste in Asphalt Pavements. Building and Environment. 42:1921–1930.
- Akbulut, H., Güre, C., Çetin, S. (2011). Use of Volcanic Aggregates in Asphalt Pavement Mixes. ICE Transport. 164-TR2, 111-123.
- AkzoNobel. 2007. Adhesion Promoters. Technical Bulletin.
- Anderson, D. (1987). Guidelines for the Use of Dust in Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists. Vol. 56, pp. 492- 516.
- ASTM Standards D 1559-89. (1992). Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. Annual Book of ASTM Standards.USA.
- ASTM C 127–88. (1992).Test Metod for Specific Gravity and Adsorption of Coarse Aggregate.Annual Book of ASTM Standards.USA.
- ASTM C 128–88. (1992). Test Metod for Specific Gravity and Adsorption of Fine Aggregate.Annual Book of ASTM Standards. USA.
- ASTM C 131–89. (1992). Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregates by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. Annual Book of ASTM Standards. USA.
- ASTM C 136-84a. (1992). Standard Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Annual Book of ASTM Standards. USA.
- Doğan, H. (2011). Agregalardaki Tozluluk Derecesinin Bitüm Bağlayıcılar üzerindeki etkilerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
- James, A.D., Senior, R., Stewart, D.1988. Adhesion Agents for Use in Hot Mixes and Cut-Back Bitumens. Presented at the 3rd IRF Middle East Regional Meeting, Riyadh, Saudi Arabia.
- Kandhal, P.S. (1992). Moisture Susceptibility of HMA Mixes: Identification of Problem and Recommended Solutions. NCAT Report 92-1. National Center for Asphalt Technology. Auburn University.
- Karaşahin, M., Saltan, M., Güre, C., Aktaş B., Uz, V.E., Çetin S., Taciroğlu M. (2009). Sathi Kaplamalarda Arega-Bitüm Adezyonunda Etkili Olan Parametrelerin Araştırılması. 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu Bildiriler Kitabı. ss.207-215. Ankara.
- Scott, J. A. N. (1978). Adhesion and Disbonding Mechanisms of Asphalt Used in Highway Construction and Maintenance. Proc. of AAPT, Vol. 47, pp. 19-43.

Senadheera, S., Wm.Tock R., Hossain, M.S., Yazgan, B., Das, S. Jan. (2006). A Testing and Evaluation Protocol to Assess Seal Coat Binder-Aggregate Compatibility. Texas Tech University, Center for Multidisciplinary Research in Transportation. Project Summary Report 0-4362-S, Project 0-4362.

Tarrer, A.R. and Wagh, V.P. (1992). The Effect of the Physical and Chemical Characteristics of the Aggregate on Bonding. Report SHRP-A/ UIR-91-507. Washington, D.C.: Strategic Highway Research Program, National Research Council.

Karayolları Teknik Şartnamesi. (2006). Ankara, 485s.

Mansell, T. (2010). Raveling in Hot Mix Asphalt Pavements http://www.graniterock.com/technical_notes/raveling_in_hot_mix_asphalt_pavements.html Erişim: 24.10.2010

Yoon, H. H. and Tarrer, A. R., (1988). Effect of aggregate properties on stripping. in Transportation Research Record 1171, TRB, National Research Council, Washington, D. C., pp. 37 – 43.

Bisikletin Toplu Taşıma ile Entegre Edilmesi Üzerine Anket Çalışması

(Poster Bildiri Metni)

Meltem Saphoğlu*, Emel Yüzer**

* Yrd. Doç. Dr. ,Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, meltensaplioglu@sdu.edu.tr

