

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI

14. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Ulaştırmada İklim Krizine Odaklı Köklü Bir Anlayış ve Bakış Açısı Değişimi (Paradigma Değişimi)

Prof. Dr. Güngör Evren Onuruna

18-19-20 Ekim 2023

MSGSÜ Sedad Hakkı Eldem Oditoryumu/İstanbul

DÜZENLEYEN:
TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi
Mumhane Cad. No: 21 Karaköy 34425 İstanbul
Tel: (0212) 293 20 00 (Pbx) • Faks : (0212) 232 09 12
İstanbul.imo.org.tr

DÜZENLEME KURULU

İsmail ŞAHİN
Nusret SUNA
E. Fusun SÜMER
Özer AKKUŞ
Ergun GEDİZLİOĞLU
H. Onur TEZCAN
Ilgın GÖKAŞAR
Bekir BARTIN
Selim DÜNDAR
Evren KORKMAZER
Elif ERSOY
Rezan BULUT
Funda KILINÇ SUVAKÇI
Damla ALTINCI

BİLİM ve DANIŞMA KURULU

Agne KARLİKANOVAİTE BALIKÇI
Ahmet ATALAY
Ahmet TORTUM
Ali Payidar AKGÜNGÖR
Aslı Pelin GÜRGÜN
Baha Vural KÖK
Bekir Oğuz BARTIN
Ebru ARIKAN ÖZTÜRK
Emine AĞAR
Ergun GEDİZLİOĞLU
Funda TÜRE KİBAR
Güngör EVREN
Gürkan GÜNAY
Hale EREZ KÜLEKÇİ
Halim CEYLAN
Halit ÖZEN
Haluk GERÇEK
Hüseyin CEYLAN
Hüseyin Onur TEZCAN
Ilgın GÖKAŞAR
İsmail Hakkı ACAR
İsmail ŞAHİN
Mehmet Ali DERELİ
Meltem SAPLIOĞLU
Metin Mutlu AYDIN
Murat ÖZEN
Mustafa ÖZUYSAL
Mustafa Sinan YARDIM
Nadir YAYLA
Niyazi Özgür BEZGİN
Oruç ALTINTAŞI
Özgür BAŞKAN
Pelin ALPKÖKİN
Pelin ÇALIŞKANELLİ
Selim DÜNDAR
Serhan TANYEL
Sinem DEDETAŞ
Soner HALDENBİLEN
Şeref ORUÇ
Taner YÜZGEÇ
Taylan GÜNAY
Ufuk KIRBAŞ
Utku CİHAN
Volkan Emre UZ
Yalçın ALVER
Yetiş Şazi MURAT
Ziya ÇAKICI
Zübeyde ÖZTÜRK

TMMOB İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
48. DÖNEM YÖNETİM KURULU

TANER YÜZGEÇ	**BAŞKAN**
NUSRET SUNA	**II. BAŞKAN**
ÖZER AKKUŞ	**SEKRETER ÜYE**
JALE ALEL	**SAYMAN ÜYE**
GÜLSUN PARLAR	**ÜYE**
VEYSEL ÖZKAN	**ÜYE**
TANSEL ÖNAL	**ÜYE**

TMMOB İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
İSTANBUL ŞUBESİ 48. DÖNEM YÖNETİM KURULU

E. FUSUN SÜMER	**BAŞKAN**
EVREN KORKMAZER	**SEKRETER ÜYE**
SİNEM KOLGU	**SAYMAN ÜYE**
SELÇUK İZ	**ÜYE**
ELİF ERSOY	**ÜYE**
SAMİ GÜLTEKİN	**ÜYE**
ÖZER OR	**ÜYE**

İÇİNDEKİLER

Önsöz — **1**
Fusun Sümer

Sunuş — **3**
Prof. Dr. İsmail Şahin

Kamu-Özel Sektör İşbirliği Yatırımlarının Değişken Güvence Bedeli İle Finansman Modelinin Geliştirilmesi — **5**
Akın Salkılınç, Halim Ceylan, Soner Haldenbilen, Fatih Bayraktar

Kent Çekirdeği Lojistik Sorunlarının Araştırılması Ve Çözüm Önerileri: Trabzon Kent Merkezi Örneği — **15**
Prof. Dr. Soner Haldenbilen, Prof. Dr. Halim Ceylan, Akın Salkılınç, Halil İbrahim Yiğit, Fatih Bayraktar

Yapay Sinir Ağları Kullanarak Karayolu Yatay Güzergâh Tahmini Çalışması — **25**
Bekir Oğuz Bartın, Mojibulrahman Jami, Kaan Özbay

Karayolu Lojistik Araçların Seyahat Süresi Dağılım Karakteristiklerinin Modellenmesi — **40**
Kemal Yasin Göka, Halim Ceylan, Soner Haldenbilen

Sürdürülebilir Kent İçi Bisiklet Ve Yaya Erişilebilirliği: En Uygun Yolların Saptanması Ve Analizi — **50**
İsmail Adalıoğlu, Murat Ergün

Paylaşımlı Bisiklet Kullanım Talebinin Modellenmesi — **60**
Selim Dündar, Gürkan Günay, Pelin Alcan Gezginci, Ersoy Soyer, Elçin Mert

Mikromobilite Taşıtlarının Çevre Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi– İstanbul Bağdat Caddesi Örneği — **71**
İrem Merve Ulu, Selim Dündar

Kentsel Bisiklet Yol Ağının Belirlenmesinde Erişebilirlik Kısıtlı Potansiyel Talep Tahmin Modeli Yaklaşımı: Mersin Örneği — **83**
Kemal Yasin Göka, Görkem Gülhan, Soner Haldenbilen, Halim Ceylan

Modern Dönel Kavşakların Geometrik Tasarımı Ve Kapasite İlişkisi — **93**
Emre Öğütveren, Soner Haldenbilen, Halim Ceylan

Karayolu Esnek Üstyapılarında Tahribatsız Defleksiyon Ölçümleri Ve Sıcaklık Düzeltme Metotları — **104**
Fırat Erkmen, Ş. Figen Kalyoncuoğlu, Mesut Tığdemir

Taş Mastik Asfalt Kaplamalarda Mineral Elyaf Kullanılabilirliğinin Araştırılması — **115**
Mohammad Aman Rasekh, Dolunay Zengin, Soner Haldenbilen

Türkiye Ve Yurtdışındaki Elektrikli Skuter Yönetmeliklerinin Karşılaştırılması — **125**
Saadet Deveci, Selim Dündar, Hüseyin Onur Tezcan

Pandemi Dönemi Ve Sonrasında Üniversite Öğrencilerinin Yürüme Alışkanlıklarının İncelenmesi — **138**
Soner Haldenbilen, Halim Ceylan

Motosiklet Kullanıcılarının Özellik Ve Davranışlarının İncelenmesi: Sakarya İli Motosikletli Kuryeler Örneği — **148**
Zeliha Çağla Kuyumcu, Hakan Aslan, Deniz Mert Doğan

Işıksız Kavşaklarda Yayaların Karşıdan Karşıya Geçiş Davranışları İle Yaya-Taşıt Çatışmaların İncelenmesi — **158**
Yalçın Alver, Pelin Önelçin

Işıksız Kavşaklarda Karma Trafik Akım Koşullarının Modellenmesi **168**
Sezin Hızarcı, Serhan Tanyel, Selim Dündar, Ilgın Gökaşar

Değişken Faz Planı Ve Sinyal Süresinin Gecikmeye Etkisi **181**
Ersin Korkmaz, Erdem Doğan, Ali Payidar Akgüngör

Trafik Akımlarında Dalgalanma Görülebilen Işıklı Kavşaklarda Farklı Denetim Tekniklerinin Performanslarının Karşılaştırılması **198**
Ziya Çakıcı, Yetiş Şazi Murat

Karayolu Ulaşımının Çevresel Etkileri Üzerine Bilimsel Çalışmalar Işığında Bir İnceleme **211**
Mehmet Ali Erçetin, İslam Gökalp

Yakın Mesafeli Kavşaklarda Trafik Akımlarından Kaynaklı Çevresel Etkiler **224**
Ruti R. Politi, Serhan Tanyel

Kent İçi Minibüs Hatlarının Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri Kullanılarak Çevre Bakış Açısıyla Değerlendirilmesi: Erzurum İli Örneği **235**
Ahmet Çavuşoğlu, Ahmet Atalay

Türkiye'de Meydana Gelen Trafik Kazalarının Genel Analizi Ve Trafik-İş Kazaları İçin Bir Model Önerisi **245**
Suat Sarı

Orta Ölçekli Anadolu Kentlerinde Tramvay Ve Troleybüs Tercihinin İncelenmesi: Malatya Trambüs Örneği **260**
İbrahim Kılıç, Murat Ergün

İstanbul Raylı Sistemleri İle Minibüs Güzergahlarının Etkileşiminin Mekansal Bilgi Sistemi Kullanılarak Değerlendirilmesi Ve Entegrasyon Önerileri **272**
Murat Ergün, İsmail Adalıoğlu, Mustafa Bektaş

Bağlayıcı Sayısındaki Değişimlerin Kent İçi Toplu Taşıma Ağlarının Tasarım Süreci Üzerindeki Etkileri **282**
Tayfun Özcan, Hüseyin Ceylan

Kavşakların Geometrik Ve Fonksiyonel Alan Özelliklerinin Kazalara Etkisinin İncelenmesi **297**
Ahmet Atalay, Serdar Kısaoğlu

Üniversite Öğrencilerinin Trafik İşaret Levhaları Tanıma Düzeylerinin Araştırılması: Yalova Üniversitesi Örneği **311**
Ayşe Polat, Gürcan Sarısoy, Hüseyin Onur Tezcan

Elektrikli Skuterların Karıştıkları Kazaların İncelenmesi **323**
Begüm Okudan, Selim Dündar

Genişletilmiş Planlanmış Davranış Teorisini Kullanarak Iğdır'da Özel Araç Kullanımının Modellenmesi **334**
Bircan Arslannur, Ahmet Tortum, Dilan Kılıç

ÖNSÖZ

14. Ulaştırma Kongresi İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi yürütücülüğünde toplandı. Şubemizin kongreyi üstlenmesi elbette İstanbul açısından ayrı bir önem arz ediyor. Umarım şubemiz kongrenin üstesinden layıkıyla gelmiş, ulaşım kongreleri zincirine değerli bir halka eklemeyi başarmıştır.

Ulaştırma Kongresinin 14 kez toplanmış olmasının başlı başına takdir edilmesi gereken bir ısrar olduğu ifade edilmelidir. 1974 yılındaki ilk kongreden günümüze ulaştırma tartışmaları bağlamında bulunduğu seviyeye meslek odamızın yaptığı katkının hakkını teslim etmek gerekmektedir.

14 kongre boyunca çok önemli tartışmalar yapıldı. Konunun duayeni hocalarımız ve uzman meslektaşlarımızla uygulamacı meslektaşlarımız ortak zeminde buluştu. Sadece sorun tespit etmekle yetinilmedi, aynı zamanda çözüm önerileri geliştirildi. Kongrelerin üretimi, meslek odamızı referans kurum mertebesine taşıdı. Bugünden geriye bakıldığında, kongrelerin, teorik çerçevenin çizilmesinde, ulaştırma külliyatının oluşmasında başat rol oynandığı görülecektir.

Buradaki kritik soru, ulaştırma kongrelerinin çıktılarının ilgili kamu idareleri tarafından anlaşılıp anlaşılmadığı, uygulamaya konulup konulmadığıdır. Ne yazık ki bu soruya olumlu yanıt vermek mümkün değildir ve bu durum sorunların varlığını sürdürmesine, hatta çözülemediği oranda da büyüyerek geleceğe taşınmasına neden olmuştur.

1970'li yıllara damgasını vuran tartışmayı hatırlayacak olursak, örneğin İstanbul Boğazına ilk köprü yapılması ile başlayan tartışmalarda, meslek odamızın aldığı tutumun doğruluğu birkaç sene sonra anlaşılmış, aynı bakış açısı sürdürüldüğü için yeni boğaz köprülerinin yapılması da kaçınılmaz olmuştur. Bunun örneklerini çoğaltmak mümkündür. Bu tespit, bilim insanlarının görüş ve önerileri ile merkezi ve yerel yönetimlerin karar ve tasarrufları arasındaki açının ortadan kalkması; kamu yönetimiyle üniversitelerin, bilim çevrelerinin, meslek odalarının işbirliğinin hayat bulmasının gerekliliğine dikkat çekmek açısından önem arz etmektedir. Ne yazık ki ülkemizin yönetsel sürecinde bu gereklilik istenen düzeyde değildir.

Milattan önce 3000'li yıllarda tekerleğin icadıyla başlayan ve bugün hızlı tren, metro, tramvay, skuter vd. devreye girmesiyle devam eden bir süreçten söz ediyoruz ki, bu, aynı zamanda ekonomik ve sosyal hayatın gelişmesine paralel olarak değişen toplumsal ihtiyaçların yol açtığı talep ve sorunları anlama ve çözme yetisi ve kapasitesinin bilim insanlarının, uzman araştırmacıların uhdesinde olduğunun kabul edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Ulaştırma kongreleri bu zorunluluğun bir başka ifadesi olarak görülmelidir. 14. Ulaştırma Kongresi'nin başlıklarına ve başlıklar altında ele alınan konulara bakıldığında, sorunun kavranışının hangi düzeyde olduğu görülmekte, çözüm önerilerinin ise uygulanabilir özellikler taşıdığı dikkat çekmektedir.

İnşaat mühendisliğinin alt disiplini olarak ulaştırma, kentleşme politikalarını da içerek şekilde geniş bir yelpazeye yayılan konuları içermektedir. Çünkü karşı karşıya kaldığımız sorun sadece ulaştırma başlığı altında ele alınacak ve çözülecek bir sınırda değildir. Çok yönlüdür ve çözüm de ekonomik tercihlerden kentleşmeye, toplumsal ihtiyaçlardan teknolojiye pek çok etkenle doğrudan ilişkilidir.

14. Ulaştırma Kongresi'nde bu çeşitliliğin izlerini bulmak mümkündür. Kongrede bisiklet kullanımından karar alma mekanizmalarına, teknolojiden trafik yönetimine, ulaşımda bütüncül yaklaşımdan ulaştırma yatırımlarının doğaya, çevreye, kültüre uyumuna kadar pek çok konu tartışılmıştır.

Meslektaşlarımızın sahip olduğu bilgi birikiminin yalnızca mesleki donanıma işaret etmemesi, aynı zamanda kamu yönetimi tarafından rehber kabul edilmesi hiç şüphe yok ki mesleki-teknik tartışmaları derinleştirecek ve zenginleştirecektir.

Yürütücülüğünü üstlendiğimiz 14. Ulaştırma Kongresi Bilim, Danışma ve Düzenleme Kurullarına, bildirileriyle kongremizin teorik çerçevesini oluşturan, kürsü kullanarak tartışmaları zenginleştiren meslektaşlarımıza teşekkür ediyoruz. Kongrenin, ulaştırma alanında öncülüğü tartışmasız isimlerden biri olan Prof. Dr. Güngör Evren onuruna düzenlenmesini hem kendisine bir teşekkür hem de geleceğe dönük örnek bir adım olarak kabul edilmesini diliyoruz.

Füsun Sümer
TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası
İstanbul Şube Başkanı

SUNUŞ

İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi'nin ev sahipliğinde düzenlenen 14. Ulaştırma Kongresi, 18-20 Ekim 2023 tarihleri arasında MSGSÜ Sedad Hakkı Eldem Oditoryumunda gerçekleştirildi. Covid-19 pandemisi sebebiyle İMO tarafından ara verilen tematik kongrelerin yeniden başlaması olumlu bir gelişmedir. 14. Ulaştırma Kongresi Prof. Dr. Güngör Evren onuruna düzenlenmiştir. Kongrenin ana teması "Ulaştırmada İklim Krizine Odaklı Köklü Bir Anlayış ve Bakış Açısı Değişimi (Paradigma Değişimi)" olarak seçilmiştir.

14. Ulaştırma Kongresinin Cumhuriyetimizin 100. Yılında düzenlenmesi bizler için özel bir öneme sahiptir. Bu kongrenin, Ulaştırma Kongrelerinin düzenleme kurulu başkanlığını uzun yıllar özveriyle ve titizlikle yapan Prof. Dr. Güngör Evren onuruna düzenlenmesi, kongrenin önemini daha da artırmıştır. Açılışın ardından düzenlenen Prof. Dr. Güngör Evren Oturumunda, Hocamızın eski çalışma arkadaşları, öğrencileri ve oğullarından biri tarafından yapılan konuşmalar, oturuma ayrı bir renk ve zenginlik katmıştır. Oturumun sonunda Hocamızın "Atatürk Dönemi Ulaştırma Politikası ve Uygulamaları" başlıklı sunumu, Cumhuriyetimizin 100. Yılına yakışan kıymetli bir katkıdır.

14. Ulaştırma Kongresine davet edilen çağrılı konuşmacılar da önemli paylaşımlarda bulunmuşlardır. İlk çağrılı konuşmayı yapan Gazeteci Sayın Çiğdem Toker, kamu özel işbirliği modeli ile yapılan projelerde kamu kaynaklarının şeffaf olmayan bir şekilde nasıl tüketildiğini anlatmıştır. İkinci konuşmayı Şehir Hatları Genel Müdürü Sayın Sinem Dedetaş yapmış, İstanbul'daki deniz taşıtlarının karbon salımını tamamen ortadan kaldırmaya yönelik projelerden söz etmiştir. Kongrenin ikinci günündeki çağrılı konuşmacı İBB Ulaşım Daire Başkanı Sayın Utku Cihan, İstanbul sürdürülebilir kentsel hareketlilik planını anlatmıştır. Üçüncü gündeki son çağrılı konuşmacı Sayın Rahmi Akçelik, Avustralya'dan canlı olarak bağlandığı kongreye, ulaştırma modellerinde yapay zekanın yeri üzerine güncel ve ilgi çekici paylaşımlarda bulunmuştur.

Kongre hazırlıkları bir yılı aşkın bir süre önce başlamış ve ilk çağrının yapılmasıyla hızlanmıştır. Yazarlar tarafından gönderilen bildiri özetleri Düzenleme Kurulu üyeleri tarafından değerlendirilmiş, değerlendirme raporları yazarlara iletilmiştir. Tam metinlerin teslim edilmesinin ardından, bildiri metinleri, davet edilerek görevlendirilen en az iki Bilim Kurulu üyesi tarafından değerlendirilmiş ve düzeltme önerileri yazarlara iletilmiştir. Kabul edilen 30 bildiriden 29'u kongre programının 8 teknik oturumunda sunulmuştur.

Kongrenin sonundaki panel-forum oturumunda iki değerli konuşmacı, Sayın Prof. Dr. Haluk Gerçek ve Sayın Dr. İsmail Hakkı Acar, Kongrenin ana teması üzerine anlatımlar yapmışlardır. Ulaştırma ile ilgili kararlarımızda, uygulamalarımızda ve davranışlarımızda olması gereken ya da beklenen değişlikler üzerinde durmuşlardır. Doğanın kendi işleyişindeki etkiler ile insan etkinliklerinden

kaynaklanan olumsuzlukların iyi anlaşılması ve bunlara uygun tutum takınılmasının gereğinden söz etmişlerdir.

14. Ulaştırma Kongresi'ne katılım memnuniyet verici düzeyde olmuştur. Kongre oturumlarındaki katılımcılar soru-yanıt bölümlerine aktif biçimde katılmışlardır. Gelecekteki Ulaştırma Kongrelerine sunulan bildirilerin İMO akademik yayını olan Turkish Journal of Civil Engineering (eski adıyla Teknik Dergi) içinde yayımlanması için Düzenleme Kurulunda derginin Yayın Kurulu ile görüşülmesi kararlaştırılmıştır. Bu olanağın, gelen bildirilerin niteliğinin artması için bir teşvik olacağı değerlendirilmiştir.

Kongrenin teknik oturumlarında sunulan bildirilerin tam metinlerinin açık erişimli olarak Kongreden sonra İMO'nun elektronik kütüphanesinde Bildiriler Kitabı biçiminde yayımlanması kararlaştırılmıştır. Bu çalışmaların akademi ve uygulamadaki uzmanlara yararlı olmasını diliyoruz.

Prof. Dr. Güngör Evren Oturumu için Hocamıza ait geçmişten bugüne çok sayıda resim ve yazılı belgeyi temin edip, gözden geçiren ve tüm bunları özgün bir belgesele dönüştürüp sunan Düzenleme Kurulu üyesi Sayın Funda Kılınç Suvakçı'ya sonsuz teşekkürler. 14. Ulaştırma Kongresine bildiri gönderen ve çalışmalarını sözlü olarak sunan bildiri sahipleri ile görüşlerini bizlerle paylaşan Bilim ve Danışma Kurulu üyelerine; oturumlardaki soru ve yorumlarıyla Kongremizi zenginleştiren katılımcılara içten teşekkürlerimizi sunuyoruz.

Prof. Dr. İsmail ŞAHİN

Kongre Düzenleme Kurulu Başkanı

Kamu-Özel Sektör İşbirliği Yatırımlarının Değişken Güvence Bedeli İle Finansman Modelinin Geliştirilmesi

Akın Salkılınç, Halim Ceylan, Soner Haldenbilen, Fatih Bayraktar

02200 Pamukkale/Denizli, Trabzon BŞB Ulaşım Dairesi Bşk. / Trabzon

0543 908 2989, 0533 712 9394, 0506 545 5240, 0462 224 61 61

asalkilinc@tamulasim.com, halimc@pau.edu.tr, shaldenbilen@pau.edu.tr, fatihbayraktar@trabzon.bel.tr

Öz

Dünya genelinde nüfus artışıyla birlikte altyapı yatırımlarına olan ihtiyaçların artması da kaçınılmaz olmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde altyapı yatırımlarını finanse etmek ve sürekliliğini sağlamak son derece önem taşımaktadır. İlk yatırım ve işletme maliyetleri yüksek olan bu yatırımların hayata geçirilmesinde devletler, finans sorunlarını ve yatırım sürelerini kısaltmak için son dönemlerde Kamu-Özel Sektör İşbirliği (KÖİ) modellerine yönelmiştir. Bu modellerin başlıcaları; Yap-İşlet-Devret (YİD), Yap-İşlet (Yİ), Yap-Devret (YD), Yap-Devret-İşlet (YDİ), Yap-Kirala (YK) ve İşletme Hakkı Devri (İHD) modelleridir. Ülkemizde en çok tercih edilen model Yap-İşlet-Devret Modelidir.

Çalışmada; KÖİ yatırımları için devlet tarafından özel sektöre verilen sabit güvence bedelinin yerine, önerilen talep tabanlı değişken güvence bedeli uygulanmasının yatırımların ekonomik ve finansal fizibilite sonuçlarına etkisi araştırılmıştır. Karşılaştırmalarda yatırımların Net Bugükü Değerleri (NBD), Geri Ödeme Süreleri (GÖS), İç Karlılık Oranları (İKO) ve kamu yükleri parametre olarak dikkate alınmıştır. Örnek olarak Trabzon'da planlanan Akçaabat-Meydan-Yomra Tramvay Hattı'nın YİD Modeli ile yapılması senaryosu çalışılmıştır. Örnek olarak seçilen bu hat 2022 yılında tamamlanan Trabzon Ulaşım Ana Planında önerilen ve Altyapı Genel Müğdürlüğü tarafından onaylanan bir güzergah olup 2023 yılında projelendirme ve yapım aşamasına geçilmesi düşünülen bir yatırımdır.

Yapılan çalışma sonucunda, önerilen yaklaşımın, sabit güvence bedeli yaklaşımına göre kamu yükü olarak yaklaşık %12'lik iyileşme sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca yatırımın farklı senaryolar altında incelenen GÖS, İKO ve NBD'leri belirlenerek karşılaştırılmıştır.

Anahtar sözcükler: Kamu-Özel Sektör İşbirliği (KÖİ), Yap-İşlet-Devret (YİD), Güvence Bedeli, Net Bugünkü Değer, Geri Ödeme Süresi, Kamu Yararı

1. Giriş

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde altyapı yatırımlarını finanse etmek ve sürekliliğini sağlamak son derece önem arz etmektedir. İlk yatırım ve işletme maliyetleri yüksek olan yatırımların hayata geçirilmesinde devletler, finans sorunlarını ve yatırım sürelerini kısaltmak için son dönemlerde Kamu-Özel Sektör İşbirliği (KÖİ) modellerine yönelmiştir. Kamu-Özel Sektör İşbirliği modeli, söz konusu kamu ve özel sektörün birlikte ele alındığı, iki paydaşın birbirine karşı olmaktansa, ilgili projeyi-kamu hizmetini en uygun ve en iyi şekilde sunabilecekleri modeli ifade etmektedir. Birlikte karar verilen bu model, kamu yararı ele alınarak kamu hizmetinin hayata geçmesini sağlamaktadır. Söz konusu yatırımda, taraflar arasındaki riski en uygun şekilde paylaştırmak üzerinde durulması gereken en önemli husustur. Böylece kamu yararı adına gereksiz maliyetler ve oluşabilecek gecikmelerden kaçınılacaktır.

Bu çalışmada, KÖİ modelinin işlerliğinin sorunsuz devam edip sürekliliğinin sağlanması, makro politikalar kapsamında yaratacağı olumlu etki, modelin veya projenin eksiksiz hazırlanması ve yürütülmesi, model sonuçlarına göre performans çıktılarının objektif değerlendirilip kamuya devrinin buna göre gerçekleşmesi, dünya çapında örneklerinin incelenmesi gibi adımların gerçekleştirilerek kamu yararının en verimli ve etkin olduğu KÖİ modelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Türkiye'de geleneksel olarak kullanılan sabit güvence bedelli KÖİ modelinin yanında, bu çalışmada geliştirilen değişken güvence bedelli KÖİ modeli ile kamunun yüksek finansal yükler altına girmemesi hedeflenmiştir. Sabit güvence bedelli KÖİ modeli incelendiğinde kamu kaynaklarının verimsiz kullanılmış olma ihtimali olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedeni yatırım için öngörülen talep değerlerinin projenin hizmete girmesi ile gerçekleşen talep değerleri ile uyumsuz olmasıdır. Gelecek belirsizlik içerdiği için KÖİ projelerinde sabit bir güvence bedelinin belirlenmesi ve gerçekleşen talep değerlerinin bunun çok altında kalması sonucu kamu yükünün artması çok tartışılan bir konu olmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen değişken bedelli KÖİ modeli ile yapılan talep tahminlerine bağlı olarak verilen güvence bedelleride talep tabanlı belirlenmesi ve oluşan kamu yüklerinin azaltılması ve bu modelin finansal ve ekonomik yapılabilirlik üzerindeki etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Yukarıda kısaca özetlendiği şekli ile yatırımların sabit güvence bedelli KÖİ modeli ile değişken güvence bedelli KÖİ modeline göre finansal fizibilite etütleri ve ekonomik analizleri karşılaştırılması gerekmektedir. Elde edilen analizler sonucunda kamu yararı açısından uygun olan güvence bedeli seçilmeli ve kamu yararı gözeterek alternatifler üretilerek en uygun alternatif seçilmelidir.

2. Literatür Taraması

Literatür taraması kapsamında özellikle KÖİ modellerinin finansal parametreleri üzerine yapılan araştırmalar ve bu çalışmanın da konusu olan güvence bedelleri hakkında yapılan değerlendirmelerden çıkarımlar yapmak amaçlanmıştır.

McCarty & Tiong, (1991) yapmış oldukları çalışmada Yap-İşlet-Devret modelini tanımlamıştır. Mali olarak; finansman bedelinin artması, proje sahibi hükümetten ihtiyaç duyulan yardım, mevcut tesislerin kullanımı ve inşaat maliyetlerindeki artışlar çalışmanın

konusunu oluşturmaktadır. Ayrıca imtiyaz süresi ve yapım-işletme sözleşmelerinin oluşturulma yöntemleri de çalışmada bahsedilen bir başka konu olmuştur. Yang & Meng, (2000) çalışmalarında YİD modelinin dünya çapında, özellikle karayolu yapımı için fon sıkıntısı çeken gelişmekte olan ülkeler için bir moda haline geldiğine değinmişlerdir. Ayrıca Yang & Meng, bu tür modeller ile yapılacak olan karayolu yatırımlarında en önemli konuların, yolun kapasite ve geçiş ücretinin seçimi; elde edilecek gelirlerin yatırımcıya, yol kullanıcılarına ve tüm topluma çeşitli koşullar altında etkisinin değerlendirilmesi olduğunu vurgulamıştır. Zayed & diğ., (2002) yapmış oldukları çalışmada geleneksel yöntemlere göre YİD modellerinde yüklenicilerin kendilerini yüksek bir riske maruz bıraktıkları ve bu nedenle riskleri analiz etmeye yönetmeye özellikle dikkat edilmesi gerektiğinden bahsetmişlerdir. Çalışmalarında bir YİD risk modeli oluşturmuşlar ve bu modelin, YİD proje riskini değerlendirmek için mantıklı, güvenilir ve tutarlı bir prosedür sağlayan bir değerlendirme yöntemi olduğunu öne sürmüşlerdir. Schaufelber & diğ., (2003) yaptıkları çalışmada; YİD modelinin uygulanması aşamasında en uygun öz kaynak/kredi oranının seçimi, en uygun finansman kaynaklarının bulunması ve maliyetleri en aza indirmek için Kuzey Amerika ve Asya'daki 13 adet YİD enerji üretimi projesini incelemişlerdir. Dey & Ogunlana, (2004) çalışmalarında YİD projelerinin risk yönetimi tekniklerini literatürün gözden geçirilmesiyle incelemiş, bu projeler için risk yönetim sürecini seçmek için bir model geliştirmişlerdir. Xenidis & Algelides, (2005) çalışmalarında YİD proje uygulayıcılarına bir YİD sözleşmesinin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesinde fayda sağlamayı amaçlamışlardır. Bu amaçla bu projeler ile ilişkili 27 adet finansal risk hakkında pratik bilgi ve fikirler vermişlerdir. Deloitte, (2006) Closing the Infrastructure Gap: The Role of Public-Private Partnership adlı kitapta; Dünya'daki altyapı ihtiyaçlarını karşılamak için hükümetlerin finans kaynakları bulmakta zorlandığına, bu aşamada KÖİ projelerinin gözde model olarak yükseldiğine ve KÖİ projelerine dünyadan örneklerle detaylarına yer verilmiştir. Ayrıca KÖİ projeleri için sektörlere göre avantajlar ve dezavantajlar, dünyanın hangi bölgesinde hangi yatırım sektörlerinde KÖİ projelerinin tercih edildiği gibi detaylı bilgilere yer verilmiştir. Subprasom & Chen, (2007) yapmış oldukları çalışmada YİD projelerinin uygulanabilirliğini belirlemede temel amacın; özel yatırımcılar için kâr iken, hükümetler için topluma olumlu bir sosyal refah sağlayıp sağlamayacağı olduğunu belirtmişlerdir. Iyer & Sagheer, (2011) çalışmalarında YİD modelinin, Hindistan karayolu sektöründe ülkeye özel sermayeyi çekmek amacıyla tercih edilen KÖİ modellerinde birisi olduğuna değinilmiştir. Ayrıca çalışmada, bu tür KÖİ projelerinde trafik talebinin kritik bir risk olduğuna vurgu yapılmış ve bir model önerisi verilmiştir. Boz, (2013), yapmış olduğu çalışmada KÖİ modelini detaylarıyla ele almış ve tanımlamasını yapmıştır. Bu çalışmayı diğerlerinden ayıran özelliği olarak, KÖİ projelerinin hukuki altyapısı incelemiştir. Yazar değerlendirme olarak, özel sektörün kamu işbirliğindeki dinamizmi, etkin kaynak kullanımı, hızlı hareket kabiliyeti ve yeni bir bakış imkanı sunabilme kapasitesinin devlete nazaran daha yüksek olabileceğinden bahsetmiştir. Karabulut, (2017) tez çalışmasında Yap-İşlet-Devret ve benzeri kamu-özel sektör işbirliği modellerinin tanımlanması, tarihçesi ve uygulama alanlarına değinmiştir. Dünyada ve Türkiye'deki örneklerinden bahsedip, YİD modelinin tarafları, yasal mevzuatı ve risklerini çalışmasına konu etmiştir. Karakaya, (2018) çalışmasında YİD modeli tanımı ve işlevinden bahsederek, örnek olarak "Ankara-Niğde Otoyolu" özelinde bir finansal hesaplama yapmıştır. Bu hesaplamaya esas olan parametreleri; belirli parametreler (inşaat süresi, servis ömrü, sermaye sahibinin beklediği kâr oranı, başlangıç yılı geçiş ücreti, vb.) ve belirsiz parametreler (inşaat maliyeti, enflasyon, kredi faiz oranı, yıllık geçiş ücreti artış oranı vb.) olarak sınıflandırmıştır. Mahmutoğlu, (2020) tez çalışmasında Türkiye'de uygulanmakta olan KÖİ projelerinde risk yönetiminin yeterince

iyi yapılamadığına ve hükümetin verdiği garantilerin hesaplanması aşamasında sorunlar ile karşılaşıldığına değinmiştir. Cangöz & diğ., (2021) yapmış oldukları çalışmada KÖİ modellerini tanımlamış, KÖİ modellerini tarihçesinden ve gelişiminden bahsetmişlerdir. Ayrıca söz konusu modellerin dünyada ve Türkiye'de kullanım örnekleri, hukuki çerçevesi, kurumsal yapısı, kamu tarafında öz sermaye ve kredi için verilen taahhütler, hazine yatırım garantisi gibi oldukça detaylı konulara değinmişlerdir.

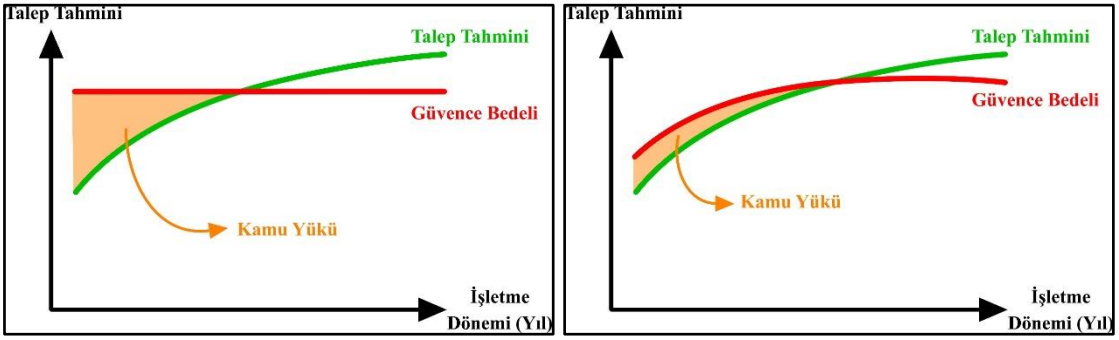
Yapılan literatür taraması sonucunda, konuyla ilgili yapılan çalışmaların genellikle KÖİ modellerinin risk analizi ve paydaşlar arasındaki risk paylaşımına yönelik olduğu görülmüştür. Bazı çalışmalarda ise Türkiye'de yaygın olarak uygulanan Yap-İşlet-Devret modeli özelinde araştırmalar ve uygulanma metotlarından bahsedildiği görülmüştür. Bu çalışmanın konusu olan değişken güvence bedelli finansman modeli ile ilgili olarak net bir çalışmaya rastlanamamıştır. Ancak Iyer & Sagheer, (2011) yapmış oldukları çalışmada, bu çalışmaya benzer olarak trafik talep tahminin kritik öneme sahip olduğundan bahsetmiş ve değişken işletme süresi formülü geliştirmişlerdir.

3. Yöntem ve Örnek Uygulama

3.1. Yöntem

Bu çalışmada ulşatırma sektörüne yönelik olarak geliştirilen finansal ve ekonomik fizibilite modelleri kullanılarak mevcut durumda kullanılan sabit güvence bedeli yöntemleri ile değişken güvence bedeli ödeme yaklaşımlarrrının karşılaştırılması yöntem olarak benimsenmiştir. Bu sayede Kamu-Özel sektör işbirliği modelleri ile yatırım için önceden yapılan talep tahminlerinin ve buna bağlı olarak yükleniciye verilecek olan garantilerin incelenip bu garantilerin değişken olarak belirlenmesi durumunun finansal ve ekonomik fizibilite parametrelerine etkisi araştırılmıştır.

Ulaştırma ve Atyapı Bakanlığı Altyapı Genel Müdürlüğü ve Cumhurbaşanlığı Strateji Bütçe Başkanlığı tarafından kamu yatırımlarının değerlendirmesinde kullanılan fizibilite formatları baz alınarak analizler yapılmıştır. Uygulanan sabit güvence bedelinin projenin hayata geçmesi ile gerçekleşen talebin beklenenden düşük gerçekleşmesi durumu ile karşılaşılmakta ve elde edilen hasılat ile öngörülen güvence bedeli arasında büyük farklar oluşmakta ve projelerin kamu maliyeti talebin düşük gerçekleşmesinden dolayı yüksek olmaktadır. Şekil 1'de önerilen yöntem ve yaklaşım verilmiştir.



Şekil 1. Türkiyede kullanılan mevcut yöntem / bu çalışmada önerilen yöntem

Oluşturulacak olan finansman modeli para-zaman ilişkisine bağlı olup, yükleniciye kamu tarafından verilmiş olan işletme döneminin her bir yılı için farklı güvence bedeli verilmesi esasına dayanmaktadır. Bu sayede projenin talep tahminine bağlı riskleri kontrol altında tutulabilecektir.

3.2. Örnek Proje

Önerilen modelin test edilmesi amacı ile Trabzon'da planlanan Akçaabat-Meydan-Yomra Tramvay Hattı projesi örnek uygulama olarak seçilmiştir. Söz konusu tramvay hattı, Trabzon Ulaşım Ana Planı'nda toplu taşıma önerileri kısmında raylı sistem hattı olarak önerilmiş ve 2040 yılı vizyonu için Trabzon ili ölçeğinde gerekli bir yatırım olarak görülmektedir. Akçaabat-Meydan-Yomra Tramvay Hattı'nın bir Kamu-Özel İşbirliği modeli olan Yap-İşlet-Devret modeli ile hayata geçirileceği varsayılmış ve bu varsayım üzerinden finansman modeli oluşturulmuştur. Ayrıca Türkiye özelinde kentsel raylı sistem projelerinde bir KOİ modeli önerisi olmasından dolayı da çalışmanın örnek teşkil edeceği düşünülmektedir. Örnek proje hattıyla ilgili tüm gelir-gider, talep tahmini değerleri **"Trabzon Ulaşım Ana Planı"** çalışmasından alınmıştır.

Proje Hattı Güzergahı: Proje güzergahı 30,8 kilometrelik uzunluğa ve 54 adet durağa sahiptir. Trabzon'un en yoğun nüfusuna sahip Ortahisar, Akçaabat ve Yomra ilçelerinde hizmet verecek olan tramvay hattının güzergahı üzerinde birçok yolculuk üretim-çekim bölgesi bulunmaktadır.

Proje Hattı Talep Tahmini: Trabzon Ulaşım Ana Planı çalışmalarında geleneksel dört aşamalı ulaşım modeli oluşturulmuş ve proje hattının; mevcut yolculuk ilişkileri, dağılımları, hacim değerleri ortaya konmuş, bu ilişkilerin matematiksel tanımları oluşturularak hedef yılları olan 2030, 2035 ve 2040 yılları için yolculuk talep değerleri hesaplanmıştır. Proje hattının hizmete açılış yılı 2028 olarak öngörülmüştür. Tablo 1'de öneri hattın yolculuk değerleri verilmiştir.

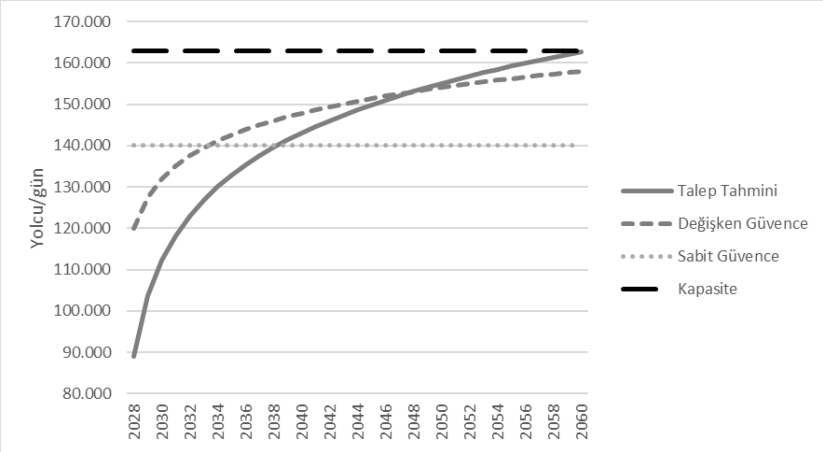
Tablo 1. Proje Hattı yolculuk talep tahmini

Yıllar	Zirve Saatte Kesitteki Maksimum Yolcu Sayısı	Günlük Yolcu Sayısı	Yıllık Yolcu Sayısı
2028	7.509	89.085	32.515.959
2030	7.921	112.207	40.955.621
2035	9.081	132.851	48.490.460
2040	10.099	143.069	52.220.185
2045	11.212	149.918	54.720.116
2050	12.301	155.077	56.603.174
2055	13.390	159.217	58.114.324
2060	14.480	162.675	59.376.519

3.3. Senaryolar ve Uygulama

Belirlenen örnek projenin finansmanı için üç farklı senaryo geliştirilmiş ve analizi gerçekleştirilmiştir. Senaryo 1, herhangi bir KÖİ modeli kullanılmaksızın örnek projenin kamu tarafından yapılması durumunu, Senaryo 2 örnek projenin Türkiye'de halihazırda uygulanmakta olan sabit güvence bedelli KÖİ modeliyle yapılması durumunu ve Senaryo

3 projenin bu çalışmada önerilen değişken güvence bedelli KÖİ modeliyle hayata geçirilmesi durumu araştırılmıştır. Tüm senaryolarda Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı ile Cumhurbaşkanlığı Strateji Bütçe Dairesi Başkanlığı tarafından kamu yatırımları için kullanılan iskonto oranı dikkate alınmıştır. Bu değerler zaman içinde değişiklik göstermekle birlikte çalışma dönemi için finansal analizlerde %5, ekonomik analizlerde ise %11 iskonto oranı ile nakit akışı oluşturulmuş, finansal değerlendirme parametreleri NBD, İKO, F/M oranı ve GÖS hesaplanmıştır. Tablo 2-4'de senaryolar için hesaplanan finansal ve ekonomik analiz sonuçları verilmiştir. Hattın işletme koşulları dikkate alınarak belirlenen kapasitesi dikkate alınarak sabit ve değişken güvence bedelleri belirlenmiş ve temsili olarak şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Örnek uygulama için seçilen güvence bedeli eğrileri

Senaryo 1: Bu durumda projeye ait tüm gelir ve gider kalemleri idare (kamu) tarafından işletilecek ve herhangi bir güvence bedeli söz konusu olmayacaktır. Proje hattının KÖİ modeli uygulanmaksızın kamu tarafından yapılması durumunda finansal değerlendirme parametreleri hesaplanarak tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Senaryo 1 için finansal ve ekonomik analiz sonuçları

PARAMETRE	FİNANSAL ANALİZ	EKONOMİK ANALİZ
Net Bugünkü Değer ($) (NBD)	17.386.721	83.365.203
İç Karlılık Oranı (İKO)	5,47%	15,51%
Fayda-Maliyet Oranı (FMO)	1,05	1,39
Geri Ödeme Süresi (GÖS)	30	13

Senaryo 2: Bu senaryoda Türkiye'de halihazırda işletilmekte olan veya inşa halindeki KÖİ projelerinde kullanılan sabit güvence bedeli verilmesi durumu ele alınmıştır. Örnek uygulama için seçilen kentsel raylı sistem hattı için 140.000 yolcu/gün garanti verilmesi durumda oluşacak kamu yükü, finansal nakit akışı, finansal analiz parametreleri belirlenen iskonto oranları kullanılarak hesaplanmış ve tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Senaryo 2 için finansal ve ekonomik analiz sonuçları

PARAMETRE	FİNANSAL ANALİZ	EKONOMİK ANALİZ
Net Bugünkü Değer ($) (NBD)	39.857.404	69.764.396

İç Karlılık Oranı (İKO)	6,12%	14,65%
Fayda-Maliyet Oranı (FMO)	1,10	1,31
Geri Ödeme Süresi (GÖS)	26	14

Senaryo 3: Bu senaryoda geleneksel olarak uygulanmakta olan sabit güvence bedelli yerine belirlenen örnek proje için değişken güvence bedelli bir model uygulanması durumunda analiz irdelenmiştir. Öncelikle değişken güvence bedeli için talep tabanlı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda örnek uygulama olarak seçilen kentsel raylı sistem hattı için sabit güvenceli KÖİ modeli kullanılması durumunda finansal geri ödeme süresinin 26 yıl olduğu dikkate alınarak önerilen değişken güvence bedelli yaklaşımında bu süre dikkate alınmıştır. Senaryo 2 ve 3'ün kamu yükü açısından karşılaştırma yapılabilmesi için; finansal geri ödeme süresini 26 yıl yapan bir değişken güvence bedeli eğrisi oluşturulmuştur. Bu eğriye göre 2028 yılında 120.000 yolcu/gün güvence bedeli verilip, 2060 yılında ise bu güvence bedelinin 158.000 yolcu/gün seviyesinde olması beklenmektedir. Şekil 2'de bu yaklaşım ile belirlenen yıllara göre değişen yolcu talep değişimi verilmiştir. Tablo 4'de ise Senaryo 3 için hesaplanmış fizibilite parametreleri verilmiştir.

Tablo 4. Senaryo 3 için finansal ve ekonomik analiz sonuçları

PARAMETRE	FİNANSAL ANALİZ	EKONOMİK ANALİZ
Net Bugünkü Değer ($) (NBD)	37.186.619	72.368.775
İç Karlılık Oranı (İKO)	6,03%	14,83%
Fayda-Maliyet Oranı (FMO)	1,10	1,32
Geri Ödeme Süresi (GÖS)	26	14

4. Sonuç

Çalışmada ülkemizde halen kullanılmakta olan Kamu-Özel Sektör İşbirliği modelleri incelenmiştir. Türkiye'de yaygın olarak Yap-İşlet-Devret Modelinin kullanıldığı tespit edilmiştir. Güvence bedelli bir KÖİ modeli olan Yap-İşlet-Devret modeli, kamu(devlet) ile özel sektör arasında yapılan bir sözleşme ile risklerin ortak olarak paylaşıldığı ve özel sektöre belirli bir dönem içerisinde yatırımı inşa etme ve işletme hakkı tanımaktadır. Bu işletme dönemi boyunca devlet tarafından özel sektöre belirli bir güvence de verilmektedir. Devlet tarafından özel sektöre verilen güvence yatırımın türüne göre; bir otoyol için araç sayısı, bir raylı sistem hattı için yolcu sayısı veya bir hastane için hasta sayısı olarak belirlenmektedir. Türkiye'de yaygın olarak kullanılan modelde, verilen bu güvence bedelinin işletme dönemi boyunca sabit olduğu görülmektedir.

Kullanılan sabit güvence bedelli KÖİ modeline ek olarak değişken güvence bedelli bir KÖİ modeli geliştirilmiştir. Bu model ile, yapılan talep tahminlerine bağlı olarak verilen güvence bedellerini kontrol altında tutmak, uzun yıllar sürebilen işletme süresi boyunca kamuyu büyük finansal yüklerden korumak amaçlanmıştır.

Önerilen modelin etkilerini belirlemek amacı ile Trabzon'da tamamlanan Trabzon Ulaşım Ana Planı'nın bir çıktısı olan Akçaabat-Yomra Tramvay Hattı örnek proje olarak seçilmiştir. Bu projenin KÖİ modeliyle yapılacağı varsayılmış, sabit güvence bedelli KÖİ modeli ile değişken güvence bedelli KÖİ modeline göre finansal fizibilite etütleri yapılmış ve karşılaştırılmıştır

Yapılan finansal analize göre; sabit güvence bedelli KÖİ modelinin kullanılması durumunda, proje hattı açılışından 26 yıl sonra kendini geri ödemektedir ve net bugünkü değeri 39.857.404 $ olarak bulunmuştur. Bu modelde 2028-2038 yılları arasında oluşması beklenen kamu yükünün net bugünkü değeri 22.470.683 $ olarak hesaplanmıştır. Değişken güvence bedelli KÖİ modelinin kullanılması durumunda ise proje hattı açılışından 26 yıl sonra kendini geri ödemektedir ve net bugünkü değeri 37.186.619 $ olarak bulunmuştur. Bu modelde ise 2028-2047 yılları arasında oluşacak olan kamu yükünün net bugünkü değeri 19.799.898 $ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan ekonomik analize göre; sabit güvence bedelli KÖİ modelinin kullanılması durumunda, proje hattı açılışından 14 yıl sonra kendini geri ödemektedir ve net bugünkü değeri 69.764.396 $ olarak bulunmuştur. Bu modelde 2028-2038 yılları arasında oluşması beklenen kamu yükünün net bugünkü değeri 13.600.807 $ olarak hesaplanmıştır. Değişken güvence bedelli KÖİ modelinin kullanılması durumunda ise proje hattı açılışından 14 yıl sonra kendini geri ödemektedir ve net bugünkü değeri 72.368.775 $ olarak bulunmuştur. Bu modelde ise 2028-2047 yılları arasında oluşacak olan kamu yükünün net bugünkü değeri 10.996.429 $ olarak hesaplanmıştır. Yapılan analizlere göre bu çalışmada önerilen model geleneksel KÖİ modeline göre;

Finansal olarak: %12,

Ekonomik olarak: %19, daha az kamu yükü oluşturmaktadır.

Sabit güvence bedelli KÖİ modeli ile değişken güvence bedelli KÖİ modeli için Akçaabat-Yomra Tramvay Hattı örneği üzerinden yapılan finansal karşılaştırma sonuçları tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Senaryo 2 ve 3 için analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Finansal Analiz					
SENARYO	Net Bugünkü Değer ($)	İç Karlılık Oranı	Fayda-Maliyet Oranı	Geri Ödeme Süresi	Kamu Yükü ($)
Senaryo 2	39.857.404	6,12%	1,10	26 Yıl	22.470.683
Senaryo 3	37.186.619	6,03%	1,10	26 Yıl	19.799.898
Ekonomik Analiz					
Senaryo 2	69.764.396	14,65%	1,31	14 Yıl	13.600.807
Senaryo 3	72.368.775	14,83%	1,32	14 Yıl	10.996.429

Yapılan analizler sonucunda gelirtirilen değişken güvence bedelli KÖİ modeli (Senaryo 3) model kamu yararı açısından daha kazançlı görünmektedir. Bu durumun işletme gelirleri yüksek olan otoyol, köprü, tünel gibi projelerde daha belirgin olacağı düşünülmektedir.

Ayrıca Türkiye'nin; kredi risk primi veya kredi temerrüt takası olarak kullanılan CDS (Credit Default Swap) değerinin düşmesi durumunda, dış finansman için daha güvenilir bir yatırım merkezi haline gelebileceği aşikardır. Bu sayede çalışmaya konu olan kentsel raylı sistemler gibi düşük işletme gelirli yatırımlar uzun vadeli krediler ve KÖİ modelleri ile hayata geçirilebilecektir.

5. Teşekkür

Önceki bölümlerde de değinildiği üzere, çalışmanın örnek uygulaması olarak "Trabzon Ulaşım Ana Planı'ndan" alınan Akçaabat-Meydan-Yomra Tramvay Hattı kullanılmıştır. Çalışmanın hazırlanması aşamasında hiçbir bilgi ve veriyi tarafımdan esirgemeyen Trabzon Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

Boz, S. S. (2013). Kamu Özel İşbirliği (PPP) Modeli. *İnönü Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 277-332.