** Arş. Gör. Uluslararası Antalya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya, emel.yuzer@antalya.edu.tr

Öz

Çalışma, ülkemiz şehirlerinde örnek teşkil etmesi amacıyla, son dönemlerde dünyada oldukça önemli bir yere sahip olan bisikletin toplu taşıma ile entegrasyonunun önemini saptamak için 80 kişiye web üzerinden bir anket uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, aynı zamanda bisikletin toplu taşıma ile entegrasyonu uygulamaları incelenmiştir. Ulaşım türlerinden otobüs, raylı sistem ve feribotun bisiklet ulaşımının kesintiye uğratılmaması için bisiklet ile bütünleşik planlanması gerektiği ortaya konmuş, kentin kritik noktalarında bisiklet park yerlerinin gerektiği ve bununla birlikte, bisikleti henüz bir ulaşım türü olarak görmeyen kentlerimiz için bütünleşik ulaştırmanın önemi vurgulanmıştır.

Anahtar sözcükler: Bisiklet-Toplu Taşıma Entegrasyonu, Kentiçi Bisiklet Kullanımı

Giriş

Kent içi ulaşımında, ulaşımın kalitesini belirleyen önemli etkenlerden biri ulaşım türlerinin birbirleriyle olan bütünleşmesidir. Bu, yaya, bisiklet, otomobil, otobüs, raylı sistemler gibi bütün ulaşım kavramlarının birbiriyle entegre şekilde çalışması anlamına gelmektedir.

Toplu taşıma sisteminin kullanımını arttırmak sürdürülebilir ulaşım ilkesi açısından ve çağdaş ulaşım planlama kapsamında başlıca stratejiler arasındadır. Toplu taşıma sisteminin kullanımının artırılması için temel koşullardan biri ise kentlilerin bu sistemlere erişim koşul ve olanaklarının geliştirilmesidir. Bu kapsamda toplu taşıma durak ve güzergâhları ile yaya yolu bağlantılarının bütünleşik planlanması önemlidir ve 2009 T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Kentleşme Şurasında bu konuya ilişkin gösterge; toplu taşıma duraklarına güvenli yaya yolu bağlantılarının geliştirilmiş olması olarak düşünülmüştür. Bu nedenle, kent içi ulaşımında dikkat edilmesi gereken hususlardan birisi de toplu ulaştırmanın diğer ulaşım araçlarıyla birlikte kullanılmasıdır.

Şehir içi yol şebekesinde 3 m genişliğindeki bir şeritte saatte 400-600 otomobil ve 600-800 kişi taşınabilirken, aynı şeritte 6-7 bin bisiklet düzeyinde bir kapasite yaratılabilmektedir. Bisiklet park alanlarını da daha verimli kullanmakta ve bir tek

otomobilin park ettiği alana 16 bisiklet park edebilmektedir (Uz ve Karaşahin, 2004). Bu da şehir içinde bisiklet ve toplu taşıma entegrasyonu gerekliliğinin bir göstergesidir.

Bu çalışmada, uzun yıllar boyunca karne hediyesi olarak bilinen ve ulaşırma aracı olarak kabul edilmeyen bisiklet ile toplu ulaştırmanın entegre edilmesinin önemini ele alan bir anket çalışması yapılarak daha sonra konu ile ilgili çalışmalara bir fikir vermesi açısından yapılan anketler değerlendirilmiştir. Bisikletli ulaşım konusunda yeteri kadar ilerleme kaydedilememiş şehirlerimiz için önerilerde bulunulmuştur.

Bisiklet ve Toplu Taşıma Entegrasyon Programlarına Genel Bakış

Uygulamada, bisiklet ve toplu taşımanın entegrasyonu çok farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Birçok gelişmiş ülkede yapılmış olan çalışmalarda, bütünleşik planlamanın sonucu olarak, bisiklet parklarında, bisiklet hizmetlerinde artışlar olmuş, yeterli bisiklet yollarının varlığı gözlenmiştir.

İlk resmi bisiklet-toplu taşıma entegrasyon programları, 1940 ve 1950'deki feribotla bisiklet servisleridir. 1970'lerde otobüs servislerinde bisiklet ve 1980'lerde de raylı sistemlerde bisiklet uygulamalarına başlanmıştır (Schneider, 2005).

Günümüzde bisiklet kullanımının toplu taşıma ile entegrasyonu çalışmaları yoğun olarak Hollanda, Danimarka, Almanya ve Amerika şehirlerinde mevcuttur. Kuzey Avrupa'da toplu taşıma sistemi uygulayıcıları ve şehir plancıları bisiklet kullanımını toplu taşıma için besleyici ve dağıtıcı servis açısından kilit rol oynayan ulaşım modu olduğunu fark etmişlerdir. Bu nedenle bisiklet parklarının büyük bir kısmı şehrin tren istasyonlarındadır.

ABD'nde bisiklet rafı sistemi yaygındır. 2000 yılından bu yana, ABD'de, raf sistemi bulunan otobüslerin sayısı neredeyse üç katına çıkmıştır. Bisiklet-raylı sistem entegrasyonu da geliştirilmiştir. Çoğu hafif raylı sistem, metro ve banliyö sistemleri yoğun saatler dışında, bisiklete izin vermeye ve bisikletlilere kanca, raf ve özel alan gibi özel imkanlar sunmaya başlamışlardır.

Portland'ın toplu ulaşım sistemi, TriMet, ücretsiz, izinsiz, zaman veya gün kısıtlamasız bisiklet taşıma imkânı sunmaktadır. Her trenin alçak zemini vardır, bekleme alanları ve bisiklet asmak için kapı yanlarında kancaları vardır. Her otobüsün de bisiklet rafı bulunmaktadır. Bununla birlikte San Francisco'da Bay Area Rapid Transit (BART), 2009 yılında yaklaşık 43 istasyonda, 1,010 tanesi güvenli bisiklet dolabı olan 4,313 bisiklet park imkânı sağlamıştır. Caltrain, San Francisco'dan Palo Alto ve San Jose'ye giden demiryolu, 32 istasyonda 1,100 kilit ve 400 park yeri ile park imkânı sağlamaktadır (Pucher and Buehler, 2006).

Almanya, Danimarka ve Hollanda'da ise şehiriçi otobüslerde bisiklet taşıyıcı raf sistemleri yok denecek kadar azdır. Bu ülkelerde terminallerde, kavşaklarda otobüs duraklarında bisiklet otoparkları yerleştirilerek toplu taşımaya bisiklet kullanım entegre edilmektedir (Pucher and Buehler, 2006).

Farklı bir bisiklet-toplu taşıma entegrasyonu da her istasyondan bisiklet kiralama olanağının sağlanması ile geliştirilmiştir. Özellikle Almanya'da geliştirilmiş 'Bisiklete Çağrı' programı oldukça yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu program cep telefonu olan

herkesin bisiklet çağrı numarasını arayarak anında kiralama gerçekleştirebilmesini sağlamaktadır. Bu sistem, daha sonra şehir genelinde pek çok farklı yerde bisikleti bırakılabilme imkânı sağlamaktadır (Pucher ve Buehler, 2008). Münih'te bisiklet ulaşımı toplam trafiğin %17'sidir. Bu da Münih'i tüm Almanya şehirleri içinde, bisiklet kullanımını açısından birinci sırada göstermektedir. Bu sebeple Münih, bisiklet başkenti (*Radlhauptstadt*) adını almıştır (<http://www.radlhauptstadt.muenchen.de/radlnetz>). Buna benzer olarak 'The Vienna Citybike' hizmeti, Viyana'daki herkesin ücretsiz ya da çok az bir ücretle bisikletle ulaşımını sağlayan bir bisiklet kiralama sistemidir. 90 terminalde mevcut bisiklet sayısı 1,200'dür (<http://www.wien.gv.at/english/transportation-urbanplanning/cycling/citybike.html>).