Cangöz, M. C., Emek, U., & Karaca, N. U. (2021). *Türkiye'de Kamu-Özel İşbirliği Modeli Uygulaması: Etkin Risk Paylaşımına Yönelik Bir Model Önerisi.* Ankara.

Deloitte. (2006). *Closing the Infrastructure Gap: The Role of Public-Private Partnerships.* New York.

Dey, P. K., & Ogunlana, S. O. (2004). Selection and Application of Risk Management Tools and Techniques for Build-Operate-Transfer Projects. *Industrial Management & Data Systems*, 334-346.

Iyer, K. C., & Sagheer, M. (2011). A Real Options Based Traffic Risk Mitigation Model for Build-Operate-Transfer Highway Projects in India. *Construction Management and Economics*, 771-779.

Karabulut, M. (2017). *Dünyada ve Türkiye'de Yap-İşlet-Devret (YİD) Modelinin İncelenmesi.* İstanbul.

Karakaya, U. (2018). *Yap İşlet Devret Modeli ile İhale Edilecek Otoyol Projelerinde Optimum İmtiyaz Süresinin Belirlenmesi için Stokastik Bir Yöntem.*

Mahmutoğlu, M. Y. (2020). *Kamu-Özel Sektör İşbirliği Projeleri: Devlet Garantisi Konusunda Bir Sentez Çalışması.*

McCarthy, S., & Tiong, R. (1991). Financial and Contractual Aspects of Build-Operate-Transfer Projects. *International Journal of Project Management*, s. 222-227.

Özden, Y. (2018). *Sakarya Yenikent Bölgesi Ulaşım Sisteminin İncelenmesi ve KÖİ Yöntemiyle Yeniden Yapılandırılması.* İstanbul.

Sakarya, Ş., & Saçkes, İ. (2021). Stratejik Duran Varlık Yönetimi Kapsamında Yatırım Finansmanı Uygulaması: Bir Lojistik İşletmesi Örneği. *Balıkesir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 51.

Schaufelberger, J. E., ASCE, M., & Wipadapisut, I. (2003). Alternate Financing Strategies for Build-Operate-Transfer Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 205-213.

Subprasom, K., & Chen, A. (2007). Effects of Regulation on Highway Pricing and Capacity Choice of a Build-Operate-Transfer Scheme. *Journal of Construction Engineering and Management*, 64-71.

TULUKCU, İ. (2021). *Kamu-Özel İşbirliği Modeli ile Gerçekleştirilen Ulaştırma Projelerinin Reel Opsiyonlar Yöntemiyle Değerlemesi.* Ankara.

Uygur, M. (2015). Yatırım Projesi Değerlendirme Yöntemleri. *Demiryolu Mühendisleri Derneği*, 58.

Xenidis, Y., & Angelides, D. (2005). The Financial Risk in Build-Operate-Transfer Projects. *Construction Management and Economics*, 431-441.

Yakupçebioğlu, N. (2005). *Amortisman İşlemlerinin Muhasebe Standartları ve Yasalar Açısından İncelenmesi.* Ankara.

Yang, H., & Meng, Q. (2000). Highway Pricing and Capacity Choice in a Road Network Under a Build-Operate-Transfer Scheme. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 207-222.

Zayed, T. M., ASCE, S. M., & ASCE, L.-M. C. (2002). Prototype Model for Build-Operate-Transfer Risk Assessment. *Journal of Management in Engineering*, 7-16.

Kent Çekirdeği Lojistik Sorunlarının Araştırılması ve Çözüm Önerileri: Trabzon Kent Merkezi Örneği

Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN[1], Prof. Dr. Halim CEYLAN[1],
[1]Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Kampüsü, Denizli
Tel: (258) 2963351
E-Posta: halimc@pau.edu.tr; shaldenbilen@pau.edu.tr

Akın SALKILINÇ[2], Halil İbrahim YİĞİT[2], Fatih BAYRAKTAR[3]
[2]Hüseyin Yılmaz Caddesi Pamukkale teknoloji Geliştirme Bölgesi, Denizli,
Tel: (258) 215 5121
[3]Trabzon Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Daire Başkanlığı, Trabzon
E-Posta: asalkilinc@tamulasim.com; hyigit@tamulasim.com; fatihbayraktar@trabzon.bel.tr

Öz

Kentsel lojistik, kentlerin ekonomik ve sosyal kalkınmasına destek olurken, kentsel alanlarda yük taşımacılığından kaynaklanan trafik problemlerini azaltmayı amaçlamaktadır. Kent lojistiğindeki temel fikir, bireysel paydaşları ve kararları bütünleşmiş bir lojistik sisteminin bileşenleri olarak görmektedir. Ancak, ülkemizde kentsel lojistik planlarının trafik problemi ve hizmet kalitesini etkileyen en önemli unsurlardan biri olduğu genellikle göz ardı edilen konuların başında gelmektedir. Kentsel düzeyde yapılan ulaşım ana planlarında lojistik faaliyetler genellikle kapsam dışı bırakılmaktadır. Oysaki kentsel düzeyde lojistik faaliyetlerin planlanması kentteki ekonomik sürdürülebilirlik başta olmak üzere sosyal ve çevresel boyutu ile son derece etkili sonuçlar doğurmaktadır.

Bu çalışmada Trabzon Ulaşım Ana Planı (TUAP) çalışmaları doğrultusunda yayalaştırılan Kahramanmaraş Caddesi'nin bölgedeki lojistik faaliyetlere olan olumlu olumsuz etkilerinin araştırılabilmesi için, çalışma alanında bulunan firmalar ve kargo firmalarıyla yüz yüze anketler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, kamu/özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımıyla çalıştaylar düzenlenmiştir. Toplanan veriler temelinde çözüm önerileri geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar ve analizler sonucunda Düzenleme Yaklaşımlarına (DY) katılımın genel olarak yüksek olduğu bulunmuştur. En yüksek DY 4,69 katılım notu ile "gece teslimatlarının planlanması"dır. Bu DY'na katılımcıların yaklaşık %94'ünün gece teslimatlarının yapılmasının gerektiğine katıldığını göstermektedir. Aynı zamanda, 4,68 katılım notu ile "Altyapının yeni teknolojilere uyumlu hala getirilmesi" ve "Kısıtlı trafik bölgelerinin (Limited traffic zone) planlanması" yaklaşımlarına da oldukça yüksek bir katılım söz konusu olmuştur.

.

Anahtar sözcükler: Kentsel Lojistik, Katılım Modeli, Düzenleme Yaklaşımı,

1. Giriş

Şehirlerdeki hızlı nüfus artışı ve tüketim talepleri, yüklerin ve hizmetlerin şehir içinde etkin bir şekilde dağıtılmasının önemini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, motorlu taşıtların artışı, teknolojik gelişmeler, e-ticaret v.b. faktörler kentsel lojistik faaliyetlerinin düzenlenmesi ve optimize edilmesinin önemini artırmaktadır. Literatürdeki çalışmalar alternatif yakıtların kullanımı, konsolidasyon merkezlerinin teşviki, emisyon ve gürültü kirliliğinin azaltılması, bisiklet v.b. motorsuz ulaşımın teşvik edilmesi gibi konular üzerinde yoğunlaşmıştır. Günümüzde, "Sürdürülebilir Kentsel Lojistik" uygulamaları yaygınlaşmış ve küresel düzeyde birçok bileşenin uygulamaları hayata geçirilmiştir. Bu bileşenler şunları içerir:

- Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin (BİT) Entegrasyonu: İleri teknolojiler, lojistik operasyonların daha etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesine olanak sağlar. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), gerçek zamanlı izleme sistemleri, akıllı rotalama yazılımları gibi BİT araçları, lojistik faaliyetlerin optimize edilmesinde önemli bir rol oynar.
- Son-Kilometre Teslimatında Yenilikler: Teslimat insansız hava araçları (İHA), otonom araçlar ve mikro konsolidasyon merkezleri gibi yenilikçi çözümler, teslimat sürecinin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için kullanılmaktadır. İHA, yani teslimat drone'ları, hava yoluyla yük taşıma ve teslimatlarında kullanılan bir teknolojidir. Drone'lar, trafik sıkışıklığından bağımsız olarak hızlı ve doğrudan teslimat yapma potansiyeline sahiptir. Amazon Prime Air, bu alanda örnek gösterilebilecek bir pilot uygulamadır. 2013 yılından bu yana geliştirilen bu proje, Kaliforniya Loceford bölgesinde ilk pilot uygulamasını gerçekleştirmiştir Amazon Prime Air (2023).
- Yeşil Lojistik: Çevresel sürdürülebilirliğe yönelik artan bir farkındalık, yeşil lojistik yaklaşımının gelişimini teşvik etmiştir. Lojistik operasyonlarında enerji verimliliği, karbon ayak izinin azaltılması, atık yönetimi ve geri dönüşüm gibi çevresel etkilerin azaltılması hedeflenir. Urban Logistics as an on-Demand Service (ULaaDS), çevresel sürdürülebilirlik odaklı yeşil lojistik yaklaşımının bir örneğidir. Bu proje, tüketicilerin ve işletmelerin ihtiyaç anında lojistik hizmetlere erişim sağlamasını hedeflemektedir. ULaaDS, elektrikli veya elektriksiz mikro mobilite araçlarıyla, Avrupa'daki 7 farklı şehirde lojistik hizmetler sunmaktadır. ULaaDS projesi, enerji verimliliği ve karbon ayak izinin azaltılması gibi çevresel etkileri gözeterek lojistik operasyonların gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır ULaaDS (2023).
- Akıllı Lojistik: İletişim ve bilgi teknolojilerinin kullanımıyla lojistik süreçlerin daha verimli ve optimize edilmiş bir şekilde yönetilmesi amaçlanır. Gerçek zamanlı veri analizi, otomatik tanıma teknolojileri, akıllı envanter yönetimi ve tahmin modelleri gibi akıllı lojistik uygulamaları, stok yönetimi, rota planlaması, talep tahmini ve lojistik operasyonların izlenmesi gibi alanlarda iyileştirmeler sağlar.

- Paylaşımlı Taşımacılık Sistemi: Paylaşımlı taşımacılık, kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılmasını hedefleyen bir sistemdir. Bu yaklaşım, taşımacılıkta kullanılan araçların ve altyapının paylaşımını teşvik eder. Araç paylaşımı,

konsolidasyon merkezleri, toplu taşıma ile entegrasyon gibi uygulamalarla verimlilik artırılır ve trafik yoğunluğu azaltılır.

Bu yaklaşımlar, kentsel lojistiğin sürdürülebilirliğini artırmak, trafik problemlerini azaltmak ve hizmet kalitesini yükseltmek, enerji ve kaynak kullanımını optimize etmek, çevresel etkileri azaltmak ve yaşanabilir kentler oluşturmak için önemli adımlardır. Çalışmada, Trabzon ulaşım ana planı kapsamında yayalaştırılan Kahramanmaraş Caddesi'nin kent merkezindeki lojistik etkisi ve diğer sorunları incelenmiş, çözüm önerileri sunulmuştur. Bu bağlamda Trabzon kent merkezi ve yakın bölgelerindeki lojistik hareketlerin analizi yapılmış, bölge firmalarıyla yüz yüze anketler, yük hareket analizleri, imar planları ve ulaşım ana planlarına uygun olarak kentsel lojistik altyapısının geliştirilmesi için çözüm yolları önerilmiştir. Ayrıca, yukarıda açıklanan bileşenlerin hangilerinin uygulanabileceği üzerinde durulmuştur.

2. Literatür Taraması

Kentsel lojistik, şehirlerdeki yüklerin ve hizmetlerin etkin bir şekilde taşınması, depolanması ve dağıtılmasıyla ilgilenen bir lojistik alanıdır. Kentsel alanlarda, nüfusun artması ve ekonomik faaliyetlerin yoğunlaşması ile lojistik faaliyetlerin etkin bir şekilde yürütülmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. 1950'lerde Dünya Nüfusunun %30'u kentlerde yaşamakta iken bu oran günümüzde %55'e ulaşmıştır. 2050 yılında ise kentlerde yaşan nüfusun oranı %68'e çıkması beklenmektedir (World Urbanization Prospects, 2018). Nüfus artışı ve kentleşme trendi, kentlerdeki lojistik faaliyetleri arttırmakta ve kentsel lojistik sistemlerinin daha verimli bir şekilde yönetilmesini gerektirmektedir. Bununla birlikte, kentsel lojistik faaliyetlerinin artması, çevresel etkileri ve enerji tüketimini de artırmakta aynı zamanda kentte yaşayanları olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, kentsel lojistikte sürdürülebilir ve verimli uygulamaların benimsenmesi gerekmektedir.

Kent içi yük taşımacılığı konusu, araştırmacılar tarafından 1970'lerde ele alınmaya başlanmıştır. Bu dönemde yapılan çalışmalar, ticaret ve endüstri faaliyetlerinin son kilometre taşımacılığı üzerinde odaklanarak kent içi yük taşımacılığına ilişkin temel sorunları ele almıştır. Kentsel lojistik ile ilgili ilk araştırmalar da son kilometre taşımacılığını ele almıştır. Watson (1975) yapmış olduğu çalışmada kentsel yük hareketinin ayrıştırılmış bir yaklaşımla incelenmesine odaklanmıştır. Bu çalışma, şehir içi yük taşımacılığının analizini ayrıntılı bir şekilde ele alarak, taşıma süreçlerinin bileşenlerini ve etkileyen faktörleri belirlemeyi amaçlamıştır. Ogden (1978) yapmış olduğu çalışmada ise yük araçlarının şehirler içerisindeki seyahatleri ve yük akışının dağılımını incelemek amacıyla bir çekim modeli oluşturmuştur.

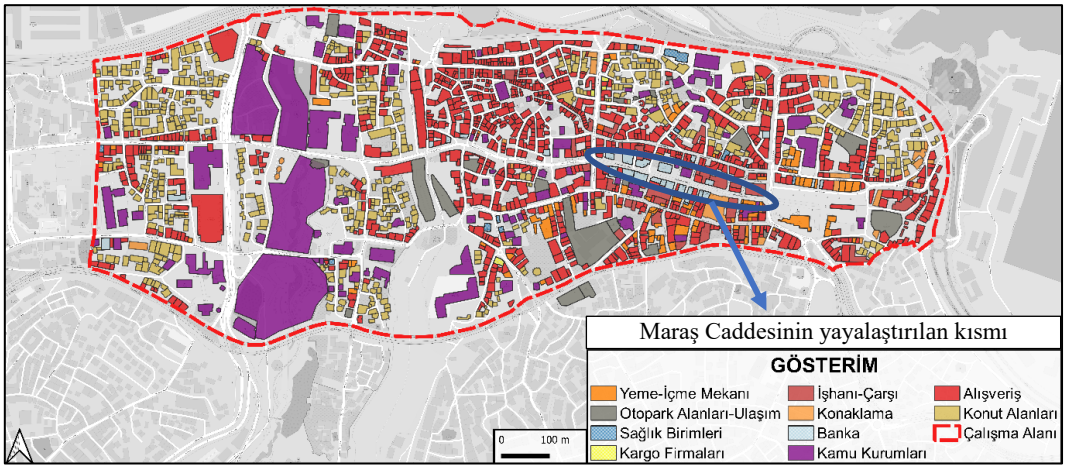
Çalışma, şehir içi ticaretin lojistik akışlarını anlamak ve yönetmek için çekim modeli kullanarak kamyon seyahatlerinin ve yük akışının nasıl dağıldığını araştırmayı amaçlamıştır. "Kent lojistik" terimi ise 1990'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. Ruske W. (1994) yapmış olduğu çalışmada "Kentsel Lojistik" kavramına odaklanmış ve kentsel ticari taşımacılığın yönetimi için işbirlikçi operasyon yönetimi ile ilgili çözümleri ele almıştır. Araştırmasında, kentlerdeki ticari taşımacılığın özelliklerini, zorluklarını ve çözüm önerilerini incelemiştir. 2000'li yıllarında başında ise Tanıguchi ve diğ. (2001) yapmış oldukları çalışmada kent lojistiği için ulaşım ağ modellemesi ve Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) konularına odaklanmıştır. Araştırmasında, kent lojistiği için ağ modellemesi ve AUS'nin önemini vurgulayarak, kent lojistiği operasyonlarının optimize edilmesi ve yönetilmesinde yeni yaklaşımlar sunmuştur. Bu yaklaşımlar, kent lojistiğinin

verimliliğini artırırken, sürdürülebilirlik, maliyet tasarrufu ve çevresel etkilerin azaltılması gibi hedeflere ulaşmada yardımcı olurken, yeni araştırmalarında önünü açmıştır.

3. Örnek Uygulma: Trabzon Kent Merkezi Lojistik Analizi

Trabzon, Türkiye'nin Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan bir şehir olup, tarihi ile doğal güzellikleriyle ünlüdür. 2022 yılında nüfusu 818.023 kişiye ulaşmış, nüfusun %57'si Ortahisar ve Akçabat ilçelerinde yaşamaktadır. Trabzon, Türkiye'nin en yoğun nüfusa sahip 11. ili olarak öne çıkmaktadır. Şehir, 4.664 km²'lik bir alana sahip olup coğrafi olarak engebeli bir yapıya sahiptir. Bu nedenle nüfus büyük ölçüde sahil bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Trabzon, tarihi İpek Yolu üzerinde bulunmasıyla birlikte Doğu Karadeniz Bölgesi'nin lojistik merkezi konumundadır. Trabzon, yaklaşık 39,3 milyar ₺ Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH) ile Doğu Karadeniz Bölgesi'nin en yüksek ikinci GSYH'sini oluşturan önemli bir ekonomik merkezdir.

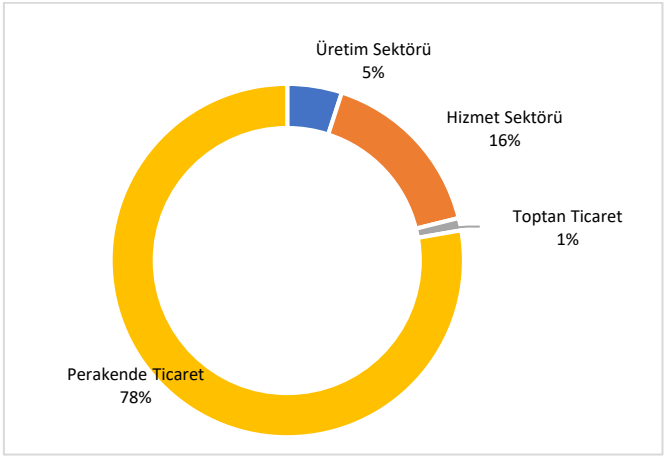
Çalışmada, TUAP kapsamında yayalaştırılan Kahramanmaraş Caddesi'nin kent merkezinde lojistik faaliyetlere etkisi ve diğer lojistik sorunlar tespit edilerek çözüm önerilerine yer verilmiştir. Kahramanmaraş caddesi, Trabzon kent merkezi odağında olup, ticari faaliyet olarak, beş yıldızlı otel, avukatlık büroları, manavlar, konfeksiyoncular ve sarraflar bulunmaktadır. Bu caddenin yaklaşık 400 m'lik uzunluktaki kısmı yayalaştırılmıştır. Yayalaşmadan önceki yaya trafiği yaklaşık 3000 yaya/saat iken yayalaşmadan sonra bu rakam yaklaşık 2 kat artarak 5000-6000 yaya/saat civarına çıkmıştır (TUAP,2022). Şekil 1'de çalışma alanı verilmiştir.



Şekil 1 Çalışma Alanı.

Şekil 1'de görülebileceği üzere, Trabzon'un merkez ilçesi olan Ortahisar ilçesinin tarihi kent merkezi ve yakın çevresini kapsamaktadır. Çalışma alanı, yaklaşık 1 milyon metrekarelik bir alana sahiptir. Bölge, mevcut kent merkezi ve çevresini kapsayarak ticaret alanları ve kamu kurumlarından oluşmaktadır. Bölgede özellikle perakende ve toptan ticaret faaliyetlerinin yoğun olduğu alanlar bulunmaktadır. Ayrıca, çalışma alanında kamusal alanlar ve hizmet ağının da bulunduğu gözlemlenmektedir. Bu sebeple bölge; ticaret, kamu ve hizmet sektörlerinin bir arada bulunduğu, yoğun ve canlı bir alan olarak tanımlanabilir. Çalışma alanının kuzey bölgelerine doğru ilerlendiğinde konut alanları yoğunluk gösterirken, MİA'nını oluşturan bölgede ise konut altı perakende faaliyet alanları yoğunlaşmaktadır.

Bölgedeki firmaların %78'i perakende satış yapmakta olup, yalnızca %1'i toptan satış yapmaktadır. Perakende firmaların çokluğu lojistik ihtiyaçlarını karşılamak için farklı paydaşlarla etkileşim içinde olmalarını gerektirmektedir. Perakende firmalar, tedarikçileri, dağıtım merkezleri, nakliyeciler, depolama hizmetleri sağlayıcıları ve müşteriler gibi birçok paydaşla ilişki içindedir. Diğer taraftan farklı alanlarında faaliyet gösteren perakende firmaların bulunması lojistik ihtiyaçlarını çeşitlendirmekte ve karmaşık hale getirmektedir. Bu durum, lojistik operasyonların planlanması ve yönetimi açısından farklı yaklaşımların uygulanmasını gerektirmektedir. Şekil 1'de bölgedeki firmaların sektörel dağılımı verilmiştir.



Şekil 2 Firmaların sektörel dağılımları.

Toptan satış yapılan bölgeleri çalışma alanın kuzeyinde genellikle ağır taşıt ile erişimin kolay olduğu bölgelerde görülmektedir. Toptan satışların yapıldığı işletmelerde genellikle perakende ticarette yapılmaktadır. Çalışma alanında Kadınlar Hali, Balıkçı Hali ve çarşı bölgelerinin mevcut olduğu bilinmektedir. Kadınlar Hali, kadın giyim ve tekstil ürünlerinin yoğun olarak satıldığı bir ticaret merkezidir. Balıkçı Hali ise taze deniz ürünlerinin alınıp satıldığı bir pazardır. Ayrıca, çarşı bölgeleri ise genel olarak çeşitli ticari faaliyetlerin yoğunlaştığı ve küçük işletmelerin bulunduğu bölgelerdir. Bu bölgelerdeki ticaret faaliyetleri, bölgenin ticari canlılığını artırmakta ve lojistik ihtiyaçları çeşitlendirmektedir. Özellikle Kadınlar Hali, Balıkçı Hali ve çarşı bölgelerindeki perakende firmalarının lojistik ihtiyaçları farklılık gösterebilmekte ve bu da lojistik hareketlerin çeşitlenmesine neden olabilmektedir.

3.1. Metodoloji

Bu çalışmada, yüz yüze anketler ve paydaş çalıştayları yöntemi ile elde edilen veriler yardımıyla şehir içi yük dağıtımıyla ilgili algılarının ve çözüm önerilerinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Anket, bir araştırmacının sistematik bir şekilde bilgi toplamak için kullanabileceği etkili bir yöntem olarak önceden oluşturulmuş veri toplama tekniklerinden biridir (Rosa, 2006). Likert ölçeği kullanılarak, paydaşların kentsel yük taşımacılığıyla ilgili tutumlarını ve isteklerini değerlendirmek amacıyla sabit seçenekli yanıtlar kullanılmıştır (Likert R. 1932).

Anket ve çalıştaylarda, bölgede lojistik faaliyette bulunan paydaşların (perakende ve toptan alış/satış yapan firmalar, kargo taşıyıcıları, sivil toplum kuruluşları vb.) şehir merkezlerindeki yük araçlarının varlığı, kamyon oranı, yük tedarik ve gönderim zamanları ve aralıkları, taşınan yüklerin türleri, araçların boyutu, kirlilik ve trafik sıkışıklığı gibi konular hakkındaki algıları ölçülmeye çalışılmıştır. Anketin çevrimiçi erişimi kolaylaştırmak için bulut sistemler kullanılmış ve çalışma alanı içerisinde rastgele seçilen firmaların yönetici personelleri ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Anketler bölgedeki perakende ve toplan satış yapan firmalar ve kargo taşıyıcıları olmak üzere iki grupta, çalıştaylar ise İdare temsilcileri (il/ilçe belediyeleri), özel sektör temsilcileri, üniversite temsilcileri, meslek odaları ve sivil toplu kuruluşları olmak üzere 4 grupta gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Anketler

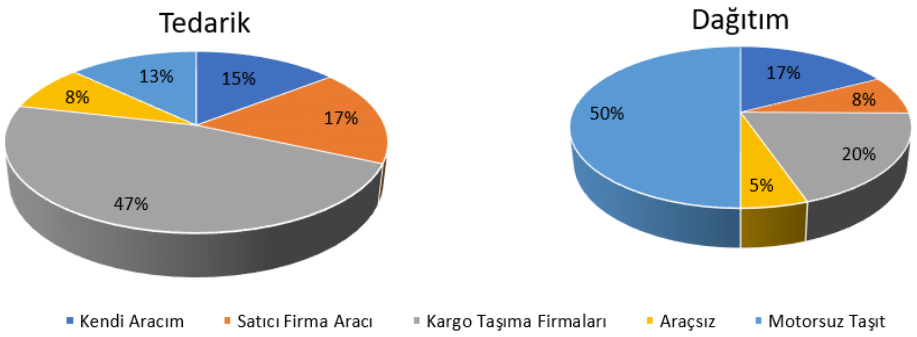
Anketler, çalışma alanı içerinde bulunan yaklaşık 3000 firma içeresinden sektörlere (toptancılar, perakendeciler, üretim, hizmet) ve istatistiksel dağılımlara uygun örneklem büyüklüğü alınarak gerçekleştirilmiştir. İş yeri anketleri, normal dağılıma göre %95 güven aralığında 341 adet işyeri anketi yapılması öngörülmüştür. Ancak, bölgedeki üç adet paralel yaya aksı ve işyeri yoğunluğu göz önünde bulundurularak 622 adet iş yerinde iş yeri görüşme anketleri gerçekleştirilmiştir. Bu anketler Temmuz-Ağustos 2022 ayları arasında yüz yüze gerçekleştirilmiştir. Anketlerde, işletmelerin lojistik faaliyetlerinin nasıl yürütüldüğü, yük lojistiği süreçleri, kullanılan taşıtlar ve lojistik hizmet sağlayıcıları gibi konular hakkında toplam 622 adet iş yeri ile görüşme sağlanarak bilgiler toplanmıştır. Anketlerle, işletmelerin mevcut lojistik uygulamaları, sorunlar ve ihtiyaçlar belirlenmiştir.

İş yeri anketine göre; işletmelerin yaklaşık %77'si perakende ticaretle uğraşmaktadır. İşletmeler ürünlerinin %78'ini toptan tedarik etmektedir. Anket sonuçlarına göre;

- Ankete katılan firmaların %82'sinde 1-5 kişi arasında personel bulunmaktadır. Bu, bölgedeki işletmelerin genellikle küçük ölçekli olduğunu ve sınırlı sayıda çalışanla faaliyet gösterdiklerini göstermektedir.
- Gelen ürünlerin işletmelere tedariği ve ürün dağıtımı sırasında yol kenarı parklanma sıklıkla tercih edilmektedir. Bu durum, trafiğin yoğun olduğu saatlerde sürekli olarak yük taşıtı giriş/çıkışı olduğunu göstermektedir.
- İşletmelerin çoğu ürün alım süreci ve dağıtım süreci için 15 dakikadan az bir süre harcamaktadır.
- Firmaların neredeyse tamamı hafta içi günlerde ve gün içi saatlerde yük gönderim/alımı yapmaktadır.
- Ankete katılan işletmelerin %47'si ürün tedarikinde kargo firmalarını tercih etmektedir. Dağıtım aşamasında işletmeler çoğunlukla motorsuz yük taşıtlarını tercih ettiğini belirtmişlerdir.

Şekil 2

'de firmaların yük tedarik ve dağıtımda seçtikleri taşıma yönetimin dağılımı verilmiştir.



Şekil 3 Firmaların tedarik/dağıtımda seçtikleri taşıma yöntemi.

Bu sonuçlar, bölgedeki işletmelerin lojistik süreçlerini anlamak ve trafiği etkileyen faktörleri değerlendirmek açısından önemli bilgiler sağlamaktadır.

3.1.2. Paydaş Analizi (Çalıştaylar)

Çalıştaylar, bölgedeki lojistik faaliyetlere doğrudan veya dolaylı olarak etkisi olan kamu temsilcileri, üniversite temsilcileri, meslek odaları, sivil toplum kuruluşları ve bölgedeki ticari faaliyetlerde yer alan özel sektör temsilcilerinden oluşan teknik ekipler ile gerçekleştirilmiştir. Çalıştaylar mevcut durumun detaylı bir analizini sağlamak ve uzman ekibin önerilerine katılımları değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu görüşmelerde sektör temsilcilerinin görüşleri, deneyimleri ve beklentileri dikkate alınmıştır. Görüşmeler sonucunda elde edilen veriler, bilimsel analiz ve çalışmaların temelini oluşturacak ve planlama sürecinde değerlendirilmiştir. Planlama süreçlerine yönelik olarak aşağıda verilen ilkeler belirlenmiştir.

- İlke 1: Alanın kültürel ve tarihsel dokusunu korumak
- İlke 2: Çevreye duyarlılık
- İlke 3: Ekonomik faaliyetlerin nitelikli sürdürülmesini sağlamak
- İlke 4: Yaya hareketlilik miktar ve niteliğini artırmak
- İlke 5: Kaynakları verimli kullanmak
- İlke 6: Diğer kurumlar ile eşgüdüm ve iş birliği içinde çalışmak

Belirlenen bu ilkeler değerlendirilmesi için katılımcılar ile Kentsel Lojistik Planlama çalıştayı düzenlenmiş, kent merkezinin mevcut durumunun GZFT (Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar ve Tehditler) analizi ile değerlendirilmesi, temel tasarım ilkelerinin belirlenerek olası çözümlerin tartışılması amaçlanmıştır.

Hazırlanan 6 ilkenin değerlendirilmesi için 5'li Likert ölçeği kullanılmıştır. Katılım düzeyleri 1 en düşük ve 5 en yüksek olmak üzere katılımcılar tarafından puanlandırılmıştır. Tablo 1'de görülebileceği üzere, bulgular incelendiğinde ilkelere katılımların genel olarak oldukça yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek katılım düzeyine sahip ilke olarak "Yaya hareketlilik miktar ve niteliğini artırmak" ilkesi hem genelde hem de tüm sektörler özelinde öne çıkmıştır. Ayrıca "Alanın kültürel ve tarihsel dokusunu korumak" ilkesine de oldukça yüksek bir katılım söz konusu olmuştur. Diğer

taraftan nispeten daha düşük katılım düzeyine sahip ilke ise "Ekonomik faaliyetlerin nitelikli sürdürülmesini sağlamak" ilkesi olmuştur.

Tablo 1 Planlama ilkelerinin değerlendirilmesi.

Sektör	İlke 1	İlke 2	İlke 3	İlke 4	İlke 5	İlke 6
Belediye Birim Temsilcisi	4,71	4,72	4,59	4,83	4,56	4,67
Özel Sektör Temsilcisi	5,00	4,80	4,80	4,80	4,40	5,00
Sivil Toplum Kuruluş Temsilcisi	5,00	5,00	4,25	4,75	4,75	5,00
Üniversite Temsilcisi	4,50	4,50	4,33	4,83	4,33	4,17
Meslek Odası Temsilcisi	5,00	4,33	4,00	5,00	4,33	4,33
Genel Ortalama	**4,84**	**4,67**	**4,39**	**4,84**	**4,47**	**4,63**

Belirlenen amaçlara uygun olarak temel düzenleme yaklaşımlarının değerlendirilmesi ve çalışma alanına yönelik somut çözüm ve proje önerilerinin katılımcılar tarafından geliştirilmesi sağlanmıştır. Katılımcılardan kendilerine dağıtılan "Kentsel Lojistik Temel Düzenleme Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi ve Çalışma Bölgesine Yönelik Somut Önerilerin Geliştirilmesi" formunda yer alan yaklaşımları puanlandırmaları ve varsa ilgili yaklaşım doğrultusundaki proje önerilerini, yazmaları istenmiştir. Hazırlanan 13 temel Düzenleme Yaklaşımı (DY) aşağıda yer almaktadır. Yaklaşımlara katılımlar 5'li Likert ölçeği kullanılmıştır. Katılım düzeyleri 1 en düşük ve 5 en yüksek olmak üzere katılımcılar tarafından puanlandırılmıştır. Tablo 2'Sektörlere Göre Düzenleme Yaklaşımlarına Katılım Düzeyi gösterilmiştir.

- DY 1: Çevre dostu araç kullanımının teşvik edilmesi
- DY 2: Elektrikli şarj ünitelerinin yaygınlaştırılması
- DY 3: Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi (Congestion pricing)
- DY 4: Ağırlık ve hacme göre erişim sağlanması
- DY 5: Otopark ve yolcu terminallerinin yük taşımacılığında kullanımı
- DY 6: Çok amaçlı şerit kullanımı (Multi-use lanes)
- DY 7: Yükleme bölgelerinde online rezervasyon sistemi
- DY 8: Kent dağıtım platformlarının kullanımının teşvik edilmesi
- DY 9: Altyapının yeni teknolojilere uyumlu hale getirilmesi
- DY 10: Kamu-özel işbirliğinin arttırılması
- DY 11: Çok modlu taşımacılığın teşvik edilmesi
- DY 12: Gece teslimatlarının planlanması
- DY 13: Kısıtlı trafik bölgelerinin (Limited traffic zone) planlanması

Tablo 2 Sektörlere Göre Düzenleme Yaklaşımlarına Katılım Düzeyi.

Katılımcılar	DY1	DY2	DY3	DY4	DY5	DY6	DY7	DY8	DY9	DY10	DY11	DY12	DY13
Belediye Birim Temsilcisi	4,72	4,56	3,06	4,56	4,11	3,89	4,61	4,33	4,76	4,47	4,81	4,67	4,65
Özel Sektör Temsilcisi	4,00	4,83	3,33	5,00	4,33	5,00	4,17	4,83	4,67	4,67	5,00	4,83	4,83
Sivil Toplum Kuruluş Temsilcisi	5,00	4,50	3,50	4,25	4,50	4,00	4,33	4,00	4,75	4,50	4,75	5,00	4,50
Üniversite Temsilcisi	4,71	4,43	3,57	4,29	4,29	3,14	4,71	4,29	4,00	3,43	3,57	4,86	4,86
Meslek Odası Temsilcisi	4,50	5,00	3,00	5,00	5,00	3,00	5,00	4,50	5,00	4,50	3,00	5,00	5,00
Ortalama	**4,61**	**4,65**	**3,18**	**4,46**	**4,24**	**3,88**	**4,56**	**4,45**	**4,68**	**4,40**	**4,57**	**4,69**	**4,68**

İlgili değerlendirmeler incelendiğinde düzenleme yaklaşımlarına katılımların genel olarak oldukça yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek katılım düzeyine sahip madde 4,69 katılım notu ile "Gece teslimatlarının planlanması" yaklaşımı hem genelde hem de tüm sektörler özelinde öne çıkmıştır. Buda katılımcıların yaklaşık %94'ünün gece teslimatlarının yapılmasının gerektiğine katıldığını göstermektedir. Aynı zamanda 4,68 katılım notu ile "Altyapının yeni teknolojilere uyumlu hala getirilmesi" ve "Kısıtlı trafik bölgelerinin (Limited traffic zone) planlanması" yaklaşımlarına da oldukça yüksek bir katılım söz konusu olmuştur. Diğer taraftan düşük katılım düzeyine sahip yaklaşım ise 3,18-3,88 katılım notları ile "Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi (Congestion pricing)" ve "Çok amaçlı şerit kullanımı (Multi-use lanes)" yaklaşımları olmuştur.

4. Sonuç ve Değerlendirme

Kentsel lojistiğin başarısı, paydaşların çeşitliliği ve farklı amaçları göz önüne alarak doğru bir şekilde yönetilmesine bağlıdır. Bu çeşitlilik ve farklılıklar, lojistik faaliyetlerin planlanması ve uygulanması sürecinde zorluklar yaratabilir. Bu nedenle, paydaşların ihtiyaçlarını ve isteklerini anlamak ve mevcut araştırma sonuçlarını değerlendirmek, etkili çözümler geliştirmek için önemlidir. Bu süreçte, özellikle nakliyeciler ve perakendeciler gibi doğrudan dahil olan paydaşların öneri ve planlara katılım düzeyi, çözümlerin başarısı veya başarısızlığı üzerinde belirleyici bir rol oynar. Ayrıca, kentsel lojistik faaliyetlerin ekonomik ve finansal açıdan uygulanabilir olması da kritik öneme sahiptir. Doğru planlanmamış veya yetersiz yönetilen lojistik faaliyetleri, maliyetleri artırabilir ve etkinliği azaltabilir. Bu nedenle, tüm paydaşların ihtiyaçlarını dikkate alan, katılımcı bir yaklaşım benimsemek ve çözümleri kapsamlı bir şekilde değerlendirmek gerekmektedir. Böylece, kentsel lojistikteki sorunları ve dışsallıkları azaltmak için daha sürdürülebilir ve verimli çözümler geliştirilebilir.

Araştırma sonuçları, Trabzon kent merkezi için önerilen kentsel lojistik çözümlerinin paydaşlar tarafından genel olarak kabul gördüğünü göstermektedir. Çalışma önerilerinde yer alan gece teslimatlarının planlanması, altyapının yeni teknolojilere uygun hale getirilmesi, mikro konsolidasyon bölgeleri, kargo toplama üniteleri, mobil kargo depolama sistemi, elektrikli yük taşıma araçları ve şarj istasyonları gibi önerilerin katılımcılar tarafından genel kabul gördüğünü ortaya koymaktadır. Bu da kentsel lojistik sistemlerinin başarılı olması için katılımcı bir yaklaşımın ve paydaşların ihtiyaçlarının dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.

Bu çalışmada yer verilen önerilerin hayata geçirilmesi ile kentsel alanlardaki tüm lojistik faaliyetlerin anlık takip edilebileceği bir merkeze ihtiyaç duyulacağı değerlendirilmiştir. Bu merkezin faaliyete geçmesi için teknolojik altyapı yatırımlarına gereksinim duyulacaktır. Örneğin katı atık lojistiğinde konteyner doluluk oranlarının takibi, katı atık toplama araçlarının anlık konum ve doluluk bilgilerinin elde edilmesi ve konsolidasyon merkezlerinde gerçekleşen günlük aktivitelerin takip edilmesi bu gereksinimlerden bazılarıdır. Tüm bu çalışmalar gelecek çalışmaların konusu oflanabilecektir.

Kaynaklar

Amazon Prime Air. 2023. *Amazon Prime Air*. https://www.aboutamazon.com/news/transportation/amazon-prime-air-prepares-for-drone-deliveries.

Likert R. 1932. «A technique for the measurement of attitudes.» *Archives of Psychology.*

Ogden, K.W. 1978. *The distribution of truck trips and commodity flow in urban areas: A gravity model analysis.*

Rosa, M. V. F. P. C., Arnoldi, M. A. G. C.,. 2006. «The interview in qualitative research: Mechanisms for the validation of results.»

Ruske W. 1994. *City logistics-solutions for urban commercial transport by cooperative operations management.*

Tanıguchi E. ve ark. 2001. *City Logistics: Network Modelling And Intellıgent Transport Systems.*

TUAP, 2022. Trabzon Ulaşım Ana planı Final Raporu, Trabzon Büyükşehir Belediyesi, Trabzon

ULaaDS. 2023. *Urban Logistics as an on-Demand Service.* https://ulaads.eu/.

Watson, Peter L. 1975. *Urban Goods Movement: A Disaggregate Approach.*

World Urbanization Prospects,. 2018. United Nations.

Yapay Sinir Ağları Kullanarak Karayolu Yatay Güzergâh Tahmini Çalışması

Doç. Dr. Bekir O. Bartın
Özyeğin Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi
İnşaat Müh. Böl.
Tel: (216) 5649080
bekir.bartin@özyeğin.edu.tr

Arş. Gör.Mojibulrahman Jami
Özyeğin Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi
İnşaat Müh. Böl.
Tel: (216) 5649080
mojibulrahman.jami@ozu.edu.tr

Prof. Kaan Özbay
İnşaat ve Şehir
Mühendisliği Bölümü
New York Üniversitesi
E-posta:
kaan.ozbay@nyu.edu

Öz

Karayolu üzerinde doğrultuyu değiştirmek amacıyla teğetler arasında yer alan yatay kurpların uygun olarak projelendirilmesi, karayolunun emniyeti ve konforuna etki etmektedir. Karayollarında meydana gelen ölümlü kazaların önemli bir kısmının yatay kurplarda meydana geldiği bilinmektedir. Ancak karayolları üzerindeki kurpların nerede olduğu, uzunluğu ve yarıçapı gibi bilgilerin bulunduğu bir veri tabanı çoğunlukla mevcut değildir ya da kolaylıkla erişilebilir değildir. Bu bilgiler, arazi çalışmalarıyla elde edilmekte olup kalabalık bir ekip ve özel ekipman gerektirmekte ve çoğu zaman ölçüm süreci boyunca yolun veya şeridin geçici olarak trafiğe kapatılmasını gerektirmektedir. Bu çalışma, yapay sinir ağı (YSA) yöntemi temelli ve coğrafi bilgi sistemi (CBS) çizgisel yol haritalarından çıkarılan ayrık noktaların koordinat bilgileri kullanarak bir karayolu yatay güzergahı tahmin yaklaşımı sunmaktadır. İki aşamalı bir yaklaşım önerilmiştir: (a) segmentasyon aşaması ve (b) eğri uydurma aşaması. Segmentasyon aşamasında, yol bölümlerinin sayısı ve türü ile bu bölümlerin başlangıç ve bitiş noktaları tahmin edilmektedir. Eğri uydurma adımında ise yarıçap ve uzunluk gibi yol bölümü ile ilgili parametreler tahmin edilmektedir. Segmentasyon aşamasında, geliştirilen YSA modeli ile bir CBS veri noktasının bir yatay kurba mı yoksa bir aliymana mı ait olduğu tahmin edilmiştir. Bu aşamada yapılan tahminlere dayanarak, yol güzergahındaki ayrık noktalar bölümlere (örn. kurp veya aliyman) ayrılmış ve bölümlerin sınırları belirlenmiştir. Ancak YSA modelinin eğitilmesi için önemli miktarda gerçek güzergâh verisi gerekmektedir. Bu nedenle, sentetik yol verileri oluşturulmuş ve YSA modelinin eğitimi bu verilerle yapılmıştır. Eğitilen YSA modelinin tahmin performansı daha sonra bağımsız yol verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme için, bir otoyol ve bir kırsal yolun toplamda 65 kavisli yol bölümü içeren gerçek yatay güzergâh verileri kullanılmıştır. Analiz sonuçları önerilen yaklaşımla tahmin edilen yatay doğrultunun gerçek yol doğrultusuyla yüksek oranda örtüştüğü farklı değerlendirme metrikleri kullanarak gösterilmiştir.

Giriş

Karayollarında meydana gelen ölümlü kazaların önemli bir kısmının yatay kurplarda meydana geldiği bilinmektedir (Günay ve Fişekçioğlu, 2014). Gerekli güvenlik önlemlerinin uygulanması ve bu tür kaza risklerini azaltmak için ilk önce bu yol

bölümlerinin tespit edilmesi ve uzunluk, yarıçap, eğrilik noktası, teğet noktası ve sapma açısı gibi geometrik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Karayolu yatay doğrultu bilgisi, çeşitli güvenlik analizleri için temel teşkil etmekle birlikte, çoğu ulaşım biriminin mevcut veri tabanlarında bulunmadığından elde edilmesi zaman alıcı bir süreçtir (Bíl ve diğ., 2018; Ma ve diğ., 2020). Bu verileri toplamak için kullanılan geleneksel teknikler zaman ve maliyet gerektirmektedir. Bu nedenle, karayollarının yatay doğrultusunun doğru, hızlı ve ekonomik bir şekilde çıkarabilen ve geometrik özelliklerini belirleyebilen yeni bir yaklaşım geliştirmek esastır.

Yatay doğrultu verileri, arazi araştırmaları, Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) yöntemleri, ışık algılama ve menzil belirleme (LiDAR), otomatik görüntü işleme, çevrimiçi harita hizmetleri aracılığıyla manuel çıkarım, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) gibi çeşitli yöntemlerle elde edilebilir (Carlson ve diğ., 2005; Ibraheem ve Janan, 2011).

Geleneksel teknikler olan arazi araştırmaları veya inşa planlarından veri çıkarımı küçük ölçekli güvenlik çalışmaları için en doğru tekniklerdir. Ancak, çalışmanın ölçeği genişlediğinde bu yöntemler pratik olmaktan çıkabilir. Literatürdeki bazı çalışmalar, aynı yola ait yatay doğrultu verilerinin farklı yaklaşımlarla önemli ölçüde farklılık gösterebileceğini ortaya koymuştur (Bartın ve diğ., 2019; Carlson ve diğ., 2005; Findley ve diğ., 2012).

Birçok ulaştırma kurumu ve akademik çalışma, yatay doğrultu verilerini elde etmek için alternatif bir kaynak olarak CBS yol merkez çizgi şekil dosyalarını kullanmaktadır. (Li ve diğ., 2012). CBS yol haritaları, geleneksel tekniklere kıyasla özellikle düşük maliyeti ve yüksek erişilebilirliği gibi avantajlara sahip olduğundan, CBS tabanlı yöntemler yatay doğrultu bilgilerini çıkarmak için uygun görülmektedir. Bu bağlamda, bu makale CBS yol merkez çizgi verilerini kullanan bir yapay sinir ağı (YSA) tabanlı karayolu yatay doğrultusu tahmin yöntemini sunmaktadır. Bu yöntemde, YSA modeli rastgele oluşturulmuş yapay yol yatay doğrultu verileriyle eğitilmiş ve test edilmiştir. Ardından, toplam uzunluğu 47 kilometre olan ve 65 kavisli bölümden oluşan iki yolun gerçek yatay doğrultu verileri kullanılarak bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Önerilen yaklaşımın doğruluğu, beş farklı değerlendirme metriği kullanılarak test edilmiştir. Sonuçlar, gerçek yol bölüm uzunlukları ile önerilen yaklaşım tarafından tahmin edilenler arasında yüksek bir örtüşme doğruluğunu göstermektedir.

Makalenin içeriği şu şekildedir: Bir sonraki bölüm, yatay doğrultu çıkarım yöntemleriyle ilgili yapılan çalışmaların bir özetini sunmaktadır. Takip eden bölümde, yol yatay doğrultusunu tahmin etmek için kullanılan iki aşamalı çözümün ilk kısmı olan Segmentasyon aşamasını sunmaktadır. Bu aşamada bir karayolu segmentinin kurp veya aliyman olup olmadığı CBS haritasından çıkarılan ayrık noktalar kullanarak belirlenmektedir. İkinci aşamada, segmentasyon çıktıları kullanarak Taubin daire interpolasyonu ile kurpların geometrik özellikleri tahmin edilmektedir. Bir sonraki bölümde, önerilen YSA modeli sunulmaktadır. Bu bölüm ayrıca önerilen yaklaşımın gerçek yatay doğrultu verileriyle bağımsız değerlendirmesinde kullanılan metrikleri de sunmaktadır. Takip eden bölümde mevcut yol doğrultu verilerinin tanımı ve analiz sonuçları sunulmuştur. Sonuç ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalar, çalışmanın nihai bölümünde sunulmaktadır.

Literatür Taraması

Daha önce belirtildiği gibi, karayolu yatay doğrultu verilerini elde etmek için birkaç teknik ve yaklaşım kullanılır. Bunlar arasında arazi ölçümleri (Findley ve diğ., 2012), uydu görüntüleri (Soni ve diğ., 2020), GPS verileri (Ai ve Tsai, 2015), AutoCAD dijital harita, LiDAR (Gargoum ve diğ., 2017; Hatta Antah ve diğ., 2021) ve CBS haritaları (Jha ve Schonfeld, 2004) bulunmaktadır.

Uydu görüntülerinden bir yolun geometrik parametrelerini çıkarmak için farklı görüntü işleme teknikleri kullanılması, literatürde birçok çalışmanın konusu olmuştur (Anil ve Natarajan, 2010; Dong ve diğ., 2007; Easa ve diğ., 2007; Keaton ve Brokish, 2003; Zhao ve diğ., 2002). Örneğin, Easa ve diğ. (2007) yatay kurpların belirlenmesi için IKONOS uydu görüntülerini kullanarak yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerine dayalı bir yaklaşık algoritmanın basit, bileşik ve ters kurpların geometrik özelliklerini nasıl çıkarabileceğini göstermiştir. Fakat uydu görüntülerini kullanmanın birkaç dezavantajı bulunmaktadır. İlk olarak, görüntü çözünürlüğü elde edilen parametrelerin doğruluğu büyük ölçüde etkilemektedir. İkinci olarak, bu yöntem, geniş ölçekli bir analiz için çok sayıda yüksek çözünürlüklü görüntünün işlenmesini gerektirmektedir. Bu gereksinim büyük bir hesaplama gücüne ve yüksek maliyete yol açmaktadır.

Geniş ölçekli bir analiz için, GPS rota verilerinin kullanılması daha uygulanabilir gibi görünmektedir. Örneğin, A.B.D.'de ulaştırma kurumları, yüksek çözünürlüklü kameralar, atalet ölçüm üniteleri, lazer tarama, mesafe ölçüm cihazları ve LiDAR teknolojisi gibi farklı teknolojilerle donatılmış ölçüm araçları işleten şirketlerle anlaşma yapmaktadır. Bu araçlar, yol boyunca önemli miktarda koordinat noktası toplamak ve bu veriler ile kurp parametrelerini hesaplamak için kullanılmaktadır (Ai ve Tsai, 2015; Findley ve diğ., 2012; Gargoum ve diğ., 2018; Luo ve diğ., 2018). Ancak, çok sayıda yol üzerinde kullanıldığında geniş çaplı bir veri işlemi gerekmektedir. Örneğin, Harkey ve diğ. (2004), donanımlı bir araçtan toplanan azimut verilerinin bir karayolunun kurp ve aliyman segmentlerini belirlemek için nasıl kullanılabileceğini göstermiştir. Ancak, yatay kurpların yarıçapını ve uzunluğunu doğru bir şekilde ölçmek için veri toplama ve işleme yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Findley ve diğ. (2012), ölçüm aracı, CBS yöntemi, kiriş yöntemi gibi beş farklı yöntemi değerlendirmiş ve her birinin çelişkili sonuçlar çıkardığını bildirmiştir.

LiDAR, karayollarının dikey ve yatay doğrultusunu çıkarmak için kullanılabilecek bir tarama teknolojisidir (Kim ve diğ., 2007). Ancak, diğer yöntemlere göre daha pahalıdır. GPS veri kaydedici, uydu/havadan görüntü ve fotoğraf/video günlüğü için gereken karayolu envanteri veri setini almanın maliyeti sırasıyla kilometre başına $435, $67 ve $45 olarak tahmin edilirken, mobil LiDAR haritalama kilometre başına $568'dir (Jalayer ve diğ., 2014). Ayrıca, ham verilerin işlenmesi zaman alıcı olmasının yanı sıra uzmanlık gerektirmektedir. Wood ve Zhang (2018), ivmeölçerler, manyetik sensörler, jiroskop okumaları ve GPS gibi çeşitli sensörlerle donanımlı akıllı telefonlarla toplanan verileri kullanarak daha az maliyetli bir yöntem önermişlerdir.