Hollanda'da, banliyö ve karayolu yatırım aşamalarında da, tren istasyonlarına bisiklet erişiminin arttığı kaydedilmiştir. 1992 yılında %35'ten fazla oranda istasyona erişimi sağlanan bisiklet gözlenmiştir ve bu oran zamanla artmaya devam etmiştir (Replogle, 1992). Bisiklet-toplu taşıma anlamına gelen 'OV-fi ets' bisikleti toplu taşımayla entegre etmek amacıyla Hollanda'da oluşturulan bir hizmettir. Bu hizmet demiryolunun bir uzantısı olarak kabul edilebilir. Kullanıcılar öncelikle sisteme kayıt yaptırırlar. Kayıt sonrasında bir kart alırlar ve bu kart ile istasyonlarda bisikletleri kontrollü olarak kullanılabılır.

Otobüslerde önden monteli raf sistemini ilk olarak 1998 yılında uygulanmış olup Pinellas Suncoast Transit Authority (PSTA)'nın mevcut otobüs filusunda 57 otobüs üç-rafı, 111 otobüs ise iki-rafıdır. Sağlanan yeni raflar ile, otobüste bisikletli binişler bir yılda %8 oranında artmış, 2003'te 39,862 iken 2004'te 43,096 olmuştur (Schneider, 2005).

Bisikletin toplu taşıma sistemleri ile birleştirilmesi konusunda yapılan anket çalışmalarında, bisikletçilerin %22'sinin otobüslerdeki bisiklet raflarının dolu olması durumunda, bisikletlerini durakta bırakabilecekleri saptanmıştır. Buna ek olarak, %43'lük bir kesimin de otobüsü kaçırmayı göze almayarak, bisiklet parklarından yararlanmak istedikleri kaydedilmiştir (Hagelin, 2005).

Bazı toplu taşıtların içinde bisiklete özel sistemler de geliştirilmiştir. Örneğin Fort Smith Transit otobüslerindeki sistemin kullanımının çok kolay olduğunu iddia edilir. Çünkü bir çubuk bisikletin tekerleklerini yerinde kilitlemektedir (Schneider, 2005).

Stockton, California'da Altamont Commuter Express (ACE) her trene bisiklet taşıması için bir vagon ayırmıştır. Bu ayrılmış vagonların her birinde 17 bisiklet taşınabilmektedir. Chicago'da ise 143 CTA metro ve yüksek tren istasyonunun 131 tanesinde 2,153 bisiklet park alanı bulunmaktadır. Ayrıca 76 Metra banliyö istasyonunun 50 tanesinde 4,267 park alanı vardır. Tüm otobüslerde de bisiklet rafları bulunmaktadır (Pucher and Buehler, 2006). Toronto'da neredeyse tüm demiryolu istasyonunda bisiklet park alanı bulunmaktadır. 2010 yılı sonunda da tüm otobüslerde bisiklet rafı hizmeti sağlanmıştır.

Tüm incelenen gelişmiş ülke şehirlerinde bisikletin toplu taşıma sistemleri ile entegrasyonu tamamlanmıştır. Ülkemizde de Büyük Şehir Belediyeliklerinin mevcut olduğu kentler ve bazı Turizm kentlerinde bisiklet yolları yapılmış, toplu taşıma sistemleri ile entegre edilmeye çalışma çabaları başlamıştır. Fakat çalışmaların sonuca ulaşması için istikrarın korunması gereklidir. Bisikletin toplu taşıma ile

entegrasyonunda teknolojiden ve akıllı sistemlerden faydalanmak şarttır. Kısa dönemli ve teknolojinin göz ardı edildiği çalışmalar genel olarak her ulaşım iyileştirme konusunda olduğu gibi bisiklet-toplu taşıma entegrasyonu konusunda da iyi sonuç vermemektedir.

Materyal ve Yöntem

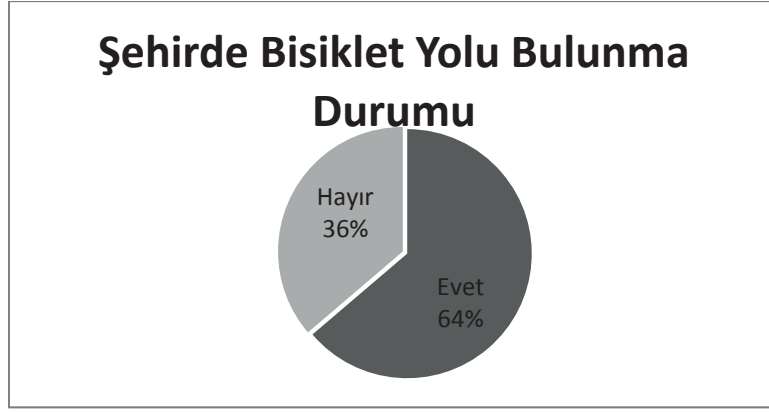
Ülkemizde de bisiklet kullanımını teşvik edici ve hatta toplu taşıma ile entegrasyonunun sağlanmasını destekleyen bazı çalışmalar mevcuttur, fakat yeterli değildir. Bu yetersizliğin sebebinin araştırılması için ve yine bu eksikliğin kullanıcı ihtiyacı ile orantılı olup olmadığının tespiti için bir anket çalışması yapılmıştır. Aynı zamanda, yapılan bu anket çalışması daha sonra gerçekleştirilmesi düşünülen bisiklet yolu ve toplu taşıma ile ilgili yapılacak detaylı anket çalışmalarına bir giriş niteliğindedir. Bu nedenle anket çalışması 2013 Mayıs ayında web üzerinden 80 kişiye uygulanmıştır. Ankete katılan 80 kişinin 24 tanesi bayan, 56 tanesi erkektir. Katılımcıların %66'sı 21-30 yaş arası bireylerden oluşmaktadır. Katılımcıların %55'i ise üniversite mezunu bisiklet kullanıcılarından oluşmaktadır.

Katılımcılara kişisel bilgilerinin yanı sıra buldukları şehirde bisiklet yolu bulunup bulunmama durumu, bulunan bisiklet yolunun nasıl olduğu, mevcut bisiklet yolunun güvenli olup olmadığı, bisikleti hangi amaçla kullandıkları gibi sorular sorulmuştur. Bunlardan başka toplu taşımanın özellikleri ile ilgili sorular sorularak toplu taşımanın şehirde işleyişi ve eksiklerin neler olduğu konusunda fikir edinilmeye çalışılmıştır. Bisikleti kullanamama durumlarının sebepleri de sorularak bunun toplu taşımayla entegrasyon eksikliğinden kaynaklanıp kaynaklanmadığı tespit edilmiştir.

Bulgular

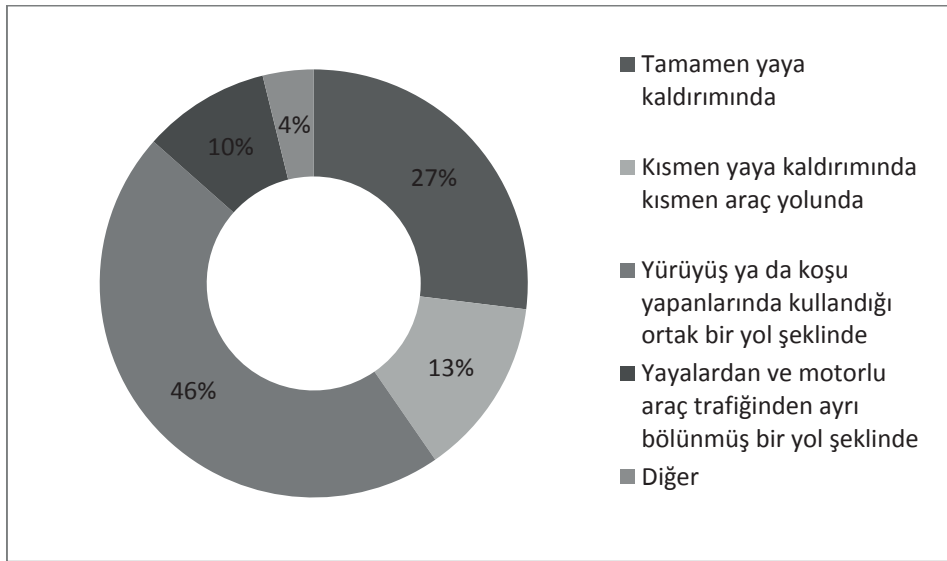
Anket çalışmasına katılan bisiklet kullanıcılarından %55'i üniversite, %25'i lise ve dengi ve %20'si lisansüstü mezunudur. Katılanların %70'i bekar, %30'u evlidir. Ayrıca katılımcıların yaş aralıklarına bakılınca büyük çoğunluğun 21-30 yaş arası grupta olduğu saptanmıştır. Buna göre %66'sı 21-30 yaş aralığında, %25'i 31-40 yaş aralığında, %4'ü 51-60, %4'ü 0-20 ve %1'i 41-50 yaş aralığındadır. Sonuçlara bakıldığında 60 ve üzeri yaş grubunda olan katılımcı bulunmamaktadır.