Çoğu ulaştırma kurumunun karayolları için CBS veri tabanına sahip olması nedeniyle, CBS tabanlı yöntemler yukarıda sıralanan alternatiflere göre zaman ve maliyet açısından daha ideal gibi görünmektedir. Yol doğrultu verilerini çıkarmak için çeşitli CBS tabanlı yöntemler geliştirilmiştir. Curve Calculator eklentisi (ESRI, 2020) ArcGIS yazılımındaki CBS yol ağlarını kullanarak kurp verisi çıkarma aracıdır. Bu araçla kullanıcılar ilk olarak

başlangıç ve bitiş noktalarını belirleyerek bir kurbu tanımlarlar. Daha sonra kurbun yarıçapı ve uzunluğu Curve Calculator eklentisi tarafından otomatik olarak hesaplanır. Curvature Extension (FDOT, 2010), ArcGIS yazılımı için hazırlanmış başka bir eklenti aracıdır. Bu araç, Florida Ulaştırma Departmanı (FDOT) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde her bir kurp sınırının manuel olarak belirlenip, yarıçapı ve uzunluğu araç tarafından otomatik olarak hesaplanır. Bu araçların doğruluk derecesi, büyük ölçüde kullanıcıların kurp sınırlarını subjektif olarak seçmelerine bağlıdır.

Xu ve Wei (2016), her bir nokta ile bitişik noktalar arasındaki yönsel farkı hesaplayan bir azimut hesaplama yöntemi geliştirmiştir. Yön değişim dağılımına dayanarak 2°'lik bir eşik önermiş ve yönsel değişim bu eşiği aştığında yatay kurp başlangıcı olduğu farz edilmiştir. Benzer şekilde, Li ve diğ. (2012), ardışık noktalar arasındaki yön açılarını hesaplayarak otomatik olarak eğrileri tespit eden, CurveFinder adlı tam otomatik ve network genelinde çalışan bir yöntem sunmuştur. Bu yaklaşımda, yön açısı belirli bir eşiği aştığında eğriler tespit edilmiştir. CBS veri noktalarının konumunda hatalar olabildiği için, yön açılarına dayanan bu tür yöntemler çok kısa ve düz kurpları aliyman segmentler olarak yanlış tanımlayabilmektedir. Bíl ve diğ. (2018), Naive Bayes sınıflandırma yaklaşımını kullanarak otomatik olarak yatay kurp verilerini tanımlamalarını sağlayan, ROCA (Road Curvature Analyst) adlı bir ArcGIS eklenti aracı geliştirmiştir. Bu yöntemde, bir yol noktasının kurba ait olup olmadığına dair karar, sadece yön açısına dayanmamakta, aynı zamanda yol geometrisine dayanan beş değişkene dayanmaktadır. Bunlar: üç noktada kümülatif açı, beş noktada kümülatif yönlü değişim, bir dıştan teğet çemberin yarıçapı, bir teğet çemberin yarıçapı ve ardışık iki nokta arasındaki mesafe. Bu çalışmanın değerlendirme sonuçlarında doğru sınıflandırılmış noktaların oranı %82.4 olarak sunulmuştur. Bartın ve diğ. (2019), CBS noktalarının eğrilik değerlerini kullanarak yatay kurpları tespit etmek için K-ortalama yöntemini kullanmıştır. Bartın ve diğ. (2022), bu yaklaşımı genişleterek, network seviyesinde yolun yatay doğrultu bilgisini otomatik olarak çıkaran, görselleştiren ve analiz eden CurvS adlı web tabanlı bir program geliştirmiştir. Bartın ve diğ. (2021), CBS noktalarının enlem ve boylam değerlerinden türetilen yedi açıklayıcı değişkeni kullanarak CBS yol verisinden çıkarılan bir noktanın hangi segment tipine ait olduğunu tahmin etmek için bir YSA modeli geliştirmiştir.

Yöntem

Literatür taramasından anlaşıldığı üzere CBS bazlı yöntemler yatay kurpları belirlemek için -yön açısı en yaygın olanı olmak üzere- noktaların koordinatlarından türetilen çeşitli değişkenlere dayanmaktadır. Ancak bu tür değişkenlere dayanan yöntemlerin hata eğilimli konum verilerinde (örn. GPS, hatalı GIS haritaları) etkin sonuçlar sağlamayacağı aşikardır. Bu çalışma, Bartın ve diğ. (2021) tarafından geliştirilen YSA tabanlı segmentasyon yöntemine dayanmaktadır.

Bir yolun yatay doğrultusu doğrusal ve dairesel olmak üzere iki tür parçalı sürekli fonksiyonların bileşmesi olarak temsil edilebilir. Doğrultu tahmini problemi özünde sınırlı sayıda nokta ile tahmin edilen fonksiyon bileşimiyle gerçek fonksiyon arasındaki hatanın minimize edilmesi olarak özetlenebilir. Burada noktadan bahsederken CBS haritalarından çıkarılan noktalar ya da GPS noktaları gibi ayrık köşenoktalar kastedilmektedir. Ancak bu minimizasyon problemi, iki fonksiyonel formda bile zor olup yinelemeli bir çözüm gerektirmektedir. Özellikle nokta sayısı büyük olduğunda, problem hesaplama açısından imkânsız olmasa da zaman açısından maliyetli hale gelmektedir.

Problemin karmaşıklığı hangi noktanın hangi fonksiyonel türe ait olduğu bilinirse önemli ölçüde azalacağı açıktır.

Bu çalışmada, daha etkin bir çözüm olması beklenen iki aşamalı bir yöntem kullanılmıştır:

1. Segmentasyon: Bu aşamada yol boyunca kaç segment olduğu ve segment türü tahmin edilir. Bu aşamada YSA modeli kullanılmıştır.

2. Eğri uydurma: Burada parçalı en küçük kareler tahmini ile dairesel fonksiyonların yakıştırması gerçekleştirilir. İkinci adımda tahmini kurp parametrelerini bulmak için cebirsel veya geometrik yöntemler kullanılabilir (Chernov, 2010). Bu çalışmada, bu parametrelerini tahmin etmek için cebirsel bir yöntem olan Taubin daire uydurma yöntemi kullanılmıştır. Taubin yöntemi iterasyon gerektirmediği ve cebirsel olarak çözümü kolay için seçilmiştir.

Önerilen segmentasyon sürecindeki özgün katkı, YSA modelinin kullandığı girdi vektörünün sadeliğidir. Girdi vektörü, bir noktanın ve komşu noktaların enlem ve boylam bilgilerini içerir. Kullanılan YSA modeli yol üzerindeki ayrık noktaların kurp ya da aliyman segmentte olup olmadığını tahmin eder. Bir noktadan önce ve sonra gelen nokta sayısını h ile temsil edelim. Bu durumda, YSA modelinde girdi vektörü, $2h + 1$ noktanın enlem ve boylam bilgilerini içerir ve bu da toplamda $4h + 2$ elemana denk gelmektedir. h 'nin değeri, noktaların mekânsal çözünürlüğüne yani yol yatay hizalamasını oluşturmak için kullanılan nokta sayısına bağlı olarak değişir. Örneğin, yol merkez çizgilerinin CBS poliçizgilerini oluşturmak için kullanılan noktalar, 36.6 ila 56.4 metre arasında değişkenlik göstermektedir (Bartin ve diğ., 2022).

Önerilen YSA modelinin herhangi bir yolun segmentasyonunda uygulanabilmesini sağlamak için, çok sayıda gerçek yol yatay doğrultu verisiyle eğitilmesi gerekmektedir. Ancak, daha önce de belirtildiği gibi, gerçek yatay doğrultu verisi kolay temin edilememektedir. Bu sebeple, bu çalışmada rastgele yatay doğrultu verileri sentetik olarak oluşturulmuş ve bu yollardaki noktalar kullanılarak önerilen YSA modelinin eğitimi gerçekleştirilmiştir. Bu süreçle, önerilen YSA modeli için eğitim veri kümesi olarak kullanılmak üzere toplamda 6.3 milyon yapay nokta oluşturulmuştur. Üretilen veride her noktanın koordinat bilgisi ve segment türü bulunmaktadır. Bir nokta kurp üzerindeyse 1, aliyman üzerindeyse 0 değeriyle etiketlenmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde h'nin farklı değerleriyle yürütülen deneyler, $h = 5$ 'in tipik yol CBS verileri için yeterli olduğunu göstermiştir.

Değerlendirme Metrikleri

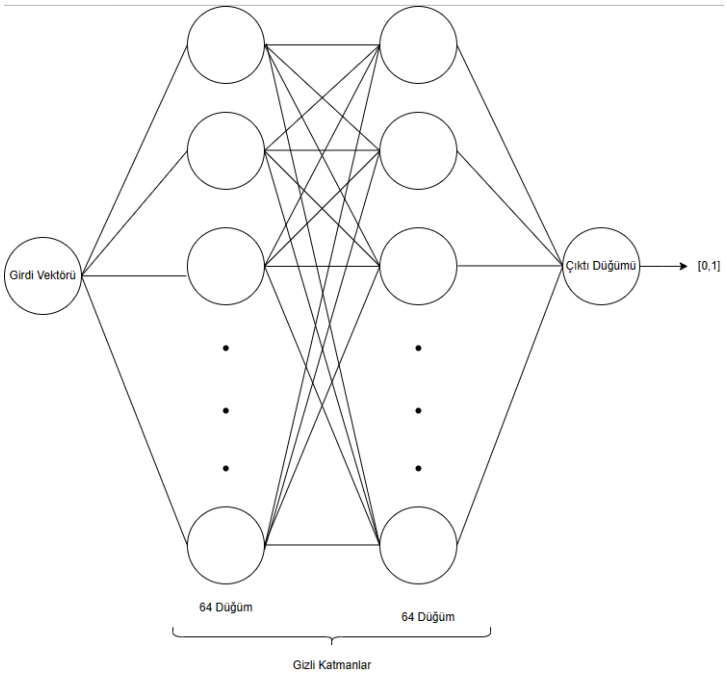
Çalışma kapsamında kullanılan değerlendirme metrikleri gerçek ve tahmin edilen yol yatay doğrultusu arasındaki benzerliği nicelendirmek için kullanılmıştır. Kurp tanımlama oranıdır ilgili literatürde yaygın olarak kullanılan bir metriktir (Li ve diğ., 2012; Rasdorf ve diğ., 2012; Xu ve Wei, 2016). Bu oran M_1olarak ifade edilmiştir. Tahmin edilen kurp bölümlerinin gerçek olanlarla ne kadar doğrulukta örtüştüğünü gösteren bir oran olarak tanımlanabilir. M_2 ise aliyman bölümler için eşdeğer bir metriktir. Ancak M_1 ve M_2 tahmin edilen ve gerçek yol segmentleri arasındaki örtüşmenin olup olmadığını ölçmekte fakat ne kadar örtüştüklerini belirleyememektedir. Bu eksikliği gidermek için, Bartın ve

diğ. (2021) tarafından kullanılan ve M_3 olarak ifade edilen başka bir metrik ise tahmin edilen kurp uzunluklarıyla ile gerçek kurp uzunluklarının örtüşme oranını ölçmek için kullanılmıştır. M_4, aliymanlar için kullanılan benzer bir metriktir. Başka bir değerlendirme ölçütü olan M_5^P, Rasdorf ve diğ. (2012) tarafından kullanılan ve tahmin edilen kurp yarıçaplarının gerçek değerlerin P = 10, 25 ve 50 yüzdesi içinde olma yüzdesini göstermek için kullanılmıştır. Örneğin, $M_5^{0.10}$ = 0.25 ise, tahmin edilen kurp segmentlerinin yarıçaplarının %25'i gerçek eğri yarıçaplarının %10'u içindedir.

YSA Modeli

Yapay yol veri kümesi kullanılarak YSA modelinin eğitimi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan veri kümesinin %80'i eğitim için ve %20'si model hiperparametrelerinin ayarlanması ve modelin test edilmesi için kullanılmıştır.

Python'daki TensorFlow paketinde bulunan Keras kütüphanesi kullanılarak oluşturulan YSA modeli, Şekil 1'de gösterildiği gibi, iki gizli katman içeren ve son düğümü sigmoid fonksiyonu olan 64-64-1 yapısındadır. Model, 230 epok boyunca eğitilmiştir. Eğitim veri kümesi ile %88.9 ve test veri kümesi ile %87.1 doğruluk elde edilmiştir.



Şekil 1 YSA Mimarisi

Test veri kümesindeki %87.1'lik tahmin performansının genel yatay doğrultu tahmin performansını temsil etmediği belirtilmelidir. Yanlış etiketlerin çoğunluğunun %71.4'ü kurp ve aliyman bölümler arasındaki geçiş bölgelerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Test veri kümesine dayanarak, M_3'ün %92.2, M_4'ün %93.04 ve $M_5^{0.10}$'ın 0.95, $M_5^{0.25}$'ın 0.032 ve $M_5^{0.50}$'ın 0.004 olarak hesaplandığı ve kabul edilebilir bir tahmin performansı düzeyi gösterdiği belirlenmiştir.

Analiz Sonuçları

Bu çalışmada kullanılan yöntem iki bağımsız yatay doğrultu verisi kullanarak değerlendirilmiştir: (1) A.B.D.'nin Nevada (NV) eyaletinde yer alan I-80 kodlu doğu istikametinde kilometraj noktası 24.14 ve 41.39 arasında yer alan bir otoyol. Yol (40.639629, -116.332110) noktasıyla (40.709368, -116.157155) noktası arasında yer alıp 17.25 kilometre uzunluktadır, ve (2) 2020 yılında inşa edilen, Herat, Afganistan'da bulunan AH76 kodlu kırsal yol. Yol (34.540521, 62.825146) noktasıyla (34.584663, 63.121224) noktası arasında yer alıp 29.77 kilometre uzunluktadır.

I-80'in yatay doğrultu verisi Xu ve Wei (2016)'nın analiz sonuçlarından derlenmiştir. Bahsi geçen bu çalışmada I-80 yolu üzerindeki kavisli yol bölümlerinin başlangıç ve bitiş kilometrajları ve ilgili yarıçap değerleri tablo halinde verilmiştir. I-80 CBS yol orta çizgi shapefile'ı Nevada DOT web sitesinden indirilmiştir. (NDOT, 2021). AH76'nın yatay doğrultusu ise CAD formatından ArcMap shapefile'a dönüştürülmüş ve analizler için 2.000 nokta olarak dışarıya aktarılmıştır.

Tekrar etmek gerekirse Segmentasyon aşamasında YSA modeli ile her bir noktanın kurp veya aliymana ait olduğu tahmin edilmiş ve ikinci aşama ise bu bilgiler kullanılarak tahmin edilen kurp ve aliymanın geometrik parametreleri (örn. yarıçap, bölüm uzunluğu, kurp merkez noktası, vb.) hesaplanmıştır. İkinci aşamadaki hesaplamalar C programlama kodu kullanılarak yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, geliştirilen YSA modeli I-80 ve AH76 yolundaki noktaların etiketlerinin sırasıyla %93.5 ve %89.4'ünü doğru bir şekilde tahmin etmiştir. Hatalı tahmin edilen etiketlerin neredeyse tamamı bölümlerinin uçlarında olduğu tespit edilmiştir. Benzer bir gözlem Bíl ve diğ. (2018) tarafından da rapor edilmiştir.

Tablo 1, hem gerçek yatay doğrultu bilgilerini hem de önerilen yaklaşım ile tahmin edilenleri I-80 ve AH76 için göstermektedir. Tablo satırları gerçek bölümler ve tahmin edilenlerin aynı hizada olacak şekilde düzenlenmiştir. Tablo 2 değerlendirme metriklerini sunmaktadır. Tablo 2 ayrıca tahmini toplam uzunluğu ve segment türüne göre tespit edilemeyen toplam segment uzunluğunu da içermektedir.

Tablo 1'de görüldüğü gibi, I-80 üzerinde 21 yol bölümü bulunmaktadır ve geliştirilen YSA modeli 23 bölüm tahmin etmiştir. Aradaki fark ise YSA modeli tarafından ek bir kurbun algılanmasından kaynaklıdır. Xu ve Wei (2016), doğu yönlü I-80 üzerinde ek bir eğrinin varlığını bildirmişlerdir, ancak bu eğri, yarıçapı 3,048 metreden (10,000 feet) büyük olduğu için analizlerine dahil edilmemiştir. Ek segmentin (k = 16), bu bildirilen eğriyle örtüştüğü varsayılmıştır. Bu eğrinin konumu (Xu ve Wei, 2016) çalışmasında sunulmadığı için, bu bölüm Tablo 2'deki değerlendirme metriklerini hesaplarken aliyman olarak kabul edilmiştir.

I-80'in gerçek kurp ve aliymanların toplam uzunlukları sırasıyla 6.47 ve 10.78 kilometredir. Tablo 2'de gösterildiği gibi, tüm kurp ve aliymanlar önerilen yaklaşım ile tespit edildiğinden M_1 ve M_2 değerleri 1.0 olarak hesaplanmıştır. Tahmin edilen kurp uzunluklarının gerçek kurp uzunluklarıyla ile örtüşme oranı olan M_3 ise 0.965 olarak bulunmuştur. Toplam tespit edilemeyen kurp uzunluğu 0.23 kilometredir (her kurp için ortalama 22.53 metre). Aliymanlar için eşdeğer metrik, M_4 ise 0.924 olarak bulunmuştur ve toplam tespit edilmeyen aliyman uzunluğu 0.82 kilometredir (her aliyman için

ortalama 74.62 metre). Bu fark, I-80 için nokta çözünürlüğünün ardışık iki nokta arasında ortalama 55.78 metre (0.06 kilometre) olduğu göz önüne alındığında kabul edilebilir bir hata olduğu söylenebilir. Ayrıca, Tablo 2'de M_5 metriği değerlerinden görüleceği gibi yaklaşık tahmin edilen kurp yarıçapları ile gerçek yarıçapların arasındaki fark %10'dan azdır.

AH76 karayolu, 54'ü kurp olmak üzere toplamda 112 bölümden oluşmaktadır. Kırsal bir yol olan AH76, I-80'e kıyasla daha kıvrımlı bir yatay doğrultuya sahiptir. I-80'in kurp uzunluklarının ortalaması 647 metre ve 305 ile 1,317 metre arasında değişirken, AH76'de ortalama 231.7 metre olup uzunlukları ise 75 ile 760 metre arasında değişmektedir. Benzer şekilde, 128.6 ile 3,200 metre arasında değişen ve ortalama 979.63 metre olan I-80 aliymanlara kıyasla, AH76'deki aliymanlar 40 ile 2,057 metre arasında değişmekte ve ortalama 309.4 metre uzunluğa sahiptir. Şekil 2'de gösterildiği gibi, benzer farklılıklar kurp yarıçaplarında da gözlemlenmektedir. Yani, kırsal bir yolun yatay doğrultusu, bir otoyolun yatay doğrultu tahmininden daha zor olduğu söylenebilir. Yine de, analiz sonuçları önerilen yaklaşımın tatmin edici tahmin sonuçları ürettiğini göstermektedir.

Yer kısıtı nedeniyle Tablo 1'de AH76'nın yalnızca ilk 18 segmenti gösterilmiştir, ancak Tablo 2'deki metrikler tüm yol için geçerlidir. Tablo 1'de gösterildiği gibi, önerilen YSA-tabanlı yaklaşımla tahmin edilen gerçek ve tahmin edilen yarıçaplar yakından eşleşmektedir. Tablo 2'deki M_5 metriği, tahmin edilen kurp yarıçaplarının %94.4'ünün, tüm yol boyunca gerçek değerlerin %10'u içinde olduğunu göstermektedir.

AH76'nın kurp ve aliyman segmentlerin gerçek toplam uzunlukları sırasıyla 12.73 ve 17.04 kilometredir. Tablo 2'de gösterildiği gibi, tüm kurp ve aliymanlar tespit edilebildiğinden M_1 ve M_2 1.0 olarak hesaplanmıştır. Tahmin edilen kurp uzunluklarının, gerçek olanlarla örtüşme oranı, M_3, 0.988 olarak hesaplanmış ve toplam tespit edilememiş kurp uzunluğu ise 0.15 kilometredir (her kurp için ortalama 2.63 metre).

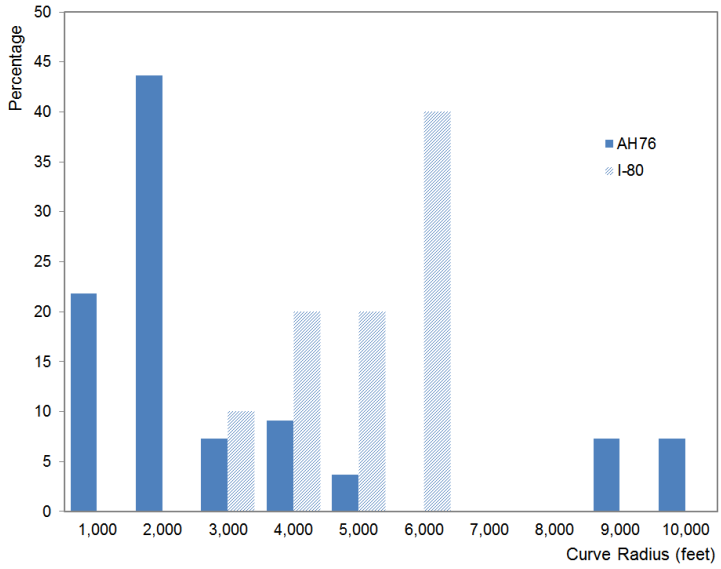
Tablo 1: Gerçek ve tahmini yatay doğrultunun karşılaştırılması

Gerçek Hizalama Verisi				**Tahmin Edilen Hizalama Verisi**			
I-80							
k	SMP	EMP	$R_k(ft.)$	k	$\widehat{SMP}$	$\widehat{EMP}$	$\widehat{R}_{\hat{k}}(ft.)$
1	15.00	15.48	-	1	15.00	15.48	-
2	15.48	15.91	5,500	2	15.48	15.95	5,436
3	15.91	15.99	-	3	15.95	15.98	-
4	15.99	16.38	5,000	4	15.98	16.45	5,116
5	16.38	16.66	-	5	16.45	16.60	-
6	16.66	16.95	3,000	6	16.60	17.01	3,300
7	16.95	17.05	-	7	17.01	17.02	-
8	17.05	17.24	3,078	8	17.02	17.26	3,378
9	17.24	18.75	-	9	17.26	18.77	-
10	18.75	19.19	6,000	10	18.77	19.20	6,004
11	19.19	19.31	-	11	19.20	19.29	-
12	19.31	19.57	3,584	12	19.29	19.56	3,633
13	19.57	20.12	-	13	19.56	20.14	-
14	20.12	20.47	6,000	14	20.14	20.47	5,983
15	20.47	22.46	-	15	20.47	21.01	-
				16	21.01	21.18	9,688
				17	21.18	22.47	-
16	22.46	22.72	5,000	18	22.47	22.72	5,025
17	22.72	23.35	-	19	22.72	23.22	-
18	23.35	24.17	5,108	20	23.22	24.10	5,134
19	24.17	24.54	-	21	24.10	24.48	-
20	24.54	25.13	5,909	22	24.48	25.12	5,930
21	25.13	25.70	-	23	25.12	25.70	-
AH76							
1	4.63	4.80	-	1	4.65	4.79	-
2	4.80	4.87	1,000	2	4.79	4.89	1,062
3	4.87	4.95	-	3	4.89	4.94	-
4	4.95	5.01	1,513	4	4.94	5.03	1,629
5	5.01	5.10	-	5	5.03	5.11	-
6	5.10	5.34	958	6	5.11	5.36	931
7	5.34	5.38	-	7	5.36	5.37	-
8	5.38	5.44	614	8	5.37	5.46	699
9	5.44	5.48	-	9	5.46	5.48	-
10	5.48	5.56	656	10	5.48	5.56	629
11	5.56	5.62	-	11	5.56	5.62	-
12	5.62	5.69	1,832	12	5.62	5.71	1,919
13	5.69	5.78	-	13	5.71	5.78	-
14	5.78	5.91	457	14	5.78	5.92	450
15	5.91	6.70	-	15	5.92	6.70	-
16	6.70	6.90	9,843	16	6.70	6.94	10,121
17	6.90	6.96	-	17	6.94	6.96	-
18	6.96	7.14	3,303	18	6.96	7.14	3,302

Aliymanlar için karşılık gelen ölçüt, M_4, 0.871 ve toplam tespit edilmemiş aliyman uzunluğu ise 2.19 kilometre olarak hesaplanmıştır (her aliyman için ortalama 39.08 metre). AH76 için nokta çözünürlüğü ardışık iki nokta arasında ortalama 14.87 metre olduğu için bu hata paylarının kabul edilebilir olduğu söylenebilir.

Tablo 2: Seçilen iki yol için bulunan değerlendirme metrikleri

Metrikler	**I-80**	**AH76**
M_1	1.0	1.0
M_2	1.0	1.0
M_3	0.965	0.988
M_4	0.924	0.871
${M_5}^{0.1}$	1.0	0.944
${M_5}^{0.25}$	1.0	0.981
${M_5}^{0.5}$	1.0	1.0
Toplam kurp uzunluğu (km)	7.06	14.77
Toplam aliyman uzunluğu (km)	10.18	15.00
Algılanmayan kurp uzunluğu (km)	0.23	0.15
Algılanmayan aliyman uzunluğu (km)	0.82	2.19



Şekil 2 Kurp yarıçaplarının karşılaştırılması

Sonuç

Karayolu yatay doğrultusunun CBS ve GPS gibi ayrık yol veri noktaları kullanarak tahmin edilmesi, kurp ve aliyman sayısının ve bunların başlangıç ve bitiş noktalarının önceden bilinmediği için karmaşık bir problemdir. Bu çalışmada segmentasyon ve eğri uydurma adımı olmak üzere iki aşamalı bir yaklaşım önerilmiştir. Segmentasyon aşaması, segment sayısını, türünü ve her bir segmentin başlangıç ve bitiş noktalarını tahmin ederken, eğri uydurma aşaması, Taubin metodu kullanarak segmentle ilgili özellikleri (örneğin yarıçap ve uzunluk) tahmin etmektedir. Segmentasyon adımında YSA modeli yaklaşımı kullanılmıştır. Önerilen YSA modeli yol üzerindeki herhangi bir ayrık noktanın kurp ya da aliymana ait olduğunu belirlemek ve böylece segment sayısını, segment türünü ve her bir segmentin başlangıç ve bitiş noktalarını tahmin etmek için kullanılmıştır. Önerilen segmentasyon sürecindeki özgün değer ise, YSA modeline gereken girdi vektörünün sadeliği olup, girdi vektörü sadece noktanın ve komşu noktaların koordinatlarını içermektedir. Bu, literatürde daha önce yapıldığı gibi (Bíl ve diğ., 2018; Li ve diğ., 2012; Xu ve Wei, 2016) yön açısı ve eğrilik gibi açıklayıcı değişkenlere dayanmamaktadır. Ancak, modelin sadece koordinatları kullanarak noktaların doğru bir şekilde etiketleyebilmesi için önemli miktarda veri ile eğitilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, C programlama kodu kullanılarak rastgele oluşturulan yapay yatay doğrultu verileri üretilmiştir. Bu yöntemle çoğaltılan yapay yollardan alınan noktalar ve etiketleri (yani kurp ya da aliyman) önerilen YSA modeli eğitilmiştir. Önerilen YSA modeli bir otoyol (I-80) ve bir kırsal yol (AH76) olmak üzere iki yolun CBS verileri kullanılarak bağımsız olarak test edilmiştir. Bu yolların toplam uzunluğu 47 kilometredir ve 65 kurp içermektedir. Önerilen yaklaşımın doğruluğu, beş farklı değerlendirme ölçütü kullanılarak test edilmiştir.

Analiz sonuçları kısaca şu şekilde özetlenebilir.

- Geliştirilen YSA modeli I-80 ve AH76 yolundaki noktaların etiketlerinin sırasıyla %93.5 ve %89.4'ünü doğru bir şekilde tahmin etmiştir.
- I-80 otoyolu için tahmin edilen kurp uzunluklarının gerçek kurp uzunluklarıyla ile örtüşme oranı olan %96.5'tir. Toplam tespit edilemeyen kurp uzunluğu 0.23 kilometredir (her kurp için ortalama 22.53 metre). Aliymanlar ise bu oran %92.4'dür. Toplam tespit edilmeyen aliyman uzunluğu 0.82 kilometredir (her aliyman için ortalama 74.62 metre). Ayrıca, tahmin edilen kurp yarıçapları ile gerçek yarıçapların arasındaki fark %10'dan azdır.
- AH76 kırsal yolu için tahmin edilen kurp uzunluklarının, gerçek olanlarla örtüşme oranı %98.8'dir. Toplam tespit edilememiş kurp uzunluğu ise 0.15 kilometredir (her kurp için ortalama 2.63 metre). Aliymanlar için bu oran %87.1'dir ve toplam tespit edilmemiş aliyman uzunluğu ise 2.19 kilometre olarak hesaplanmıştır (her aliyman için ortalama 39.08 metre). Tahmin edilen kurp yarıçaplarının %94.4'ünün, tüm yol boyunca gerçek değerlerin %10'u içindedir.

Bu çalışmada kullanılan yöntemin iki mevcut eksikliğine gelecek çalışmalarda odaklanacaktır. İlk eksiklik, önerilen çözümün segmentasyon aşamasındadır. YSA modelinin çıktısı, bir noktanın hangi tür segmente ait olduğunu belirleyen ikili bir değerdir. Başka bir deyişle, kurp segmentlerin etiketi için 1, aliyman için 0 değeri kullanılmaktadır. İki kurp arasında kısa bir aliyman varsa ters yatay kurpları tespit edebilir, ancak böyle bir ayırıcı aliyman segmenti olmadan ters veya bileşik kurpları tespit edememektedir. Bunun için çok çıktılı bir YSA modeline ihtiyaç vardır. Bir sonraki çalışma, ardışık ters kurplar ve bileşik kurplar için ayrı etiketlerle sentetik veri kullanarak

çok çıktılı bir YSA modelinin eğitimini içerecektir. İkinci eksiklik, eğri uydurma aşamasındadır; burada her segment, diğer segmentlerden bağımsız olarak ve segmentler arasındaki düzgünlük ve süreklilik kısıtlamalarını göz ardı ederek hesaplanmıştır. Bu çalışmanın devamında bu iki kısıtlama altında eğri uydurma için global minimum çözüm bulmak amacıyla Gauss-Newton veya Levenberg-Marquardt algoritmasını kullanılacaktır.

Kaynaklar

AASHTO. (2011). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th edition. Washington, D.C.

Ai, C., ve Tsai, Y. (2015). Automatic horizontal curve identification and measurement method using GPS data. Journal of Transportation Engineering, 141(2). https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000740

Anil, P. N., ve Natarajan, S. (2010). Automatic Road Extraction from High Resolution Imagery Based On Statistical Region Merging and Skeletoniz. In *International Journal of Engineering Science and Technology* (Vol. 2, Issue 3).

Bartın, B., Demiroluk, S., Ozbay, K., ve Jami, M. (2022). Automatic Identification of Roadway Horizontal Alignment Information Using Geographic Information System Data: CurvS Tool. *Transportation Research Record*, *2676*(1), 532–543. https://doi.org/10.1177/03611981211036364

Bartın, B., Jami, M., ve Ozbay, K. (2021). Estimating Roadway Horizontal Alignment using Artificial Neural Network. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, *2021-September*, 2245–2250. https://doi.org/10.1109/ITSC48978.2021.9565062

Bartın, B., Ozbay, K., ve Xu, C. (2019). Extracting Horizontal Curvature Data from GIS Maps: Clustering Method. *Transportation Research Record*, *2673(11)*, 264–275. https://doi.org/10.1177/0361198119850789

Bíl, M., Andrášik, R., Sedoník, J., ve Cícha, V. (2018). ROCA – An ArcGIS toolbox for road alignment identification and horizontal curve radii computation. *PLoS ONE*, *13*(12). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208407

Carlson, P. J., Burris, M., Black, K., ve Rose, E. R. (2005). Comparison of Radius-Estimating Techniques for Horizontal Curves. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *1918*(1), 76–83. https://doi.org/10.1177/0361198105191800110

Chernov, N. (2010). *Circular and linear regression : fitting circles and lines by least squares*. 286.

Dong, H., Easa, S. M., ve Li, J. (2007). Approximate Extraction of Spiralled Horizontal Curves from Satellite Imagery. *Journal of Surveying Engineering*, *133*(1), 36–40. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2007)133:1(36)

Easa, S. M., Dong, H., ve Li, J. (2007). Use of Satellite Imagery for Establishing Road Horizontal Alignments. *Journal of Surveying Engineering*, *133*(1), 29–35. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2007)133:1(29)

ESRI. (2020). *ArcGIS Desktop. Environmental Systems Research Website*. Https://Www.Esri.Com/En-Us/Arcgis/Products/Arcgis-Desktop/. [Erişim tarihi 18 Temmuz 2022].

FDOT. (2010). *Geographic Information System (GIS): Curvature Extension for ArcMap 9. Transportation Statistics Office, Tallahassee, FL, 2010.*

FHWA. (2019). *Horizontal Curve Safety.* https://Safety.Fhwa.Dot.Gov/Roadway_dept/Countermeasures/Horicurves/. [Erişim tarihi 7 Temmuz 2022].

Findley, D. J., Hummer, J. E., Rasdorf, W., ve Laton, B. T. (2012). Collecting Horizontal Curve Data: Mobile Asset Vehicles and Other Techniques. *Journal of Infrastructure Systems*, *19*(1), 74–84. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000107

Gargoum, S., El-Basyouny, K., ve Sabbagh, J. (2018). Automated Extraction of Horizontal Curve Attributes using LiDAR Data. *Transportation Research Record*, *2672*(39), 98–106. https://doi.org/10.1177/0361198118758685

Gargoum, S., El-Basyouny, K., Sabbagh, J., ve Froese, K. (2017). Automated highway sign extraction using lidar data. *Transportation Research Record*, *2643*, 1–8. https://doi.org/10.3141/2643-01

Günay, B. ve Fişekçioğlu, Y. (2014) Yatay Kurp Tahkiklerinde Ball-bank Tekniğinin Kullanımı İMO Teknik Dergi, 2015 7167-7182, Yazı 438

Harkey, D. L., Yi, C., ve Feaganes, J. (2004). Evaluation and validation of automated in-vehicle data collection system for developing roadway alignments. *Transportation Research Record*, *1897*, 164–172. https://doi.org/10.3141/1897-21

Hatta Antah, F., Khoiry, M. A., Abdul Maulud, K. N., ve Abdullah, A. (2021). Perceived usefulness of airborne lidar technology in road design and management: A review. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(21), 11773. https://doi.org/10.3390/SU132111773

Ibraheem, A. Th., ve Janan, F. (2011). Developing a Computer Program for the Methods of Radius-Estimating Techniques for Horizontal Curves. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, *4*(2), 276–287. https://doi.org/10.3844/AJEASSP.2011.276.287

Jalayer, M., Zhou, H., Gong, J., Hu, S., ve Grinter, M. (2014). A Comprehensive Assessment of Highway Inventory Data Collection Methods. *Journal of the Transportation Research Forum*, *Vol.53*, 73–92. https://doi.org/10.5399/OSU/JTRF.53.2.4219

Jha, M. K., ve Schonfeld, P. (2004). A highway alignment optimization model using geographic information systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *38*(6), 455–481. https://doi.org/10.1016/J.TRA.2004.04.001

Keaton, T., ve Brokish, J. (2003). Evolving roads in IKONOS multispectral imagery. *IEEE International Conference on Image Processing*, *3*, 1001–1004. https://doi.org/10.1109/ICIP.2003.1247416

Kim, J.-S., Lee, J.-C., Kang, I.-J., Cha, S.-Y., Choi, H., ve Lee, T.-G. (2007). Extraction of Geometric Information on Highway Using Terrestrial Laser ScYSAing Technology. *Proceedings of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography Conference*, 379–382.

Li, Z., Chitturi, M., Bill, A., ve Noyce, D. (2012). Automated identification and extraction of horizontal curve information from geographic information system roadway maps. *Transportation Research Record*, *2291*, 80–92. https://doi.org/10.3141/2291-10

Luo, W., Li, L., ve Wang, K. C. P. (2018). Automatic Horizontal Curve Identification and Measurement Using Mobile Mapping System. *Journal of Surveying Engineering*, *144*(4). https://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000257

Ma, Q., Yang, H., Wang, Z., Xie, K., ve Yang, D. (2020). Modeling crash risk of horizontal curves using large-scale auto-extracted roadway geometry data. *Accident Analysis and Prevention*, *144*. https://doi.org/10.1016/J.AAP.2020.105669

NDOT. (2021). *Nevada Department of Transportation*. Website. https://www.Nevadadot.Com/Doing-Business/about-Ndot/Ndotdivisions/Engineering/Location/Geospatial-Data. [Erişim tarihi 10 Temmuz 2022].

Rasdorf, W., Findley, D. J., Zegeer, C. v., Sundstrom, C. A., ve Hummer, J. E. (2012). Evaluation of GIS Applications for Horizontal Curve Data Collection. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *26*(2), 191–203. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000127

Soni, P. K., Rajpal, N., ve Mehta, R. (2020). Semiautomatic Road Extraction Framework Based on Shape Features and LS-SVM from High-Resolution Images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *48*(3), 513–524. https://doi.org/10.1007/S12524-019-01077-4

Torbic, D. J., Harwood, D. W., Gilmore, D. K., Pfefer, R., Neuman, T. R., Slack, K. L., ve Hardy, K. K. (2004). Guidance for implementation of the AASHTO strategic highway safety plan. In *Volume 7: A guide for reducing collisions on horizontal curves (No. Project G17-18 (3) FY'00)*.

Wood, J. S., ve Zhang, S. (2018). Identification and Calculation of Horizontal Curves for Low-Volume Roadways Using Smartphone Sensors. *Transportation Research Record*, *2672*(39), 1–10. https://doi.org/10.1177/0361198118759005

Xu, H., ve Wei, D. (2016). Improved identification and calculation of horizontal curves with geographic information system road layers. *Transportation Research Record*, *2595*, 50–58. https://doi.org/10.3141/2595-06

Zhao, H., Kumagai, J., Nakagawa, M., ve Shibasaki, R. (2002). Semi-automatic road extraction from high-resolution satellite image. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, *Vol.34*((Part3B)), 406–411.

Karayolu Lojistik Araçların Seyahat Süresi Dağılım Karakteristiklerinin Modellenmesi

Kemal Yasin GÖKA[1], Halim CEYLAN[2], Soner HALDENBİLEN[3]

[1, 2, 3] Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Özet

Günümüzde geleneksel lojistik taşıtlarının trafik etkisi, kentlerimizin en önemli sorunları arasında gelmektedir. Özellikle bu faaliyetlerde bulunan ticari taşıtların kentiçlerindeki dağıtım faaliyetlerinin kent trafiğini ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Ticari taşıtlardan kaynaklanan olumsuz etkilerin ortadan kaldırılabilmesi veya azaltılabilmesi için planlama ve denetime ihtiyaç duyulmaktadır. Kentsel boyuttaki bir planlama aşamasında genellikle geleneksel hale gelmiş Dört Aşamalı Talep Tahmin modeli uygulanmaktadır. Modelin ilk aşaması olan Seyahat Üretimi, önceden belirlenen trafik bölgelerinden ne kadar seyahat üretildiğini, ikinci aşama olan Seyahat Dağılımı, bu bölgeler arasındaki seyahatlerin miktarını, üçüncü aşama olan Türel Ayrım, bölgeler arasındaki seyahatlerin hangi taşıt türleri ile gerçekleştiğini ve son aşama olan Trafik Atama, seyahatlerin hangi rotalarda meydana geldiğini bulmayı amaçlar. Model, ortaya çıktığı yıllardan itibaren çoğunlukla Ulaşım Ana Planı olarak uygulansa da, günümüze yaklaştıkça lojistik merkezlerin ve çok modlu taşımacılığın önemi arttığından beri Lojistik Ana Planı olarak da kurgulanmaktadır. Bu çalışmada temel amaç klasik Dört Aşamalı Talep Tahmin Modeli'nin ikinci aşaması olan Seyahat Dağılımı direnim parametrelerinin karayolu lojistik taşıtları özelinde modellenmesidir. Çalışma kapsamında Kamyonet, Kamyon ve Treyler taşıt türlerinin mesafeye bağlı seyahat dağılım oranlarının araştırılması amacıyla Türkiye'de İzmir kentinde uygulanan Yol Kenarı Sürücü Anketleri'nden faydalanılmıştır. Anket sonuçları İzmir Sürdürülebilir Kentsel Lojistik Planı'ndan (2018) temin edilmiştir. Anketlerden elde edilen veriler ışığında seyahat süresini temsil eden 22 adet fayda fonksiyonu kalibre edilmiş ve lojistik taşıtlar için en uygun fonksiyon, talep tahmin modellerinde kullanılmak üzere gelecek çalışmalar için önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler:Lojistik, Seyahat Dağılımı, Yol Kenarı Anketi, Sezgisel Optimizasyon

Giriş

Seyahat Dağılımı teorik anlamda seyahat mesafesi, arazi kullanımı, seyahat süresi vb. unsurları içeren, alternatif varış noktaları arasından bir seçim yapma ilkesine dayanır. Günümüzde talep tahmin modelleri çatısı altında toplanan Seyahat Dağılımı, 19. Yüzyıldan beri (Ravenstein, 1885; Reilly, 1931; Stouffer, 1940; Zipf, 1949; Voorhees, 1955) tekil anlamda çalışılagelmiştir. Seyahat dağılımı ve bu sürede gelişen diğer ulaşım modellerinin günümüzdekine benzer hale gelmesi ile bu teoriler Chicago Bölgesi Ulaşım Çalışması'nda (Chicago Area Transportation Study (CATS)) tek bir çatıda toplanabilmiştir. Bu dönemde (1960) CATS tarafından arazi kullanım modeli ile birlikte seyahat üretimi, dağıtımı ve sapması için modeller geliştiren çalışma, 1960'lardaki mevzuat ile ABD'de kurumsallaştırılmıştır (Mladenovic ve Trifunovic 2014). Ulaşım alanında gerçekleşen bu model ve kurumsal gelişmelerin bütünüyle lojistik alanında yansıması bir süre sonra gerçekleşmiştir. Çünkü lojistik alanındaki çalışmalar ana aks trafiğinin tahmin edilmesi (Morton 1969) veya ulaşım sistemi elastikiyetleri (Miklius, Cassavant ve Garrod 1976) gibi tekil konularda yoğunlaşmaktaydı. Ancak Beyaz Kağıt'ın yayınlanması (1977) ile beraber lojistik alanında daha çevreci ve sağlıklı bütünsel planlamalar da gelişmeye başlamıştır. Ayrıca dünyadaki ekonomik genişleme, arazi kullanımlarının yaygın bir alana dağılması, mikro işletmelerin, bireysel uzak alışverişin artması vb. gibi unsurlar da sonuç olarak lojistik planlamasının önünü açmıştır. Langevin ve Mbaraga (1996) bir lojistik sistemin unsurlarını "tedarikçiler, üretim tesisleri, nakliyat ve teslim noktası" şeklinde tanımlamıştır. Bu yönetim süreçleri arasında uygulanan talep modelleri ise ana hatları ile "yük tabanlı ve araç tabanlı" modeller olarak değişmektedir. Eğer lojistik süreçlerin veya talebin trafik ve ekonomi ile bağdaştırılması isteniyorsa her iki model de birbirlerine dönüşüme ihtiyaç duymaktadır. Bununla beraber süreçlerin ayrık modeller şeklinde bir arada bulunduğu çalışmalar da mevcuttur (Nuzzolo ve Comi 2014). Jlassi vd. (2018) yaptıkları literatür çalışmasında günümüzde kentsel lojistik çözümleri için öne çıkan iki yöntemin Ajan Bazlı Simülasyon ve Ayrık Olay Simülasyonu olduğunu belirtmiştir. Ancak yine de kentsel yük taşımacılığının yolcu taşımacılığına

kıyasla önemli bir modelleme boşluğu oluşturduğunu belirten Toilier vd. (2018) FRETURB yazılımını kullanarak Fransa örneği üzerinden 20 yıl önceki anketlerle kalibrasyonu gerçekleştirilen yük operasyonlarının üretiminden dağıtımına kadar olan süreci 20 yıl sonra yapılan anketlerle karşılaştırmışlar ve çok düşük bir oranda sapma ile karşılaşmışlardır. Bu sonuç kentsel yük modellerinin ve model içerisindeki yapıların güvenilirlikle kullanılabileceği anlamını taşımaktadır. Günümüzde ise talep odaklı çalışmaların yanında kentsel lojistikteki yeni teknolojiler de yine modeller aracılığı ile değerlendirilebilmektedir. Melo ve Baptista (2016) lojistik araçların mesafe etkilerini gözeterek geleneksel kamyonetlerin yerine Elektrikli Kargo Bisikletlerinin kullanılması durumunda çeşitli nakliye süreçlerinde emisyon ve toplam maliyeti hesaplayarak yeterli uygulama stratejileri ile beraber bu araçların geleneksel araçlar yerine kullanılabileceğinden bahsetmiştir. Yine yenilikçi bir yaklaşım olan kitle-lojistiğinde de mesafe, seyahat süresi, nakliyat süreçleri süresi önemli bir rol oynamaktadır (Le ve Ukkusuri, 2019). Vural ve Aktepe (2022) ise bazı yenilikçi lojistik yaklaşımların neden başarısız olduğunu Tedarik Zinciri ve Pazar Koşulları başlıklarında değerlendirmiştir.

Kentsel lojistikte seyahat süresi ve mesafe tüm sistemleri etkileyen bir parametre olmaktadır. Seyahat süresi, mesafesi ve nakliye süreçlerine bağlı seyahat maliyeti ise kentsel lojistiğin çeşitli çalışma alanlarında farklı yöntemlerle kullanılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında İzmir genelinde uygulanan anketler (İZBB, 2018) sonucunda gelecekteki planlama çalışmalarına ışık tutması amacıyla lojistik araçların seyahat süresi dağılımları analiz edilmiş ve çeşitli modeller önerilmiştir.

Lojitik Taşıtların Seyahat Süresi Dağılımlarının Modellenmesi: Örnek Uygulama

Uygulamanın çalışma alanı güncel bir ulaşım ve lojistik ana planı bulunan, havayolu, demiryolu, denizyolu ve karayolu taşımacılığını aktif olarak kullanan İzmir olmuştur. Bunun yanında aşağıda özellikleri verilen kent, her türlü ekonomik sektör ve taşımacılık açısından uygun bir yerdir. İzmir, kıyı Ege'de, kuzeyde Madra Dağları, güneyde Kuşadası Körfezi, batıda Çeşme Yarımadası'nın Tekne Burnu, doğuda ise Aydı ve Manisa il sınırlarıyla, batıda ise kendi adıyla anılan körfezle çevrilidir. İzmir 4 milyon 425 bin 789 kişilik nüfusu ile İstanbul ve Ankara'nın ardından Türkiye'nin en büyük üçüncü kentidir. İlin nüfusu Türkiye nüfusunun %5,22'sini oluşturmaktadır. İzmir'in 30 ilçesi bulunmaktadır (T. C. İzmir Valiliği 2023).

İzmir'de 3 Tarıma Dayalı İhtisas OSB, 1 Plastik İhtisas, 1 Kimya İhtisas olmak üzere toplamda 17 Organize Sanayi Bölgesi bulunmaktadır. OSB'lerden 13'ü işletme, 2'si planlama, 2'si ise kamulaştırma durumundadır. İzmir 3 serbest bölgesi, 4 teknoloji geliştirme bölgesi bulunmaktadır. İzmir'de 2020 yılı itibariyle istihdam edilenlerin % 58,4'ü hizmet, % 33,4'ü sanayi, % 8,2'si ise tarım sektöründe çalışmaktadır. Gümrük kapılarından yapılan ihracat verilerine göre İzmir, 2021 yılında 30,3 milyar dolar ihracat gerçekleştirmiştir. Ülkemizin 2021 yılında 225,3 milyar dolar ihracat gerçekleştirdiği göz önünde bulundurulduğunda, gümrük verilerine göre İzmir, Türkiye ihracatına % 13,4 katkı koymuştur. Gümrük verilerine göre 53 milyar dolar dış ticaret hacmi yaratılmıştır. Genel ticaret sistemi verilerine göre, İzmir 2021 yılında 14,8 milyar dolar değerinde ihracat gerçekleştirmiştir. İzmir, bu rakamla Türkiye genelinde en çok ihracat gerçekleştiren iller sıralamasında İstanbul'dan sonra ikinci sırada yer almıştır. İzmir hem gümrük verilerine hem de genel ticaret sistemi verilerine göre dış ticaret fazlası veren bir kent konumundadır. Ro-ro gemileri ile İzmir'de 2020 yılında taşınan toplam araç sayısı 58.600 olup, Türkiye toplamı olan 504.752 aracın % 11,6'sına denk gelmektedir (İZTO, 2023). Tablo 1'de İzmir Motorlu Kara Taşıtı Sayısı verilmiştir.

Tablo 1. İzmir Motorlu Kara Taşıtı Sayısı (TÜİK 2023)

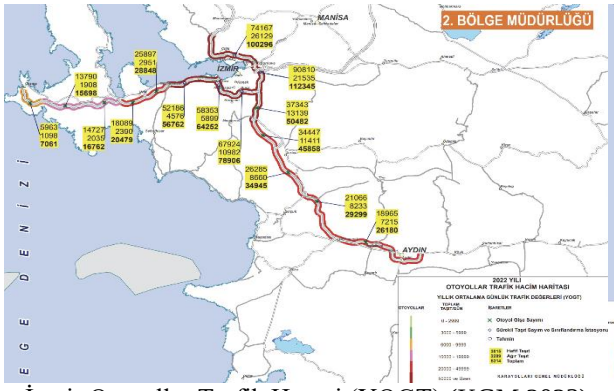
Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyon	Kamyon	Motorsiklet	Özel Araç	Traktör
897.864	17.825	14.595	269.702	46.493	323.500	5.345	75.322



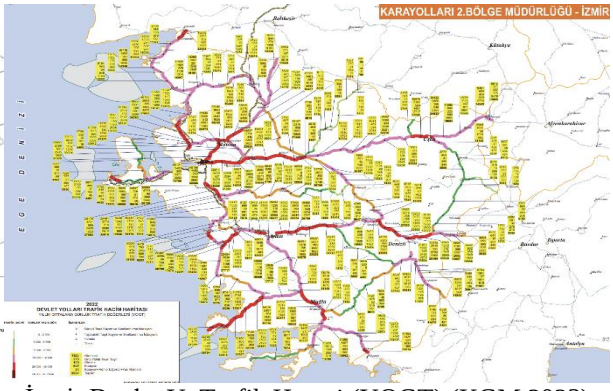
İzmir Fiziki Haritası (HGM 2023)



İzmir Ana Ulaşım Bağlantıları (HGM 2023)



İzmir Otoyollar Trafik Hacmi (YOGT) (KGM 2023)

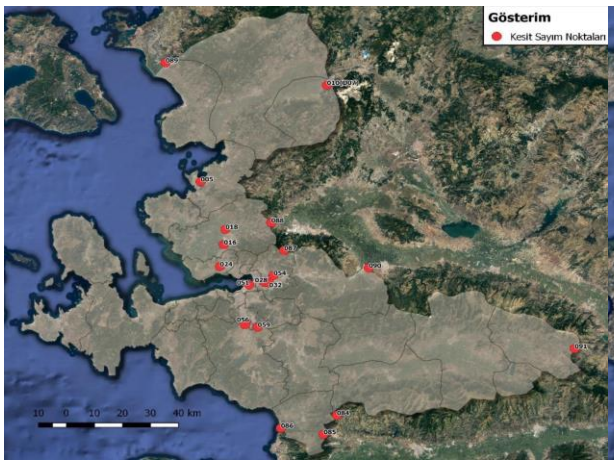


İzmir Devlet Y. Trafik Hacmi (YOGT) (KGM 2023)

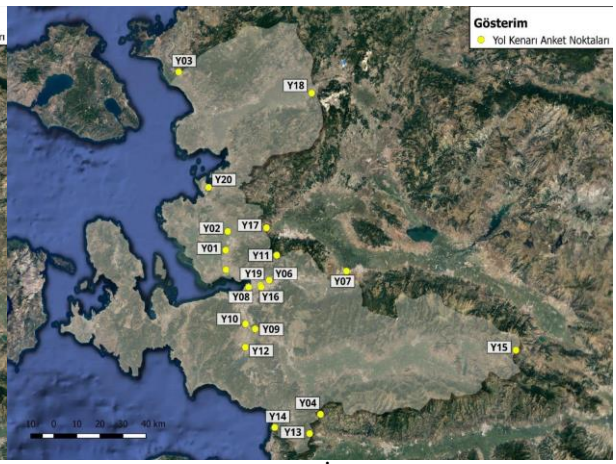
Şekil 1. İzmir Fiziki ve Ulaşım Haritaları

İzmir'in de içerisinde bulunduğu Karayolları Genel Müdürlüğü 2. Bölge devlet yollarındaki kamyon ve treyler araçlarını temsil eden sırasıyla S4 ve S5 sınıfları, tüm sınıfların ortalama %10-15'ini oluşturmaktadır. Otoyol trafiği ise KGM tarafından hafif araç ve ağır araç olarak adlandırıldığından bu orana ulaşmak mümkün olmamaktadır. 2. Bölge'de gerçekleştirilen seyahatlere bakıldığında, 2022 yılında toplam otomobil-km 12.229.766, orta yüklü ticari taşıt-km 1.224.797, otobüs-km 226.418, kamyon-km 1.059.645, kamyon+römork, çekici+yarı römork-km 1.455.792 olmuştur. Bu değerler de S4 ve S5 sınıfları için YOGT'ye benzer şekilde tüm araçlar arasındaki %15 oranını korumaktadır.

Ön çalışmaların ardından Yol Kenarı Sürücü Anketleri (YKSA) anketleri rasgele olarak 07.2018-08.2018 tarihleri arasında aşağıdaki konumlarda gerçekleştirilmiştir (İZBB, 2018). YKSA anketleri örneklem olarak trafik hacmi ile bağdaşık olduğundan anket noktaları trafik sayım noktalarının yanına konumlandırılmıştır (Bknz. Şekil 2).



Kesit Sayım Noktaları



YKSA Anket İstasyonları

Şekil 2. YKSA Anket Noktaları (İZBB, 2018)

YKSA anketleri trafik hacmine bağlı olduğundan örneklem büyüklüğü seçimi buna göre yapılmıştır. YKSA için gerekli olan teorik örneklem büyüklüğü birkaç farklı yöntemle bulunabilir. Bunlardan basit olanı taşıt sayısına göre %3-10 civarında bir örneklem büyüklüğü seçmek olarak görülebilir. Ancak istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar vermesi açısından Traffic Appraisal Manual (TAM)'da belirlenen, trafik hacim hesabına göre yapılan yaklaşım ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır (İZBB, 2018). Varyans değişkeni Denklem 1'de verilmiştir.

$$V(Q_a) = \frac{Q*(Q-q)}{q^2(q_a)} * q_a(q - q_a) \quad (1)$$

Denklem 1'de Q: ilgili trafik hacmini, Q_a: toplum büyüklüğünü, q: örneklem büyüklüğü ve q_a: belirli nitelikteki trafik hacmini ifade etmektedir. q örneklem büyüklüğü Denklem 2 yardımıyla hesaplanabilir.

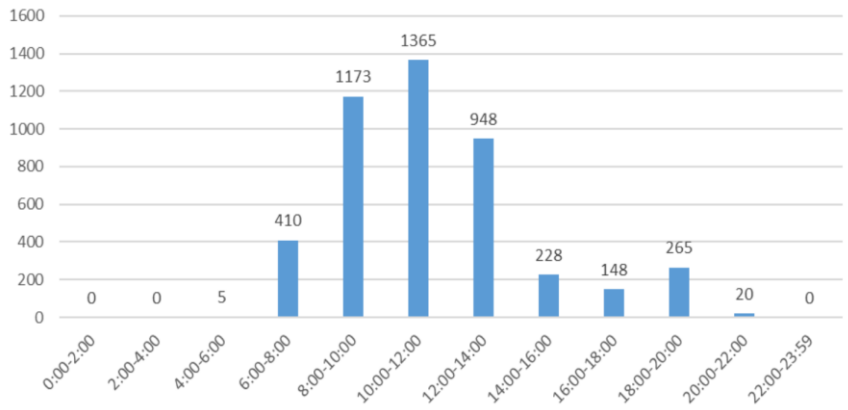
$$q = \frac{P(1-P)*Q^3}{(\frac{E}{1.96})^2*(Q-1)+P(1-P)*Q^2} \quad (2)$$

Denklem 2'de, P: toplam örneklem içerisinde ilgilenilen trafik hacmini bulma olasılığı ve E: kabul edilebilen doğruluk düzeyidir. Burada P: %65 ve E: %10 kabul edilmiş ve gerekli anket büyüklüğü tüm istasyonlar için hesaplanmıştır. Tablo 2'de YKSA örneklem büyüklükleri verilmiştir.

Tablo 2. Örneklem Büyüklüğü Hesaplaması (İZBB, 2018)

YKSA No	KesitNo	Toplam Trafik Hacmi	% Ağır Taşıt Trafiği	Toplam İlgilenilen Taşıt Sayısı (Q)	% Öznitelik (P)	Öznitelik Taşıt Sayısı	Kabul Edilebilir Hata Oranı (%, E)	E: Duyarlılık Seviyesi	Gerekli Örneklem Büyüklüğü (Q)	Yapılan Anket Sayısı	Örneklem Yüzdesi (%)
Y1	16	35.335	26	9.187	65	5.972	10	597	202	244	2,20
Y2	18	47.618	24	11.428	65	7.428	10	743	203	229	1,78
Y3	89	14.769	21	3.101	65	2.016	10	202	194	231	6,25
Y4	84	33.558	24	8.054	65	5.235	10	524	202	251	2,50
Y5	24	16.990	23	3.908	65	2.540	10	254	197	247	5,03
Y6	54	36.900	34	12.546	65	8.155	10	815	204	232	1,62
Y7	90	37.412	20	7.482	65	4.864	10	486	201	233	2,69
Y8	51	110.914	12	13.310	65	8.651	10	865	204	143	1,53
Y9	59	35.701	21	7.497	65	4.873	10	487	201	284	2,69
Y10	56	71.212	20	14.242	65	9.258	10	926	204	186	1,43
Y11	87	48.138	18	8.665	65	5.632	10	563	202	298	2,33
Y12	58	43.460	17	7.388	65	4.802	10	480	201	187	2,72
Y13	85	7.884	21	1.656	65	1.076	10	108	184	225	11,11
Y14	86	13.692	14	1.917	65	1.246	10	125	187	178	9,74
Y15	91	4.231	19	804	65	523	10	52	165	198	20,49
Y16	32	39.757	30	11.927	65	7.753	10	775	203	201	1,70
Y17	88	16.562	40	6.625	65	4.306	10	431	201	356	3,03
Y18	10	9.898	30	2.969	65	1.930	10	193	193	230	6,51
Y19	28	47.088	17	8.005	65	5.203	10	520	202	251	2,52
Y20	5	12.073	31	3.743	65	2.433	10	243	196	191	5,24

Verilen örneklem büyüklüklerine son hata payları da eklenerek belirtilen konumlarda toplamda 4595 adet YKSA anketi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda YKSA anketleri işyeri anketlerinden uygulama zaman dilimleri bakımından ayrılmaktadır. Yolda seyreden bir aracı yakalama sıklığı günün saatlerine ve trafiğe göre değişeceğinden burada sabit zaman dilimlerinin dışına çıkılması gerekmektedir. Bu bakımdan bu anketlerin tüm günü kapsadığından emin olunmalıdır. Şekil 3'te YKSA anketlerinin gün içerisindeki zaman dağılımı verilmiştir.



Şekil 3. YKSA Anketlerinin Günün Saatlerine Dağılımı (İZBB, 2018)

Analiz

Anketler 4 bölümden oluşmaktadır. Bunlar;

- Genel Bilgiler,
- Araç Bilgileri,
- Seyahat Bilgileri ve
- Yük Bilgileridir.

Anket uygulanan taşıt sürücülerinin yaklaşık %50'si İzmir il sınırları içerisinde hareket etmektedir. İller arasında ise Manisa, Aydın ve Balıkesir, İzmir çıkışlı seyahatlerin en yoğun varış noktası olmuştur. İzmir'e doğru olan seyahatlerde ise en yoğun noktalar yine bu üç ildir. Dolayısı ile İzmir dışı seyahatlerde literatüre uygun olarak yakın olan bölgelerin yoğun olduğu söylenebilir. Anket uygulanan araçların %53'ü dolu, %47'si boş olarak kaydedilmiştir (İZBB, 2018). Çalışma kapsamında anket bölümleri arasından seyahat bilgilerinin seyahat süreleri karakteristikleri incelenmiştir. Seyahat bilgileri İzmir Giriş-İzmir Çıkış yönleri olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Ancak çalışmanın analiz bölümünde bu iki tür toplanarak genel analizlere yer verilmiştir. Tablo 3'te anketlerden elde edilen tahmini seyahat süresi, bunlara karşı gelen toplam anket sayısı ve yüzdelik oranlar verilmiştir.

Tablo 3. Araçların Tahmini Seyahat Süresi (İZBB, 2018)

Tahmini Seyahat Süresi (Saat)	Toplam	Oran
0-1	1.595	35%
1-2	1.158	25%
2-4	1.153	25%
4-6	356	8%
6-8	38	1%
8-12	169	4%
12-16	25	1%
16-20	70	2%
20-24	0	0%
24-36	0	0%
36+	31	1%
Toplam	4.595	100%

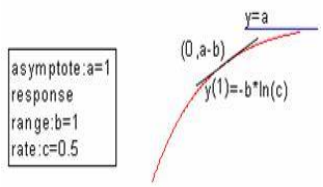
Analizde; araçlar Treyler, Kamyon ve Kamyonet olarak değerlendirilmiştir. Tablo 4'te araçların dolu ve boş olması durumuna göre tahmini seyahat sürelerinin dağılımı verilmiştir.

Tablo 4. Araç Bazlı Dolu ve Boş Seyahat Sürelerinin Dağılımı (İZBB, 2018)

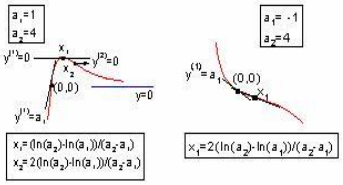
Tahmini Seyahat Süresi (Saat)	Treyler		Kamyon		Kamyonet	
	Dolu	Boş	Dolu	Boş	Dolu	Boş
0-1	11,6%	22,5%	29,4%	36,3%	43,5%	55,6%
1-2	23,0%	29,2%	25,8%	27,5%	30,2%	25,4%
2-4	31,1%	29,2%	31,8%	24,4%	21,0%	16,1%
4-6	13,8%	10,5%	6,8%	8,2%	3,1%	1,9%
6-8	2,1%	1,1%	0,7%	0,2%	0,3%	0,1%
8-12	11,0%	4,6%	3,4%	2,1%	0,9%	0,6%
12-16	1,6%	0,7%	0,6%	0,4%	0,1%	0,0%
16-20	4,8%	1,9%	1,1%	0,7%	0,7%	0,2%
20-36	1,0%	0,4%	0,4%	0,2%	0,1%	0,1%

Tablo 4'ten görüldüğü üzere boş araçlar daha kısa mesafelerde dağılırken dolu araçlar daha geniş mesafe aralıklarına dağılmıştır. Araç seyahat sürelerinin modellenmesinde dolu ve boş türler birlikte hesaplanmıştır. Treylerin seyahat süresinin yaklaşık %30'u 2-4 saatlik seyahatlerdir. Kamyon türü taşıtların seyahat süresinin yaklaşık %33'ü 1 saatlik seyahatlerdir. Kamyonet türü taşıtların seyahat süresinin yaklaşık %50'si 1 saatlik seyahatlerdir.

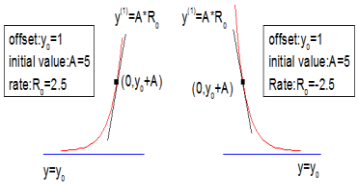
Analiz kapsamında araç sınıfı dışında herhangi bir ayrım yapılmamıştır. Dikkate alınan temel çizgi bütünsel lojistik modellerinde seyahat dağılım modellerinin direnim fonksiyonlarında seyahat süresi kullanılması halinde uygun fonksiyon araştırması olmuştur. Seyahat süresi dağılım sonuçlarından görüldüğü üzere Treyler, Kamyon ve Kamyonet sınıflarının dağılım eğilimleri değişiklik göstermektedir. Bunlar aralarında yolcu araçları çalışmalarına da benzer şekilde zirve fonksiyonlarını, üssel fonksiyonları ve eksponansiyel fonksiyonları kullanabilir görünmektedir. Bağlantılı olarak, elde edilen sonuçlardaki tüm karayolu lojistik araçlarının seyahat süresi dağılımlarında en azından bir zirve bulunması ve bu zirvenin sola çarpık olması literatürde de bahsedilen yakınlık ilkesini doğrular niteliktedir. Dolayısı ile analiz fonksiyonları bu sonuçlara göre seçilmiştir (Bknz. Şekil 4).



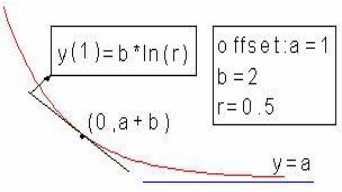
Asymptotic1



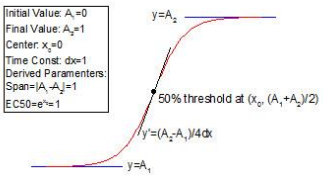
BoxLucas2



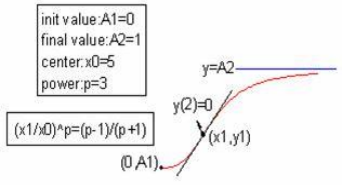
Exponential



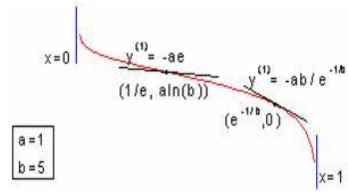
YldFert



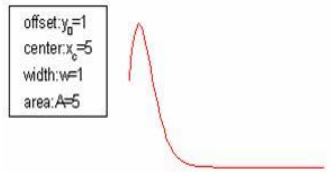
Boltzmann



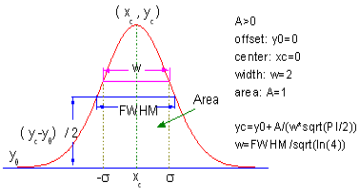
Logistic



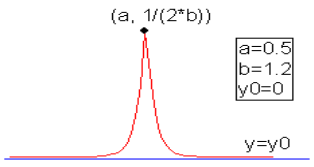
Bradley



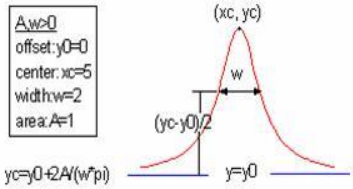
Giddings



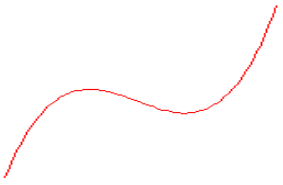
Gauss



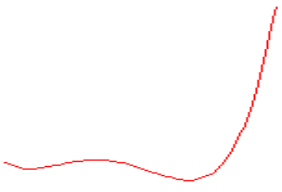
Laplace



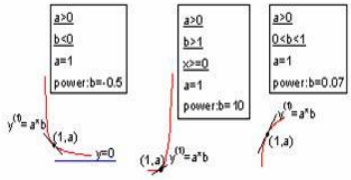
Lorentz



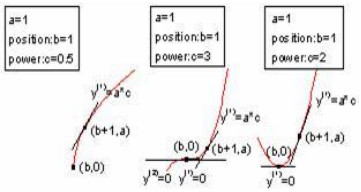
Cubic



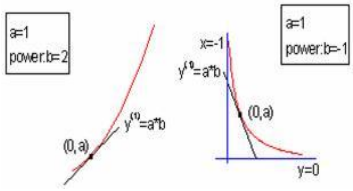
Poly4



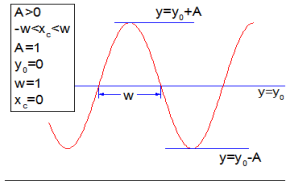
Allometric1



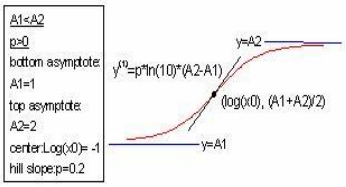
Belehradek



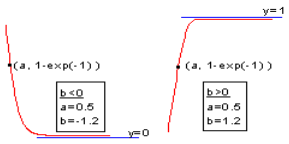
Pow2P2



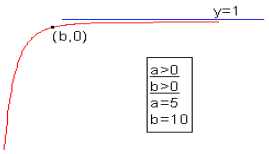
Sine



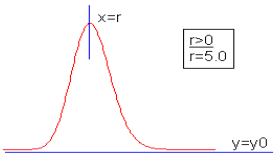
DoseResp



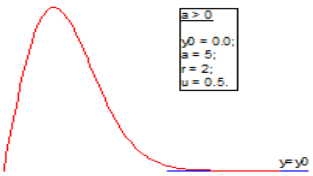
Gumbel



Pareto2



Poisson



Weibull

Şekil 4. Kullanılan Eğri Fonksiyonları (OriginLab® 2023)

Örneklem kalitesinde sınır değerlerin ortalamadan üç standart sapma uzaklık (μ+3σ) olduğu kabul edilirse araçların seyahat süreleri dağılımı verilerinde bazı uç örnekler ve keskin değişimler görülmektedir. Bunun nedeni seyahat süresi sınıflarının geniş tutulması veya anketlere verilen cevapların doğal olarak tahmini olmasından kaynaklanıyor olabilir. Bu durum örneklem normalleştirme ve manipülasyon yöntemleri ile giderilebilir görünse de analizlerde sabit bir karşılaştırma yapabilmek için bu yöntemler yerine eğri uydurma algoritmalarının sınırlarının geniş tutulması yolu tercih edilmiştir. Böylelikle aşağıda verilen fonksiyonların parametrelerinin optimizasyonu aşamasında iterasyon sayısı: 4000, tolerans değeri: 1,00E-06 olarak değerlendirilmiştir. Yine de bazı fonksiyonlarda tamamlanmama söz konusu olmuştur. Bu sebeple tamamlanma değerleri de analizlerde verilmiştir. (-) tamamlanmamış algoritma, (+) tamamlanmış algoritma olmuştur. Tamamlanmama değeri tolerans değerinin sağlanamadığı, iterasyon sayısının aşıldığı, adım yönünün bulunamaması gibi anlamlara gelebilir. Fonksiyonların başarım yüzdesi ise Ayarlı R2 ile ölçülmüştür. Ayarlı R2 verilerin eğriden uzaklığını ve veri kümelerini ayrı ayrı değerlendirdiğinden bu yöntem tercih edilmiştir. Yukarıda verilen fonksiyonlar genel olarak doğrusal olmayan artış ve dağılım fonksiyonları olup verileri temsil edebilmesi için seçilmiştir. Bu sebeple lineer fonksiyonlar tercih edilmemiştir. Özellikle Treyler seyahat süresi dağılımı incelendiğinde periyodik fonksiyonların ve Fourier dönüşümünün verileri temsil edebileceği düşünülebilir. Ancak seyahat süresi dağılımlarının bir sınırı olduğundan serbest periyodik fonksiyonlar da yapıya uymamaktadır. Buna rağmen Sine fonksiyonu test için seçilmiştir. Analizlerde OriginLab®-OriginPro 2023b yazılımından faydalanılmıştır. Sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Kullanılan Fonksiyonların Eniyilemesi

Denklem*	Formül*	Durum	Treyler SS Dağılım	Kamyon SS Dağılım	Kamyonet SS Dağılım
Asymptotic1	y = a-b*c^x	Ayar. R^2	0,53515	0,86351	0,98204
		Tamamlanma	+	+	+
BoxLucas2	y = (a1/(a1-a2))*(exp(-a2*x) - exp(-a1*x))	Ayar. R^2	0,85786	0,8684	0,93937
		Tamamlanma	+	+	+
Exponential	y = y0 + A*exp(R0*x)	Ayar. R^2	0,53515	0,86351	0,98204
		Tamamlanma	+	+	+
YldFert	y = a + b*r^x	Ayar. R^2	0,53515	0,86351	0,98204
		Tamamlanma	+	+	+
Boltzmann	y = A2 + (A1-A2)/(1 + exp((x-x0)/dx))	Ayar. R^2	0,76121	0,97741	0,97841
		Tamamlanma	-	+	+
Logistic	y = A2 + (A1-A2)/(1 + (x/x0)^p)	Ayar. R^2	0,76121	0,97679	0,96961
		Tamamlanma	-	+	+
Bradley	y = a*ln(-b*ln(x))	Ayar. R^2	0,65437	0,72623	0,87009
		Tamamlanma	-	-	-
Giddings	y = y0 + (A/w)*sqrt(xc/x)*bessel_i1(2*sqrt(xc*x)/w) * exp((-x-xc)/w);	Ayar. R^2	0,89204	0,90911	0,9786
		Tamamlanma	+	+	+
Gauss	y=y0 + (A/(w*sqrt(pi/2)))*exp(-2*((x-xc)/w)^2)	Ayar. R^2	0,93077	0,93762	0,58033
		Tamamlanma	+	+	+
Laplace	y= y0 + exp(- fabs(x-a) / b) / (2*b);	Ayar. R^2	0,89655	0,71867	0,91107
		Tamamlanma	+	+	+
Lorentz	y = y0 + (2*A/pi)*(w/(4*(x-xc)^2 + w^2))	Ayar. R^2	0,92107	-0,6	0,57098
		Tamamlanma	+	-	+
Cubic	y = A + B*x + C*x^2 + D*x^3	Ayar. R^2	0,46037	0,86585	0,89754
		Tamamlanma	+	+	+
Poly4	y = A0 + A1*x + A2*x^2 + A3*x^3 + A4*x^4	Ayar. R^2	0,46437	0,83302	0,9644
		Tamamlanma	+	+	+
Allometric1	y = a*x^b	Ayar. R^2	0,29539	0,67795	0,91808
		Tamamlanma	+	+	+
Belehradek	y = a*(x-b)^c	Ayar. R^2	0,51521	0,84446	0,97643
		Tamamlanma	+	+	+
Pow2P2	y = a*(1 + x)^b	Ayar. R^2	0,40837	0,76462	0,95811
		Tamamlanma	+	+	+
Sine	y=y0+A*sin(pi*(x-xc)/w)	Ayar. R^2	0,45378	0,73369	0,58257
		Tamamlanma	+	+	+
DoseResp	y = A1 + (A2-A1)/(1 + 10^((LOGx0-x)*p))	Ayar. R^2	0,76121	0,97741	0,97841
		Tamamlanma	-	+	+
Gumbel	y= 1 - exp(-exp((x-a)/b));	Ayar. R^2	-0,14286	0,88909	0,9832
		Tamamlanma	-	+	+
Pareto2	y = 1 - (b/x)^a	Ayar. R^2	0,47922	0,78689	0,7683
		Tamamlanma	+	+	+
Poisson	double temp = x+1.0; temp = log_gamma(temp); y=y0+exp(-r) * r^x / (exp(temp));	Ayar. R^2	0,91831	0,8727	0,92769
		Tamamlanma	+	+	+
Weibull	double temp = (x-u)/a; y = y0 + (r/a) * pow(temp, (r-1)) * exp(-pow(temp, r));	Ayar. R^2	0,92091	0,97766	0,93731
		Tamamlanma	+	-	+

* OriginLab® (2023), Curve Fitting Functions, Origin Help

Sonuçlar

Çalışma kapsamında İzmir genelinde 07.2018-08.2018 tarihleri arasında uygulanan 4595 adet YKSA anketleri sonucunda elde edilen seyahat süresi dağılımları incelenmiştir. Seyahat dağılım modelleri direnimlerinde kullanılmak üzere Treyler, Kamyon ve Kamyonet karayolu lojistik araçların işletme süreleri karakteristikleri hakkında bilgiler verilmiş ve seyahat süresi dağılımları modellenmiştir. Modelleme aşamasında 22 adet fonksiyon eniyilemesi sağlanmıştır. Kullanılan fonksiyonların eniyilemesi başarım göstergelerinden birisi olan Ayarlı R^2 sonuçlarına göre; tüm araç türlerini ortalamaların üzerinde temsil edebilecek fonksiyonlar: BoxLucas2, Boltzmann, Logistic, Giddings, DoseResp, Poisson ve Weibull fonksiyonları olduğu görülmüştür. Ancak sadece BoxLucas2, Giddings, Poisson ve Weibull fonksiyonları tüm taşıtları yüksek başarımlarda temsil edebilmiştir. Özellikle Weibull fonksiyonunda başarım yüzdesi yüksek olmasına rağmen Kamyon taşıt sınıfında tamamlanma negatif görünmektedir. Bu durum algoritma parametrelerini değiştirerek giderilebilir görünmektedir. Bununla beraber Treyler seyahat süresi dağılımlarında en iyi sonucu Gauss, Kamyon seyahat süresi dağılımlarında en iyi sonucu Weibull ve Kamyonet seyahat süresi dağılımlarında en iyi sonucu Gumbel fonksiyonları vermiştir.

Teşekkür

Yazarlar bu çalışmada İzmir Büyükşehir Belediyesi ve TÜMAŞ'a teşekkür eder.

Kaynaklar

Ravenstein E. G. (1885), The Laws of Migration, Journal of the Statistical Society of London, Vol 48, No.2, 167-235

Reilly W. J. (1931), The Law of Retail Gravitation

Newton I. (1687), Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica

Stouffer S. A. (1940), Intervening Opprtunities: A Theory Relating Mobility and Distance, American Sociological Review, Vol 5, No 6, 845-867

Zipf G. K. (1949), Human Behaviour and the Principle of Least Effort: An Introduction to Human Ecology

Voorhees A. M. (1955), A General Theory of Traffic Movement

Mladenovic M., Trifunovic A. (2014), The Shortcomings of the Conventional Four Step Travel Demand Forecasting Process

Morton, A. L. (1969). A statistical sketch of intercity freight demand. Highway research record, 296, 47-65

Miklius W., Casavant K. L., Garrod P. V. (1976). Estimation of Demand for Transportation of Agricultural Commodities.

Langevin A., Mbraga P. (1996). Continous Approximation Models in Freight Distribution: An Overview. Transpn. Re. B. Vol. 30. No. 3. Pp. 163-188

Nuzzolo A., Comi A. (2014), Urban Freigth Demand Forecasting: A Mixed Quantity/Delivery/Vehicle-Based Model, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review Volume 65, May 2014, Pages 84-98

Jlassi S., Tamayo S., Gaudron A. (2018), Simulation Applied to Urban Logistics: A State of the Art, City Logistics 3: Towards Sustainable and Liveable Cities

Toilier F., Gardrat M., Routhier J.L., Bonnafous A. (2018), Freight Transport Modelling in Urban Areas: The French Case of the FRETURB Model, Case Studies on Transport Policy

Melo S., Baptista P. (2017), Evaluating the Impacts of Using Cargo Cycles on Urban Logistics: Integrating Traffic, Environmental and Operational Boundaries, Eur. Transp. Res. Rev. 9: 30

Le T.V., Ukkusuri S.V. (2019), Modeling the Willingness to Work as Crowd-Shippers and Travel Time Tolerance in Emerging Logistics Services, Travel Behaviour and Society Volume 15, Pages 123-132

Vural C.A., Aktepe Ç. (2022), Why Do Some Sustainable Urban Logistics Innovations Fail? The Case of Collection and Delivery Points, Research in Transportation Business & Management Volume 45, Part A, 100690

T. C. İzmir Valiliği 2023, http://www.izmir.gov.tr/cografi-bilgiler-bitki-ortusu-ve-ormanlar

İzmir Büyükşehir Belediyesi (2018), İzmir Sürdürülebilir Kentsel Lojistik Planı

İZTO 2023, https://www.izto.org.tr/tr/tg/izmir-ekonomisi

TÜİK 2023, Motorlu Kara Taşıtları İstatistikleri

T. C. Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü (HGM) (2023), https://www.harita.gov.tr

T. C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2023), https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/TrafikveUlasimBilgileri/22TrafikUlasimBilgileri.pdf

World Bank (2009), Enterprise Survey and Indicator Surveys Sampling Methodology

Desıgn Manual For Roads And Brıdges (DMRB), Vol:12 Section 1 Part:1, Traffic Appraisal Manual

OriginLab® (2023), Curve Fitting Functions, Origin Help

Sürdürülebilir Kent İçi Bisiklet ve Yaya Erişilebilirliği: En Uygun Yolların Saptanması ve Analizi

Arş. Gör. İsmail Adalıoğlu

Yalova Üniversitesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Merkez, Yalova

Tel: (542) 362 80 22 E-Posta: ismail.adalioglu@yalova.edu.tr

Doç. Dr. Murat Ergün

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Ayazağa, İstanbul

Tel: (532) 602 70 77 E-Posta: ergunmur@itu.edu.tr

Öz

Günümüzde ulaşımdan kaynaklanan çevresel zararları en aza indirmek için birçok çalışma yapılmakta olup, yakın gelecekte ulaşım ihtiyacını yeşil ve sürdürülebilir enerjiler ile karşılanmaya başlanacağı öngörülmektedir. Bu kapsamda, günümüz kent içi ulaşımında en popüler konulardan biri olan elektrikli araçlara geçişin yanı sıra yaya ve bisiklet ile ulaşımın arttırılması en önemli konu başlıklardandır.

Ülkemizde son yıllarda ortaya çıkan ve Avrupa Birliği'nin de desteklediği Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı (SKHP) çalışmaları artmakta ve şehirlerin ulaşım planları yapılırken özellikle yaya ve bisiklet ulaşımına ayrı bir önem verildiği görülmektedir. Yaya ve bisiklet yollarının planlanması ve yapılması, motorlu araçlara göre birçok farklılık taşımaktadır. Bu farklılıkların en önemlilerinden birisi eğim değişkeni olup, özellikle yaya ve bisiklet erişilebilirlik analizinin temelini oluşturmaktadır. Bu kapsamda yaya ve bisiklet kullanımına uygun yolların bulunması ve kullanıcıların bu yollara erişebilirliklerinin analizi SKHP çalışmaları için de oldukça önemli olmaktadır. Bu çalışmada CBS yardımı ile bisiklet ve yaya için en uygun yolların belirlenmesi yöntemi kullanılarak bisikletli ve yaya erişilebilirlikleri hesaplanmıştır.

İlk bölümde bisiklet ve yaya ulaşımının özellikle SKHP yönünden genel irdelemeler yapılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise özellikle mevcutta (özellikle sahil kesimlerinde) birçok farklı bölgede bisiklet yolları olan ancak eğimli topoğrafyasından dolayı güzergahları kısıtlanan İstanbul ili için seçilen Avrupa yakasında bir pilot ilçede CBS kullanılarak hem bisiklet kullanıcıları hem de yayalar için en uygun yolların bulunmasını çalışması yapılmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde ise, seçilen bu yolların mevcut bisiklet ve yaya yolları ile etkileşimi de irdelenerek farklı senaryolar için erişilebilirlik analizleri yapılarak değerlendirilmeler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, İstanbul kenti için bisiklet ve yaya yolları erişilebilirliğinin değerlendirilmesi gerçekleştirilerek, gelecekte yapılması planlanan bisiklet ve yaya yollarının en uygun olanlarının tespiti için yeni bir yöntem önerilmiş ve bunun gelecekte yapılacak olan bisiklet ve yaya yollarındaki problemleri en aza indirmeye nasıl bir katkı sağlayacağı vurgulanmıştır.

Anahtar sözcükler: Bisiklet yolu, Yaya Yolu, Erişilebilirlik, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik

Giriş

Sürdürülebilirlik, 21. yüzyılın başlıca hedeflerinden biri haline gelmiştir ve bu hedef, birçok disiplin ve sektörde, özellikle de ulaşımda, etkili bir şekilde ele alınmaktadır. Ulaşım sektörü, iklim değişikliği, hava kirliliği ve enerji tüketimi gibi çevresel sorunların merkezinde yer alırken, bu sorunları çözme ve sürdürülebilir bir gelecek oluşturma konusunda da önemli bir rol oynamaktadır.

Ulaşımda sürdürülebilirlik, daha az enerji tüketen ve çevreye daha az zarar veren ulaşım biçimlerini teşvik etmeyi içerir. Bu bağlamda, aktif ulaşım biçimleri yani yürüme ve bisiklet kullanma ön plana çıkmaktadır. Bu ulaşım biçimleri hem enerji tüketimini hem de karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilirken, aynı zamanda fiziksel aktivite seviyelerini artırma ve toplum sağlığını iyileştirme fırsatı da sunmaktadır. Ancak, aktif ulaşımın yaygınlaştırılması, etkin bir planlama ve tasarım gerektirir. Yaya ve bisiklet yollarının kullanıcılarının erişilebilirliğini arttırmak için, bu yolların nasıl ve nerede inşa edileceğini belirlemek önemlidir. Bu hem coğrafi koşulları hem de kullanıcıların ihtiyaçlarını ve tercihlerini dikkate almayı gerektirmektedir.

Bu çalışma, Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı (SKHP) bağlamında, İstanbul'da yaya ve bisiklet yollarının belirlenmesi ve erişilebilirlik analizi yapılması sürecini ele almaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığıyla, en uygun yolların belirlenmesi ve bu yolların erişilebilirliğinin analiz edilmesi konularında yöntemsel bir yaklaşım sunulmaktadır. Bu çalışmanın bulguları, büyük metropollerde sürdürülebilir ulaşım stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olabilecektir ve gelecekteki iklim değişikliği senaryolarına karşı dayanıklı bir ulaşım altyapısının nasıl oluşturulabileceğine dair bilgiler de içermektedir.

Literatür

Bisiklet ve yaya ulaşımı üzerine yapılan birçok çalışma, bu ulaşım türlerinin hem çevresel sürdürülebilirlik hem de kent yaşam kalitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirtmektedir (Pucher ve Buehler, 2008). Hem enerji tüketimi hem de hava kirliliği açısından bisiklet ve yaya ulaşımı, motorlu taşıtların aksine oldukça sürdürülebilir bir seçenek olarak görülmektedir (Litman, 2014).

Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı (SKHP) bağlamında, Avrupa Birliği'nin bisiklet ve yaya ulaşımına verdiği önem belirginleşmiştir. Avrupa Birliği, hem SKHP'yi desteklemekte hem de bisiklet ve yaya ulaşımının artırılması konusunda kapsamlı politikalar geliştirmektedir (European Commission, 2013).

Bisiklet ve yaya ulaşımının etkin bir şekilde planlanabilmesi için, bir dizi faktörün dikkate alınması gerekmektedir. Bu faktörler arasında eğim, yolların fiziksel durumu, trafik yoğunluğu ve güvenlik gibi konular bulunmaktadır (Broach, Dill ve Gliebe, 2012). Bu faktörlerin dikkate alınması, bisiklet ve yaya ulaşımının kullanılabilirliğini ve erişilebilirliğini arttırmaktadır. Ayrıca bisiklet ve yaya ulaşımının planlamasında, eğim gibi bazı faktörlerin daha fazla önemli olduğu belirtilmiştir. Eğim, bisiklet ve yaya ulaşımının kolaylığını ve dolayısıyla erişilebilirliğini belirleyen temel faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir (Broach, Dill ve Gliebe, 2012).

CBS, bisiklet ve yaya ulaşımının planlanması ve analizinde önemli bir araç olarak kullanılmaktadır (Rietveld ve Daniel, 2004). Bu sistemler, bisiklet ve yaya yollarının belirlenmesinde ve bu yolların erişilebilirliğinin analizinde önemli bir role sahiptir. Bu

anlamda, CBS'nin bisiklet kullanımını belirleyen faktörleri anlama ve bisiklet yollarının planlanması ve uygulanması konusunda yardımcı olabileceğini belirtilmiştir. Ayrıca, Bir çalışmada bisiklet yollarının, CBS yardımı ile planlanması ve değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir model ortaya konmakta ve bu çalışmada kullanılan yöntemler için de temel oluşturmaktadır (Aultman-Hall, Hall ve Baetz (1997). Bu model, bisiklet yolunun fiziksel özelliklerini, trafik yoğunluğunu ve bisiklet kullanıcılarının tercihlerini dikkate alarak, bisiklet yollarının etkinliğini ve kullanılabilirliğini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Sonuç olarak bu kısım, bisiklet ve yaya ulaşımının sürdürülebilir kentsel hareketlilik için önemini, bu ulaşım türlerinin planlanması ve analizinde dikkate alınması gereken faktörleri ve coğrafi bilgi sistemlerinin bu süreçte nasıl kullanılabileceğini göstermektedir.

Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı (SKHP) ve Yaya/Bisiklet Ulaşımı

Sürdürülebilir kentsel hareketlilik, ulaşım sistemlerinin çevresel, sosyal ve ekonomik etkilerini dikkate alarak, insanların ve malzemelerin kent içinde etkin ve verimli bir şekilde hareket etmeyi sağlama amacına yöneliktir (Litman, 2018). Bu yaklaşım, kent içi ulaşımın sadece motorlu araçlarla sınırlı olmaması gerektiğini, aksine bisiklet, yaya ve toplu taşımanın da bu sistemin önemli bir parçası olması gerektiğini vurgulamaktadır (Banister, 2008).

Sürdürülebilir kentsel hareketlilik, ulaşım sistemlerinin sosyal adalet ve eşitlik boyutlarını da dikkate alır. Bu, tüm kullanıcıların, özellikle dezavantajlı ve hareket kabiliyeti kısıtlı kişilerin ulaşım sistemlerine adil bir şekilde erişimin sağlanmasını içermektedir (Martens, 2017). Bu bağlamda, bisiklet ve yaya yollarının geliştirilmesi, bu kullanıcıların ulaşım seçeneklerini genişletmekte ve kentsel hareketliliği artırabilmektedir.

Sürdürülebilir ulaşımın temel ilkelerinden bir başkası da enerji tüketimini ve çevresel etkileri azaltmaktır. Bu, emisyonların azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılmasıyla elde edilebilir (Chapman, 2007). Aktif ulaşım modları (yaya ve bisiklet) bu konuda önemli bir rol oynamaktadır, çünkü bu modlar enerji tüketimini azaltırken fiziksel aktiviteyi teşvik ederler ve böylece insan sağlığını olumlu anlamda etkilemektedir (Woodcock et al., 2009). Aktif ulaşım modları yani bisiklet ve yaya ulaşımı, enerji tüketimini ve çevresel etkileri azaltmanın yanı sıra fiziksel aktiviteyi teşvik ederek toplum sağlığını da olumlu yönde etkilemektedir (Pucher ve Buehler, 2008; Woodcock et al., 2009). Avrupa Birliği'nin Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı (SKHP), bisiklet ve yaya ulaşımının kentsel hareketlilikteki rolünü önemle vurgulamaktadır. Plan, aktif ulaşımın teşviki, genişletilmiş ve iyileştirilmiş bisiklet ve yaya yolları, tüm kullanıcı grupları için erişilebilirlik, güvenlik önlemleri, diğer ulaşım modlarıyla entegrasyon, eğitim ve farkındalık kampanyaları, mekansal planlama ve veri toplama ile analizi içermektedir.

Bisiklet ve yaya yollarının tasarımı ve planlaması, şehirlerin sürdürülebilir ve yaşanabilir olmasına yardımcı olmaktadır. Bu yolların planlanması ve tasarımında dikkate alınması gereken bir dizi standart ve faktör vardır (Pucher ve Buehler, 2008). Bisiklet yollarının genişliği, genellikle yön başına 1,5 metreden 2 metreye kadar değişir, ancak genellikle 2-2,5 metre önerilir (CROW, 2016). Yüzey kalitesi, bisiklet ulaşımı için konfor ve güvenlik sağlamalıdır, bu nedenle genellikle düz ve düzgün olmalıdır. Ayrıca, bisiklet yollarında eğim genellikle %5'ten az olmalıdır, ancak kısa mesafelerde %8'e kadar eğim kabul

edilebilir (Bicycle Network, 2019). Yaya yollarının genişliği, kullanım seviyesine ve yürüyüş hızına bağlı olarak değişir, ancak genellikle 1.5-2 metre genişliğinde olmalıdır (AASHTO, 2012). Yüzey kalitesi, düz ve düzgün olmalı ve engellilere erişim sağlamalıdır. Yaya yollarının eğimi genellikle %5'ten az olması önerilmektedir. (U.S. Access Board, 2002). Ancak mevcut durumda, topolojik olarak yüksek eğimli bölgelerin bulunduğu bölgelerde bu eğimler çok daha yüksek olabilmektedir.

Bisiklet ve yaya yollarının planlamasında dikkate alınması gereken birçok faktör vardır. Bunlar arasında yerel demografik ve kültürel faktörler, mevcut ve planlanan ulaşım ağı, topografi, iklim ve hava koşulları ve yerel politikalar ve düzenlemeler bulunur (Broach, Dill, & Gliebe, 2012). Aynı zamanda, bisiklet ve yaya yollarının planlaması ve tasarımında, yalnızca fiziksel boyutlar ve eğimler değil, aynı zamanda kullanıcının deneyimi ve güvenliği ile ilgili faktörler de dikkate alınmaktadır. Yaya ve bisiklet yolları, varış noktalarına, diğer ulaşım modlarına ve mevcut altyapıya kesintisiz bir bağlantı sağlamalıdır (Sallis et al., 2006). Yollar, bisikletçiler ve yayalar için fiziksel güvenliği sağlamalıdır. Bu hem trafikten koruma hem de kazalardan korunma anlamına gelir (Leden, Gårder, & Pulkkinen, 2000). Yaya ve bisiklet yolları ayrıca kullanıcıların konforu ve memnuniyeti için çevresel kaliteye sahip olmalıdır. Bu, gürültü, hava kalitesi ve estetik özellikleri içermektedir (Saelens, Sallis, & Frank, 2003).

Eğim Değişkeninin Erişilebilirlik ve Aktif Ulaşımdaki Rolü

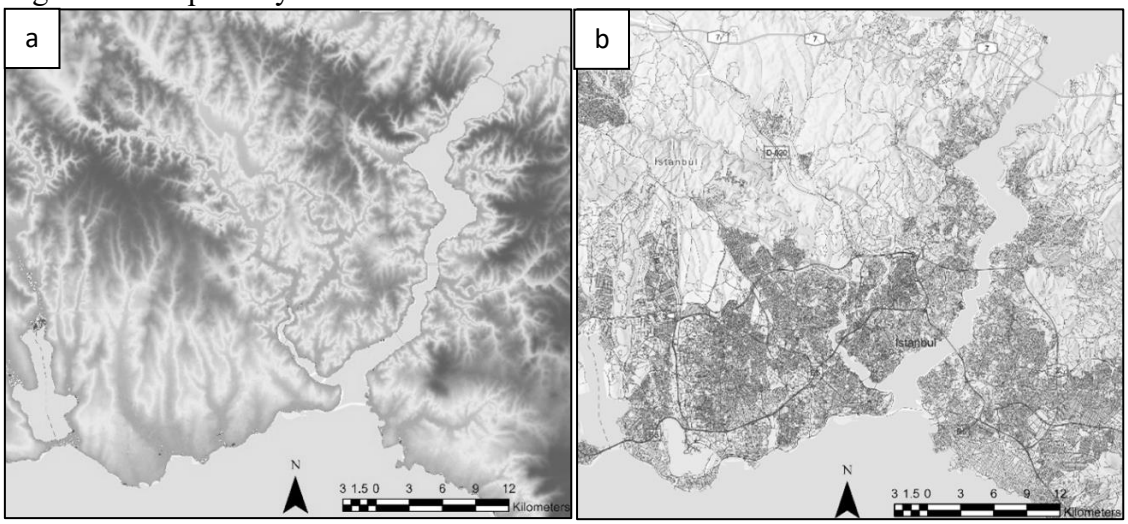
Eğim değişkeni, aktif ulaşım biçimleri, özellikle bisiklet ve yaya ulaşımı için, kritik bir faktördür. Bu, genellikle yokuş yukarı veya aşağı hareket etmenin fiziksel çaba gerektirdiği gerçeğinden kaynaklanmaktadır. Yüksek eğimler, bisiklet ve yaya ulaşımını zorlaştırabilir ve bu da kullanıcıları bu tür ulaşım modlarından caydırabilir (Buehler & Dill, 2016). Eğim değişkeninin etkisi, kullanıcıların seyahat süreleri, enerji harcamaları ve genel konforları üzerinde belirleyici bir rol oynar. Örneğin, yüksek eğimler genellikle seyahat süresini artırır ve daha fazla enerji harcaması gerektirir. Bu, bisiklet veya yürüme mesafesini etkileyebilir ve dolayısıyla bir bölgenin genel erişilebilirliğini sınırlayabilir (Nankervis, 1999).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), eğim değişkeninin analizinde ve aktif ulaşım planlamasında önemli bir rol oynamaktadır. Dijital yükseklik modellemesi ve yüzey analizi teknikleri kullanılarak, CBS, belirli bir alandaki eğim değerlerini hassas bir şekilde belirlemeyi mümkün kılmaktadır. Bu veri, uygun yolların belirlenmesine ve potansiyel bisiklet ve yaya yollarının planlanmasına yardımcı olabilmektedir (Rodrigue, Comtois, & Slack, 2013). Ayrıca, CBS kullanılarak, farklı eğim senaryolarının bisiklet ve yaya erişilebilirliği üzerindeki etkisini modellemek ve analiz etmek de mümkündür. Bu, kent planlamacılarına, en uygun ulaşım yollarını belirlemek ve böylece aktif ulaşımın teşvik edilmesine yardımcı olmak için gerekli bilgileri sağlayabilmektedir.

Yöntem

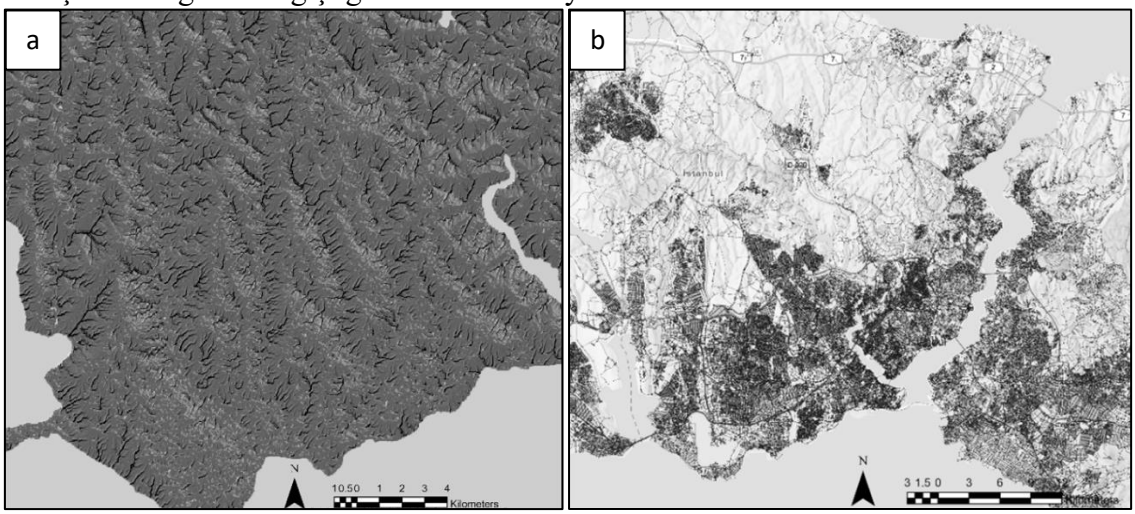
Çalışma kapsamında farklı analiz teknikleri kullanılarak eğim değişkenini hesaplamak amacıyla bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yönteme verilen isim “Node” yöntemidir. Eğim hesaplama yönteminin temelini, Digital Elevation Model (DEM) verileri oluşturmaktadır. DEM, bir alanın yükseklik değerlerini içeren raster veri tipidir. Bu veri tipinden yararlanarak, bir hücrenin veya noktanın eğim değerini hesaplamak için, seçilen hücrenin yükseklik değeri ile çevresindeki hücrelerin yükseklik değerleri karşılaştırılır. Bu

karşılaştırma, hücrenin çevresindeki hücreler arasındaki yükseklik farkına dayanmaktadır. Ancak, yol verisi vektörel line (çizgi) türünde bir veri olduğundan yol eğiminin belirlenmesinde Şekil 1'de görülen bu iki veri türünün etkileşimi ile geliştirilen özgün bir hesaplama yöntemimiz bulunmaktadır.



Şekil 1. a) DEM verisi yükseklik analizi, b) Yol ağı

Bu yöntem, eğim değişkeninin pozitif veya negatife döndüğü sınırların belirlenmesi ve bu sınırlar doğrultusunda yollara daha doğru eğim değerlerinin atanabilmesi üzerinedir. Böylece Şekil 2'de belirtilen hatanın giderilmesi sağlanmakta ve yol kesiminde yer alan çıkış ile iniş eğimleri birbirinden ayrılmaktadır. Bu yöntemde, Şekil 2'de görüldüğü gibi hidroloji fonksiyonlarının manipülasyonu ile sonuçlar elde edilmektedir. Su toplama çizgisi olarak tanımlanan alanlar vadilerin orta noktaları olmakta ve bu noktaların birleşimi ile eğimin değiştiği konumlar kolaylıkla bulunmaktadır.



Şekil 2. a) Su Toplama Akış Analizi, b) Yol ağının noktaları (Node)

Bu yöntem, yol ağı verilerini kullanarak, başlangıç ve son noktalar (node) arasındaki yolun eğim değerlerini hesaplamak için kullanılmaktadır (Liu vd., 2018). Bu doğrultuda, tüm yol ağı verileri parçalara ayrılmakta ve her bir parça için ayrı ayrı eğim değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan eğim değerleri, yolun başlangıç noktasından son noktaya doğru ilerlerken değişen yükseklik değerlerini yansıtmaktadır. Bu yöntem, yol ağı verilerini daha detaylı bir şekilde analiz etmek ve yolun eğim-zorluk derecesini ölçmek için kullanılmaktadır. Şekil 2 (b)'de görüldüğü gibi DEM verisi üzerinden noktalara

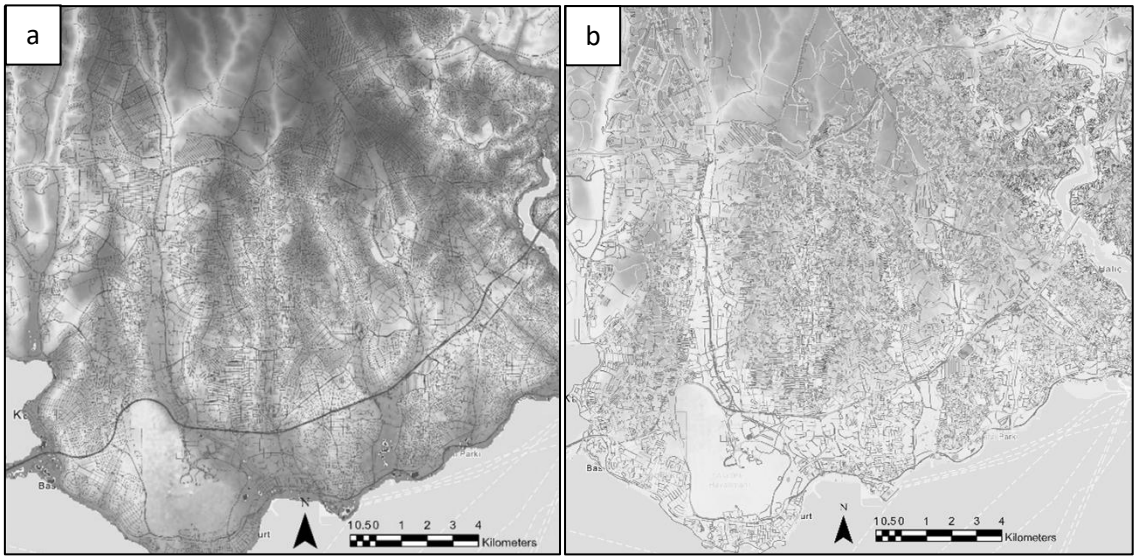
atanan yükseklik (z) değişkenleri sayesinde yol ağının kesişim ve istenilen noktalar arası eğimleri hesaplanarak yol ağına aktarılmıştır. Bu yöntemler sonucunda, yol ağına daha doğru ve gerçekçi bir eğim değişkeni özelliği eklenmiş ve yapılacak olan rotalama veya uygunluk analizlerinde bu yolların kullanılabilirliği bu değişken özelinde analiz edilebilir olmuştur. Bu veriler kullanılarak bir yol ağı veri seti oluşturulabilmektedir (NDB). Bu veri seti eğim değişkeni ile yol uzunluğuna göre bir maliyet (Cost) değeri verebilmekte ve rotalama veya erişim gibi analizlerde daha doğru ve minimum maliyetli (eğim değişkenine göre) yolları seçebilme imkanı verebilmektedir.