Kullanıcıların büyük bir kısmının % 32'lik oran ile öğrenci olduğu saptanmıştır. Buna ek olarak %29'u özel sektör çalışanı, %20'si kamu sektörü çalışanı, %9'u kendi işinin sahibi, %5'inin işsiz ve yine %5'inin serbest meslek sahibi olduğu görülmüştür.



Şekil 1 Katılımcıların yaşadıkları şehirde bisiklet yolu bulunma durumu

Şekil 1’de bisiklet kullanıcılarının %64’ünün yaşadığı şehirde bisiklet yolu bulunmakla beraber bu yolların %46’sının, yürüyüş ya da koşu yapanların da kullandığı ortak bir yol şeklinde olduğu görülmektedir. Şekil 2’de ise mevcut bisiklet yollarının % 46’sının mecburen mevcut koşu ve yürüme yollarını bisiklet yolu olarak kullandıkları görülmektedir. Motorlu araç trafiğinden ayrı güvenli bir bisiklet yolu ise bisiklet yollarının sadece % 13’lük kısmı içermektedir.



Şekil 2 Mevcut bisiklet yollarının nasıl olduğu durumu

Mevcut bisiklet yolları güvenlik açısından incelendiğinde katılımcıların bisiklet yollarına büyük oranda güvenmedikleri görülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3 Bisiklet yollarının güvenlik açısından incelenmesi

Bisiklet kullanıcılarına toplu taşımının bisiklet ile entegre olup olmadığı sorulduğunda katılımcıların %77'si bu soruya “hayır” veya “kesinlikle hayır” cevabını vermiştir. Buradan anlaşılmaktadır ki kullanıcıların yaşadığı büyük sorunlar arasında bisiklet-toplu taşıma sistemi entegrasyon eksikliği vardır.

Bisiklet konusunda yerel yönetimlerin de daha fazla çalışması gerektiği görülmüştür. Katılımcılara sorulduğunda %44'ü yerel yönetimin bisiklet kullanımına özendirme yönelik çalışması olmadığını “kesinlikle hayır” cevabı vererek vurgulamıştır ve bisiklet kullanıcılarının %44'ü bisikletlerini park edecek park alanları bulunmadığından yakınmışlardır.



Şekil 4 Park alanının bisiklet kullanımına etkisi

Bisiklet ve toplu taşıma entegrasyonu hakkında katılımcılara ne düşündükleri sorulduğunda ise büyük bir çoğunluk bu konuda olumlu cevaplar vermiştir.



Şekil 5 Entegrasyon hakkında katılımcıların düşüncesi

Sonuç ve Öneriler

Dünyada kentsel ulaşım alanında alternatif enerji kaynaklarının kullanılması ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik uygulamalar hızla artarken, enerji tüketimi daha az olan ulaşım türlerinin desteklenmesi, özellikle yaya ve bisikletle ulaşım olanaklarının iyileştirilmesi gibi konular gündemde önemli yer tutmaktadır.