Uygulama: İstanbul'da Bisiklet ve Yaya Erişilebilirliği

Bu çalışma kapsamında ortaya konan yöntemin uygulanması için İstanbul kenti seçilmiştir. İstanbul'un karmaşık topoğrafyası ve geniş yaya ve bisiklet yolu ağı, eğim değişkenini hesaplamak için geliştirdiğimiz yöntemlerin etkinliğini test etmek için ideal bir ortam sağlamaktadır. Bu anlamda çalışmanın daha anlaşılabilir olması amacıyla İstanbul ilinin Avrupa yakasında bulunan Küçükçekmece-Fatih arasında bulunan bölge çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bu bölgenin seçilme nedeni ise topolojik yapısı ve yol yoğunluğunun yöntemimizi analiz etmede kullanımının oldukça uygun olmasıdır (Şekil 2b). Çalışmanın ilk aşaması, gerekli verilerin toplanması ve ön işleme aşamasıdır. İstanbul'un DEM verileri, Türkiye'nin ulusal coğrafi bilgi sistemi portalından elde edilmiştir. Ayrıca, bisiklet ve yaya yollarının mevcut durumunu belirlemek için İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin CBS portalından vektörel yol verileri alınmıştır.

Veri ön işleme aşamasında, DEM ve vektörel yol verileri uyumlu bir veri seti oluşturmak için bir araya getirilmiştir. Bu, Node yöntemimizin uygulanabilirliğini sağlamak için gereklidir. Bu yöntemde, her yolu oluşturan çizgi segmentinin başlangıç ve bitiş noktalarındaki yükseklik değerleri DEM üzerinden elde edilmektedir. Ardından, bu iki yükseklik değeri arasındaki fark, çizgi segmentinin uzunluğuna bölünerek eğim değeri hesaplanmaktadır. Bu yöntemde, her çizgi segmenti, başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki her bir hücrenin yükseklik değerlerine dayanarak daha hassas bir eğim hesaplaması sağlamaktadır. Daha geniş bir yükseklik değerleri aralığını ve daha ayrıntılı bir eğim hesaplama yeteneğini ve böylece daha iyi bir yaya ve bisiklet ulaşım uygunluk analizini yapma imkânı verebilmektedir. Şekil 3a'da seçilen bölgenin mevcut DEM verisi gösterilmiştir. Elde edilen eğim değerleri daha sonra analiz edilmiş ve yöntemde bahsedildiği gibi yolların noktasal başlangıç ve bitiş noktaları bu veri ile çakıştırılmıştır. Böylece yolların başlangıç ve bitişleri arasındaki eğim farkları (z) hesaplanabilmiştir (Şekil 3b). Bu, bisiklet ve yaya yollarının planlanması ve değerlendirilmesinde önemli bir rol oynayacak ve ileri analizlere imkan sağlayabilecektir. Özellikle, yüksek eğimli yolların belirlenmesi ve bu yolların bisiklet ve yaya erişilebilirliği üzerindeki etkilerinin anlaşılması açısından önemlidir.

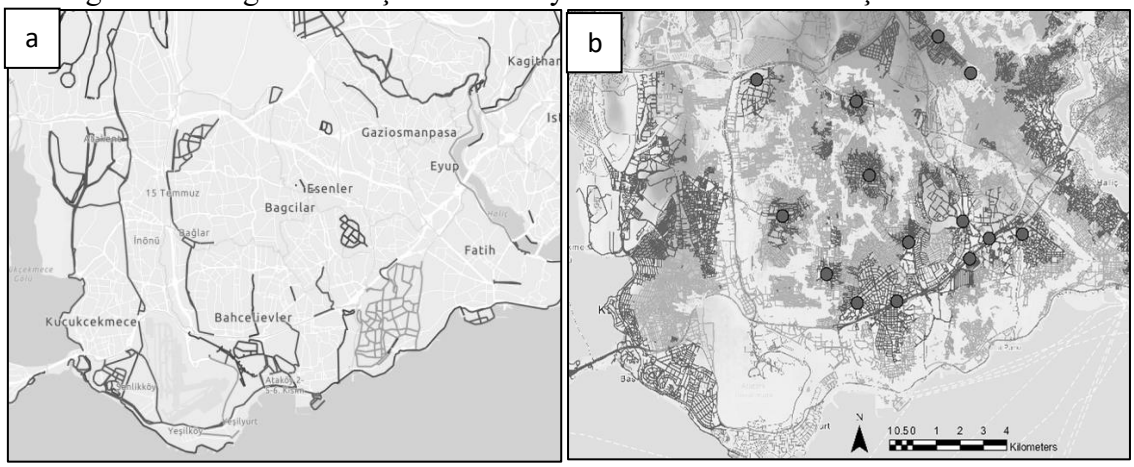
Şekil 3b'de, yapmış olduğumuz çalışma sonucunda elde edilen yolların eğim değişkeni ölçeğinde değerlendirmesi verilmiştir. Bu analizde yeşil olarak belirtilen yollarda, eğim değişkeni %5 in altında olan alanları, turuncu olarak belirtilen yollar %5-%8 arası yolları ve kırmızı olarak belirtilen yollar ise eğim değişkeninin %8 ve üzeri eğime sahip yolları göstermektedir. Bu kapsamda, bisiklet ve yaya yolları planlanırken özellikle yeşil olarak belirtilen %5 ve altı olan yollarda öncelikli olmak üzere güzergâh boyunca turuncu yolların da dahil edildiği bir güzergahlama yapılabilecektir.



Şekil 3. a) DEM yükselti verisi, b) Yol Ağının Eğim Analizi

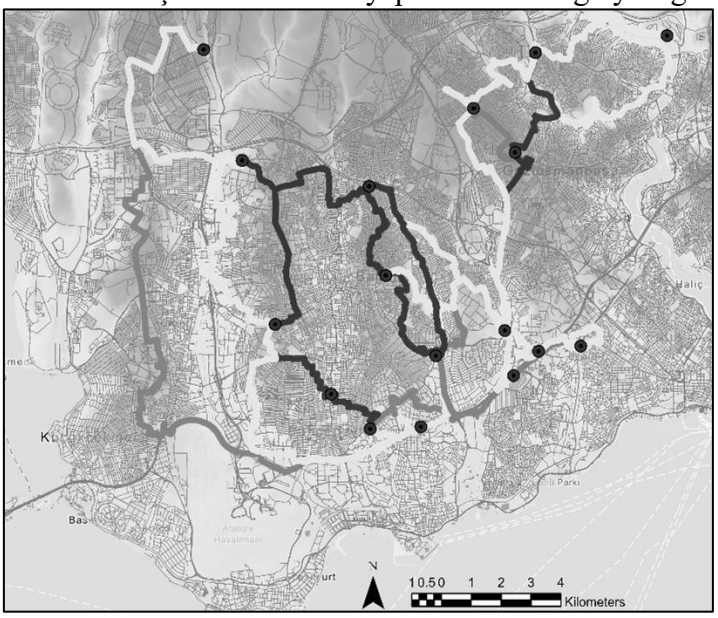
Elde edilen eğim değişkeni sonucunda, yol verisine bu eğim analizine uygun bir şekilde ağırlıklandırma verilmiştir. Bu ağırlıklandırma, eğim değişkeni ile yol uzunluğunun çarpımı olarak belirlenmiş ve ileri aşamalarda yol rotalaması ve erişilebilirlik analizlerinde maliyet (cost) değişkeni olarak kullanılmıştır. Değişken, bu yol ağının ana katmanını oluşturmuş ve rotalamalar yapılırken en düşük maliyet üzerinden gerçekleştirmesi sağlanmıştır. Böylece diğer rotalara göre daha düşük bir eğime sahip rotaları oluşturmak mümkün olabilmiştir. Ayrıca analizin geçerliliği arttırılması amacıyla, otoyol ve çevre yolları bu yol ağından çıkartılmıştır.

Şekil 4a'da İstanbul ilinde seçilen alanın mevcut bisiklet yolları gösterilmiştir. Bu alanda özellikle bisiklet yollarının parçalı halde olduğu ve özellikle kıyı kesimlerinde konumlandıkları göze çarpmaktadır. Kullanılan yöntem ve analizler sonucunda bu bisiklet yollarının birbirinden bağımsız ve entegrasyonu oldukça zayıf olduğu göze çarpmaktadır. Bu yolların entegrasyonu sağlandığında bölge özelinde daha kullanılabilir ve aktif ulaşımı teşvik edici bir ulaşım ağı sağlanarak hem kent içi trafiğin azaltılması hem de kullanıcıların daha sağlıklı bir ulaşımı tercih etmeleri sağlanabilecektir. Bu kapsamda Şekil 4b'de, parçalı olan bisiklet yollarının entegrasyonu için erişilebilirlik analizleri yapılmıştır. Bu analizler yardımı ile bu bisiklet yollarının başlangıç veya sonları ile bölgede en az eğim ile ulaşabilecekleri yolların analizi sunulmuştur.



Şekil 4. a) Mevcut İstanbul Bisiklet Yolları b) Bisiklet Yolu Erişilebilirlik Analizi

Erişilebilirlik analizinden sonra, elde edilen bisiklet yollarının başlangıç-son noktaları arasında en uygun yolların saptanması (node yöntemi ile) sağlanmıştır (Şekil 5). Üç farklı renk skalası olarak verilen öneri rotalar, eğim değişkeninin en az olandan (beyaz) en çok olana (siyah) olacak şekilde verilmiştir. Bu değişkenler kendi içerisinde sınıflandırılmıştır ancak genel yol ağı göz önüne alındığında bu rotalar aktif ulaşım için en uygun yollardır. Yani her ne kadar eğimi en yüksek dahi olsa o rota, diğer yol alternatiflerine göre en uygun rotayı temsil etmektedir. Mevcutta olduğu gibi sahil kesimleri eğim açısından aktif ulaşıma daha elverişlidir. Ancak, bisiklet rotalarının devamı ve entegrasyonu bu ulaşım tercihinin kullanılmasında teşvik edici bir altyapı olmasını sağlayacağı açıktır.



Şekil 5. Bisiklet Yolları Entegrasyon Öneri Rotaları (Node Yöntemi)

Sonuçlar

Bu çalışma, CBS metodolojisinin eğim değişkenine dayalı bisiklet ve yaya erişilebilirlik analizine entegre edilmesiyle kent içi ulaşım planlamasının nasıl zenginleştirilebileceği üzerine bir yöntem ortaya koymuş ve öneriler sağlamıştır. CBS'nin analitik gücünün bu değişkenleri ele alabileceği ve sonuçların kent içi ulaşım planlamasında kullanılabileceğini göstermektedir.

Yapılan analizler, Node yöntemi yardımıyla aktif ulaşımın etkin entegrasyonunun, sürdürülebilir kentlerin gelişmesinde yardımcı olacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda, eğim değişkeninin doğru bir şekilde analiz edilmesi ve uygulanması, bisiklet ve yaya yollarının planlanmasında ve geliştirilmesinde kritik bir rol oynayabilecektir. Çalışmanın bulguları, mevcut bisiklet ve yaya altyapısının CBS aracılığıyla analizinin, mevcut durumu anlama ve potansiyel olarak yeni bisiklet ve yaya yollarının planlanmasında yardımcı olma yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, analiz aynı zamanda mevcut yolların ve yolların çevresindeki alanların daha ayrıntılı bir incelemesini de sağlamıştır.

Aktif ulaşımın özendirilmesi ve sürdürülebilir kentsel hareketliliğin geliştirilmesi çerçevesinde, yeni bisiklet ve yaya yollarının planlanmasında ve mevcut yolların geliştirilmesi süreçlerine önemli katkılarda bulunabilecektir. Özellikle iklim krizi bağlamında, bisiklet ve yaya yolu planlaması ve genişletilmesi, şehirlerin karbon ayak izlerini azaltmada ve daha sürdürülebilir kentler oluşturmada önemli bir rol oynayacaktır.

Tartışma

Eğimin dışında, diğer değişkenlerin de bu çalışmaya dâhil edilmesi gerektiğini belirtmek esastır. Örneklem alanının ve belirlenen rotaların sahada doğrulukla kontrol edilmesi, bu çalışmanın doğruluğunu artırabilir. Bu, çalışmanın gelecekteki evrelerini de etkileyen bir konudur.

Aktif ulaşım parametrelerinin CBS analizleriyle entegrasyonu, çalışmaya daha geniş bir vizyon katabilir. Faktörler olarak yolun yüzey kalitesi, genişliği, yaya ve bisiklet yollarının aydınlatılma durumu gibi parametrelerin kullanıcı deneyimini ve bu bağlamda erişilebilirliği nasıl etkilediği üzerinde durulmalıdır. Bu parametrelerin dikkatlice incelenmesi ve eğimle birlikte ele alınması, erişilebilirlik analizinin daha gerçekçi bir boyut kazanmasını sağlar ve böylece kullanıcı için daha uygun bisiklet ve yaya yollarının tasarımına katkıda bulunabilir.

Özellikle ışıklandırma ve yüzey kalitesi gibi faktörlerin gece erişilebilirliği ve kullanıcı deneyimi üzerindeki doğrudan etkisi büyüktür. Yol genişliği ve trafik yoğunluğu gibi dinamikler, yaya ve bisikletlilerin güvenliği için kritik öneme sahip olabilir. Bu tür parametrelerin CBS ile değerlendirilmesi, bisiklet ve yaya yolu planlamasına daha derinlemesine ve gerçekçi bir bakış açısı getirebilir. Bu araştırma, eğim parametresine dayalı olarak bisiklet ve yaya erişilebilirliği analizi ve CBS'nin bu alandaki kapasitesi hakkında bir temel oluşturmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, diğer aktif ulaşım parametrelerine daha detaylı bir şekilde eğilmeli ve bu parametrelerin bisiklet ve yaya yolu planlama ve geliştirme süreçlerine nasıl dâhil edileceği üzerinde daha fazla bilgi toplanmalıdır. Bu metodoloji, kentsel ulaşım planlaması ve sürdürülebilir şehircilik perspektifinden büyük bir potansiyele işaret etmektedir.

Kaynakça

AASHTO. (2012). Guide for the Development of Bicycle Facilities. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

Aultman-Hall, L., Hall, F., & Baetz, B. (1997). Analysis of bicycle commuter routes using geographic information systems: Implications for bicycle planning. Transportation Research Record, 1578(1), 102-110.

Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. Transport policy, 15(2), 73-80.

Bicycle Network. (2019). Bicycle Network's position on bike path gradients. Bicycle Network.

Broach, J., Dill, J., & Gliebe, J. (2012). Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 46(10), 1730-1740.

Buehler, R., & Dill, J. (2016). Bikeway networks: A review of effects on cycling. Transport Reviews, 36(1), 9-27.

Chapman, L. (2007). Transport and climate change: a review. Journal of transport geography, 15(5), 354-367.

CROW. (2016). Design Manual for Bicycle Traffic. CROW, Ede, The Netherlands.

European Commission. (2013). Together towards competitive and resource-efficient urban mobility. COM(2013) 913 final.

Litman, T. (2014). Evaluating active transport benefits and costs: guide to valuing walking and cycling improvements and encouragement programs. Victoria Transport Policy Institute.

Litman, T. (2018). Well Measured: Developing Indicators for Comprehensive and Sustainable Transport Planning. Victoria Transport Policy Institute.

Pucher, J., & Buehler, R. (2008). Making cycling irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark and Germany. Transport reviews, 28(4), 495-528.

Rietveld, P., & Daniel, V. (2004). Determinants of bicycle use: do municipal policies matter? Transportation Research Part A: Policy and Practice, 38(7), 531-550.

Rodrigue, J. P., Comtois, C., & Slack, B. (2013). The geography of transport systems. Routledge.

Leden, L., Gårder, P., & Pulkkinen, U. (2000). An expert judgment model applied to estimating the safety effect of a bicycle facility. Accident Analysis & Prevention, 32(4), 589-599.

Liu, Haobing, Hanyan Li, Michael O. Rodgers, ve Randall Guensler. 2018. “Development of road grade data using the United States geological survey digital elevation model”. Transportation Research Part C: Emerging Technologies 92: 243–57.

Martens, K. (2017). Transport justice: designing fair transportation systems. Routledge.

Nankervis, M. (1999). The effect of weather and climate on bicycle commuting. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 33(6), 417-431.

Saelens, B. E., Sallis, J. F., & Frank, L. D. (2003). Environmental correlates of walking and cycling: Findings from the transportation, urban design, and planning literatures. Annals of Behavioral Medicine, 25(2), 80-91.

Sallis, J. F., Frank, L. D., Saelens, B. E., & Kraft, M. K. (2006). Active transportation and physical activity: opportunities for collaboration on transportation and public health research. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 38(4), 249-268.

U.S. Access Board. (2002). ADA Accessibility Guidelines for Buildings and Facilities; Play Areas. Federal Register, 67(170), 56353-56369.

Woodcock, J., Edwards, P., Tonne, C., Armstrong, B. G., Ashiru, O., Banister, D., ... & Roberts, I. (2009). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. The Lancet, 374(9705), 1930-1943.

URL 1: (https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport-urban-transport/urban-mobility/urban-mobility-actions/sustainable-urban-mobility-plans_en).

Paylaşımlı Bisiklet Kullanım Talebinin Modellenmesi

Doç. Dr. Selim Dündar
İstanbul Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnş. Müh. Böl.
Tel: (216) 677 16 30
E-posta: selim.dundar@okan.edu.tr

Dr. Öğretim Üyesi Gürkan Günay
İstanbul Bilgi Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnş. Müh. Böl.
Tel: (212) 311 50 00
E-posta: gurkan.gunay@bilgi.edu.tr

Dr. Öğretim Üyesi Pelin Alcan Gezginci
İstanbul Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, End. Müh. Böl.
Tel: (216) 677 16 30
E-posta: pelin.alcan@okan.edu.tr

Ersoy Soyer
Yapıdrom Teknoloji A.Ş., Büyüme Stratejileri Operasyon ve Pazarlamadan Sorumlu Genel Müdür Yardımcısı
Tel: (212) 282 82 51
E-posta: ersoy.soyer@yapidrom.com.tr

Elçin Mert
Yapıdrom Teknoloji A.Ş., Planlama Müdürü
Tel: (212) 282 82 51
E-posta: elcin.mert@yapidrom.com.tr

Öz

Bisikletler, tamamen kas gücüne dayalı bir ulaşım türü olduğundan çevreye olan olumsuz etkileri en düşük düzeyde olan ulaşım araçlarıdır. Ayrıca bir aktif ulaşım türü olduğundan sürdürülebilirlik açısından da önde gelen türler arasında bulunmaktadır. Küçük boyutlu ve bireysel ulaşım olarak da değerlendirilebilecek mikromobilite sistemleri arasında hem tarihsel geçmişleri hem de satın alma ve işletme maliyetleri nedeniyle en önde gelen ulaşım aracı olmaktadır. Günümüzde gerek yerel yönetimler, gerekse de özel sektördeki firmalar tarafından verilmekte olan taşıt paylaşım ya da kiralama hizmetleri sayesinde bisiklet kullanım oranlarının da artması hedeflenmektedir. Özellikle motorlu taşıt kullanımı yerine bisiklet ile gerçekleştirilen yolculuklar gerek kirletici gaz salımlarına neden olmaması, gerekse de trafik sıkışıklıklarına katkı sağlamaması nedeniyle doğal çevreyi olumlu yönde etkilemektedir. Hem bu türel kaymaya etken olan unsurları inceleyebilmek, hem de gelecekte oluşacak bisiklet kullanım taleplerini kestirebilmek amacıyla özellikle paylaşımlı bisiklet sistemlerinin kullanımındaki dönemsel değişimlerin incelenmesi gerekmektedir. Geliştirilen çalışma kapsamında, Türkiye'nin mikromobilite alanında önde gelen kuruluşlarından bir tanesinin bisiklet paylaşımı hizmeti verdiği şehirlerden 4 tanesindeki dönemsel bisiklet kullanım sayıları ve buna etki eden çeşitli unsurlar incelenmiş ve çoklu doğrusal regresyon yöntemiyle modellenmiştir. Geliştirilen model sayesinde hem bisiklet paylaşım hizmeti verilen şehirlerdeki gelecekteki yolculuk sayılarının ve bu yolculukların dönemsel değişimlerinin

kestirilmesi, hem de yeni hizmet verilecek bir şehirde ortaya çıkacak yolcu talebine ilişkin kestirimler gerçekleştirilmesi sağlanabilecektir.

Anahtar sözcükler: Mikromobilite, bisiklet, talep analizi, çoklu doğrusal regresyon.

Giriş

Genellikle 25 km/sa'den daha düşük hızlarla işletilen küçük boyutlu ve bireysel ulaşımı ifade eden mikromobilite kavramı son yıllarda ortaya çıkan ve popüler olan bir kavramdır. Özellikle COVID-19 pandemisinin etkisiyle insanların toplu ulaşımdan uzaklaşmaları, bisiklet ve e-skuter gibi mikromobilite sistemlerinin kullanımında artışa neden olmuştur. Mikromobilite her ne kadar yeni bir kavram olsa da, özellikle bisiklet başta olmak üzere, bazı mikromobilite araçları aslında uzun yıllardır hayatımızın içerisinde ve bir ulaşım türü olarak varlığını korumaktaydı. Çok ilkel modelleri 12. Yüzyıl Çin'inde görülen bisikletin modern şekli 1791 yılında Fransa'da Conte de Sivrac tarafından geliştirilmiştir (Sığırcı, 2020). O tarihten bu yana farklı modelleri geliştirilen bisiklet popülerliğini koruyarak, günümüzde de önemli bir ulaşım türü haline gelmiştir.

Bisikletler, tamamen kas gücüne dayalı bir ulaşım türü olduğundan çevreye olan olumsuz etkileri en düşük düzeyde olan ulaşım araçlarıdır. İçten yanmalı motorlara sahip taşıtların aksine, kullanımları sırasında doğaya kirletici bir gaz salımı gerçekleştirmezler. Elektrikle çalışan taşıtlar gibi içinde kimyasal madde barındıran bir bataryaya da sahip değillerdir. Ancak günümüzde özellikle yüksek eğim gibi bisiklet kullanımı sırasında olumsuz koşullar yaratabilecek unsurların giderilmesi amacıyla elektrikli bisikletler (e-bisiklet) de kullanılmaya başlanmış durumdadır. Klasik bisiklet olarak tanımlanabilecek, tamamen kas gücüyle çalışan bisikletler bir aktif ulaşım türü olduğundan sürdürülebilirlik açısından da önde gelen türler arasında bulunmaktadır. Küçük boyutlu ve bireysel ulaşım olarak da değerlendirilebilecek mikromobilite sistemleri arasında hem tarihsel geçmişleri hem de satın alma ve işletme maliyetleri nedeniyle en önde gelen ulaşım aracı olmaktadır. Buna karşın, üretiminde kullanılan çeşitli metal alaşımları, plastik parçalar ve süreçler nedeniyle çevreye hiç bir olumsuz etkisi bulunmadığını öne sürmek de mümkün değildir. Yine de yürümeden sonra çevreye en az zararı bulunan ulaşım türü olduğundan özellikle çevre bilinci daha yüksek olan genç kesim tarafından tercih edilen bir ulaşım türüdür.

Günümüzde gerek yerel yönetimler, gerekse de özel sektördeki firmalar tarafından verilmekte olan taşıt paylaşım ya da kiralama hizmetleri sayesinde bisiklet kullanım oranlarının da artması hedeflenmektedir. Bisiklet kullanımının artması farklı ulaşım türleri ile yapılan yolculukların, bisiklet kullanımına kaymaya neden olmasını göstermektedir. Bisiklet ve e-skuter gibi mikromobilite taşıtlarının hangi türlerine tercih edildikleri araştırmacıların üzerinde çalıştıkları konular arasındadır. Şengül ve Mostofi (2021) 'ye göre, e-skuter ve e-bisiklet araçları, 8 km'den daha düşük yolculuklarda diğer türlerin yerine geçme olanağına sahiptir. AB, ABD ve Çin'de sözü edilen bu yolculuklar, toplam yolculukların yaklaşık %50-60 arasında bir paya sahiptir. Bisiklet paylaşım sistemleri için 2010 yazında Montreal, Kanada'da gerçekleştirilen çalışma kapsamında bisiklet ve toplu taşıma ile bütünleşim hakkında çevrimiçi bir anket yapılmıştır (Bachand-Marleau, 2012). Anket altı bölümden oluşmaktadır: genel yolculuk alışkanlıkları, toplu taşıma soruları, bisikletle ulaşım/aktarma soruları, bisiklet sürmeyi ve toplu taşıma ile bütünleşmesini iyileştirmeye yönelik öncelikler, genel demografi ve yorumlar bölümü. Çalışmada 1432 anket toplanmıştır. Araştırmada BIXI (bisiklet taksi) adı verilen bisiklet

paylaşım sisteminin kullanımını teşvik eden faktörleri belirlemek için ikili logit modeli geliştirilmiştir. Bağımlı değişken, BIXI'nin daha önce kullanılıp kullanılmadığıdır (evet-hayır). Daha sonra, paylaşılan bisikletlerin kullanım sıklığını etkileyen faktörleri belirlemek için BIXI kullanıcıları alt örneğine doğrusal bir regresyon uygulanmıştır. Bu ikinci modeldeki bağımlı değişken, 2010 yılı için BIXI kullanım sayısıdır. İlk model, genel olarak bisiklete binme güdüsünü veya özel olarak paylaşılan bisiklet sistemlerinin kullanımını inceleyen önceki çalışmaların sonuçlarına dayalı olarak çeşitli değişkenleri (yaş, cinsiyet, gelir seviyesi) sınamaktadır. Araştırma sonucunda BIXI kullanımını güdüleyen unsurlar: aktarma amacıyla kullanmak (otobüs-tren), istasyona yakınlık, şehir merkezine yakın oturmak, Montreal'de kişisel bisikletlerin güvenliğinin az olması (bisiklet hırsızlıklarının fazla olması), BIXI'de ilk yarım saat kullanıcıların ücret ödememesi, bakım yapmak zorunda olunmaması, BIXI'nin gözde olmasıdır. Kullanımı azaltan unsurlar ise: ehliyet sahibi olmak, sadece eğlence amaçlı bisiklet sürmek olarak saptanmıştır. En güçlü etkiye sahip değişken, evden 500 m'den daha az bir mesafede bir BIXI istasyonunun bulunması olarak saptanmış, bu durumda bireylerin ortak bir bisiklet kullanma oranının 3 kat daha fazla olduğu ifade edilmiştir. Bir BIXI istasyonunun katılımcının düzenli seyahat ettiği rotaya yakınlığı da kişinin BIXI kullanma olasılığını artıracağı ifade edilmiştir. Yalnızca eğlence amaçlı bisikletçiler ve kadınların BIXI kullanma olasılıkları daha düşükken, geziler için bisiklet ve toplu taşımayı birleştirmek ve ehliyet sahibi olmak kişinin BIXI kullanma olasılığını artırmıştır.

Özellikle motorlu taşıt kullanımı yerine bisiklet ile gerçekleştirilen yolculuklar gerek kirletici gaz salımlarına neden olmaması, gerekse de trafik sıkışıklıklarına katkı sağlamaması nedeniyle doğal çevreyi de olumlu yönde etkilemektedir. Son zamanlarda çevre bilincinin artmasıyla özellikle gençler arasında mikromobilite sistemlerinin kullanımına olan talep artmıştır. Mikromobilite sistemlerine olan talep artışın bir diğer nedeni de özellikle son kilometre olarak tanımlanan yolculuklarda, kullanılarak toplu taşıma ulaşımını tamamlayıcı bir özellik taşımasıdır.

Diğer ulaşım türlerinden bisiklete olan türel kaymaya etken olan unsurları inceleyebilmek, hem de gelecekte oluşacak bisiklet kullanım taleplerini kestirebilmek amacıyla özellikle paylaşımlı bisiklet sistemlerinin kullanımındaki dönemsel değişimlerin incelenmesi gerekmektedir. Her ne kadar paylaşımlı bisiklet kullanımının çoklu regresyonla modellenmesi literatürde yer alsa da (Feng ve Wang, 2017), dönemsel değişimler ayrıca incelenmelidir. Geliştirilen çalışma kapsamında, Türkiye'de faaliyet gösteren mikromobilite kuruluşlarından bir tanesi olan Yapıdrom A.Ş.'nin bisiklet paylaşımı hizmeti verdiği şehirlerden 4 tanesindeki dönemsel bisiklet kullanım sayıları ve buna etki eden çeşitli unsurlar incelenmiş ve çoklu doğrusal regresyon yöntemiyle modellenmiştir.

Yöntem

2012 senesinde kurulan Yapıdrom Teknoloji Şirketi, Türkiye'nin ilk mikromobilite şirketidir. Türkiye'de birçok kent ve ilçesinde faaliyet gösteren paylaşımlı bisikletlerle kurulan altyapılar bugün elektrikli bisikletler ve e-scooterlar ile insanların şehir içindeki ulaşımına hizmet etmektedir. Bu sistem sayesinde bugün ülke içerisindeki çevre bilinci, karbon salımının azaltılması ve alternatif ulaşım sistemlerinin geliştirilmesinde yararlar sağlanmıştır.

Yapıdrom'un bünyesinde bulunan "Baksi" markası sürdürülebilir akıllı bisiklet paylaşım sistemlerini işaret ederken; İstanbul, İzmir Antalya, Bursa gibi otuz farklı şehirde kamu kuruluşları ile beraber halka hizmet vermektedir. Ayrıca 2022 yılında Türkiye'nin ilk e-bisiklet operasyonunu Bursa'da faaliyete geçirmiştir. Şirket, "Tazı" markası altında Anadolu'da sekiz ilde mikromobilite hizmeti vermektedir.

Çalışma kapsamında öncelikle Yapıdrom A.Ş. tarafından bisiklet kiralama hizmeti verilen farklı özelliklere sahip dört şehirdeki bisiklet kullanım verileri elde edilmiştir. Bu dört şehir, Marmara Bölgesi'nde bulunan Çanakkale, Bursa'nın Nilüfer İlçesi, Orta Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Çorum ve Akdeniz Bölgesi'nde bulunan Muğla'nın Marmaris İlçesi'dir.

Çanakkale

Türkiye'nin kuzeybatısındaki Marmara Bölgesi'nde bulunan Çanakkale 559.383 kişilik nüfusa sahiptir (TÜİK, 2023). Çanakkale Boğazı'nın ikiye ayırdığı şehir, İstanbul ile birlikte hem Avrupa hem de Asya Kıtası'nda topraklara sahip iki şehrimizden birisidir. Şehir Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi'ne de ev sahipliği yaptığından farklı şehirlerden de önemli sayıda öğrenci nüfusunu çekmektedir. Yapıdrom A.Ş. Çanakkale'de paylaşımlı bisiklet hizmetlerine 2016 yılının Ağustos ayında başlamıştır. Halen Çanakkale'de paylaşımlı bisiklet hizmetleri devam etmektedir.

Bursa-Nilüfer Belediyesi

Türkiye'nin kuzeybatısındaki Marmara Bölgesi'nde bulunan Bursa 3.194.720 kişilik nüfusuyla en kalabalık dördüncü şehrimizdir. Nilüfer Belediyesi'nin nüfusu ise 536.365'dir (TÜİK, 2023). Şehir Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa Teknik Üniversitesi, Mudanya Üniversitesi'ne ev sahipliği yapmaktadır. 2011 yılında açılmış olan Bursa Orhangazi Üniversitesi ise 2016 yılında kapatılmıştır. Üç farklı üniversiteye ev sahipliği yapan şehirde önemli bir öğrenci nüfusu da bulunmaktadır. Yapıdrom A.Ş. Bursa'nın Nilüfer Belediyesi'nde paylaşımlı bisiklet hizmetlerine 2016 yılının Nisan ayında başlamıştır. Halen Nilüfer Belediyesi sınırlarında paylaşımlı bisiklet hizmetleri devam etmektedir.

Çorum

Türkiye'nin kuzeyindeki Karadeniz Bölgesi'nin Orta Karadeniz Bölümü'nde bulunan Çorum 524.130 kişilik nüfusa sahiptir (TÜİK, 2023). Şehirde 2006 yılında kurulan Hitit Üniversitesi bulunmaktadır. Yapıdrom A.Ş. Çorum'da paylaşımlı bisiklet hizmetlerine 2020 yılının Ağustos ayında başlamıştır. Halen Çorum'da paylaşımlı bisiklet hizmetleri devam etmektedir.

Muğla-Marmaris Belediyesi

Türkiye'nin batısındaki Ege Bölgesi ile güneyindeki Akdeniz Bölgesi'nde toprakları bulunan Muğla 1.048.185 kişilik nüfusa sahiptir. Akdeniz Bölgesi'nde bulunan Marmaris Belediyesi'nin nüfusu ise 97.818'dir (TÜİK, 2023). Ancak Marmaris önemli bir yaz turizmi merkezlerimizden olduğundan, Mayıs-Ekim ayları arasında önemli sayıda turist çekmektedir. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi'ne sahip olması nedeniyle önemli bir öğrenci nüfusu da barındırmaktadır. Yapıdrom A.Ş. Çorum'da paylaşımlı bisiklet

hizmetlerine 2019 yılının Nisan ayında başlamıştır. Halen Marmaris'te paylaşımlı bisiklet hizmetleri devam etmektedir.

Verilerin Toplanması

Paylaşımlı bisiklet kullanım talebinin incelenmesi amacıyla öncelikle dört şehrin her biri için, Yapıdrom A.Ş.'nin hizmet vermeye başladığı tarihten 2021 yılı sonuna kadar ay bazında bisikletlerin toplam kiralanma sayıları, toplam kullanım süreleri ve ortalama kullanım süreleri elde edilmiştir. Daha sonra kullanıma etki edebilecek unsurlar araştırılmış ve her bir şehir için, yıl bazında toplam nüfus, kadın ve erkek nüfusu (TÜİK, 2023), TL ve USD cinsinden gayrı safi yurtiçi hasıla (GSYH), değerleri, 16-35 yaş aralığındaki nüfus (TÜİK, 2022), üniversite öğrencisi olan nüfus (üniversitelerin internet sitelerinden derlenmiştir), kentiçi yol ağı uzunluğu (KGM, 2023), ay bazında ortalama hava sıcaklıkları, ortalama yağışlı gün sayısı (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023), COVID-19 pandemisi etkisinde bulunup bulunulmadığı, tam kapanma uygulanıp uygulanmadığı ve o şehirde ne kadar zamandır paylaşımlı bisiklet hizmeti verildiği verileri toplanmıştır. Toplanan tüm veriler gerçek değerlere sahip iken, yalnızca pandemi ve kapanma değişkenleri uygulandıkları dönemde 0, uygulanmadıkları dönemdeyse 1 ile gösterilen bir kukla değişken ile gösterilmiştir. Araştırma sırasında 2022 yılı GSYH değerleri açıklanmadığından, tüm veriler 2022 yılı sonuna kadarlık zaman aralıkları için elde edilmiştir.

Çoklu Doğrusal Regresyon Modellerin Oluşturulması

Öncelikle incelenen her bir şehirdeki paylaşımlı bisiklet kullanımına etki eden unsurlar ayrı ayrı araştırılmıştır. Daha sonra dört şehre ait tüm veriler bir arada değerlendirilerek, tüm şehirler için genel bir model elde edilmeye çalışılmıştır. Her bir şehir için ayrı geliştirilen modellerin yanı sıra tüm şehirlerin bir arada değerlendirildiği modellerde de bisikletlerin toplam kiralanma sayıları, toplam kullanım süreleri ve ortalama kullanım süreleri ayrı ayrı bağımlı değişkenler olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla 15 ayrı çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen istatistik analizler IBM SPSS Statistics 24 paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Anak, sayfa sınırından dolayı detaylı modeller sadece Çanakkale için verilmiştir (Çizelge 4).

Çoklu doğrusal regresyon modellerinin oluşturulması için öncelikle değişkenler arasındaki korelasyon incelenmiştir. Bağımsız değişkenler arasında yüksek korelasyon bulunduğu durumlarda, bağımlı değişken ile daha yüksek korelasyona sahip olan bağımsız değişken modele katılmış, diğer değişken ise katılmamıştır. Geliştirilen modellere katılan bağımlı değişkenlerle bağımsız değişkenler arasında, korelasyonun yüksek olması açısından, en az 0,7 değerinde bir korelasyon katsayısı bulunmaktadır. Her bir şehir için geliştirilen çoklu doğrusal regresyon modeline katılan bağımsız değişkenler Çizelge 1'de görülmektedir.

Modellerde kullanılan bağımsız değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri sayfa sınırından dolayı sadece Çanakkale için verilmiştir. Bu veriler Çizelge 2'de yer almaktadır. Çizelge 2'de görüldüğü üzere, gözlem süresince ortalama sıcaklık yaklaşık 19 derece olup aylık ortalama yağışlı gün sayısı yaklaşık 7 gün olarak tespit edilmiştir. Amerikan Doları cinsinden ortalama GSYH da yaklaşık $10.000 olarak bulunmuştur.

Çizelge 1 Geliştirilen Çoklu Doğrusal Regresyon Modellerine Katılan Bağımlı Değişkenler

Kent/Bağımsız Değişken	Toplam Kiralama Sayısı	Toplam Kullanma Süresi (dakika)	Ortalama Kullanım Süresi (dakika)
Çanakkale	GSYH$, Yıllık Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Sıcaklık, GSYH$	Hizmetteki Ay Cinsinden Süre, Ortalama Sıcaklık
Nilüfer	Ortalama Sıcaklık, Öğrenci Sayısı	Sıcaklık, Hizmete Girdikten İtibaren Kaçıncı Yılda Olduğu, 16-35 Yaş Nüfusu,	Pandemi, GSYH$, Sıcaklık
Çorum	Pandemi	Ortalama Sıcaklık	Yağışlı gün sayısı
Marmaris	Yağış	yok	16-35 yaş nüfusu
Tümü	GSYH$, Ortalama Sıcaklık, Pandemi, Toplam Nüfus	GSYH$, Ortalama Sıcaklık, Pandemi, Toplam Nüfus	Pandemi, Ortalama Sıcaklık, Toplam Nüfus, 16-35 yaş nüfusu, GSYHTL, Hizmete girdikten itibaren kaçıncı yılda olduğu

Çizelge 2 Çanakkale İçin Geliştirilen Modellerde Kullanılan Bağımsız Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri

	Gözlem Sayısı	Ortalama	St. Sapma
Sıcaklık	64	19,078	7,516
GSYH ($)	64	10021,094	468,283
Yağışlı Gün Sayısı	64	7,163	3,659

Bağımlı ve bağımsız değişkenler saptandıktan sonra Denklem 1'de görüldüğü gibi çoklu doğrusal regresyon modelleri geliştirilmiştir. Denklemde *y* bağımlı değişkeni, x_i'ler bağımsız değişkenleri, *a, b, … z* de katsayıları göstermektedir.

$$y_i = a.x_1 + b.x_2 + \ldots + z \quad (1)$$

Geliştirilen çoklu doğrusal regresyon modellerinin başarılarının değerlendirilmesi için ölçülen değerler ile model sonucu arasında saçılma diyagramı çizilerek, belirleyicilik katsayısı R^2 ölçülmüştür. Ayrıca, ölçülen ve modellenen değerler birer zaman serisi şeklinde çizdirilmiştir. Örnek olarak Çanakkale için çizdirilen zaman serileri Şekil 1'de, tüm şehirlerin bir arada değerlendirildiği zaman serileri ise Şekil 2'de görülmektedir. Her bir şehir için geliştirilen çoklu doğrusal regresyon modellerinin R^2 katsayıları Çizelge 3'te görülmektedir.

Ayrıca, çalışma için verilen sayfa sınırından dolayı, sadece Çanakkale için geliştirilen regresyon model detayları Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge 3'e bakıldığında, toplam kiralama sayısı, toplam kullanım miktarı ve ortalama kullanım miktarı verileri bağımlı değişken olmuştur. Her üç modelin F-istatistik değerlerinin p-değerlerine bakınca modellerin %95 güven seviyesinde anlamlı olduğu görülmektedir ($0.000<0.05$). Ancak, bu değişkenlerle ilişkide olan bağımsız değişkenler birbirinden farklı olmuştur. Çizelge 3'te görüleceği üzere, Yağış sadece ortalama kiralama sayısı üzerinde etkili olurken, Sıcaklık ise bu değişkenle ilişkili olmayıp, diğer iki bağımlı değişkenle ilişkili olmuştur.

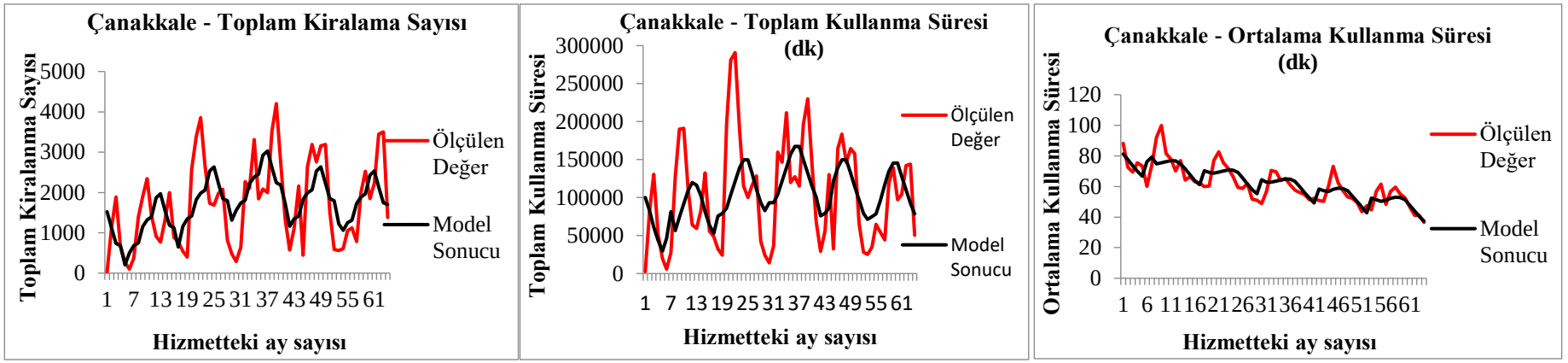
Öte yandan, GSYİH ($) değişkeni ise sadece ortalama kullanım miktarı üzerinde etkili olmamıştır. Varyans enflasyon faktörlerine (VIF) bakınca, her üç modelde de değer yaklaşık 1 olarak bulunmuştur. Bu da bağımsız değişkenler arasında korelasyon olmadığını göstermektedir.

Çizelge 3 Geliştirilen Çoklu Doğrusal Regresyon Modellerinin Başarımı

Kent/R^2	**Toplam Kiralama Sayısı**	**Toplam Kullanıma Süresi (dakika)**	**Ortalama Kullanım Süresi (dakika)**
Çanakkale	0,3390	0,2268	0,6090
Nilüfer	0,6865	0,6997	0,5705
Çorum	0,3157	0,2861	0,2516
Marmaris	0,2902	yok	0,3159
Tümü	0,5161	0,4964	0,3207

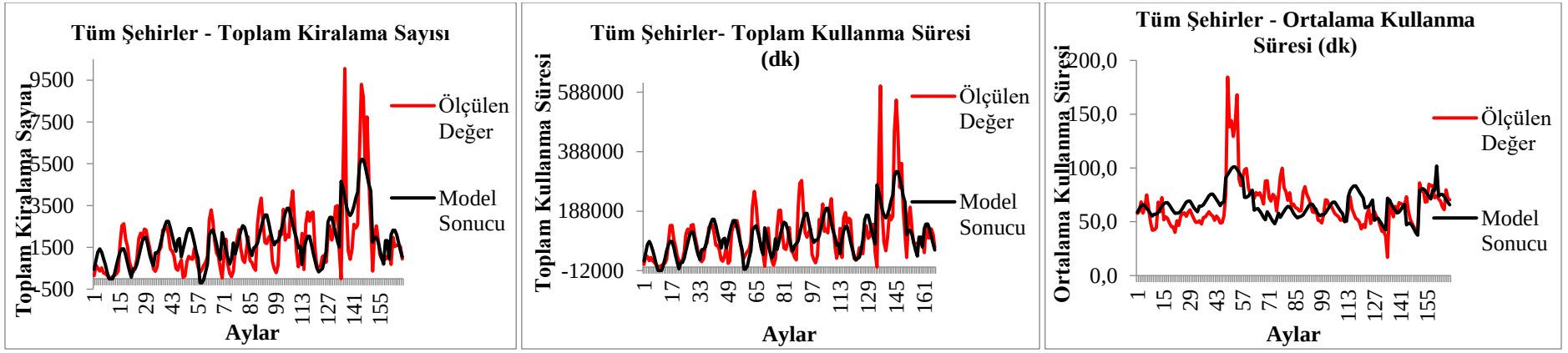
Çizelge 4 Çanakkale İçin Geliştirilen Çoklu Doğrusal Regresyon Modelleri

Toplam Kiralama		
Model Özeti		
F-istatistiği	15,644	
p-değeri	0,000	
R^2	0,339	
Model İstatistikleri		
Bağımsız Değişken	**Katsayı**	**p-değeri**
Sabit	11912,622	0,000
GSYİH ($)	-0,929	0,000
Yağış	-125,046	0,000
VIF		1,001
Toplam Kullanım		
Model Özeti		
F-istatistiği	8,946	
p-değeri	0,000	
R^2	0,227	
Model İstatistikleri		
Bağımsız Değişken	**Katsayı**	**p-değeri**
Sabit	452776,424	0,008
GSYİH ($)	-41,490	0,014
Sıcaklık	3524,465	0,001
VIF		1,001
Ortalama Kullanım		
Model Özeti		
F-istatistiği	47,457	
p-değeri	0,000	
R^2	0,609	
Model İstatistikleri		
Bağımsız Değişken	**Katsayı**	**p-değeri**
Sabit	71,520	0,000
Sıralı Ay	-0,507	0,000
Sıcaklık	0,334	0,017
VIF		1,001



(a) **(b)** **(c)**

Şekil 1 Çanakkale – Toplam Kiralama Sayısı (a), Toplam Kullanma Süresi (b) ve Ortalama Kullanım Süresi (c) için elde edilen zaman serileri



(a) **(b)** **(c)**

Şekil 2 Tüm Şehirler – Toplam Kiralama Sayısı (a), Toplam Kullanma Süresi (b) ve Ortalama Kullanım Süresi (c) için elde edilen zaman serileri

Sonuç ve Öneriler

Yapıdrom A.Ş.'nin daha uzun bir süredir hizmet verdiği iki şehir olan Çanakkale ve Nilüfer Belediyesi için geliştirilen çoklu doğrusal regresyon modellerinin başarımları daha kısa süredir hizmet verilen, dolayısıyla daha az veriye sahip olunan Çorum ve Marmaris'e kıyasla daha yüksektir. Yeni verilerin elde edilmesiyle bu iki kent için de daha başarılı çoklu doğrusal regresyon modeli elde edilebilir. Buna karşın geliştirilen modellerin hiçbiri bağımlı değişkenleri yüksek bir başarımda kestirememiştir. Yalnızca istatistik açıdan anlamlı olan değişkenleri kullanarak geliştirilen modeller, bisiklet kullanım sayılarını ya da sürelerini kestirmekte başarılı olamamaktadır. Bu nedenle modellerde göz önüne alınmayan bazı değişkenlerin de bisiklet kullanım talebini önemli ölçüde değiştireceği düşünülebilir. Bu tür bir değişkene örnek olarak, özellikle belediyelerin sorumluluğundaki karayollarının ağ uzunlukları ve karakteristik özellikleri verilebilir. Öte yandan, toplumun tümü birlikte değerlendirildiğinde önem taşımadığı düşünülen bir değişken, toplumun belirli bir kesimi için önemli olabilir. Dolayısıyla toplumların farklı segmentleri için farklı modeller geliştirilmesi konusunda denemeler yapılması gelecekte önemli olabilir.

Tüm şehirlere ilişkin verilerin bir arada kullanıldığı model, bisiklet kullanım talebindeki değişimlerin kestiriminde daha az veri elde edilmiş olan Çorum ve Marmaris için geliştirilmiş modellerden daha başarılı olmuşken, daha fazla veri elde edilmiş Çanakkale ve Nilüfer Belediyeleri için daha başarısız olmuştur. Bu da yeteri kadar veri elde edildiğinde, her şehir için ayrı bir model kurulduğunda daha yüksek başarım elde edileceğini göstermektedir. Buna karşın, tüm şehirler için tek bir model geliştirilebildiğinde, bu tamamen farklı bir şehir için de oluşabilecek talebi ya da diğer bir deyişle kullanım sayı ve sürelerini tahmin etmekte kullanılabilir. Bu da yeni bir şehre yapılacak yatırımlar açısından yol gösterici olabilir.

Çoklu doğrusal regresyon modellerinin sonuçlarından elde edilen zaman serileri incelendiğinde, modellerin genel olarak kullanım sayı ya da sürelerindeki artış ya da azalış eğilimlerini yakaladıkları görülmektedir. Yine de, Çanakkale modellerinde sıcaklık ve yağış değişkenlerinin katsayıları beklenen işaretleri almıştır: Sıcaklık pozitif, yağış negatif; sıcaklık arttıkça kullanımlar artarken yağış arttıkça tersi etki gözlemlenmektedir. Ne var ki, geliştirilen modellerin hiçbiri zirve ya da dip noktalarını yüksek bir doğrulukla kestirememektedir. Model geliştirilirken kullanılan bağımsız değişken sayısının artmasının bu tepe ve dip noktalarına yaklaşımı arttırabileceği düşünülebilir.

Geliştirilen modellerin başarımlarının arttırılması için çoklu doğrusal regresyon modeli gibi istatistik yöntemlerin yanı sıra, bulanık mantık, yapay sinir ağları, derin öğrenme gibi makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılması da yararlı olabilir. Bu tarz yöntemler doğrusal olmayan ilişkilerin de modellenmesinde yüksek başarım gösterdiklerinden, gelecekteki çalışmalarda bisiklet kullanım talebinin makine öğrenme yöntemleri ile de kestirilmesi düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Avrupa Birliği'nin H2020 araştırma ve inovasyon programının desteğiyle RECIPROCITY Projesi (Hibe NO 101006576) ve Yapıdrom A.Ş.'nin katkılarıyla hazırlanmıştır. Desteklerinden dolayı AB ve Yapıdrom A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Austin Public Health. (2019) Dockless Electric Scooter-related Injuries Study. Erişim Adresi: https://www.austintexas.gov/sites/default/files/files/Health/Epidemiology/APH_Dockless_Electric_Scooter_Study_5-2-19.pdf Son erişim: 12.05.2023.

Bachand-Marleau, J., Lee, B.H.Y., El-Geneidy, A. (2012). Better Understanding of Factors Influencing Likelihood of Using Shared Bicycle Systems and Frequency of Use. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2314, 66–71. https://doi.org/10.3141/2314-09

Blomberg, S. N. F., Rosenkrantz, O. C. M., Lippert, F. and Christensen, H. C. (2019). Injury from electric scooters in Copenhagen: a retrospective cohort study. BMJ Open, 9(12), e033988. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-033988

Feng, Y. ve Wang, S. "A forecast for bicycle rental demand based on random forests and multiple linear regression". 2017 IEEE/ACIS 16th International Conference on Computer and Information Science (ICIS), Wuhan, China, 2017, pp. 101-105, doi: 10.1109/ICIS.2017.7959977.