Bisikletle ulaşımının teşviki için bisikletin toplu ulaşım ile entegrasyonunun önemi dünyada ve ülkemizde çeşitli hizmetlerle vurgulanmaktadır. Bu çalışmamızda da dünyadan ve Türkiye'den bisiklet-toplu taşıma entegrasyonu örneklerinden bazıları araştırılıp, bu konuda gelecekte yapılacak çalışmalar bir giriş olması için, web üzerinden bir anket yapılmıştır. Buna göre; bisiklet kullanımının az olduğu ya da hiç olmadığı kentlerde bisiklet ile ulaşımın artırılabilmesi için şehir içi toplu taşıma duraklarında bisiklet kiralama hizmeti, diğer ulaşım araçlarında bisiklet taşıma yerlerinin ayrılması ile bisiklet-toplu taşıma entegrasyonu sağlanabileceği, bu konuda da bisiklet kullanıcılarının büyük çoğunluğunun olumlu düşündüğü saptanmıştır.

Bisiklet kullanıcılarının toplu taşıma entegrasyonlu bisiklet kullanımını desteklemesi kent plancıları için önemli bir adımdır. Anketler incelendiğinde bisiklet kullanıcıları kadar bisiklet kullanmayan kişilerinde toplu taşıma entegrasyonlu bisiklet kullanımına sıcak baktıkları, bisiklet kullanım güvenliğini artırmak için bunun gerekli olduğunu düşündükleri ortaya çıkmıştır. İleride ülkemizde yapılacak çalışmalarda özellikle bisiklet kullanım güvenliğini artırmak ve kent içi trafik problemlerine alternatif çözümler üretmek açısından bisiklet toplu taşıma entegrasyonu oldukça önemli bir ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır.

Kaynaklar

Uz, V.,E., Karaşahin, M., 2004. Kentiçi Ulaşımında Bisiklet, TMH - TÜRKİYE MÜHENDİSLİK HABERLERİ SAYI 429 - 2004/1

Hagelin, C. (2005) A Return on Investment Analysis of Bikes on Bus Programs, National Center for Transit Research. Center for Urban Transportation Research, University of South Florida.

Schneider, J., S., (2005), Integration of Bicycles and Transit, TCRP Synthesis 62, Washington, D.C. : Transportation Research Board.

Pucher, J. and Buehler, R. , Integrating Bicycling and Public Transport in North America, 2006

Pucher J. and Ralph B., Making Cycling Irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark, and Germany, Transport Reviews, Vol. 28, No. 4, 2008.

<http://www.wien.gv.at/english/transportation-urbanplanning/cycling/citybike.html>

<http://www.radlhauptstadt.muenchen.de/radlnetz>

Repogle, M. (1992) Bicycle Access to Public Transportation: Learning from Abroad. Institute for Transportation Engineers Journal

Statistics Canada 2009

T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Kentleşme Şurası 2009, Kentsel Teknik Altyapı ve Ulaşım Komisyonu, Ankara, 2009

U.S. Census Bureau 2009a and 2009b

Wilbur Smith Associates 2002. BART Bicycle Access Parking Plan Volume 1.

http://en.wikipedia.org/wiki/Cycling_in_Munich

<http://izmirbisiklet.org/izmirde-toplu-ulasim-toplu-ulasimda-entegrasyon.html/>

<http://www.eshot.gov.tr/HaberDetay.aspx?ID=566>

<http://www.wien.gv.at/english/transportation-urbanplanning/cycling/citybike.html>

<http://www.yesilgazete.org/blog/2013/03/27/ido-bisikletlerle-baristi/>



TMMOB
ÝNPAAT MÜHENDÝSLERÝ ODASI
ÝZMÝR ÞUBESÝ