Murat, Y.Ş., Başkan, Ö. (2006)ç Modelling vehicle delays at signalized junctions: Artificial neural networks approach. Journal of Scientific & Industrial Research, Vol. 65(1), 558-564.

Sığırcı, M. (2020). Bisiklet: Kim, Ne Zaman İcat Etti? Erişim Adresi: https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/bisiklet-kim-nezaman-icat-etti Son erişim: 12.05.2023.

Şengül, B., Mostofi, H. (2021). Impacts of e-micromobility on the sustainability of urban transportation - a systematic review. Applied Sciences, 11(13). https://doi.org/10.3390/app11135851

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Resmi İstatistikler. Erişim Adresi: https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx Son erişim: 12.05.2023.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (8 Aralık 2022) İl Bazında Gayrisafi Yurt İçi Hasıla, 2021. Erişim Adresi: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Il-Bazinda-Gayrisafi-Yurt-Ici-Hasila-2021-45619 Son erişim: 12.05.2023.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (6 Şubat 2023) Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2022. Erişim Adresi: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2022-49685 Son erişim: 12.05.2023.

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM). İstatistikler. Erişim Adresi: https://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/istatistikler/devletveilyolenvanteri.aspx Son erişim: 12.05.2023.

Mikromobilite Taşıtlarının Çevre Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi – İstanbul Bağdat Caddesi Örneği

Arş. Gör. İrem Merve Ulu
İstanbul Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnş. Müh. Böl.
Tel: (216) 677 16 30
E-posta: irem.ulu@okan.edu.tr

Doç. Dr. Selim Dündar
İstanbul Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnş. Müh. Böl.
Tel: (216) 677 16 30
E-posta: selim.dundar@okan.edu.tr

Öz

Trafik sıkışıklığı ve ulaşım kaynaklı çevre kirliliği son yıllarda özellikle büyük şehirlerde önemli bir sorun haline gelmiştir. Bu sorunlara çözüm olarak yenilikçi ulaşım türleri ortaya çıkmış, aynı zamanda daha çevreci seçeneklere olan ilgi artmıştır. Özellikle gençler arasında yaygınlaşan bisiklet, e-bisiklet, e-skuterler gibi mikromobilite araçları çevresel olduğu algısı ve eğlence amaçlı kullanımıyla tercih edilmektedir. Mikromobilite taşıtlarının çevreye etkileri üzerinde ülkemizde sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Trafik akım özellikleri ülkeden ülkeye, kentten kentte hatta bölgeler arasında bile değişkenlik gösterebildiği için ülkemiz sürücülerini ya da kullanıcılarını tanımlayan özelliklerin belirlenmesi ulaşımın, çevrenin ve kentlerin geleceğini tahmin etmek, aynı zamanda doğru politikaların üretilebilmesi açısından önem taşımaktadır.

Çalışmada, ülkemiz kullanıcılarını temsilen örneklem alanı olarak mikromobilite kullanıcılarının sıklıkla tercih ettiği İstanbul İli, Kadıköy İlçesi, Bağdat Caddesi belirlenmiş, söz konusu alandan toplanan trafik hacimleri, trafik bileşimi, sinyal süreleri gibi veriler ile mevcut durum PTV VISSIM ince boyutlu benzetim programında modellenmiştir. Modelin ölçümlenmesinden (kalibrasyonundan) sonra, trafik akımına farklı oranlarla mikromobilite taşıtları eklenerek senaryolar oluşturulmuştur. Bu senaryolardan ulaşılan çözümlemeler sonucunda mikromobilite taşıtlarının trafik akımına katıldıktan sonra yol açtığı gaz salım değişimleri elde edilmiştir. Bu bağlamda çalışmada mikromobilite taşıtlarının trafik akımı kaynaklı çevresel etkilerinin nasıl olacağı CO_2, CO, HC ve NO_X salımları üzerinden değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda mikromobilite taşıtlarının çevreye etkilerini en iyileyecek şekilde işletilebilmesine yönelik bazı önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar sözcükler: Mikromobilite, e-skuter, trafik, kirletici gaz salımları.

Giriş

Günümüzde özellikle büyük kentlerde hava kirliliğinin ana sebeplerinden biri ulaşım kaynaklı kirleticilerdir. Son yıllarda artan nüfus ve araç sahipliğine bağlı olarak oluşan kirliliğe çözüm olarak temiz ulaşım alternatifleri, yakıt seçenekleri, temiz enerji üretimi ve yanma süreçleri üzerinde birçok çalışma yapılmıştır (Uyumaz ve diğ., 2017).

Benzinli ve dizel motorlar başta karbondioksit (CO_2), karbonmonoksit (CO), azot oksit (NO_X), hidrokarbon (HC), partikül maddeler (PM), kükürt oksit (SOX) ve kurşun bileşikleri olmak üzere birçok egzoz gaz salımlarına yol açmaktadır (Pulkrabek, 2010). Bu gazların küresel ısınmaya katkı sağlamasının yanı sıra canlıların sağlığına da olumsuz birçok etkisi bulunmaktadır. Örneğin CO kanda oksijen taşınımı azaltırken, NO_X solunum yolu hastalıklarına, HC solunum hastalıkları ve çeşitli kanser türlerine neden olmaktadır (Bulut, 2012). CO_2 doğrudan zehirli bir gaz olmamasına rağmen yüksek oranı oksijensizlikten boğulmalara neden olmaktadır.

Taşıtlardan kaynaklanan bu salımların azaltılmasına yönelik birçok çalışma yapılmış, standartlar belirlenmiş ve yasal düzenlemeler de getirilmiştir (Mazzoleni ve diğ, 2004; Bradley ve diğ, 1999). Örneğin Avrupa Birliği tarafından 1970'lerde oluşturulan EURO I standartları motorlu taşıtların sebep olduğu salımları düzenlemeye yönelik standartları içermektedir. Yıllar içerisinde bu standartlar güncellenerek daha az gaz salımı hedeflenmektedir. Güncel olarak 2015 yılında yürürlüğe giren EURO VI standardı kullanılmaktadır. Birçok ülkede kabul edilen EURO standartlarının yanında kendi standartlarını belirleyen ülkeler de yer almaktadır. Ülkemizde de egzoz değerlerinin standart dışı olması durumunda cezai işlemler uygulanmaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2019)

Günümüzde daha çevreci olduğu inancı, eğlence amacıyla kullanımı, yoğun trafik saatlerinde alternatif bir tür olarak kullanılabilmesi sebebiyle elektrikli skuterler (e-skuterler) giderek popülerleşmektedirler. E-skuterler gidon, gövde ve tekerleklerden oluşan ve elektrikle çalışan mikromobilite araçlarından biridir. Diğer ulaşım araçlarına kıyasla daha düşük hızlarla seyahat ederler ve genellikle bir kişiyi taşımaktadırlar. E-skuterlerin ortaya çıkışı daha öncesinde dayansa da paylaşımlı olarak kullanımı 2017'den sonra yaygınlaşmıştır (Bloom ve diğ., 2021; Fitt ve Curl, 2020). Mikromobilite araçları genellikle düşük maliyete ve çevresel etkilere sahip yeni sürdürülebilir seyahat türleri olarak tanımlanmaktadır (Campisi ve diğ, 2020). Bunun yanında özellikle sıkışık yollarda yolculuk süresinin azalmasına, kısa mesafeli yolculukların hızlandırılmasına katkıda bulunabilirler ve kullanım için bir ehliyet gerektirmezler (Bozzi ve Aguilera, 2021).

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde e-skuterlerin çoğunlukla kısa yolculuklar için tercih edildiği görülmektedir. ABD için yapılan bir çalışmada bu mesafe 1,6 km ve 12 dakika olarak gözlenmiş, Avrupa şehirleriyle ilgili yapılan benzer bir çalışmada ise ortalama yolculuk uzunluğu 1,8 km olarak hesaplanmıştır. (NACTO, 2020; Civity Management Consultants, 2020). Bu mesafeler bir taksi çağırmak ya da toplu taşıma için kısa olarak algılansa da yürümek için uzun olarak görülmektedir (Bozzi ve Aguilera, 2021). Bu sebeple kısa mesafede sürdürülebilir ulaşım seçenekleri arasındaki boşluğu doldurabilirler (Button ve diğ., 2020; Bai ve Jiao, 2020).

Elektrikli kullanımları sebebiyle skuterlerin çevre dostu olduğuna yönelik yaygın bir kanı bulunmaktadır. E-skuterler içten yanmalı motor ile çalışan taşıtların aksine doğrudan egzoz gazı salımı üretmemektedirler ancak yapılan çalışmalarda paylaşılan e-skuterlerin çevresel etkilerinin olumsuz da olabileceği ortaya konulmuştur (de Bortolini ve Christoforou, 2020; Hollingsworth ve diğ., 2019; Moreau ve diğ., 2020). ABD merkezli bir araştırmada paylaşımlı e-skuter kullanmanın mil başına otobüs, bisiklet, moped, veya yürüyerek seyahat etmekten daha fazla sera gazı salımına neden olduğu görülmüştür (Hollingsworth ve diğ., 2019). Çalışmaya göre sera gazındaki azalma

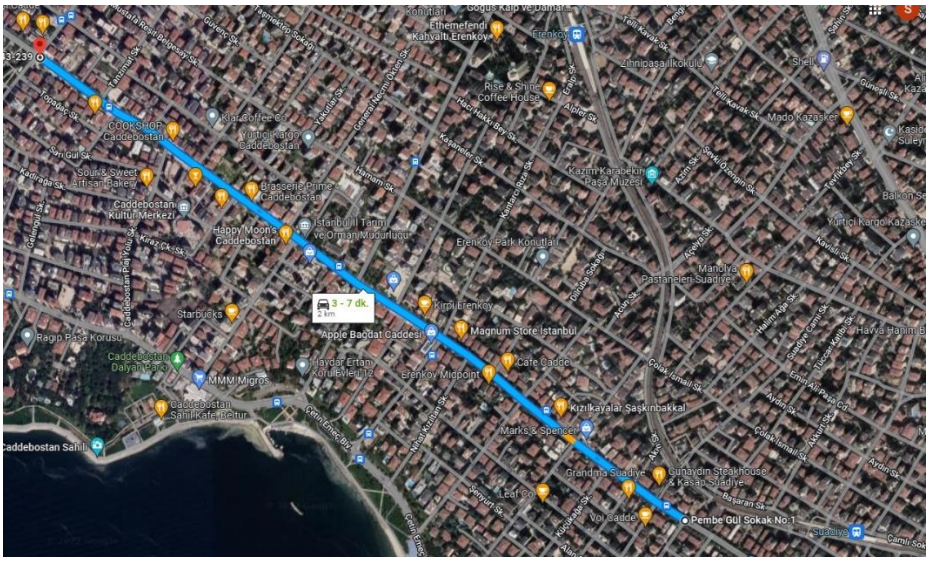
ancak e-skuterların araba yolculuklarının yerini aldığında gerçekleşebilir. Avrupa'da yapılan benzer çalışmalarda ise çoğu alternatif ulaşım türünden daha yüksek karbon ayak izine sahip olduğu görülmüştür (de Bortolini ve Christoforou, 2020; Moreau ve diğ., 2020). Paris'te yapılan bir çalışmada ise e-skuterlerin otomobillerden iki kat daha az taksilerden ise üç kat daha az sera gazı salımları ürettiği görülmüştür (de Bortolini ve Christoforou, 2020). Aynı çalışmada paylaşımlı e-skuterlerin paylaşımlı bisikletlerden iki kat, paylaşımlı moped skuterlerden dört kat, tramvaylardan altı kat ve yerel hızlı trenler ve metrolardan on kat daha fazla daha fazla salım ürettikleri görülmüştür (de Bortolini ve Christoforou, 2020). Bu çalışmalar e-skuterlerin ulaşım sistemindeki çevresel etkilerinin hangi tür yolculukların yerini aldığıyla bağlantılı olduğunu göstermektedir (Bozzi ve Aguilera, 2021).

E-skuterlerin yalnızca kullanım aşamasında değil, malzemeleri, üretim, taşımacılık, toplama ve dağıtılma, şarj etme de dahil yaşam döngüsünde çevreye birçok etkisi bulunmaktadır. E-skuterlerin üretim aşamasında lityum-iyon pil ve ağırlığın neredeyse yarısını oluşturan ve üretmek için yoğun enerji gerektiren alüminyum gövdenin en büyük etkiye sahip olduğu görülmektedir (Hollingsworth ve diğ., 2019; Moreau ve diğ., 2020). E skuterlerin üretilmesi nispeten kirletici olduğu için sürdürülebilir olmaları için ömürlerinin mümkün olduğunca uzun olması gerekmektedir (Bozzi ve Aguilera, 2021). Moreu ve diğ. (2020)'in Brüksel için yaptığı çalışmada paylaşımlı skuterlerin özel mülkiyete sahip skuterlerden daha fazla çevresel etkiye sebep olduğunu göstermiştir. Bu durumun sebebi hem özel mülkiyete sahip skuterlerin daha az fiziksel zarara maruz kalması ve daha uzun ömürlü olması hem de paylaşılan e-skuterlerin toplanıp yeniden dağıtılmasının da etkisinin olmasıdır. E-skuterlerin toplanıp yeniden dağıtılması ise sera gazı salımlarında önemli bir etmendir. Normal şartlarda günde en az bir kez şarj edilmesi gereken skuterleri şirketler gün içerisinde toplayıp şarj ederek yeniden stratejik noktalara bırakmaktadırlar. Çoğunlukla şirketler toplama ve dağıtım süreci için benzinli araçlar kullanmaktadır. Toplama ve dağıtımın en iyilenmesi üzerine yapılan bir çalışmada toplama ve dağıtımın yalnızca yakıt tasarruflu araçlarla yapılması gerektiğini ve çok düşük pil seviyesindekiler ile sınırlandırıldığında salımları %30 azaltabileceğini göstermektedir (Hollingsworth ve diğ., 2019). Moreau ve diğ. (2020) ise e-kargo bisikletleri ile taşınabilir ve değiştirilebilir pil kullanımını önererek toplanıp yeniden dağıtım ihtiyacının ortadan kaldırılmasını önermektedir.

Doğrudan bir gaz salımına sebep olmasalar bile e-skuterler trafiğe katıldıklarında trafik akımının ortalama hızında, gecikmelerde ve böylelikle gaz salımlarında değişimlere yol açabilirler. Bu çalışmada e-skuterlerin trafiğe katıldıktan sonra ulaşım kaynaklı kirliliğin üzerindeki etkilerinin kestirimi amaçlanmaktadır. Bu amaçla ince boyutlu benzetim (mikrosimülasyon) yazılımında farklı senaryolarda farklı yüzdelerle eklenen e-skuterlerin sebep olduğu gaz salımlarındaki değişim irdelenmiştir.

Yöntem

E-skuterlerin ulaşım kaynaklı gaz salımları üzerindeki etkisinin incelenebilmesi için İstanbul ili Kadıköy ilçesinde yer alan Bağdat Caddesi örnek alan olarak seçilmiştir. Bu cadde Maltepe ilçesi ile Kızıltoprak semtleri arasında yer almakta olup, yaklaşık 7 km uzunluğundadır (Şekil 1). Cadde çevresi karma arazi kullanımına sahip olup alışveriş, rekreasyon, sosyal etkinlikler vb. amaçlarla sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 1 Bağdat Caddesi üzerindeki çalışma bölgesi

Bağdat Caddesi'nde e-skuterlerin yaratacağı etkinin incelenebilmesi amacıyla trafiğin tek yönlü aktığı, 3 şeritli, yaya ve e-skuter talebi yüksek ve bisiklet yolu içermeyen Şaşkınbakkal-Göztepe arasındaki yaklaşık 2 km'lik bir kesimi ele alınmıştır. Belirlenen alanda mevcut trafiğin özelliklerinin irdelenebilmesi için hafta içi bir gün olan 30 Mart 2022 tarihinde e-skuter kullanımının yüksek olduğu 15:00-17:00 zaman aralığında trafik ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sırasında Bağdat Caddesi ve bu caddeye katılan her bir sokağın saatlik trafik hacimleri, trafik sinyal devre süreleri, trafik bileşimi ve taşıtların kavşaklardan dönüş oranları ölçülmüştür.

Tablo 1 Ölçülen trafik hacimleri.

Cadde/Sokak Adı	**Saatlik Trafik Hacmi (tş/sa)**
Bağdat Caddesi	2500
Pembegül Sokak	110
Mücahit Sokak	30
Akın Sokak	145
Kazım Özalp Sokak	250
Noter Sokak	360
Köşk Sokak	145
Nihat Kızıltan Sokak	70
Abdülkadir Noyan Sokak	290
Şerafettin Sokak	70
Ethemefendi Caddesi	300
İskele Sokak	430
Ogün Sokak	110
Ömerpaşa Sokak	500
Sarıgül Sokak	70
Tanzimat Sokak	145
Hulusi Behçet Caddesi	720
Tütüncü Mehmet Efendi Caddesi	500

Seçilen alanın modellenebilmesi için PTV VISSIM 2021 yazılımda Bağdat Caddesi Şaşkınbakkal-Göztepe arasındaki kesimi ve bu kesimi kesen sokaklar şerit sayıları ve şerit genişliklerine uygun olarak çizilmiştir. Tablodaki verilen trafik hacimleri Bağdat Caddesi ve her bir sokak için yazılıma tanımlanmıştır. Bağdat Caddesi, Ethem Efendi Sokak ve Ömerpaşa Sokak üzerinde trafik bileşimi %97 otomobil, %2 ağır taşıt, %1 otobüs, diğer sokaklarda ise %99 otomobil %1 ağır taşıt olarak sisteme tanımlanmıştır. Ardından cadde üzerinde yasal hız sınırı 50 km/sa olduğundan tüm araç tipleri için tercih edilen hız olarak belirlenmiş ve incelenen kesimde bulunan 9 adet trafik sinyal devre süresi ayrı ayrı yazılıma eklenmiştir. Modelin ölçümlendirilebilmesinin (kalibrasyonunun) sağlanabilmesi için veri toplama noktalarından biri olan Ethemefendi ve İskele Sokak arasındaki her bir şeride veri toplama noktası eklenmiştir. Benzetim yazılımı 900 saniye modelin ısınma zamanı olarak tanımlanmış ve model 900-4500. saniyeler arasında çalıştırılmıştır. Modelin doğrulaması (validasyonu) hacim değerleri kullanılarak yapılmış, 10 farklı rastgele altsenaryo ile veri toplama noktalarından elde edilen saatlik hacim verileri ve saha verileri karşılaştırılarak %95 uyum sağlanmıştır ve modelin doğrulaması gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2 Benzetim yazılımında kullanılan senaryolar için trafik hacmi katsayıları.

Senaryo	**Anayol (Bağdat Caddesi) Saatlik Trafik Hacim Katsayısı**	**Yan Sokak/Caddeler Saatlik Trafik Hacim Katsayısı**
Temel Senaryo (Senaryo 1)	1	1
Senaryo 2	1	2
Senaryo 3	1	0.5
Senaryo 4	0.5	1
Senaryo 5	0.5	2
Senaryo 6	0.5	0.5
Senaryo 7	2	1
Senaryo 8	2	2
Senaryo 9	2	0.5

Geliştirilen modelde mevcut trafiğin değişebilirliği göz önünde bulundurularak anayol ve yan sokaklardan anayola katılan saatlik hacim verileri değiştirilerek 8 ek senaryo oluşturulmuştur. E-skuterlerin yaratacağı salım değişiminin belirlenebilmesi için her bir senaryoya e-skuterler %10'luk bir değişim ile %0 ve %100 arasında sisteme eklenmiştir. PTV VISSIM yazılımında ön tanımlı bulunan araçlar arasında e -skuterler bulunmadığından bu taşıtlar bisikletler temel alınarak yeni bir araç tipi olarak tanımlanmıştır. Piyasada birçok e-skuter tipi ve modeli olmasına karşın çalışmada bu modellerin ortalama özellikleri temel alınarak araç özellikleri tanımlanmıştır. Buna göre çalışmadaki e-skuter uzunluğu 1200mm, genişliği 600mm, en yüksek hızlanma ivmesi 3.7m/s^2, tercih edilen hızlanma ivmesi 1.4m/s^2, en yüksek yavaşlama ivmesi 9.0m/s^2, tercih edilen yavaşlama ivmesi 7.0m/s^2 olarak tanımlanmıştır. PTV VISSIM yazılımında araçların gaz salımlarının hesaplanabilmesi eklenti kullanımı ya da dışsal bir salım modeli tanımlanmasını gerektirmektedir. Microsoft Visual Studio'da C++ dilinde yazılan dışsal salım modeli her bir araç için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Benzetim modelinde araç türlerine göre atanan dışsal salım modelinde kullanılan parametreler Tablo 3'te verilmiştir. Taşıt türlerinin benzinli veya dizel olmasının seçimi Türkiye'de en çok kullanılan araç türlerine göre gerçekleştirilmiştir (TÜİK, 2021). Dışsal salım

modelinde araçların araç türlerine göre ortalama ağırlığı eklenmiş, benzetim programında varsayılan ivme değeri kullanılmış ve EURO VI salım sınıflandırmasına göre CO, HC ve NO_X salımları tanımlanmıştır (Nealon ve Kempken, 2021; Pastorello ve Melios, 2016; Williams ve Minjares, 2016). E-skuterler elektrikli kullanımıyla bir gaz salımına sebep olmaması sebebiyle kirletici değerler 0 olarak alınmıştır. Buna ek olarak elektriğin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edildiği kabul edilmiştir. Piyasada birçok farklı ağırlıkta e-skuter kullanılsa da ağırlık ortalama olarak 20 kg olarak kabul edilmiştir. E-skuterlerin istenen hızı ise ülkemizdeki hız sınırlaması sebebiyle 25 km/sa olarak belirlenmiştir.

Tablo 3 Dışsal salım modeli parametreleri.

	Ağırlık (kg)	Hız (km/sa)	İvme	CO	HC	NO_X
Araba (dizel)	1496	50	1,96	0,50	0,09	0,08
E-skuter	20	25	1,46	0,00	0,00	0,00
Otobüs (dizel)	20000	50	1,00	1,00	0,10	0,06
Ağır Araç (dizel)	25000	50	0,52	1,5	0,46	2,00

Araçların CO_2 salımlarının hesaplamaları ise Nouri ve Morency (2015)'nin çalışmasının PTV VISSIM grubunun uyarlaması ile hazırlanmıştır (PTV America Knowledge Base, 2019). Benzinli ve dizel araçların CO_2 salımı yakıt tüketimine bağlı olarak aşağıdaki bağıntılardan hesaplanmaktadır. Hesaplamaya göre $[Z]_d$ = aktarma organı direnci (drive-train resistance), $[Z]_r$ = lastik yuvarlanma direnci (tire rolling resistance), $[Z]_a$ = aerodinamik direnç (aerodynamic resistance), $[Z]_e$ = atalet ve yerçekimi direnci (inertial and gravitational resistance) değerlerinin toplanması ile yakıt tüketimi hesaplanır, ardından dizel ise 26,5, benzinli ise 23,6 katsayısıyla çarpılarak CO_2 salımı elde edilmektedir.

$$[Z]_d = \{2{,}36 \times 10^{-7} \times v^2 \times M\} \quad (1)$$

$$[Z]_r = \{3{,}72 \times 10^{-5} \times v + 3{,}09 \times 10^{-8} \times v^2\} \times M \quad (2)$$

$$[Z]_a = \{1{,}29 \times 10^{-5} \times 0{,}66 \times v^3\} \quad (3)$$

$$[Z]_e = \{2{,}78 \times 10^{-4} \times (a + g \sin\theta) \times M \times v\} \quad (4)$$

$$FC = [Z]_d + [Z]_r + [Z]_a + [Z]_e \quad (5)$$

$$[CO_2]_d = 26{,}5 \times [FC]_d \quad (6)$$

$$[CO_2]_g = 23{,}6 \times [FC]_g \quad (7)$$

Denklemlerde v = hızı (km/sa), a = ivmeyi (m/s^2), M = taşıt ağırlığını (kg), g = yer çekimi ivmesini, sinθ = yol eğiminin sinüs değerini, FC= yakıt tüketimini, $[CO_2]_d$ =dizel araç CO_2 salımı (gr), $[CO_2]_g$ = benzinli araç CO_2 salımını (gr) tanımlamaktadır.

Her araç için ayrı ayrı tanımlanan salım modellerinin ardında çalıştırılan benzetim yazılımında her senaryoda farklı e-skuter oranları ile ortalama gecikme, ortalama

durma, ortalama hız, sisteme giren ve çıkan taşıt sayısı ile salım değerleri elde edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4 Benzetim modeli çıktıları.

Senaryo	E-Skuter Oranı	Ortalama Gecikme (sn)	Ortalama Durma (sn)	Ortalama Hız (km/sa)	Aktif Taşıt	Ulaşan Taşıt	CO_2 (gr)	HC (gr)	NO_X (gr)	CO (gr)
Senaryo 1	0%	19,89	0,65	25,46	12741	6770	331,20	0,09	0,10	0,48
	10%	19,93	0,65	25,39	12782	6759	332,63	0,09	0,10	0,48
	20%	20,21	0,66	25,07	12939	6764	335,07	0,09	0,11	0,49
	30%	20,84	0,69	24,45	13291	6769	344,65	0,09	0,11	0,50
	40%	21,44	0,72	23,84	13639	6749	353,88	0,10	0,11	0,51
	50%	22,37	0,77	22,97	14191	6743	367,77	0,10	0,12	0,54
	60%	20,94	0,70	22,94	13319	6544	353,15	0,10	0,11	0,52
	70%	21,69	0,72	23,48	13810	6766	354,69	0,10	0,11	0,52
	80%	21,29	0,71	23,83	13663	6745	350,17	0,09	0,11	0,51
	90%	22,16	0,74	22,97	14123	6745	360,37	0,10	0,11	0,53
	100%	22,04	0,74	23,07	14091	6740	357,47	0,10	0,11	0,52
Senaryo 2	0%	36,42	1,43	11,57	32732	9009	634,34	0,17	0,20	0,93
	10%	36,45	1,43	11,61	33538	9149	645,24	0,17	0,20	0,94
	20%	36,41	1,42	11,62	33454	9118	644,01	0,17	0,20	0,94
	30%	36,24	1,41	11,72	33299	9124	639,81	0,17	0,20	0,94
	40%	36,96	1,45	11,24	34273	9045	660,42	0,18	0,21	0,97
	50%	36,82	1,45	11,29	33994	9055	656,48	0,18	0,21	0,96
	60%	37,12	1,47	11,11	34505	9007	668,86	0,18	0,21	0,98
	70%	36,95	1,46	11,22	34082	9010	659,46	0,18	0,20	0,97
	80%	37,06	1,46	11,14	34308	8999	663,39	0,18	0,20	0,97
	90%	37,32	1,49	10,94	34586	8967	668,46	0,18	0,20	0,98
	100%	37,29	1,46	10,98	34778	8989	669,59	0,18	0,21	0,99
Senaryo 3	0%	15,66	0,52	30,76	8506	4632	323,99	0,09	0,10	0,47
	10%	15,98	0,53	30,36	8600	4642	327,72	0,09	0,10	0,47
	20%	16,19	0,54	30,07	8686	4632	330,56	0,09	0,11	0,48
	30%	16,36	0,54	29,81	8758	4633	332,18	0,09	0,11	0,48
	40%	16,65	0,55	29,44	8868	4626	335,06	0,09	0,11	0,48
	50%	16,90	0,56	29,10	8976	4636	336,61	0,09	0,11	0,48
	60%	16,96	0,56	28,98	9008	4637	335,90	0,09	0,11	0,48
	70%	17,04	0,56	28,83	9046	4635	337,38	0,09	0,11	0,49
	80%	17,21	0,56	28,59	9113	4628	336,98	0,09	0,11	0,49
	90%	17,30	0,57	28,45	9165	4635	336,79	0,09	0,10	0,49
	100%	17,59	0,58	28,09	9292	4633	339,73	0,09	0,10	0,49
Senaryo 4	0%	17,45	0,51	26,41	7820	5229	253,36	0,07	0,08	0,38
	10%	17,53	0,51	26,26	7854	5226	254,16	0,07	0,08	0,38
	20%	17,58	0,51	26,13	7882	5226	253,91	0,07	0,08	0,38
	30%	17,66	0,51	25,98	7928	5230	253,11	0,07	0,08	0,38
	40%	17,67	0,51	25,91	7948	5226	251,74	0,07	0,08	0,38
	50%	17,76	0,51	25,75	8003	5234	253,12	0,07	0,08	0,38
	60%	17,81	0,51	25,65	8031	5230	253,70	0,07	0,08	0,38
	70%	17,82	0,51	25,58	8057	5234	252,62	0,07	0,08	0,38
	80%	17,94	0,51	25,42	8101	5234	254,56	0,07	0,08	0,38
	90%	17,99	0,51	25,29	8137	5232	254,32	0,07	0,08	0,38
	100%	18,11	0,52	25,12	8179	5228	256,10	0,07	0,08	0,38
Senaryo 5	0%	25,31	0,63	18,93	16267	8200	338,21	0,09	0,10	0,51
	10%	25,66	0,64	18,62	16536	8172	343,83	0,09	0,10	0,51
	20%	23,02	0,58	16,79	14728	7310	341,59	0,09	0,10	0,51
	30%	25,51	0,64	18,69	16419	8128	341,35	0,09	0,10	0,51
	40%	26,05	0,66	18,25	16768	8080	349,02	0,10	0,11	0,52
	50%	26,10	0,65	18,18	16826	8045	350,79	0,10	0,11	0,53
	60%	26,05	0,65	18,21	16782	8032	350,17	0,10	0,11	0,52

Tablo 4 Benzetim modeli çıktıları (devam).

	60%	26,05	0,65	18,21	16782	8032	350,17	0,10	0,11	0,52
	70%	26,17	0,65	18,11	16845	8028	352,43	0,10	0,11	0,53
	80%	26,37	0,66	17,94	16999	7994	356,74	0,10	0,11	0,53
	90%	26,42	0,66	17,88	17095	8013	357,70	0,10	0,11	0,53
	100%	26,58	0,65	17,72	17184	7964	360,66	0,10	0,11	0,54
	0%	13,75	0,42	31,47	4550	3106	247,69	0,07	0,08	0,36
	10%	13,80	0,42	31,27	4578	3106	248,69	0,07	0,08	0,36
	20%	13,88	0,42	31,04	4607	3105	247,67	0,07	0,08	0,36
	30%	13,89	0,42	30,90	4626	3108	246,49	0,07	0,08	0,36
	40%	13,98	0,42	30,66	4659	3107	244,64	0,07	0,07	0,36
Senaryo 6	50%	14,04	0,42	30,48	4684	3103	244,90	0,07	0,08	0,36
	60%	14,09	0,42	30,31	4710	3104	244,57	0,07	0,08	0,36
	70%	14,16	0,42	30,11	4734	3105	245,18	0,07	0,08	0,36
	80%	14,18	0,42	29,98	4753	3100	247,04	0,07	0,08	0,36
	90%	14,24	0,42	29,79	4784	3107	244,82	0,07	0,08	0,36
	100%	14,31	0,42	29,61	4809	3102	245,88	0,07	0,08	0,36
	0%	28,76	1,17	17,80	18468	6851	481,85	0,13	0,15	0,70
	10%	28,68	1,16	17,84	18449	6869	482,15	0,13	0,15	0,70
	20%	28,61	1,15	17,90	18423	6875	481,86	0,13	0,15	0,69
	30%	28,72	1,16	17,78	18478	6870	482,30	0,13	0,15	0,70
	40%	28,62	1,16	17,89	18536	6901	482,08	0,13	0,15	0,70
Senaryo 7	50%	28,74	1,16	17,77	18522	6872	482,94	0,13	0,15	0,70
	60%	28,71	1,15	17,77	18535	6867	482,66	0,13	0,15	0,70
	70%	28,82	1,17	17,66	18560	6849	485,60	0,13	0,15	0,70
	80%	28,89	1,17	17,61	18692	6869	488,14	0,13	0,15	0,70
	90%	28,84	1,16	17,60	18595	6849	487,24	0,13	0,15	0,70
	100%	29,04	1,18	17,43	18671	6828	489,38	0,13	0,16	0,71
	0%	36,80	1,46	11,38	33949	9179	649,90	0,18	0,20	0,95
	10%	37,41	1,49	10,98	34870	9122	673,07	0,18	0,21	0,99
	20%	37,22	1,49	11,11	34557	9152	666,67	0,18	0,21	0,98
	30%	36,96	1,46	11,27	34206	9143	660,73	0,18	0,21	0,97
	40%	37,44	1,50	10,93	34814	9091	676,82	0,18	0,21	0,99
Senaryo 8	50%	37,00	1,46	11,22	34089	9113	661,51	0,18	0,21	0,97
	60%	37,19	1,47	11,09	34495	9127	667,04	0,18	0,21	0,98
	70%	37,63	1,51	10,81	35223	9097	684,72	0,19	0,21	1,00
	80%	37,06	1,47	11,18	34272	9124	665,99	0,18	0,21	0,98
	90%	37,09	1,47	11,16	34399	9088	670,93	0,18	0,21	0,98
	100%	37,71	1,52	10,74	35216	9020	689,91	0,19	0,22	1,01
	0%	28,62	1,23	18,89	14821	4907	547,08	0,14	0,17	0,78
	10%	28,63	1,23	18,86	14830	4904	543,78	0,14	0,17	0,78
	20%	28,50	1,23	18,98	14850	4928	545,33	0,14	0,17	0,78
	30%	28,53	1,23	18,92	14887	4933	546,93	0,14	0,17	0,78
	40%	28,59	1,23	18,85	14928	4920	549,44	0,15	0,18	0,78
Senaryo 9	50%	28,59	1,23	18,85	14928	4920	550,35	0,15	0,18	0,78
	60%	28,89	1,25	18,55	14943	4872	553,50	0,15	0,18	0,79
	70%	28,85	1,21	18,57	14961	4874	552,85	0,15	0,18	0,79
	80%	28,95	1,25	18,48	14983	4871	554,49	0,15	0,18	0,79
	90%	28,88	1,25	18,50	14978	4869	553,52	0,15	0,18	0,79
	100%	29,18	1,25	18,21	15020	4826	560,43	0,15	0,18	0,80

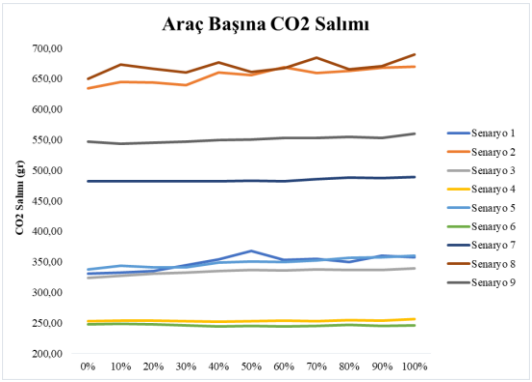
Sonuç ve Öneriler

Benzetim modeli çıktılarına göre trafik hacmi arttıkça gecikmeler ve durmalar artarken ortalama hızlar düşmektedir. Trafik hacmine eklenen e-skuterlerin de gecikmeleri ve durmaları artırdığı, ortalama hızı düşürdüğü görülmektedir. Bu durum özellikle trafik

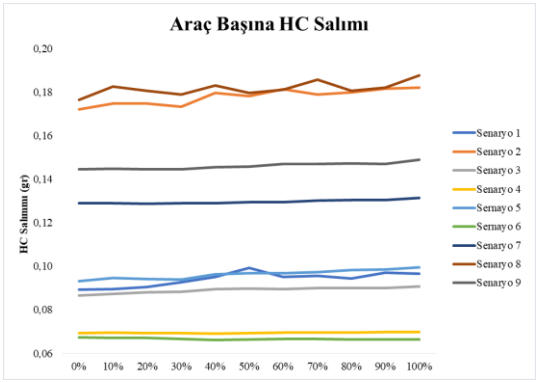
hacminin görece daha yüksek olduğu senaryolarda daha belirgin bir değişime yol açmaktadır. Bunun yanında incelenen araç başına düşen gaz salımları da Şekil 2-5'te verilmiştir.

E-skuterler petrol türevi bir yakıtla çalışmadıklarından, toplumda çevreci bir ulaşım sistemi olduklarına yönelik bir algı bulunmaktadır. Buna karşın, üretimleri sırasında kullanılan malzemeler ve süreçler ile sahip oldukları bataryaların şarj edilmesi sırasında da çevreyi kirletici etkileri bulunmaktadır. Bununla birlikte, trafik akımı içerisinde hareket ederlerken, motorlu kara taşıtlarına kıyasla daha düşük hızlarda işletildikleri için, trafik akımının homojenliğini bozmakta, diğer taşıtların daha çok ivmeli hareketler gerçekleştirmesine neden olmakta, aynı zamanda taşıt başına durma ve gecikmeleri de arttırmaktadır. Bu etkiler de çevreyi kirleten gaz salımlarının artmasına neden olmaktadır.

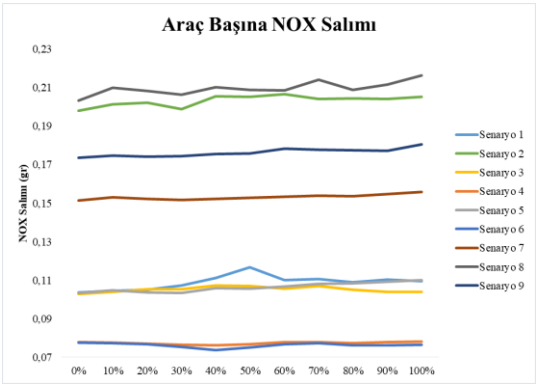
Gerçekleştirilen çalışma sonucunda literatürdeki daha önceki çalışmalara benzer şekilde ortalama hızların düştüğünde gaz salımlarının arttığı gözlenmektedir. Bu durum özellikle yüksek trafik hacmine eklenen e-skuterlerin ortalama hızı düşürmesi, gecikme ve durmaları artırması ile daha belirgin bir artışa yol açmaktadır. Yine çalışma bulgularına göre e-skuterlerin trafik akımına katılması CO_2 salımlarını %7,93'e, HC salımlarını %8,13'e, NOX salımlarını %6'ya ve CO salımlarını %8'e kadar artırmaktadır.



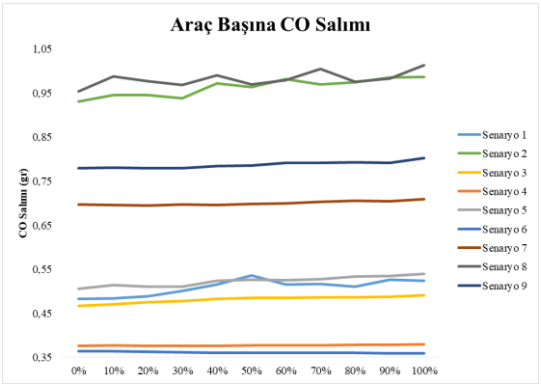
Şekil 2 Araç başına düşen CO_2 salımı.



Şekil 3 Araç başına düşen HC salımı.



Şekil 4 Araç başına düşen NO_x salımı.



Şekil 5 Araç başına düşen CO salımı.

E-skuterler başta olmak üzere mikromobilite araçları, özellikle gençler arasında artan kullanım sayılarına sahiptir ve son kilometre yolculuklarda bireysel otomobile önemli bir alternatiftir. Ancak bu çalışmadaki gibi e-skuterlerin diğer taşıtlar ile aynı şeritleri paylaştıkları durumda özellikle ana arter özelliği taşıyan caddelerin bir (genellikle en sağ) şeritlerinde kullanımına izin verildiğinde, özellikle motorlu taşıt trafiğini olumsuz etkilemekte, bu olumsuz etkiler de dolaylı olarak çevre kirliliğinde artışa neden olmaktadır. Değişen anayol- yanyol hacimleri ile değişen e-skuter oranlarına göre gaz salım miktarlarının elde edildiği senaryolara göre e-skuterlerin gaz salımlarını azalttığı tek senaryo Senaryo 6'dır. Gaz salımlarını en çok artırdığı senaryolar ise Senaryo 1, Senaryo 5 ve Senaryo 8'dir. Elde edilen sonuçlara göre e-skuterlerin yüksek trafik hacminde daha yüksek gaz salımlarına neden olduğu görülmektedir. Özellikle yanyol hacminin görece daha yüksek olduğu senaryolarda gaz salımındaki artış daha belirgin hale gelmektedir. Dolayısı ile mikromobilite araçlarının karayolu güvenliği kadar, çevresel etkiler açısından da kendilerine özgü bir yolda (örneğin bisiklet yolu) kullanılmalarına izin verilmesinin, kendilerine özgü şeritler ayrılamadığı durumlarda ise öncelikli olarak düşük hacimli yollarda mikromobilite kullanımına izin verilmesinin daha uygun olabileceği görülmüştür.

Gelecekteki çalışmalarda farklı araç bileşimlerine sahip ya da farklı sürücü davranış şekillerine sahip yollarda da bu etkilerin irdelenmesi yararlı olacaktır. Ayrıca bu çalışmada elektrik kaynağının yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edildiği varsayıldığından gaz salımları 0 olarak kabul edilmiştir ancak daha sonraki çalışmalarda yenilenemeyen kaynaklardan elde edilen elektriğin e-skuterlerin kullanımında ne kadar gaz salımına yol açabileceğinin irdelenmesi faydalı olacaktır. Bununla birlikte, taşıtların üretim ve dağıtım süreçlerindeki çevresel etkilerinin de incelenmesi ve bir yaşam döngü analizi gerçekleştirilmesi, e-skuterlerin çevresel etkilerinin daha net bir biçimde ortaya konmasını sağlayabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Avrupa Birliği'nin H2020 araştırma ve inovasyon programının desteğiyle RECIPROCITY Projesi (Hibe NO 101006576) ve 123M063 numaralı TÜBİTAK 1001 projelerinin katkılarıyla hazırlanmıştır. Desteklerinden dolayı AB ve TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Bai, S. ve Jiao, J. (2020) Dockless E-scooter usage patterns and urban built Environments: A comparison study of Austin, TX, and Minneapolis, MN. Travel Behaviour and Society. 20, 264–272.

Bloom, M. B., Noorzad, A., Lin, C., Little, M., Lee, E. Y., Margulies, D. R. ve Torbati, S.S. (2021) Standing electric scooter injuries: Impact on a community. Am. J. Surg. 221, 227–232.

Bozzi, A. D. ve Aguilera, A. (2021) Shared E-Scooters: A Review of Uses, Health and Environmental Impacts, and Policy Implications of a New. Micro-Mobility Service. Sustainability. 13, 8676. https://doi.org/ 10.3390/su13168676

Bradley, K.S., Stedman, D. H. ve Bishop, G.A. (1999) A Global Inventory of Carbon Monoxide Emissions From Motor Vehicles. Chemosphere - Global Change Science, 1, s. 65-72.

Bulut, H. (2012) Havalandırma ve iç hava kalitesi açısından CO2 miktarının analizi. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13, 16.

Button, K., Frye, H. ve Reaves, D. (2020) Economic regulation and E-scooter networks in the USA. Research in Transportation Economics. 84, 100973.

Campisi, T., Akgün, N., ve Tesoriere, G. (2020) An ordered logit model for predicting the willingness of renting micro mobility in urban shared streets: a case study in Palermo, Italy. Computational Science and Its Applications–ICCSA 2020: 20th International Conference, Cagliari, Italy, Bildiriler Ktiabı, s.189-198, 1-4 Temmuz 2020, Cham, Switzerland.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2019) Web adresinden 7 Mart 2023 tarihinde erişilmiştir: https://csb.gov.tr/egzoz-olcumunde-yeni-donem-yilbasinda-basliyor-bakanlik-faaliyetleri-29658#:~:text=Kanun%20kapsam%C4%B1nda%20egzoz%20emisyon%20%C3%B6l%C3%A7%C3%BCm%C3%BC,lira%20idari%20para%20cezas%C4%B1%20uygulan%C4%B1yor.

Civity Management Consultants. (2019) E-scooters in Germany. A Data-Driven Contribution to the Ongoing Debate. Web adresinden 2 Nisan 2023 tarihinde erişildi: https://scooters.civity.de/en

De Bortoli, A., ve Christoforou, Z. (2020) Consequential LCA for territorial and multimodal transportation policies: Method and application to the free-floating e-scooter disruption in Paris. Journal of Cleaner Production, 273, 122898.

Fitt, H. ve Curl, A. (2020) The early days of shared micromobility: A social practices approach. Journal of Transportation Geography. 86, 102779.

Hollingsworth, J., Copeland, B. ve Johnson, J. (2019) Are e-scooters polluters? The environmental impacts of shared dockless electric scooters. Environmental Research Letters. 14, 084031.

Mazzoleni, C., Moosmuller, H., Kuhns, D. H., Keislar, E. R., Barber, P. W., Nikolic, D., Nussbaum, N. J. ve Watson, J. G. (2004) Correlation Between Automotive CO, HC, NO and PM Emission Factors From on-road Remote Sensing: Implications for Inspection and Maintenance Programs. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 9(6), s. 477-496.

Moreau, H., Meux, L. D. J. D., Zeller, V., D'Ans, P., Ruwet, C. and Achten, W. M. (2020) Dockless E-Scooter: A Green Solution for Mobility? Comparative Case Study

between Dockless E-Scooters, Displaced Transport, and Personal E-Scooters. Sustainability, 12, 1803.

NACTO. (2020) Shared Micromobility in the U.S. (2019). Web adresinden 20 Nisan 2023 tarihinde erişildi: https://nacto.org/wp-content/uploads/2020/08/2020bikesharesnapshot.pdf

Nealon, L. ve Kempken, M. (2021) Average car weight. Web adresinden 3 Nisan 2023'te erişilmiştir: https://www.bankrate.com/insurance/car/average-car-weight/

Nouri, P. ve Morency, C. (2015). Untangling the impacts of various factors on emission levels of light duty gasoline vehicles (53). Montréal, QC, Canada: CIRRELT.

Pastorello, C. ve Melios, G. (2016) Explaining road transport emissions: a non-technical guide. European Environment Agency, Copenhagen. ISBN: 9789292137236 http://www.eea.europa.eu/publications/explaining-road-transport-emissions

PTV America Knowledge Base, (2019) Emission Modeling with an External Emission Model DLL in Vissim. Web adresinden 15 Nisan 2023 tarihinde erişildi: https://www.youtube.com/watch?v=HgtiIo06Nfs&t=720s).

Pulkrabek, W. W. (2010) Engineering Fundamentals of The Internal Combustion Engine. Prentice Hall, New Jersey.

Türkiye İstatistik Kurumu (2021) 26 Ocak 2021 Haber Bülteni. Web adresinden 3 Nisan 2023 tarihinde erişildi: https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Road-Motor-Vehicles-December-2020-37410#:~:text=Aral%C4%B1k%20ay%C4%B1%20sonu%20itibar%C4%B1yla%20trafi%C4%9Fe%20kay%C4%B1tl%C4%B1%2013%20milyon%2099%20bin,%250%2C3't%C3%BCr

Uyumaz, A., Boz, F., Yılmaz, E., Solmaz, H., ve Polat, S. (2017) Taşıt egzoz emisyonlarını azaltma yöntemlerindeki gelişmeler. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(Özel (Special) 1), 15-24.

Williams, M. ve Minjares, R. (2016). A technical summary of Euro 6/VI vehicle emission standards. The International Council on Clean Transportation, 1-12. https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_Euro6-VI_briefing_jun2016.pdf

Kentsel Bisiklet Yol Ağının Belirlenmesinde Erişebilirlik Kısıtlı Potansiyel Talep Tahmin Modeli Yaklaşımı: Mersin Örneği

Kemal Yasin GÖKA[1], Görkem GÜLHAN[2], Soner HALDENBİLEN[3], Halim CEYLAN[4]

[1, 3, 4] Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
[2] Pamukkale Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü

Özet

Ulaşım sistemlerinin çevresel etkilerinin planlama süreçlerinde ön plana çıkması bisiklet ulaşımı gibi motorsuz türlerin önemini arttırmıştır. Birçok kentte bisiklet kullanımını arttırmak amacı ile bisiklet yolları, paylaşımlı bisiklet sistemleri, bisiklet parkları vb. yapılanmalar ile bisiklet kullanıcılarının güvenliği, konforu vb. servis kalitesi arttırılmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmalar sırasında en önemli parametre bisiklet kullanıcı talebinin belirlenmesi olmaktadır. Başta bisiklet yollarının güzergahlarının belirlenmesi olmak üzere park yeri kapasiteleri, paylaşım kapasitesi, kavşakların tasarımında talebin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada mesafe ve süre tabanlı erişebilirlik kavramından yola çıkılarak bisiklet yolculuklarının ve istek hatlarının belirlenmesi için potansiyel bisiklet yolculuğu kavramı geliştirilerek güzergâh önerilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada kentlerde bisiklet kullanımını artırmak ve doğru yatırımlarda bulunmak amacıyla "erişebilirlik kısıtlı potansiyel talep tahmin modeli" önerilmiştir. Mersin Bisiklet ve Yaya Ana Planı kapsamında Mersin il genelinde uygulanan öneri model, mevcut bilgilerin değerlendirilmesi, güncel ana plan ve ulaşım planları model ve çıktılarının değerlendirilmesi, saha çalışmalarının gerçekleştirilmesi ve talep tahmin modelinin kurulması aşamalarından oluşturulmuştur. Saha çalışmalarında Mersin kent merkezinde yayalara, mevcut bisiklet kullanıcılarına, potansiyel bisiklet kullanıcılarına ve dezavantajlı bireylere 1500 adet anket uygulanmıştır. Ardından geleneksel talep tahmin modeli, seyahat üretimi, seyahat dağılımı ve trafik ataması olarak üç aşamada kurgulanmıştır. Çalışma kapsamında seyahat üretimi ve seyahat dağılımı parametreleri güncel ana plan çıktılarından elde edilmiştir. Öneri modelin son aşaması ise seyahat süresi erişebilirlik kısıtının da kullanıldığı "Potansiyel Bisiklet Kullanıcısı Ataması" olarak değerlendirilmiştir. Böylelikle kentiçi bisiklet yolu tasarımlarında verimliliği belirleyecek en önemli parametrelerden birisi olan potansiyel bisiklet kullanıcı talebi doğrultusunda ortaya çıkan istek hatları belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bisiklet, Bisiklet Talep Tahmini, CBS, Bisiklet Yolu

Giriş

Dünya genelinde fosil yakıtlı araçların ve kentsel yol ağı kapasitesinin doyum noktasına ulaşması sonucunda mikro hareketlilik araçlarının kullanımı yaygınlaşmıştır. Bunlar bisiklet, skuter gibi özel kullanım sunan, taşınabilir, küçük araçlar olarak sayılabilir. Mikro mobilite araçları genellikle yaya ulaşımı ve motorlu araç ulaşımı arasında bir seyahat mesafesine sahip olduğundan neredeyse günlük tüm seyahat amaçlarında mikro mobilite araçları kullanılabilmektedir. Özellikle bisiklet ve yaya ulaşımının çevre ve bireysel sağlık üzerindeki pozitif etkileri nedeni ile kentlerde bisiklet ulaşımının artırılması, küresel ölçekte iklim krizinin etkilerinin azaltılması, endüstrinin daha sağlıklı bir ekosisteme bürünmesi gibi avantajları sağlarken, kişisel ölçekte sağlıklı ve tamamlayıcı bir ulaşım imkânı sunmaktadır. Kentlerde bisiklet kullanımını artırmak ve desteklemek amacı ile üstyapı düzenlemeleri, mevcut yolların rehabilitasyonu, paylaşımlı bisiklet istasyonlarının artırılması veya iyileştirilmesi, bisiklet durak alanlarının artırılması, kampanya ve etkinlikler gibi teşvik mekanizmalarının sağlanması çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bisiklet kullanıcılarına ayrı bir yol tahsis edilmesi, kullanıcıların kendini güvende hissetmesinde, türel dağılımda istenen düzeye ulaşılmasında ve bisiklet kullanımının artmasında büyük önem taşımaktadır. Dolayısı ile bisiklet ulaşımını artırmak için yapılacak planlama çalışmalarında yol ağı oluşturmak veya mevcut yol ağını iyileştirmek en etkili çalışmalar arasında yer almaktadır. Bisiklet yol ağının öneminden yola çıkılarak potansiyel bisiklet kullanıcı talebi belirlenerek Mersin ilinde bisiklet kullanıcı sayısını ve erişilebilirliği artırmak amacıyla bisiklet yolu ağı planlaması gerçekleştirilmiştir. Planlama yaklaşımı geleneksel talep tahmin yöntemleri ve coğrafi bilgi sistemleri yöntemlerinin ortak analizleri ile oluşturulmuştur. Çalışma T.C. Mersin Büyükşehir Belediyesi Mersin Bisiklet ve Yaya Ana Planı'ndan uyarlanmıştır.

Literatür Çalışması

Bisiklet ulaşım türü, yakıtlı araçlar ile yapılan diğer ulaşım türlerine göre daha sağlıklı ve çevreci bir tür olarak öne çıkmaktadır. Ancak bisiklet yolculuğunun bazı kısıtları bulunmaktadır. Bunlar; yol ağı, trafik, hava durumu, topografya, seyahat süresi ve mesafesi, güvenlik, konfor vb. olarak sayılabilir (Heesch ve diğ. 2012). Planlamaların ise bu kısıtların etkilerini ortadan kaldırmak veya azaltmak amaçları çerçevesinde şekillendiğini söylemek mümkündür. Bisiklet yollarının planlanmasında diğer ulaşım türlerinin planlanmasına benzer yaklaşımlar görülebilmektedir. Ancak, bu yaklaşımlar bisiklet türüne ve bu türün kendi içerisindeki dinamiklerine özel olarak şekillendirilmektedir. Bu dinamiklerden bisiklet yollarının verimliliğinin belirlenmesinde Bisiklet Servis Düzeyinden (Landis ve diğ. 1997, Lowry ve diğ. 2012, Kang ve Lee 2012, Shekari ve diğ. 2013, Kazemzadeh ve Ronchi 2022, Griswold ve diğ. 2018, Petritsch ve diğ. 2007, Callister ve Lowry 2013, Liang ve diğ. 2021,Okon ve Moreno 2019) bahsedilebilir. Bisiklet Servis Düzeyini (Bicycle Level of Service-BLOS) oluşturan faktörleri birkaç başlıkta toplamak mümkündür; Bisiklet dinamikleri, Engellenme, Tür Kesişimleri, İklim, Topoloji, Sosyo-Demografik Yapı, Paylaşım Politikası, Uygulama, Kaplama ve Yolculuk Türü (Kazemzadeh ve diğ. 2020). Servis düzeyinin belirlenmesi veri toplama çalışmaları kapsamında Coğrafi Bilgi Sistemleri ve çalışma alanındaki kurumlar ile bütünleşiktir. Bisiklet akımıyla ilgili, yoğunluğun belirlenmesine katkı sunacak uygulamalar arasında geleneksel anket uygulamaları (Namkund ve diğ. 2023, Li ve diğ. 2009, Gavriilidou ve diğ. 2019, Richardson 2006) ve GPS izleme teknolojileri de (Pogodzinska ve diğ. 2020, Rupi ve diğ. 2019, Strauss ve diğ. 2015, Geneidy ve diğ. 2007, Strauss ve Miranda-Moreno 2017, Gilli ve diğ. 2020, Bian ve diğ. 2021, Pritchard ve diğ. 2019) yer almaktadır. Bunun dışında Bisiklet Sürebilirlik (bikeability) Endeksi de (Kellstedt 2020, Gray ve diğ. 2012, Castanon ve Riberio 2021, Winters ve diğ. 2013, Lowry ve diğ. 2012, Ito ve Biljecki 2021, Schmid-Querg ve diğ. 2021, Grigore ve diğ. 2019, McNeil 2011, Hoedl ve diğ. 2010) kentlerdeki mevcut bisiklet yollarının kullanışlılığı ve karşılaştırması amacıyla kullanılmaktadır. Mevcut durumun incelenmesiyle beraber yeni yol ağının planlanmasında farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunların ilk seviyesi platform genişliği ve hız sınırı müsait olan mevcut karayolunda paylaşım uygulaması olarak görülebilir. Ancak İngiltere West Midlands Bisiklet Yol Ağı Tasarım İlkeleri'nde bahsi geçen, Güvenlik, Doğrusallık, Süreklilik, Çekicilik ve Konfor çekirdek ilkeleri (Transport for West Midlands 2019), tasarım kriterleri standartlarını yükseltmektedir. Bu kriterler çalışma alanına göre sayıca ve önemce değişiklik gösterebilmekte, artıp azalabilmektedir. Bisiklet ulaşımı planlama çalışmalarında ise hangi kriterin hangi çalışma alanında ne kadar etkili olduğunu belirlemenin bilinen uygulamalarından birisi Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleridir (Bahadori ve diğ. 2022, Lin ve Liao 2016, Lee ve Huang 2012, Zuo ve Wei 2019, Carra ve diğ. 2023). Bu yöntemler genellikle paylaşımlı bisiklet istasyon konumlarının kararları, yol ağında verimlilik artırıcı önlemler veya plan senaryoları arasından seçimler gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Ancak bütünsel bir bakış açısında Talep Tahmin Yöntemlerinin kullanımı literatürde kendine yer bulmuştur (Cooper 2017, An ve Chen 2007, Ortuzar ve diğ. 2000, McDaniel ve diğ. 2014, Fournier ve diğ. 2017, Turner ve diğ. 1998, Gehrke ve Reardon 2020, Liu ve diğ. 2021, Jones ve Bucklan 2008, Oskarbski ve diğ. 2021, Greg 2010). Kentsel boyuttaki bir Talep Tahmin çalışmasında ana amaç, mevcut durumdaki ulaşım ağının verimliliğini artırmak ve gelecek durumu tahmin etmeye çalışarak talebi ve sürdürülebilir gelişmeyi karşılayacak uygun önerilerde bulunmaktır. Bu yöntemlerin kullanım alanları model yaklaşımına ve odaklandığı soruna göre değişebilmektedir. Planlama çalışmalarında talep-arazi ilişkili sık kullanılan bir başka yöntem Erişebilirlik Tabanlı yaklaşımlardır (Marshall ve Garrick 2010, Manum ve Nordstrom 2013, Zuo ve diğ. 2020, Saghapour ve diğ. 2017, Tong ve diğ. 2015, Tsigdinos ve diğ. 2023, Mora ve diğ. 2021, Zhu ve Zhu 2019, Vale ve diğ. 2016). Erişebilirlik tabanlı yaklaşımlarda amaç demografik, ekonomik ve sosyal yapıların birbirleri ile olan ulaşım ilişkisinde bisiklet ağının kullanılabilme kabiliyetinin artırılması olmaktadır. Yöntemde dikkate alınan parametreler bölgelere göre değişmekle birlikte coğrafik yapı, yol ağı, erişme kısıtları vb. önemli rol oynamaktadır. Talep, Arazi odaklı planlama yaklaşımlarında kullanılan modeller güncelliğini korumakta, yeni modeller bu yaklaşımlara kolaylıkla entegre edilebilmektedir. Bununla beraber yapay zekâ bisiklet yol ağı planlamasında başlı başına bir yöntem olarak da kullanılabilmektedir (Akhand ve diğ. 2021, Chan ve diğ. 2022, Akbarzadeh ve diğ. 2018).

Vancouver'da yapılan bir çalışmada (Winters ve diğ. 2010) bisiklet kullanımını en çok motive eden unsurlar: trafik gürültüsü ve kirliliğinden uzak rotalar; güzel manzaralı rotalar ve trafikten ayrılmış rotalar olarak belirlenmiştir. En büyük caydırıcılar ise: buz ve kar; çok fazla trafiğin olduğu caddeler; cam/çöp bulunan caddeler; yüksek hızda trafiğin olduğu caddeler ve sürücülerden kaynaklanan riskler olarak belirlenmiştir. Planlama çalışmaları ile sayılan kısıtların birçoğu önlenebilir olmaktadır. Planlanan yol ağının ise hem mevcut ve potansiyel talebi hem de erişebilirlik kısıtlarını sağlaması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında Mersin kent merkezi ve çevresi ile olan tüm ilişkiler bisiklet yol ağı ve arazi kullanımı çerçevesinde ele alınmıştır. Literatürde probleme kent bütününde talep modeli ile cevap verildiği az sayıda örnek vardır. Bu çalışmada kent bütününe yönelik literatürden farklı olarak potansiyel bisiklet yolculukları kavramı ile bir yenilik getirilmeye çalışılmıştır. Bu sayede bisikletin kullanılabileceği tüm caddeler verimlerine göre sıralanabilecektir.

Yöntem ve Çalışma Alanı

Yöntem

Çalışmada bir kentteki bisiklet yol ağının gerektirdiği tasarım standartlarının uygulanabilmesi amacıyla planlama yaklaşımlarında bütünsel yöntemler ele alınmıştır. Bu sebeple çalışma alanındaki mevcut ulaşım planlarını, mevcut yol ağını, demografik, ekonomik ve sosyal yapıları temsil edebilmesi amacıyla 4 aşamalı geleneksel talep tahmin modelinin kullanılması uygun görülmüştür. 4 aşamalı geleneksel talep tahmin modeli; seyahat üretimi, seyahat dağılımı, türel ayrım ve trafik ataması aşamalarından oluşmaktadır. Çalışma tür olarak bisiklet ulaşımı ile sınırlı olduğundan, geleneksel talep tahmin modelinden türel ayrım safhası ayrıştırılarak sadece bisiklet türü için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu aşamanın hesaplara dahil edilmemesi ile beraber yapılan trafik atamaları "Potansiyel Bisiklet Kullanıcıları"nı temsil etmektedir. Bu kavrama "Potansiyel" adı verilmesinin bir başka sebebi de çalışmada kullanılan erişebilirlik kısıtları olmaktadır. Bisiklet ulaşımında erişebilirlik kısıtları literatür bölümünde de bahsedildiği üzere coğrafik durum, seyahat süresi, seyahat mesafesi vb. koşullar olabilmektedir. Erişebilirlik kısıtlarının belirlenebilmesi ve öneri model ile tutarlı sonuçlar alabilmek adına bir dizi çalışma yürütülmüştür.

- Mevcut Verilerin Toplanması
    - Coğrafi Özellikler
    - Demografik Yapı
    - Sosyo-Ekonomik Yapı
    - Mevcut Ulaşım Ağı
    - Planlama Geçmişi
    - Proje ve Etüt Çalışmaları
    - Mevcut Bisiklet ve Yaya Ulaşımı
    - Mevcut Yönetsel Durum
    - Mevcut Hukuki Altyapı
- Yeni Verilerin Toplanması
    - Yaya Anketleri
    - Bisiklet Anketleri
    - Potansiyel Bisiklet Kullanıcı Anketleri
    - İşyeri Anketleri
    - Dezavantajlı Birey Anketleri
- Uluslararası Uygulama Örnekleri
- Strateji Geliştirilmesi
    - Bisiklet Ulaşımı
    - Sorunlar, Darboğazlar ve Olanaklar
    - Anketler ve Saha Çalışmalarının Değerlendirilmesi
    - Hedefler ve Stratejiler
- Erişebilirlik Kısıtlarının Belirlenmesi ve Talep Tahmin Modelin Uygulanması

Tüm çalışmalar ile bir kentteki yeni bisiklet yollarının belirlenmesi yaklaşımı 4 başlıkta özetlenebilir: a) Çalışma alanı fiziksel kısıtlarının elde edilmesi (sosyo-ekonomik durum, eğim vb.), b) Çalışma alanı kullanıcı davranış kısıtlarının belirlenmesi (toplu taşıma kullanımı, bisiklete binme süreleri vb.), c) Çalışma alanı strateji, hedef ve amaçların belirlenmesi, d) Elde edilen çıktılar ile talep tahmin modeli kurularak bisiklet yollarının belirlenmesi.

Çalışma Alanı

Çalışma alanı Türkiye'de mevcut bisiklet yolu ve güncel ulaşım ana planı bulunan Mersin ili olarak belirlenmiştir. Bu sayede mevcut durumdaki yol ağının iyileştirilmesi ve ulaşım ana planı öngörüleri ile potansiyel bisiklet rotalarının oluşturulması sağlanmıştır.

Mersin yüzölçümünün % 87'si dağlık, % 54'ü ormanlık arazidir. İlin kara sınırı 608 km, deniz sınırı 321 km olup yüzölçümü 15.853 km²'dir. Mersin ilinin büyük bir kısmını oldukça yüksek, engebeli ve kayalık Batı ve Orta Toros Dağları oluşturmaktadır. Ovalık ve hafif eğimli alanlar ise bu dağların denize doğru uzandığı il merkezi, Tarsus, Silifke gibi alanlarda gelişmiştir. 13 ilçesi bulunan Mersin ilinin 2022 kayıtlarına göre nüfusu 1.916.432'dir. Nüfus artış hızı %1.32'dir (TÜİK, 2023), (T. C. Mersin Valiliği, 2023). Tablo 1'de Mersin ilinin ilçe bazlı nüfusları verilmiştir.

Tablo 1. Mersin Nüfusu (TÜİK, 2023)

İlçe	İlçe Nüfusu	Nüfus (%)	İlçe	İlçe Nüfusu	Nüfus (%)
Tarsus	350.732	18%	**Silifke**	132.665	7%
Toroslar	319.711	17%	**Anamur**	66.846	3%
Yenişehir	278.961	15%	**Mut**	62.874	3%
Akdeniz	255.946	13%	**Gülnar**	27.889	1%
Mezitli	222.436	12%	**Bozyazı**	26.812	1%
Erdemli	151.928	8%	**Aydıncık**	11.468	1%
Çamlıyayla	8.164	0%	**Toplam**	1.916.432	100%

Mersin kent merkezi Yenişehir, Toroslar, Mezitli ve Akdeniz ilçelerinin sahil kısmında yoğunlaşmıştır. Günlük bisiklet kullanımına elverişli bölgeler de yine yükseltinin değişiklik göstermediği sahil kısmı olmaktadır. Bununla beraber kent merkezinin diğer ilçeler ve Adana ile de yakın bağlantıları ana yollar ile sağlanabilmektedir. Çalışma kapsamında analiz bölgesi anakentte yer alan ilçeler ve Tarsus ilçesi olarak belirlenmiştir.

Analiz ve Bulgular

Potansiyel bisiklet kullanıcılarının modellenebilmesi için ulaşım strateji ve modelleme programı olan PTV VISUM kullanılmıştır. PTV VISUM yazılımı ulaşım ağ tasarımı ve talep modellemesi yapabilen, beklenen trafik akımının analizi, toplu taşıma servislerinin planlanması, ulaşım stratejilerinin ve çözümlerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılan bir yazılımdır. Ancak, bu yazılımda potansiyel bisiklet kullanıcılarının belirlenebilmesi için herhangi bir yaklaşım bulunmamaktadır. Bu çalışmada PTV VISUM'da bisiklet kullanıcıları için istek hatları belirlenmesi için yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen potansiyel bisiklet kullanıcı modelinin tamamlanabilmesi birkaç aşamadan oluşmaktadır.

Mevcut Veriler

Mevcut veriler kapsamında demografik yapının dağılımı, yol ağı, hareketlilik oranları, coğrafik bilgiler, bisiklet ulaşım altyapısı vb. bilgiler derlenmiştir. Bu bilgilerin sayısal ortamda işlenmesi ile model kurulumu için gerekli altyapı hazırlanmıştır. PTV VISUM modeline, ilçe ve mahalle sınırları ile mevcut ulaşım ağı girilmiştir.

Yeni Veriler

Yeni veriler kapsamında yaya (766 adet), bisiklet kullanıcı (509 adet), potansiyel kullanıcı (82 adet), işyeri ve dezavantajlı birey anketleri (79 adet) gerçekleştirilmiştir. Mersin BŞB tarafından hazırlatılan güncel bir ulaşım ana planı olduğu için bu kapsamda yapılan çalışmalar kapsamında elde edilen yolculuk karakteristikleri, hane halkı anket sonuçları vb. verilerden faydalanılmıştır. Dolayısı ile çalışma kapsamında gerçekleştirilen anketler bisiklet ulaşımına yönelik verilerin elde edilebilmesi amacı ile gerekli görülmüştür.

03.06.2021-14.06.2021 tarihleri arasında Mersin ilinin bisiklet kullanıcılarına yönelik Mersin kent merkezi ile Tarsus ilçesinde "Bisiklet Kullanıcı Anketleri" gerçekleştirilmiştir. Anket katılımcılarının özel araca sahip olanların oranı %29 (149 kişi), aracı bulunmayanların oranı ise %71 (360 kişi) olarak kaydedilmiştir. Ayrıca katılımcılardan 279 kişi toplu taşıma kartına sahip iken, 230 kişi toplu taşıma kartına sahip değildir. Bisiklet kullanıcılarının seyahat amaçları incelendiğinde %38 spor egzersiz olarak belirlenirken %62'lik bir kesimin başta iş amaçlı olarak seyahat ettikleri belirlenmiştir. En yoğun kullanım saati sabah 07-08 olarak belirlenmiştir. Seyahatlerinde güzergâh tercih sebepleri incelendiğinde %26'lık bir kesimin kısa mesafeyi tercih ettiği, %27'lik bir kesimin ise başka alternatif olmadığını belirttiği görülmüştür. Bu durum kullanıcıların büyük bir kesiminin en kısa yolu tercih ettikleri ortaya koymaktadır. Ayrıca kullanıcıların büyük bölümü bisiklet ulaşımını ucuz ve hızlı olarak tanımlamıştır (T.C. Mersin Büyükşehir Belediyesi, 2021).

Seyahat Üretimi ve Dağılımı

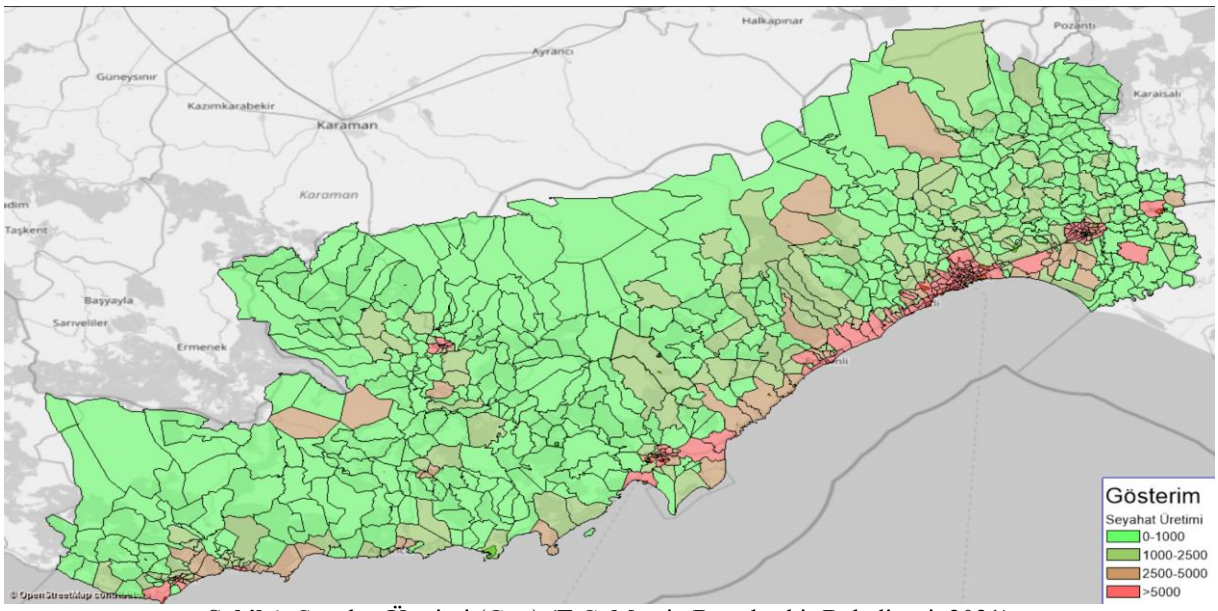
Mevcut ve toplanan yeni veriler ile çalışma bölgesindeki bisiklet alt yapısı ve kullanıcı karakteristikleri belirlenmiştir. Ardından 4 aşamalı model süreci için Trafik Analiz Bölgelerinin (TAB) oluşturulması çalışmalarına geçilmiştir. Öneri modelde mikro hareketlilik çalışıldığından bölgeleme de düşük olabilecek seyahat mesafesine uygun olarak düzenlenmiştir. Toplamda 952 adet Trafik Analiz Bölgesi oluşturulmuştur (T.C. Mersin Büyükşehir Belediyesi, 2021):

- Mahalleler (805 Adet)
- Etki Noktaları (EN) (147 Adet)
    - 10 Liman
    - 26 Hastane
    - 5 Ada
    - 4 Üniversite Bölgesi
    - 32 Turistik Bölge
    - 2 Terminal
    - 4 Stadyum
    - 19 Sanayi Bölgesi
    - 5 Park Alanı
    - 33 Kamu Binası

TAB'nin oluşturulmasının ardından seyahat üretimi ve dağılımı aşamasına geçilmiştir. İki adet analiz bölgesi türü söz konusudur. Bunlardan ilki mahalleler, diğeri etki noktalarıdır (EN). Mahalle yolculuklarının hesaplanmasında Mersin Ulaşım Ana Planı (MUAP) hareketlilik verileri kullanılmıştır. EN'lerin yolculuklarında ise seyahat üretimi kaynağından yararlanılmıştır. Tablo 2'de MUAP'tan alınan hareketlilik değerleri görülmektedir. Tablo'da Brüt Hareketlilik, yapılan yolculuk sayısının tüm kişilere oranını, Net Hareketlilik ise yapılan yolculuk sayısının sadece yolculuk yapan kişilere oranını temsil etmektedir.

Tablo 2. Hareketlilik Oranları (Mersin Büyükşehir Belediyesi, 2015)

Yolculuk Amacı	**Brüt Hareketlilik Oranı**	**Net Hareketlilik Oranı**
Ev-İş	0,44	1,94
Ev-Okul	0,44	1,99
Ev-Diğer	0,59	2,08
Ev Uçlu Olmayan	0,08	1,42
Toplam Yolculuklar	1,55	2,25



Şekil 1. Seyahat Üretimi (Gün) (T.C. Mersin Büyükşehir Belediyesi, 2021)

Seyahat dağılımında çift kısıtlı (üretim-çekim) çekim modeli kullanılmıştır. Çekim modelinde direnim fonksiyonu ve parametresi belirleyici rol oynamaktadır. Trafik Analiz Bölgeleri (TAB) arası direnim fonksiyonu eksponansiyel fonksiyon, direnim değişkeni ise seyahat süresi olarak değerlendirilmiştir. Fonksiyon katsayıları yine Ulaşım Ana Planı'ndaki gibi kullanılmıştır.

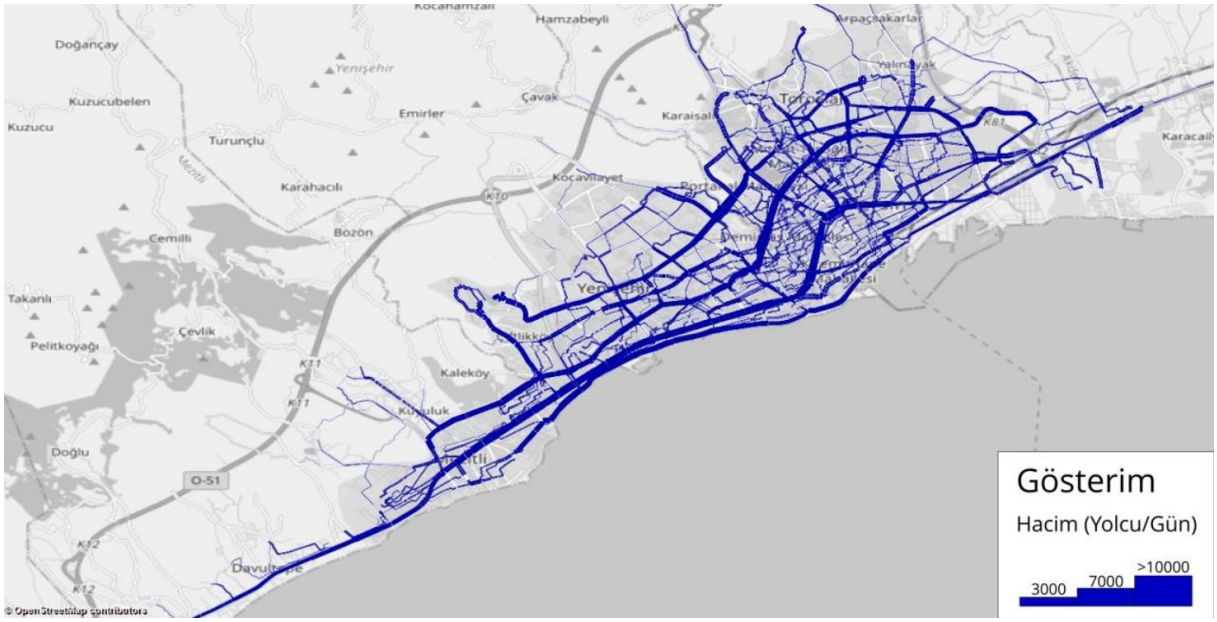
Potansiyel Bisiklet Kullanıcısı Ataması

Özellikle mikro hareketlilik modellerinde birkaç farklı kısıt bulunmaktadır. Seyahat süresinin yanında fiziki eğim değerlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. . Bu durum model aşamasında ulaşım türü direnimlerinde bir kısıt olarak veya seyahat süresine etki eden bir faktör olarak tanımlanabilmektedir. Dünya geneline

bakıldığında şehir içi ulaşımda ortalama bisiklet kullanma mesafesi 5-15 km arasında değişirken bu mesafe için 20-45 dakikalık seyahat süresi gözlemlenmektedir. Çalışma kapsamında potansiyel bisiklet kullanıcıların istek hatları değerlendirildiğinden eğim değerleri bu aşamada dikkate alınmamıştır. Dolayısı ile modelde, bisiklet kullanıcılarının erişebilirlik kısıtları seyahat süresi olarak değerlendirilmiştir.

Bisiklet kullanıcılarının ortalama seyahat süreleri kullanıcı anketlerinden (T.C. Mersin Büyükşehir Belediyesi, 2021) elde edilen verilere göre kullanılmıştır. Örneğin Akdeniz ilçesinde biten bisiklet seyahatlerinin %78'i 21-30 dk ve altındaki seyahat sürelerine sahiptir. Çalışma bölgesinde bu oran %60 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak çalışma bölgesinde bisiklet kullanıcılarının ortalama seyahat süresi literatür değerleri ile uyumlu bir şekildedir.

Genel toplamların ağırlıklı ortalaması alındığında Mersin'de bisiklet kullanıcılarının ortalama 30 dk'lık bir seyahat süresine sahip olduğu görülmektedir. Bu değer modele girilen yol ağında bisikletin seyredebileceği ve 20 km/sa gibi bir ortalama hıza sahip olduğu varsayımı ile karşılaştırılmıştır. Bu değerin üzerindeki yolculuklar yolculuk matrisinden çıkartılmıştır. Aynı zamanda yaya olarak 5 dakikanın altındaki yolculuklar da yolculuk matrisinden çıkartılmıştır. Böylelikle Potansiyel Bisiklet Yolcusu matrisi oluşturulmuştur. Tüm yol ağı bisiklet için kullanıldığından ve günlük trafik atama yapıldığından iteratif artış ataması işlem kolaylığı açısından tercih edilmiştir. Şekil 2'de potansiyel kullanıcıları için istek hatları ve yolculukları verilmiştir. Şekildeki koyu ve kalın çizgiler günlük bisiklet yolculuklarının 10.000 yolcu/gün civarında olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Potansiyel Bisiklet Kullanıcısı Ataması (T.C. Mersin Büyükşehir Belediyesi, 2021)

Sonuçlar

Bu çalışmada bisiklet yollarının güzergahlarının belirlenmesi amacı ile bir şehirdeki bisikletle yapılabilecek potansiyel yolculuklar belirlenerek dört aşamalı ulaşım modeli ile atama prosedürü gerçekleştirilmiş ve bisiklet yolculukları için istek hatları oluşturulmuştur. Çalışma bölgesi olarak Mersin ili anakentte yer alan 4 ilçe ve merkeze yakın olan Tarsus ilçesi seçilmiştir.

Anketler sonucu elde edilen ortalama 30 dakikalık bisiklet seyahat süresinin literatür verileri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Elde edilen seyahat matrisi, bisiklet seyahatlerinin karakteristikleri dikkate alınarak potansiyel bisiklet seyahat matrisi formuna çevrilmiştir. Bu aşamada 5 dakikanın altındaki yolculuklar ve 30 dakikanın üstündeki yolculuklar matristen çıkarılmıştır. Ardından en kısa yol algoritması kullanılarak elde edilen potansiyel bisiklet yolculuk matrisi yardımı ile istek hatları PTV VISUM yardımı ile belirlenmiştir. Çalışma kapsamında seyahat süresini etkileyen cinsiyet, yaş, sağlık vb. demografik veriler ile yol eğimleri, kavşaklardaki gecikmeler vb. alt yapı tabanlı direnimler dikkate alınmamıştır. Kapsamlı çalışmalar ve uygulama projesine esas çalışmalarda bu parametrelerinde dikkate alınarak çalışılmasında fayda görülmektedir. Yine çalışma kapsamında gerçekleştirilen anketler ile bisiklet kullanıcılarının kısa yolları seçmeleri, güvenli ve konforlu güzergahları seçmeleri gibi kullanıcı ve altyapıya bağlı kriterlerinde bisiklet yollarının tasarımında dikkate alınması önemlidir.

Öneri model sonucunda Potansiyel bisiklet kullanıcı ataması ile erişebilirlik kısıtları içerisindeki tüm yollarda talep, bisiklet talebi olarak hesaplanmıştır. Böylece bisiklet yolu uygulanabilecek yolların önem derecesi ortaya konmuştur. Çalışmanın Yöntem bölümünde bahsedilen dört kapsamın uygulanması ile bisiklet yolu için uygun olan ana arterler, tesis konumları, eğim, talep gibi unsurlarda sayısal serbestlik sağlanarak yatırım yapılacak bisiklet yollarının karar aşaması için kolaylıkla bir zemin oluşturulabilecektir.

Teşekkür

Yazarlar çalışma kapsamında Mersin Büyükşehir Belediyesi ve Metropol Kentsel Tasarım'a teşekkür eder.

Kaynaklar

Heesch K. C., Sahlqvist S., Garrard J. (2012), Gender differences in recreational and transport cycling: a cross-sectional mixed-methods comparison of cycling patterns, motivators, and constraints, International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity volume 9, Article number: 106

Landis B. W., Vattikuti V. R., Brannick M. T. (1997), Real-Time Human Perceptions: Toward a Bicycle Level of Service, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume 1578, Issue 1

Lowry M. B., Callister D., Gresham M., Moore B. (2012), Assessment of Communitywide Bikeability with Bicycle Level of Service, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume 2314, Issue 1

Kang K., Lee K. (2012), Development of a bicycle level of service model from the user's perspective, KSCE Journal of Civil Engineering volume 16, pages1032–1039

Asadi-Shelari Z., Moeinaddini M., Shah M. Z. (2013), Non-motorised Level of Service: Addressing Challenges in Pedestrian and Bicycle Level of Service, Transport Reviews, Volume 33, 2013 - Issue 2, Pages 166-194

Kazemzadeh K., Ronchi E. (2021), From bike to electric bike level-of-service, Transport Reviews Volume 42, 2022 - Issue 1, Pages 6-31

Griswold J. B., Yu M., Filingeri V., Grembek O., Walker J. L. (2018), A behavioral modeling approach to bicycle level of service, Transportation Research Part A: Policy and Practice Volume 116, October 2018, Pages 166-177

Petritsch T. A., Landis B. W., Huang H. F., McLeod P. S., Lamb D., Farah W., Guttenplan M. (2007), Bicycle Level of Service for Arterials, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume 2031, Issue 1

Callister D., Lowry M. (2013), Tools and Strategies for Wide-Scale Bicycle Level-of-Service Analysis, Journal of Urban Planning and Development, Volume 139 Issue 4 - December 2013

Liang X., Zhang T., Xie M., Jia X. (2021), Analyzing bicycle level of service using virtual reality and deep learning technologies, Transportation Research Part A: Policy and Practice Volume 153, November 2021, Pages 115-129

Okon I. E., Moreno C. A. (2019), Bicycle Level of Service Model for the Cycloruta, Bogota, Colombia, Sciendo Volume & Issue: Volume 8 Issue 1

Kazemzadeh K., Laureshyn A., Hiselius L. W., Ronchi E. (2020), Expanding the Scope of the Bicycle Level-of-Service Concept: A Review of the Literature, Sustainability, Volume 12, Issue 7

Namkung O. S., Park J., Ko J. (2023), Public bike users' annual travel distance: Findings from combined data of user survey and annual rental records, Transportation Research Part A: Policy and Practice Volume 170, April 2023, 103619

Li Z., Wang W., Shan X., Jin J., Lu L., Yang C., (2009), Analysis of Bicycle Passing Events for LOS Evaluation on Physically Separated Bicycle Roadways in China

Gavriilidou A., Wierbos M. J., Daamen W., Yuan Y., Knoop V. L., Hoogendoorn S. P. (2019), Large-Scale Bicycle Flow Experiment: Setup and Implementation, Transportation Research Record Vol. 2673(5) 709–719

Richardson A. J. (1982), Estimating Bicycle Usage on a National Cycle Network, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume 1982, Issue 1

Pogodzinska S., Kiec M., D'Agostino C. (2020), Bicycle Traffic Volume Estimation Based on GPS Data, Transportation Research Procedia Volume 45, 2020, Pages 874-881

Rupi F., Poliziani C., Scweizer J. (2019), Data-driven Bicycle Network Analysis Based on Traditional Counting Methods and GPS Traces from Smartphone, ISPRS Int. J. Geo-Inf., Volume 8, Issue 8

Strauss J., Miranda-Moreno L. F., Morency P. (2015), Mapping cyclist activity and injury risk in a network combining smartphone GPS data and bicycle counts, Accident Analysis & Prevention Volume 83, October 2015, Pages 132-142

El-Geneidy A., Krizek K. J., Iacono M. (2007), Predicting bicycle travel speeds along different facilities using gps data: a proof of concept model, Transportation Research Board

Strauss J., Miranda-Moreno L. F. (2017), Speed, travel time and delay for intersections and road segments in the Montreal network using cyclist Smartphone GPS data, Transportation Research Part D: Transport and Environment Volume 57, December 2017, Pages 155-171

Gillis D., Gautama S., Gheluwe C. V., Semanjski I., Lopez A. J., Lauwers D. (2020), Measuring Delays for Bicycles at Signalized Intersections Using Smartphone GPS Tracking Data, ISPRS Int. J. Geo-Inf., Volume 9, Issue 3

Bian Y., Li L., Zhang H., Xu D., Rong J., Wang J. (2021), Categorizing Bicycling Environment Quality Based on Mobile Sensor Data and Bicycle Flow Data, Sustainability, Volume 13, Issue 8

Protchar R., Bucher D., Froyen Y. (2019), Does new bicycle infrastructure result in new or rerouted bicyclists? A longitudinal GPS study in Oslo, Journal of Transport Geography Volume 77, May 2019, Pages 113-125

Kellstedt D. K., Spengler J. O., Foster M., Lee C., Maddock J. E. (2021), A Scoping Review of Bikeability Assessment Methods, Journal of Community Health volume 46, pages211–224

Gray J. A., Zimmerman J. L., Rimmer J. H. (2012), Built environment instruments for walkability, bikeability, and recreation: Disability and universal design relevant?, Disability and Health Journal Volume 5, Issue 2, April 2012, Pages 87-101

Castanon U. N., Ribeiro P. J. G. (2021), Bikeability and Emerging Phenomena in Cycling: Exploratory Analysis and Review, Sustainability 2021, 13(4), 2394

Winters M., Brauer M., Setton E. M., Teschke K. (2013), Mapping Bikeability: A Spatial Tool to Support Sustainable Travel, Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, Volume 40, Issue 5

Lowry M. B., Callister D., Gresham M., Moore B. (2012), Assessment of Communitywide Bikeability with Bicycle Level of Service, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board Volume 2314, Issue 1

Ito K., Biljecki F. (2021), Assessing bikeability with street view imagery and computer vision, Transportation Research Part C: Emerging Technologies Volume 132, November 2021, 103371

Schmid-Querg J., Keler A., Grigoropoulos G. (2021), The Munich Bikeability Index: A Practical Approach for Measuring Urban Bikeability, Sustainability 2021, 13(1), 428

Grigore E., Garrick N., Fuhrer R., Axhausen I. K. W. (2019), Bikeability in Basel, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board Volume 2673, Issue 6

McNeil N. (2011), Bikeability and the 20-min Neighborhood: How Infrastructure and Destinations Influence Bicycle Accessibility, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board Volume 2247, Issue 1

Hoedl S., Titze S., Oja P. (2010), The Bikeability and Walkability Evaluation Table: Reliability and Application, American Journal of Preventive Medicine Volume 39, Issue 5, November 2010, Pages 457-459

Transport for West Midlands (2019), West Midlands Cycle Design Guidance Second Edition

Bahadori M. S., Gonçalves A. B., Moura F. (2022), A GIS-MCDM Method for Ranking Potential Station Locations in the Expansion of Bike-Sharing Systems, Axioms 2022, 11(6), 263

Lin J. J., Liao R. Y. (2016), Sustainability SI: Bikeway Network Design Model for Recreational Bicycling in Scenic Areas, Networks and Spatial Economics Volume 16, Pages 9–31

Lee C. F., Huang H. (2012), The Attractiveness of Taiwan as a Bicycle Tourism Destination: A Supply-Side Approach, Asia Pacific Journal of Tourism Research Volume 19, 2014 - Issue 3

Zuo T., Wei H. (2019), Bikeway prioritization to increase bicycle network connectivity and bicycle-transit connection: A multi-criteria decision analysis approach, Transportation Research Part A: Policy and Practice Volume 129, November 2019, Pages 52-71

Carra M., Botticini F., Pavesi F. C., Maternini G., Pezzagno M., Barabino B. (2023), A comparative cycling path selection for sustainable tourism in Franciacorta. An integrated AHP-ELECTRE method, Transportation Research Procedia Volume 69, 2023, Pages 448-455

Cooper C. H. V. (2018), Predictive spatial network analysis for high-resolution transport modeling, applied to cyclist flows, mode choice, and targeting investment, International Journal of Sustainable Transportation Volume 12, 2018 - Issue 10

An M., Chen M. (2007), Estimating Nonmotorized Travel Demand, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board Volume 2002, Issue 1

Ortuzar J. D., Iacobelli A., Valeze C. (2000), Estimating demand for a cycle-way network, Transportation Research Part A: Policy and Practice Volume 34, Issue 5, June 2000, Pages 353-373

McDaniel S., Lowry M. B., Dixon M. (2014), Using Origin–Destination Centrality to Estimate Directional Bicycle Volumes, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board Volume 2430, Issue 1

Fournier N., Christofa E., Knodler Jr. M. A. (2017), A sinusoidal model for seasonal bicycle demand estimation, Transportation Research Part D: Transport and Environment Volume 50, January 2017, Pages 154-169

Turner S., Shunk G., Hottenstein A. (1998), Development of a Methodology to Estimate Bicycle and Pedestrian Travel Demand, FHWA/TX-99/1723-S,, Proj Summary Rept 1723-S,, TTI: 0-1723

Gehrke S., Reardon T. G. (2020), Direct demand modelling approach to forecast cycling activity for a proposed bike facility, Transportation Planning and Technology Volume 44, 2021 - Issue 1

Liu B., Bade D., Chow J. Y. J. (2021), Bike Count Forecast Model with Multimodal Network Connectivity Measures, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board Volume 2675, Issue 7

Jones M., Bucklan L. (2008), Estimating Bicycle and Pedestrian Demand in San Diego, University of California Berkeley Traffic Safety Center

Oskarbski J., Birr K., Zarski K. (2021), Bicycle Traffic Model for Sustainable Urban Mobility Planning, Energies 2021, 14(18), 5970

Greg R. (2010), Bicycle travel demand forecasting using geographic information systems and agent based modeling

Marshall W. E., Garrick N. W. (2010), Effect of Street Network Design on Walking and Biking, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board Volume 2198, Issue 1

Manum B., Nordstrom T. (2013), INTEGRATING BICYCLE NETWORK ANALYSIS IN URBAN DESIGN: Improving bikeability in Trondheim by combining space syntax and GIS-methods using the place syntax tool, Proceedings of the Ninth International Space Syntax Symposium

Zuo T., Wei H., Chen N., Zhang C. (2020), First-and-last mile solution via bicycling to improving transit accessibility and advancing transportation equity, Cities Volume 99, April 2020, 102614

Saghapour T., Maridpour S., Thompson R. G. (2016), Measuring cycling accessibility in metropolitan areas, International Journal of Sustainable Transportation Volume 11, 2017 - Issue 5

Tong L., Zhou X., Miller H. J. (2015), Transportation network design for maximizing space–time accessibility, Transportation Research Part B: Methodological Volume 81, Part 2, November 2015, Pages 555-576

Tsigdinos S., Paraskevopoulos Y., Tzouras P., Bakogiannis E., Vlastos T. (2023), Rethinking road network hierarchy towards new accessibility perspectives, Transportation Research Procedia Volume 69, 2023, Pages 195-202

Mora R., Truffello R., Oyarzin G. (2021), Equity and accessibility of cycling infrastructure: An analysis of Santiago de Chile, Journal of Transport Geography Volume 91, February 2021, 102964

Zhu S., Zhu F. (2019), Multi-objective bike-way network design problem with space–time accessibility constraint, Transportation volume 47, pages2479–2503

Vale D. S., Saraiva M., Pereira M. (2016), Active accessibility: A review of operational measures of walking and cycling accessibility, Journal of Transport and Land Use Vol. 9, No. 1, 2016

Akhand M. A. H., Habib A., Kamal A. S., Siddique N. (2021), Physarum-Inspired Bicycle Lane Network Design in a Congested Megacity, Appl. Sci. 2021, 11(15), 6958

Chan T. C. Y., Lin B., Saxe S. (2022), A Machine Learning Approach to Solving Large Bilevel and Stochastic Programs: Application to Cycling Network Design

Akbarzadeh M., Mohri S. S., Yazdian E. (2018), Designing bike networks using the concept of network clusters, Applied Network Science volume 3, Article number: 12

Winters M., Davidson G., Kao D., Teschke K. (2011), Motivators and deterrents of bicycling: comparing influences on decisions to ride, Transportation volume 38, pages153–168

T.C. Mersin Büyükşehir Belediyesi (2021), Mersin Bisiklet ve Yaya Ana Planı, T. C. Mersin Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı

Modern Dönel Kavşakların Geometrik Tasarımı ve Kapasite İlişkisi

Emre Öğütveren, Soner Haldenbilen
Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü- Tunceli
Tel: (428) 213 17 94
E-Posta: emreogutveren@munzur.edu.tr

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü- Denizli
Tel: (0258) 296 33 61
E-Posta: shaldenbilen@pau.edu.tr

Halim Ceylan
Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü- Denizli
Tel: (0258) 296 33 51
E-Posta: halimc@pau.edu.tr

Öz

Kavşaklar birden fazla yönden gelen taşıtların karşılaştıkları noktalar oldukları için şehiriçi trafiğinde gerçekleşen gecikmeler genellikle bu bölgelerde görülmektedir. Kavşaklarda meydana gelen gecikmeleri en aza indirebilmek için uygulanacak kavşak türünün doğru şekilde seçilmesi gerekmektedir. Şehiriçi ulaşım ağında genellikle kontrollü kavşaklar kullanılmaktadır ancak son yıllarda modern dönel kavşaklar üzerine yapılan araştırmaların da artmasıyla ülkemizde de dönel kavşakların kullanımı artmaktadır. Bu çalışmada modern dönel kavşakların geometrik parametrelerinden olan merkez ada çapının kavşak performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kavşak performansının değerlendirilmesi için bir benzetim yazılımı olan PTV VISSIM programı kullanılmıştır. Benzetim programı sayesinde elde edilen ortalama gecikme, ortalama hız ve ortalama durma sayısı değerleri ile kavşak performansı değerlendirilmiştir. Benzetim programının Türk sürücü davranışlarını yansıtabilmesi için ön boşluk, arka boşluk ve güvenlik katsayısı parametrelerinin kalibrasyonu literatürdeki çalışmalardan faydalanılarak yapılmıştır. Çalışmanın sonunda elde edilen sonuçlara göre merkez ada çapı ile kavşak performansı arasında değerlendirmeler yapılmış ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Dönel kavşak, gecikme, kapasite, Ptv Vissim

Giriş ve Literatür Taraması

Ulaşım insanlık tarihi boyunca her zaman önemli bir faktör olmuştur. Teknolojinin gelişmesi, artan dünya nüfusu gibi nedenlerden dolayı motorlu ve motorsuz taşıt sahipliği gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum bir takım sıkıntıları da beraberinde getirmektedir. Trafik yoğunluğu, gecikmelerin artması, seyahat sürelerinin uzaması ve buna bağlı olarak çevreye olumsuz etkisi olan egzoz gazlarının salınımının artması, trafik kazalarının artmasından dolayı maddi ve manevi kayıpların yaşanması artan taşıt sahipliğinin

beraberinde getirdiği sıkıntılardan bazılarıdır (Mandavilli, 2008). Kentiçi ulaşım ağında gecikmelerin en çok, farklı yönlerden gelen taşıtların kesiştikleri noktalar olan kavşaklarda gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca kentiçi ulaşım ağındaki kazaların %40-60'ı kavşaklarda meydana gelmektedir (Yayla, 2004).

Ülkemizde bulunan kavşaklar genellikle eşdüzey kavşak şeklindedir. Eşdüzey kavşaklar sinyalize ve sinyalize olmayan kavşaklar olarak işletilmektedir. Trafik hacminin yoğun olduğu yerlerde sinyalize kavşaklar tercih edilmektedir. Sinyalize kavşakların etkili şekilde işletilebilmesi için değişen trafik taleplerine bağlı olarak devre sürelerinin sürekli güncellenmesi gerekmektedir. Diğer eşdüzey kavşak çeşidi olan dönel kavşaklar, merkez ada etrafında dönüş hareketi yapan araçların geçiş üstünlüğü hakkına sahip olması prensibine göre çalıştırılmaktadır. Bu kavşaklar uygun geometrik standartlara göre yapılması durumunda bağlantı yollarından kavşağa gelen taşıtların hızları azalmakta bu da trafik güvenliğini arttırmaktadır. Sweroad(2000) tarafından hazırlanan raporda modern dönel kavşakların Türk tasarım esaslarına standart kavşak tipi olarak entegre edilmesi amaçlanmıştır. Tasarım esaslarının Türkiye şartlarına uygun hale getirilerek dönel kavşakların nasıl kullanılması gerektiği hakkında önerilerde bulunmuştur. Ayrıca ülkemizde bulunan dönel kavşaklarda, yaklaşım kollarından kavşağa giriş yapacak araçların hızlarının düşürülmediğini, aksine bu kavşakların mevcut tasarımlarının kavşağa giren araçların hızlarının arttırılmasına yönelik olduğu belirtilmiştir (Gunay ve diğ., 2014). Tanyel (2001) İzmir İlinde bulunan yuvarlak ada kavşakların modern dönel kavşak olarak sınıflandırılamayacağını belirtmiştir. Çalışmada kavşak performans parametreleri olarak gecikme ve kapasite parametrelerini kullanmıştır. Dönel kavşakların güvenliği üzerine yapılan çalışmalarda Brabender ve Wereeck (2007) bu kavşakların kazaları büyük oranda azalttığını, sinyalize dönel kavşakların trafik güvenliği açısından en güvenli kavşak çeşidi olduğunu belirtmişlerdir. Yüksel (2007) modern dönel kavşak geometrisinin ülkelerin sürücü karakteristiklerine göre yapılması gerektiğini, ülkemiz için de bir tasarıma ihtiyaç olduğunu belirtmiştir. Alçelik (2010) sinyalize ve dönel kavşaklarının farklarının tam olarak ayırt edilmesi gerektiğini ve kavşak seçiminde tek kriterin kapasite olmaması gerektiğini vurgulamıştır. Gross ve diğ. (2013) sinyalize bir kavşağın modern dönel kavşağa dönüştürülmesi sonucunda kapasite bakımından sinyalize kavşağın daha iyi olduğunu ancak trafik güvenliği açısından modern dönel kavşakların daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. Salamati ve diğ. (2015) sinyalize kavşaklar ile dönel kavşaklar arasındaki egzoz salınımlarını incelemiş ve trafik hacminin daha düşük olduğu yerlerde sinyalize kavşaklarda gerçekleşen egzoz salınımının daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

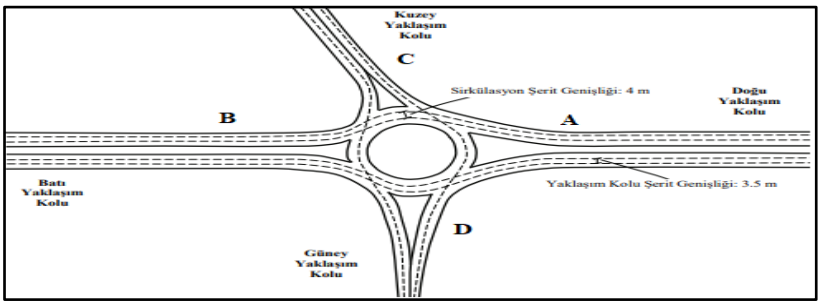
Literatür incelendiği zaman dönel kavşaklar ile kontrollü veya kontrolsüz kavşaklar arasında kapasite, gecikme, güvenlik ve kavşakların çevreye olumsuz etkileri gibi birçok konuda karşılaştırmalar yapılarak kavşakların işletme performansları üzerinde değerlendirmeler yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmada dönel kavşakların geometrik tasarım esaslarından olan merkez ada çapının kavşak performansı üzerine etkisi incelenmiştir. Analizler iki aşamalı yapılmış olup, ilk aşamada sabit trafik hacmi altında 15m'den başlayarak 35m'ye kadar 0,25m'lik artışlar ile kavşak performansı incelenmiştir. Performans kriterleri olarak ortalama gecikme, ortalama hız ve ortalama durma sayısı değerleri alınmıştır. Elde edilen sonuçların anlamlılığını test edebilmek için bu parametreler arasında regresyon analizi yapılmış ve aralarındaki ilişki incelenmiştir. Analizler sonrasında dönel kavşak ada çapına bağlı olarak gecikme bağıntısı elde edilmiştir. Analizlerin ikinci aşamasında ise 15m ile 35m arasında en iyi sonucu veren

merkez ada çapı belirlenmiş ve bu çap sabit tutularak trafik hacimleri arttırılmış ve kavşak performansı gözlemlenmiştir.

Çalışma kapsamında kavşak performansının değerlendirilebilmesi için PTV VISSIM benzetim programı kullanılmıştır. Bu benzetim programı genellikle kentiçi ulaşım ağındaki özel araç trafiği, toplu taşıma, yayalar ve bisiklet sürücüleri gibi bütün yol kullanıcılarını ve bunların etkileşimlerini incelemek için kullanılan mikro ölçekli bir programdır. PTV VISSIM programında yapılan analizlerin Türk sürücü davranışlarını yansıtabilmesi için ön boşluk, arka boşluk ve güvenlik katsayısı değerlerinin kalibre edilmesi gerekmektedir. PTV VISSIM programında kabul edilen ön ve arka boşluk değerleri 0.5 sn olarak, güvenlik mesafesi katsayısı ise 1.5 olarak kabul edilmektedir. Erol (2018) Denizli ilinde bulunan Albayrak Kavşağı'nın yaklaşım kolunda bulunan Kaynarca Caddesi ve Gümüşler Bulvarı'nı birbirine bağlayan dönel kavşak üzerinde bu değerlerde kalibrasyon çalışması yapmış ve ön boşluk değeri için 0.5 sn arka boşluk değeri için 1.2 sn ve güvenlik mesafesi katsayısı için 2.7 değerlerini elde etmiştir. Bu çalışma kapsamında da elde edilen bu değerler kullanılmıştır.

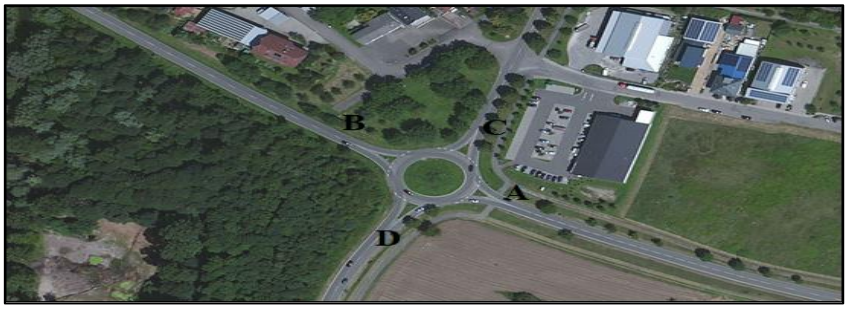
Mevcut Durum

Analizler için kullanılan kavşağın merkez ada çapı 55m olarak ölçülmüştür. Bu merkez ada çapında ortalama taşıt gecikmeleri 17,50 sn/ta ortalama duruş sayısı 0,58 ve ortalama hız değeri ise 24,48 km/sa olarak belirlenmiştir. Kavşağa bağlanan yaklaşım kolları ve dönel kavşak içi iki şeritlidir. Yaklaşım kollarında şerit genişlikleri 3,5m iken, dönel kavşak içindeki şerit genişlikleri 4 m olarak uygulanmaktadır. Kullanılan bu kavşağın geometrik tasarımı ve yaklaşım kollarının gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1 Analizlerde kullanılan dönel kavşak geometrisi (Çakıcı ve Murat, 2016).

Kavşağın VISSIM programındaki analizinde kullanılan trafik hacimleri, Kayseri Ulaşım Ana Planı kapsamında sayımları yapılan bir dönel kavşağa aittir. Benzetim programında altlık olarak modern dönel kavşakların tasarım esaslarına uygun olan ve Şekil 2'de ekran görüntüsü verilen kavşak kullanılmıştır.



Şekil 2 Analizlerde altlık olarak kullanılan kavşak görüntüsü.

Trafik hacim değerleri, kavşaktaki trafiğin en yoğun olduğu sabah, öğle ve akşam saatlerinde video kamera ile çekimler yapılarak elde edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan trafik hacim değerleri olarak akşam zirve saatinde yapılan çekimlerden elde edilen değerler kullanılmıştır. Bu trafik hacim değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Trafik hacim değerleri.

Yaklaşım Kolu	Otomobil (ta/sa)	Otobüs (ta/sa)	Kamyom (ta/sa)	Münibüs (ta/sa)	Toplam (ta/sa)
A	691	53	95	34	873
B	751	56	99	74	980
C	90	5	31	19	145
D	312	33	73	28	446

Kavşağa ait akşam zirve saat trafik hacim değeri 2444 ta/sa'dir. Yaklaşım kollarındaki trafik hacimlerine bakıldığında A ve B yaklaşım kolu ana yol, C ve D yaklaşım kollarının ise yan yol olarak değerlendirilmektedir. Video kayıtlarından elde edilen yaklaşım kollarındaki araçların sağa, sola, geriye dönüş ve düz geçiş değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 Yaklaşım kollarındaki araç rotalarının matrisi.

	A kolu (ta/sa)	B kolu (ta/sa)	C kolu (ta/sa)	D kolu (ta/sa)
A kolu (ta/sa)	3	799	45	26
B kolu (ta/sa)	824	6	148	2
C kolu (ta/sa)	25	75	3	42
D kolu (ta/sa)	182	64	200	0

VISSIM programında kavşak analizi için kullanılan taşıt türleri olarak otomobil, ağır taşıt ve otobüs kullanılmıştır. Otomobillerin simülasyondaki hacim oranları %94 iken, ağır taşıt ve otobüsün oraları %3'er olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda otomobiller için yaklaşım kollarında uygulanması istenilen hız 50 km/sa olarak belirlenmişken bu değer ağır taşıtlar ve otobüsler için 25 km/sa olarak belirlenmiştir.

Dönel kavşaklar geometrik tasarımları sebebiyle sürücülerin kavşak girişlerinde hızlarını azaltması mantığı ile çalışmaktadırlar. Bu doğrultuda analizler yapılırken kavşak girişlerinde ve merkez ada etrafında dönüş hareketi yapan araçların hız değerleri sınırlandırılmıştır. Bu değerler otomobiller için 25 km/sa, ağır taşıt ve otobüsler için ise 20 km/sa olarak uygulanmıştır.

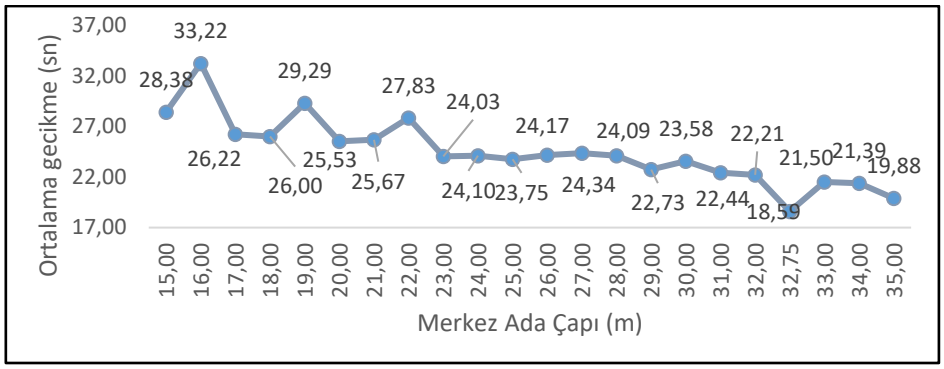
Analizler

Çalışma kapsamında yapılan analizler iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak "Mevcut Durum" bölümünde verilen trafik hacimleri, taşıt dönüş oranları ve hız değerleri sabit tutularak dönel kavşak merkez adasının genişliği arttırılmıştır. Böylece dönel kavşak merkez ada çapındaki değişimin kavşak kapasitesi üzerindeki etkisi araştılmıştır. Bu doğrultuda merkez ada çapı 15m ile 35m arasında 0,25m'lik artışlar ile gözlemlenmiştir. Kavşak performans parametresi olarak ortalama gecikme, ortalama durma sayısı ve ortalama hız değerleri seçilmiştir. Merkez ada çapında 0,25m'lik artışlar ile ede edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve Tablo 3'te bu değerler 1m aralıklar ile verilmiştir. En iyi

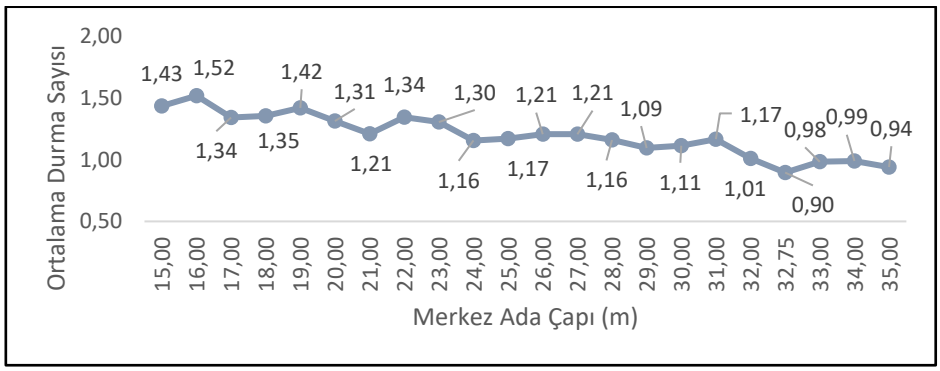
kavşak performansını veren 32,75m'lik merkez ada çapına ait değerler de tabloda verilmiştir. Ortalama gecikme değerlerinin değişimi Şekil 3'te, ortalama durma sayısındaki değişimler ise Şekil 4'te verilmiştir. Analizler kapsamında yapılan simülasyonlar çok sayıda tekrarlanmış ve tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3 15m ile 35m çap arasındaki kavşak performans parametreleri.

Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Duruş Sayısı	Ort. Hız (km/sa)	Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Duruş Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
15,00	28,38	1,43	17,49	26,00	24,17	1,21	19,02
16,00	33,22	1,52	16,00	27,00	24,34	1,21	18,97
17,00	26,22	1,34	18,25	28,00	24,09	1,16	19,07
18,00	26,00	1,35	18,32	29,00	22,73	1,09	19,68
19,00	29,29	1,42	17,18	30,00	23,58	1,11	19,37
20,00	25,53	1,31	18,49	31,00	22,44	1,17	19,86
21,00	25,67	1,21	18,55	32,00	22,21	1,01	19,93
22,00	27,83	1,34	17,74	**32,75**	**18,59**	**0,90**	**21,64**
23,00	24,03	1,30	19,10	33,00	21,50	0,98	20,28
24,00	24,10	1,16	19,08	34,00	21,39	0,99	20,34
25,00	23,75	1,17	19,19	35,00	19,88	0,94	21,09



Şekil 3 15m ile 35m arasındaki kavşak çapında ortalama gecikme değerleri.



Şekil 4 15m ile 35m arasındaki kavşak çapında ortalama duruş sayısı değerleri.

Tablo 3 ve Şekil 3'te görüldüğü gibi kavşak çapı ile gecikme arasında doğrusal bir bağıntıdan söz etmek mümkün değildir. 15m ile 35m arasında yapılan analizlerde en iyi sonucu 32,75m'lik merkez ada çapının verdiği görülmüştür. Bu çapta ortalama gecikme değeri 18,59 sn/ta ortalama durma sayısı 0,90 ve ortalama hız değeri 21,64 km/sa olarak bulunmuştur. 32,75m'lik kavşak çapının fiziki olarak uygulanması, arazi şartlarından

dolayı her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle, elde edilen sonuçlar incelendiğinde 23m'lik kavşak çapından sonra gecikme değerlerinin 35m'ye kadar daha yatay bir eğilim izlediği görülmektedir. 32,75m'lik kavşak çapının uygulanamayacağı alanlarda, kavşağın ulaşım ağındaki önemine ve fiziki şartlara bağlı olarak 23m'lik kavşak çapı da gerekli durumlarda uygulanabilir. Elde edilen bu sonuçlar genel bir uygulamadan ziyade "Mevcut Durum" bölümünde belirtilen mevcut trafik koşulları altında geçerlidir.

Analiz sonuçları incelendiğinde mevcut durumda 55m olarak işletilen dönel kavşağın 32,75m'lik kavşak çapı ile karşılaştırılması üzerine ortalama taşıt gecikmelerinde yaklaşık %18'lik bir artış gözlemlenirken, ortalama hız değerlerinde de %12'lik azalış görülmüştür. Şehiriçi ulaşım ağında 55m'lik dönel kavşak çapının uygulanması her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle 32,75m'lik kavşak performansının da 55m'lik kavşak performansına göre çok farklı sonuçlar vermediği görülmüş ve kavşak performansı ve yatırım maliyeti açısından değerlendirildiğinde şehiriçi ulaşım ağına uygun olacağı görülmektedir.

Analizlerin ikinci kısmında en iyi gecikme performansı veren 32,75m'lik merkez ada çapı sabit tutularak, yaklaşım kollarındaki trafik hacimleri her yaklaşım kolu için %5'den başlayarak %30'a kadar arttırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4 32,75m'lik çaptaki trafik artışı ve performans parametreleri.

Çap (m)	Trafik Artışı	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
32,75	Başlangıç	18,59	0,9	21,64
32,75	5%	26,34	1,21	18,32
32,75	10%	41,30	1,59	14,13
32,75	15%	49,70	1,76	12,52
32,75	20%	57,46	1,88	11,33
32,75	25%	61,71	2,03	10,81
32,75	30%	72,45	2,39	9,60

Tablo 4'te verilen değerlerde de görüldüğü gibi merkez ada çapının sabit tutulup, trafik hacimlerinin artması ile kavşaktaki ortalama gecikme değeri artış eğilimi göstermektedir. Çalışmanın bu aşamasında hem kavşak çapı hem de trafik hacimleri aynı anda arttırılarak ortalama gecikme, durma sayısı ve ortalama hız değerlerinin değişimi gözlemlenmiştir. Burada hem trafik hacimlerinin hem de kavşak çapının arttırılmasının amacı, mevcut trafik hacmi altında en iyi sonucu veren 32,75m'lik çapta elde edilen gecikme değeri ile artan trafik hacmi ve artan kavşak çapı arasındaki değişimi gözlemlemektir.

Merkez ada çapı arttıkça, kavşak içinde sirkülasyon halinde bulunan araçların seyahat süresi uzamaktadır ve bu nedenle de kavşakta meydana gelen gecikmeler artmaktadır. Bu nedenle trafik hacimlerindeki artış uygulanırken, başlangıç merkez ada çapı olarak en iyi gecikme sonucunu veren 32,75m'lik merkez ada çapından 0,5 m daha küçük merkez ada çapı seçilmiştir. 32,25m çap değerinden başlanarak 40 m'lik çap değerine kadar bu performans parametrelerinin değişimi aşağıdaki tabloda verilmiştir. Analizlerde 32,25m ile 35m çaplı kavşaklar arasında, kavşak çapındaki artış miktarı 0,5m olarak, 35m ile 40m arasındaki kavşak çaplarında artış miktarı ise 1m olarak uygulanmıştır. Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7'de farklı çap ve trafik artışlarındaki kavşak performans değerleri verilirken Şekil 5'de farklı çaplardaki ortalama gecikme, ortalama durma sayısı ve ortalama hız parametrelerindeki ilişki verilmiştir.

Tablo 5 Farklı çaplarda %5 ve %10'luk trafik artışında kavşak performans değerleri.

Trafik Artışı	Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)	Trafik Artışı	Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
5%	32,25	30,57	1,3	16,89	10%	32,25	44,29	1,7	13,47
	32,75	26,34	1,21	18,32		32,75	41,3	1,59	14,13
	33,25	29,09	1,19	17,36		33,25	37,71	1,42	14,92
	33,75	27,9	1,22	17,82		33,75	38,45	1,47	14,77
	34,25	25,46	1,13	18,67		34,25	41,39	1,53	14,13
	35	23,78	0,95	19,61		35	38,97	1,53	14,66
	36	24,76	0,99	19,22		36	37,56	1,36	15,27
	37	27,51	1,06	18,25		37	41,21	1,46	14,46
	38	29,84	1,15	17,52		38	41,67	1,44	14,51
	39	30,47	1,15	17,34		39	44,09	1,51	14,03
	40	31,25	1,16	17,28		40	44,13	1,43	14,04

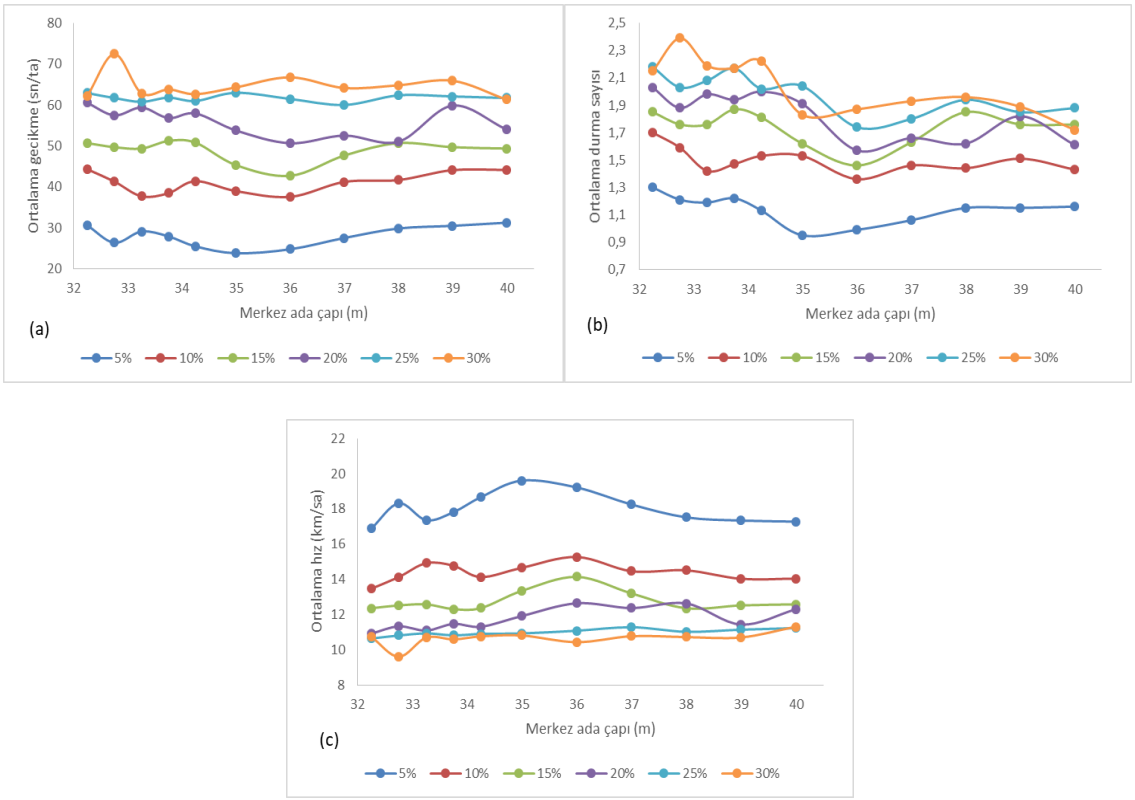
Tablo 5'te görüldüğü gibi %5 trafik artışı için en iyi gecikme değerini 35m'lik çap verirken %10 trafik artışı için en iyi kavşak performansı 36m'lik dönel ada çapında gerçekleşmiştir.

Tablo 6 Farklı çaplarda %15 ve %20'luk trafik artışında kavşak performans değerleri.

Trafik Artışı	Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)	Trafik Artışı	Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
15%	32,25	50,69	1,85	12,36	20%	32,25	60,53	2,03	10,92
	32,75	49,70	1,76	12,52		32,75	57,46	1,88	11,33
	33,25	49,36	1,76	12,58		33,25	59,38	1,98	11,09
	33,75	51,22	1,87	12,31		33,75	56,81	1,94	11,47
	34,25	50,79	1,81	12,37		34,25	57,93	2,00	11,31
	35	45,30	1,62	13,35		35	53,77	1,91	11,92
	36	42,70	1,46	14,14		36	50,66	1,57	12,64
	37	47,66	1,63	13,20		37	52,54	1,66	12,37
	32,25	50,69	1,85	12,36		38	51,04	1,62	12,63
	32,75	49,70	1,76	12,52		39	59,85	1,82	11,43
	33,25	49,36	1,76	12,58		40	54,01	1,61	12,30

Tablo 7 Farklı çaplarda %25 ve %30'luk trafik artışında kavşak performans değerleri.

Trafik Artışı	Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)	Trafik Artışı	Çap (m)	Ort. Gecikme (sn/ta)	Ort. Durma Sayısı	Ort. Hız (km/sa)
25%	32,25	62,92	2,18	10,64	30%	32,25	62,26	2,15	10,73
	32,75	61,71	2,03	10,81		32,75	72,45	2,39	9,60
	33,25	60,78	2,08	10,93		33,25	62,88	2,19	10,69
	33,75	61,80	2,17	10,82		33,75	63,80	2,17	10,59
	34,25	60,99	2,02	10,90		34,25	62,65	2,22	10,76
	35	62,99	2,04	10,93		35	64,32	1,83	10,81
	36	61,48	1,74	11,08		36	66,77	1,87	10,43
	37	60,02	1,80	11,28		37	64,15	1,93	10,77
	38	62,36	1,94	11,02		38	64,82	1,96	10,72
	39	62,09	1,85	11,14		39	65,93	1,89	10,70
	40	61,71	1,88	11,23		40	61,31	1,72	11,31



Şekil 5 Değişken çaplardaki a) ortalama gecikme b) ortalama durma sayısı c) ortalama hız değişimleri.

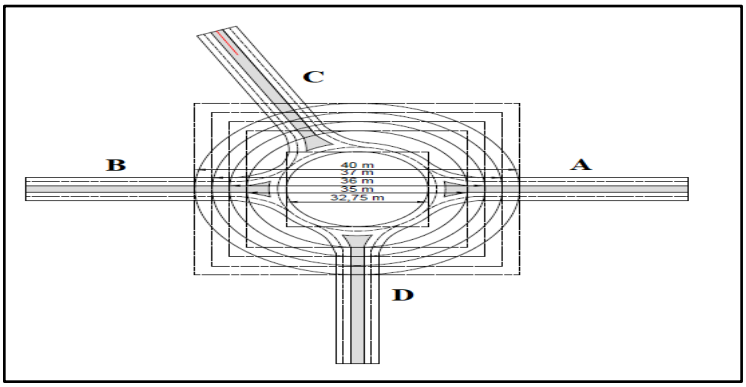
%5'lik trafik hacmi artışında 35m'lik merkez ada çapı en iyi sonucu verirken, %10 ve daha üzerindeki trafik hacmi artışlarında gecikme değerleri sürekli azalan veya artan bir eğilim göstermemektedir. Örneğin %10'luk trafik hacmi artışında en az gecikme değeri 36m'lik merkez ada çapında, %30'luk trafik hacmi artışında ise en iyi gecikme değeri 40m'lik merkez ada çapında sağlanmaktadır. Gecikmelerin dönel kavşak performansı açısından kabul edilemeyecek noktaya gelmesi noktasında bu kavşak dönel kavşak olarak işletilmekten vazgeçilmeli ve sinyalize kavşağa dönüştürülmelidir.

Sabit trafik hacmi altında belirlenen optimum çapta, trafik hacimlerinin arttırılması ile gecikmeler artmıştır. Gecikmelerin minimum düzeyde olması için kavşak çapının değiştirilmesi gerekmektedir. Trafik artışlarına bağlı olarak en iyi performansı gösteren kavşak çapları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8 Artan trafik hacimlerine karşın optimum çap değerleri.

Trafik Artışı (%)	Optimum Çap (m)	Toplam Trafik Hacmi (ta/sa)
5	35	2566
10	36	2689
15	36	2810
20	36	2933
25	37	3055
30	40	3177

Tablo 8'de görüldüğü gibi % 5'lik trafik artışında kavşak çapı 32,75m'den 35m'ye çıkarılması gerekmektedir. Analizler sonucunda %10 trafik artışı ile %20 trafik artışı değerlerinde en iyi sonucu 36m'lik kavşak çapı vermektedir. %30'luk trafik hacmi artışında ise kavşak çapının 40m olarak düzenlenmesi kavşak performansı açısından en iyi sonucu verecektir. Artan trafik hacimlerine bağlı olarak uygulanması gereken optimum çapların alansal değişimi Şekil 6'de verilmiştir.



Şekil 6 Artan trafik hacimlerine bağlı optimum çapların alansal değişimi.

Sonuçlar

Çalışma kapsamında modern dönel kavşaklarda merkez ada çapındaki değişimin kavşak performansı üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Kavşak performansını inceleyebilmek için benzetim programı olan PTV VISSIM programı kullanılmıştır. Benzetim programında yapılan analizlerin Türk sürücü davranışlarını yansıtabilmesi için ön boşluk, arka boşluk ve güvenlik katsayısı değerleri kalibre edilmiştir. Analizler iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada sinyalize olmayan 4 kollu bir dönel kavşağın performansı, merkez ada çapının 15m ile 35m arasında 0,25m'lik değerlerle arttırılması ile gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kavşak çapı ile ortalama gecikme arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. Analizler sonucunda en iyi gecikme ve ortalama hız değerleri 32,75m'lik merkez ada çapında elde edilmiştir. Bu çap değerinde ortalama gecikme değeri 18,59 sn ve ortalama hız değeri ise 21,64 km/sa olarak hesaplanmıştır. 32,75 m'lik kavşak çapının fiziki olarak uygulanması arazi koşullarına bağlı olarak her zaman mümkün olmayabilir. Analizler incelendiğinde, arazi üzerinde uygulanması daha kolay olacak olan 23m'lik merkez ada çapındaki değerler incelendiğinde, 32,75m'lik merkez ada çapı ile yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Bu nedenle uygulama yapılacak kavşağın ulaşım ağındaki önemine ve fiziki şartlara bağlı olarak 23m'lik kavşak çapının da gerekli durumlarda uygulanabileceği görülmüştür.

Analizlerin ikinci kısmında en iyi sonucun elde edildiği 32,75m'lik merkez ada çapı sabit tutularak, trafik hacimleri her yaklaşım kolu için %5'den başlayarak %30'a kadar arttırılmıştır. Trafik hacminin artışına bağlı olarak kavşaktaki gecikme değeri yükselmiştir. Başlangıç trafik değerleri altında 32,75m'lik merkez ada çapında elde edilen gecikme değeri 18,59sn olarak belirlenmiştir. Bu değere, trafik hacminin arttırılmasına karşılık merkez ada çapının da arttırılmasıyla, ilk analizde uygulanan trafik hacminden daha yüksek trafik hacimlerinde yeniden ulaşılmaya çalışılmıştır. %5 trafik hacmi artışında, 35m'lik merkez ada çapında gecikme değeri 23,78 ta/sn olarak bulunmuştur. Bu değerden sonra merkez ada çapının arttırılması kavşak içindeki seyahat süresini arttıracağından gecikme değerleri artma eğilimine geçmektedir.

Dünya nüfusunun sürekli artması ve buna bağlı olarak motorlu taşıt sahipliğinin artması ile her geçen gün trafik hacimleri artmaktadır. Dönel kavşaklarda sabit merkez ada çapı altında trafik hacimlerinin artması kavşaklarda meydana gelen gecikmeleri arttırmaktadır. Gecikmelerin minimum düzeyde tutulması için merkez ada çapının trafik hacmine göre tekrar düzenlenmesi gerekmektedir. Merkez ada çapı ile gecikmeler arasında doğrusal bir ilişki olmasa da genel olarak kavşaktaki gecikmeleri azaltabilmek için merkez ada çapının büyütülmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında verilen trafik hacimlerine göre yapılan analizler doğrultusunda %30'luk trafik artışında en iyi sonucu 40m'lik kavşak çapı sağlamaktadır. Kavşak çapındaki bu değişimin sağlanabilmesi için bu tip dönel kavşaklara yakın bölgelerde bir koruma hattı oluşturularak bu bölgelerin imara kapatılması kavşaklardaki geometrik düzenlemelerin daha rahat ve sorunsuz şekilde yapılmasını sağlayacaktır. Karayolu ulaşım ağında yaşanan sorunları uzun vadede çözebilmek için özel otomobil kullanımı azaltılarak toplu taşıma sistemlerinin kullanılmasına öncelik verilmelidir. Kısa vadede çözüm üretebilmek için ise, trafik sorunlarının en fazla yaşandığı alanlar olan kavşakların performansı arttırılmalıdır. Bu da karar vericilerin tasarlanacak kavşağın bulunduğu bölgenin özelliklerini, sürücü profillerini, trafik akım değerlerini doğru analiz edip en uygun kavşağın seçiminin yapılması sağlanarak gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

Alçelik, N. (2010) Kent İçi Sinyalize ve Dönel Kavşakların Kapasite Açısından Karşılaştırılması Ümraniye İlçesi Örneğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Brabender, B. D., Vereeck L. (2007) Safety Effects of Roundabouts in Flanders: Signal Type, Speed Limits and Vulnerable Road Users, Accident Analysis & Prevention, 39 (3), 591-599.

Çakıcı, Z., Murat, Y. Ş. (2016) Sinyalize Dönel Kavşaklar için Hesap Yöntemi Önerisi ve Performans Analizi, İMO Teknik Dergi, 461, 7569-7592.

Erol, D. (2018) Kentiçi Işıklı ve Dönel Kavşak Uygulamalarının Performans Kriterlerine Etkisi: Denizli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Gross, F., Lyon, C., Persuad, B., Srinivasan, R. (2013) Safety Effectiveness of Converting Signalized Intersections to Roundabouts, Accident Analysis & Prevention, 50, 234-241.

Günay, B., Aydın, M. M., Akgöl, K. (2014) Modern Dönel Kavşaklara Sorunsuz Bir Dönüşümün Bilimsel Metodolojisi. Karayolu 3. Ulusal Kongresi, s 1-12, 25-27 Kasım, Ankara.

Mandavilli, S., Rys, M. J., Russel, E. R. (2008) Environmental Impact of Modern Roundabouts, International Journal of Industrial Ergonomics, 38 (2), 135-142.

Salamati, K., Rouphail, N. M., Frey, H. C., Liu, B., Schroeder, B. J. (2015) Simplified Method for Comparing Emissions in Roundabouts and at Signalized Intersections, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2517 (1), 48-60.

Sweroad Raporu (2000) Ek– 2 Modern Dönel Kavşaklar için Önerilen Tasarım Esasları, Karayolu Tasarımı Raporu, Ankara, Türkiye.

Tanyel, S. (2001) Türkiye'deki Dönel Kavşaklar için Kapasite Hesap Yöntemi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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

Yüksel, E. (2007) Modern Dönel Kavşakların Kapasite ve Trafik Güvenliği Yönünden İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Karayolu Esnek Üstyapılarında Tahribatsız Defleksiyon Ölçümleri ve Sıcaklık Düzeltme Metotları

Dr.Fırat ERKMEN
Komsa, Hilal Mah. Sukarno Cad. 32/3-4 Çankaya Ankara
Tel: (533) 698 58 06
E-Posta: erkmenfrt@gmail.com

Dr.Öğrt. Üyesi Ş.Figen KALYONCUOĞLU, Prof.Dr. Mesut TIĞDEMİR
Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
32260 Çünür/ISPARTA
Tel: (246) 211 12 19
E-Posta: figenkalyoncuoglu@sdu.edu.tr

Öz

Ülkemizde bitümlü sıcak karışım (BSK) karayolu ağı sürekli artış göstermektedir. Dolayısıyla BSK üretimleri ve yol yapımına ayrılan bütçe de her yıl artmaktadır. Yapılan yatırımların ve elde edilen varlıkların korunması gün geçtikçe daha önemli olmaktadır. Esnek kaplamaların yapımında harcanan maliyetin en büyük kısmını BSK tabakaların yapımı kapsamaktadır. BSK yapımında kullanılan büyük kaynakların doğru yönetilmesi ve harcamaların optimum düzeye düşürülmesi için bakım – onarım ihtiyaçlarının doğru şekilde belirlenip, doğru zamanda uygun metotların uygulanması yüksek önem taşımaktadır. Bu nedenle Üstyapı Yönetim Sistemlerinin (ÜYS) kurulması ve işletilmesi yüksek önem taşımaktadır. Efektif bir ÜYS kurulması ve işletilmesi için üstyapının mevcut yapısal ve fonksiyonel durumunun belirlenmesi ve sürekli olarak takip edilmesi gerekmektedir. Mevcut yapısal ve fonksiyonel durum, laboratuvar çalışmaları ve araştırma çukuru gibi yöntemlerle belirlenebileceği gibi tahribatsız test metotları kullanılarak da belirlenebilir. Yol üstyapısının yapısal durumu tahribatsız olarak Düşen Ağırlık Deflektometreleri (FWD) ile belirlenebilir. Fakat BSK tabakalarda bağlayıcı olarak bulunan bitümün karakteristik özelliklerinin sıcaklığa göre farklılık göstermesi nedeni ile esnek üstyapılarda yapılan FWD ölçümlerinde BSK tabakaların ölçüm sonuçları da sıcaklık ile değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada tahribatsız test metotları, defleksiyon ölçümleri ve analizi, asfalt sıcaklığının esnek üstyapılarda defleksiyon ölçümleri üzerindeki etkisi ve sıcaklık düzeltme metotları araştırılmıştır. Ülkemiz koşullarında sıcaklık düzeltmesinin gerekliliği incelenmiş ve literatürde kullanılan sıcaklık düzeltme metotları ile ülkemizde kullanılan metotlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar sözcükler: Defleksiyon, FWD, HWD, Üstyapı Sıcaklığı, ÜYS, Sıcaklık Düzeltmesi, Tahribatsız Testler.

Giriş

Ülkemizde toplam 68.689 km yol ağının 29.178 km si BSK kaplama ile hizmet vermektedir (KGM 2023). 2015 yılında bu rakam 18.174 km iken günümüze kadar BSK kaplamalı yol miktarının aradan geçen 8 yılda %60 oranda yükseldiği görülmektedir (KGM 2015). Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından yayınlanan stratejik plana göre Türkiye karayolu ağındaki tüm sathi kaplamalı yolların, taşıt oranları dikkate alınarak BSK kaplamaya dönüştürülmesi planlanmaktadır (KGM 2019).

BSK miktarları arttıkça, yol yapımına ayrılan kaynakların da artması beklenmektedir. Dolayısıyla yapılan yatırımların korunması büyük önem taşımaktadır. Yapılan harcamaların korunması ve varlıkların doğru yönetilmesi için, bakım – onarım planlamasının uygun yapılması gerekmektedir. Yol üstyapısının bozulma hızı trafik etkisi altında üstyapının yorulması ile yıllara göre artmaktadır. Bu nedenle gerekli bakım – onarım metodunun en uygun zamanda belirlenmesi gerekmektedir. Bakım – onarım planlamasının maliyet etkin bir şekilde yönetilmesi için Üstyapı Yönetim Sisteminin (ÜYS) kurulması ve ağ düzeyinde üstyapı yönetiminin sağlanması yüksek önem taşımaktadır (Altıok, Komut et al. 2021).

Uygun bir üstyapı yönetimi sağlanması için öncelikli olarak üstyapının mevcut durumunun tespit edilmesi gerekmektedir. Üstyapının mevcut durumu laboratuvar çalışmaları ve araştırma çukuru gibi yöntemlerle belirlenebileceği gibi tahribatsız test metotları ile de tespit edilebilir. Tahribatsız test metotları ile üstyapıya verilecek tahribat engellenebilir, test süresinin kısaltılması ile test maliyetleri azaltılabilir ve örnekleme sayısı artırılabilir. Tahribatsız test metotları ile yol üstyapısı tabakalarının özellikleri, düşük şekil değiştirmeler sağlanarak kaplama yüzeyinde meydana gelen defleksiyonun ölçümü ile tespit edilmektedir (Erkmen 2023).

Fakat esnek üstyapılarda tabakaların dayanımı, sıcaklık, yükleme zamanı ve yük miktarına göre değişiklik göstermektedir. BSK tabakalarda sıcaklık yükseldikçe tabaka dayanımı azalmaktadır. Dolayısıyla tahribatsız defleksiyon ölçümlerinde BSK sıcaklığı arttıkça defleksiyon miktarı da yükselmektedir (Zheng, Zhang et al. 2019). Bu nedenle defleksiyon ölçümlerinin değerlendirmesinde sıcaklık etkisinin göz önünde bulundurulması ve sıcaklığa uygun hesaplama yapılması gerekmektedir.

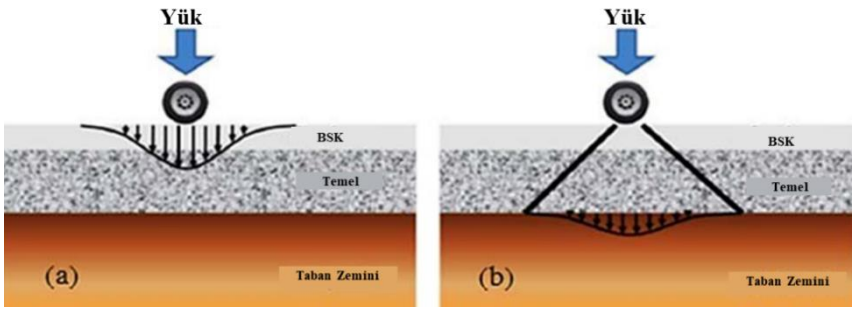
Bu makalede defleksiyon ölçümlerinde sıcaklık etkisi araştırılmış, defleksiyon ölçümlerinin analizinde sıcaklık düzeltme metotlarının yeterliliği araştırılmıştır.

Esnek Üstyapıların Yapısal Durumunun Belirlenmesi

Esnek üstyapılarda trafik yükleri temel tabakalarına iletilerek, kullanıcılara konforlu ve kaymaya dirençli bir yüzey sağlamaktadır. Aynı zamanda BSK tabakalar geçirimsiz olduğu için suyun zayıflatıcı etkilerine karşı kaplama tabakalarını korumaktadır (Insititute 2007).

Yol üstyapısında BSK tabakalar ve granüler tabakalar i yer almaktadır. Trafik yüklerini taban zemini taşımaktadır. Üstyapının yapısal görevi, kaplama yüzeyi üzerindeki tekerlek yüklerini taşımak ve taban zemini taşıma kapasitesini aşmadan, yükü yayarak taban

zeminine aktarmaktır (Institute A., 2007). Tekerlek yükünün esnek üstyapı ve taban zemininde dağılması Şekil 1' de verilmiştir.



Şekil 1. Tekerlek yükünün esnek üstyapıda ve taban zemininde dağılması (Calvarano, Palamara et al. 2017)

Yukarıdaki şekilde a bölümünde uygulanan tekerlek yükü, düşey basınç ile kaplama yüzeyine iletilmektedir. Üstyapı tabakaları tekerlek yükünü geniş bir taban zemini alanı üzerine aktarır ve taban zemini üzerinde b bölümünde görüldüğü gibi daha geniş alana etki eden bir yük oluşur. Böylece taban zemininde meydana gelen basınç, uygun üstyapı malzemeleri ve kalınlıklarının seçimi ile taban zemini tarafından kolayca taşınabilecek oranda küçük olacaktır (Institute 1962). Dolayısıyla üstyapı tasarımının doğru yapılması sonrasında yapısal ve fonksiyonel durumların takip edilmesi ve uygun bakım – onarım planlaması yüksek önem taşımaktadır.

Üstyapının yapısal durumu taşıma kapasitesi ile temsil edilir. Taşıma kapasitesi, üstyapının belirlenen bozulma miktarlarına ulaşmasından önce, üstyapının taşıyabileceği standart dingil yükü geçiş sayısı olarak tanımlanmaktadır. Elastisite modülü ise taşıma kapasitesini temsil eden en önemli parametredir (Umar and Ağar 1991).

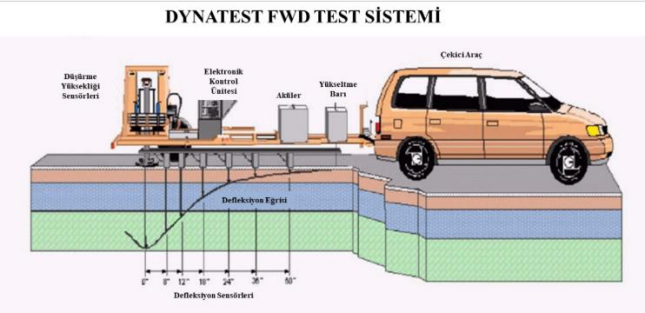
Tahribatsız Defleksiyon Testleri

Trafiğe açık, kullanıcılara hizmet vermekte olan bir yol üstyapısının yapısal durumu tahribatsız defleksiyon testleri ile güvenilir olarak tespit edilebilir. Tahribatsız defleksiyon ekipmanları, kaplama yüzeyine bir yük uygulayarak, yükün oluşturduğu etkiye karşı tepkiyi ölçer (Shahin 1994).

Darbe Yükü İle Çalışan Defleksiyon Ölçüm Cihazları (Falling Weight Deflectometer - FWD, Heavy Weight Deflectometer - HWD)

FWD – HWD cihazlarında kılavuz sistemli bir kütle daha önceden belirlenmiş bir yüksekliğe kaldırılır ve düşürülür. FWD – HWD cihazları kullanılan cihaza bağlı olarak 50 ile 320 kN arasında yükler uygulayabilir (Shahin 1994).

FWD - HWD nin bileşenleri; yükleme bölümü, jeofonlar, kızılötesi sıcaklık okuyucu, üstyapı sıcaklığı, hava sıcaklığı okuyucuları, elektronik mesafe ölçer, kontrol – veri toplama ünitesi olarak tanımlanabilir. Bu ekipmanlar tarafından yapılan tüm ölçümler eş zamanlı olarak ölçüm bilgisayarına aktarılır. Anahtar çıktı verisi ise defleksiyondur. Sıcaklık ve yükleme verileri üstyapı tabakalarının yapısal karakteristiklerinin hesaplanmasında kullanılır.



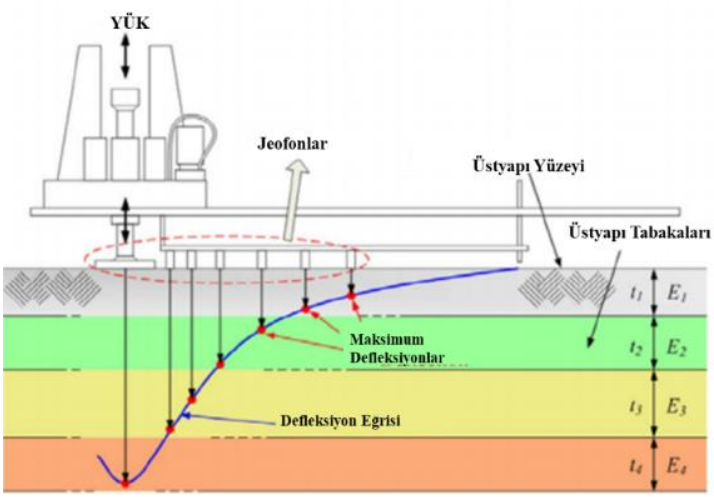
Şekil 2. Dynatest deflektometre test sistemi bileşenleri (Mohammad, Gaspard et al. 2007)

Şekil 2' de Dynatest marka HWD cihazının ölçüm bileşenleri gösterilmiştir. Yükleme noktasından belirli uzaklıktaki defleksiyonlar bir kiriş üzerine yerleştirilmiş jeofonlar ile ölçülür. Jeofonlar, yük hücresi ve ölçüm bilgisayarı Şekil 3' de görülmektedir.



Şekil 3. Dynatest HWD test sistemi yük hücresi, jeofonlar ve ölçüm bilgisayarı

Ölçüm sonucu elde edilen defleksiyon verileri, jeofonlar yardımıyla ölçülür ve yüzey defleksiyon eğrisi oluşturulur. Defleksiyon eğrisinin tüm karakteristikleri üstyapının mevcut yapısal durumunu temsil eder. Defleksiyon eğrisi, Şekil 4' de gösterilmiştir.



Şekil 4. Düşen ağırlık deflektometresi defleksiyon eğrisi (Choi, Wu et al. 2010)

FWD – HWD ölçümlerinden elde edilen defleksiyonlar ile defleksiyon eğrileri oluşturulur. Üstyapı mühendisleri ve araştırmacıları arasında, ölçülen defleksiyon eğrilerinin kaplamaların yapısal değerlendirmesi için önemli bilgiler sağladığı konusunda genel bir fikir birliği vardır. Yapılan tüm hesaplamalar, karşılık gelen E-değerlerini

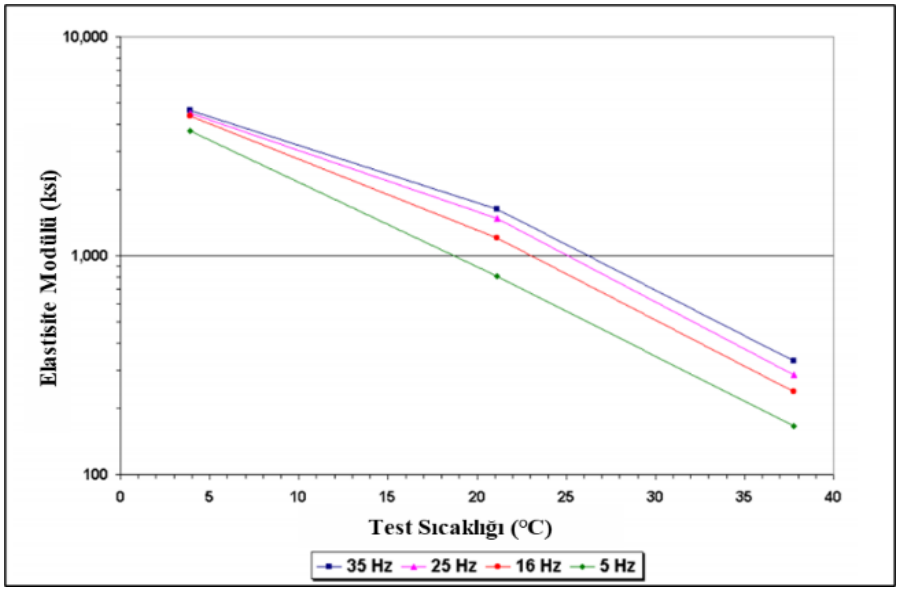
belirlemek için ölçülen defleksiyon eğrisini teorik defleksiyon eğrisi ile eşleştirmeye dayalıdır (Hoffman and Thompson 1982).

Defleksiyon ölçümlerinin analizi ile esnek kaplama modülleri, defleksiyon verilerinin kullanılması ile yeniden hesaplanır. Defleksiyon verileri, tabaka modülleri, poisson oranları, kalınlıklar ve yük büyüklüğüne dayalı olarak iterasyon ile ileriye doğru hesaplamak için bilgisayar programları kullanılarak analiz edilir (Dawson 2008).

Bu çalışmada defleksiyon ölçümlerinde Dynatest marka 8082 model 176 seri numaralı HWD (Yüksek Ağırlıklı Düşen Ağırlık Deflektometresi) ölçüm cihazı ve gerihesaplama analizleri için Dynatest Elmod 6 yazılımı kullanılmıştır.

Defleksiyon Ölçümlerinde BSK Sıcaklığının Etkisi

BSK tabakaların dayanımı, sıcaklığa bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Şekil 5' da yer alan grafikte yer alan Fernando G. F. ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada laboratuvar testlerinde de görüleceği gibi sıcaklık ve yükleme zamanı arttıkça, BSK tabakasının dayanımı (esneklik modülü) azalmaktadır (Fernando, Liu et al. 2001).



Şekil 5. Elastisite modülü – sıcaklık etkisi (Fernando, Liu et al. 2001)

FWD – HWD ölçümlerinde BSK sıcaklığı dikkat edilmesi gereken bir parametredir. BSK kaplamalarda ölçüm yapılırken, BSK tabakanın dayanımı sıcaklığının bir fonksiyonu olduğundan, BSK sıcaklığı değiştikçe defleksiyon da değişir. Daha yüksek sıcaklıklarda, BSK sertliği azalır ve defleksiyonlar artar.

HWD ve Sıcaklık Ölçümlerinin Yapılması

Bu çalışma kapsamında, HWD ölçümlerinde sıcaklık etkisinin belirlenmesi amacıyla Ankara Çevre Otoyolu üzerinde KGM O-20/09 Kontrol Kesimi 005 Numaralı tabelası bölgesinde işaretlenen noktalarda farklı tarihlerde, farklı sıcaklık koşulları altında HWD ölçümleri yapılmış, elde edilen sonuçlar analiz edilerek karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. HWD ölçüm kesimi ve HWD cihazı

Ölçümler 01.05.2021, 07.11.2021, 21.11.2021, 24.04.2022 ve 03.07.2022 tarihlerinde gün boyunca yapılmıştır. Yapılan tüm ölçümlerde, cihazın konumu aynı noktada olacak şekilde hassas olarak ayarlanmış ve her iki ölçüm arasında HWD cihazı farklı bir konumda bekletilmiştir (Şekil 6).

HWD ölçümleri esnasında ölçüm noktası yanında BSK tabaka üzerinde açılan bir delik yardımı ile BSK sıcaklığı tespit edilmiş ve ölçüm bilgisayarına tanımlanarak kayıt edilmiştir. HWD ölçümleri ile eşzamanlı olarak toplanan sıcaklık verilerinin alınması için açılan delik ve sıcaklık ölçümüne ait örnek Şekil 7’ de yer almaktadır.

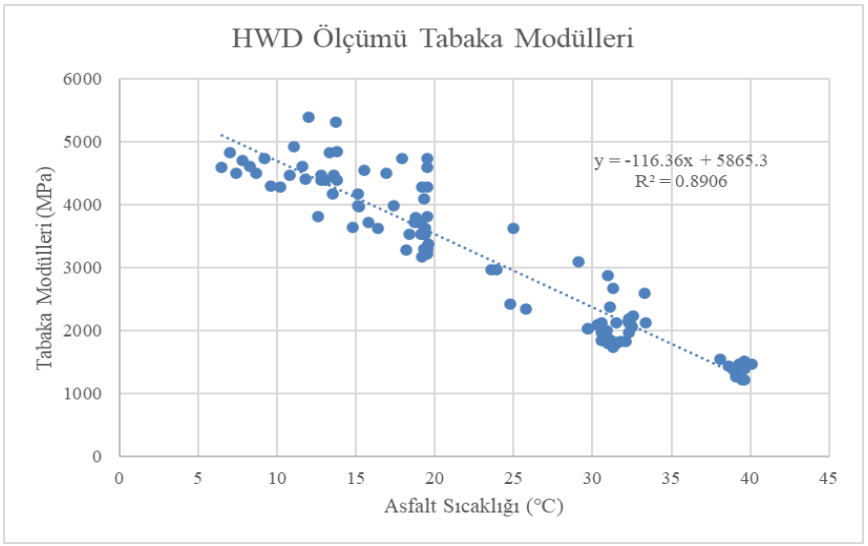


Şekil 7. Asfalt sıcaklığının tespit edilmesi

Yapılan ölçümlerde elde edilen defleksiyon verileri Elmod 6 yazılımı ile gerihesaplanmış ve her bir defleksiyon ölçümü için tabaka modülleri hesaplanmıştır. Hesaplanan tabaka modülleri Tablo 1’ de ve Şekil 8’ de gösterilmektedir.

Tablo 1. HWD ölçümü tabaka modülü sonuçları

Ölçüm No	Asfalt Sıcaklığı (°C)	Tabaka Modülü (Mpa)	Ölçüm No	Asfalt Sıcaklığı (°C)	Tabaka Modülü (Mpa)	Ölçüm No	Asfalt Sıcaklığı (°C)	Tabaka Modülü (Mpa)	Ölçüm No	Asfalt Sıcaklığı (°C)	Tabaka Modülü (Mpa)
1	6.5	4592.9	26	15.1	3993.0	51	19.5	3300.0	76	31.3	2671.4
2	7.0	4831.5	27	15.1	4175.4	52	19.5	3813.8	77	31.5	1800.0
3	7.4	4501.4	28	15.2	3969.2	53	19.5	4282.5	78	31.5	2132.3
4	7.8	4710.7	29	15.5	4554.3	54	19.5	4592.9	79	31.6	1815.8
5	8.3	4614.7	30	15.8	3720.8	55	19.5	4730.1	80	31.8	1824.3
6	8.7	4502.1	31	16.4	3630.0	56	19.6	3382.5	81	32.1	1828.2
7	9.2	4730.1	32	16.9	4502.1	57	23.6	2971.4	82	32.3	1967.1
8	9.6	4300.0	33	17.4	3993.0	58	23.9	2971.4	83	32.3	2132.3
9	10.2	4282.5	34	17.9	4730.1	59	24.8	2425.5	84	32.3	2187.0
10	10.8	4478.1	35	18.2	3278.4	60	25.0	3630.0	85	32.4	2132.3
11	11.1	4926.0	36	18.4	3539.3	61	25.8	2340.3	86	32.5	2067.9
12	11.6	4614.7	37	18.7	3720.8	62	29.1	3089.1	87	32.6	2229.8
13	11.8	4407.5	38	18.8	3795.9	63	29.7	2039.1	88	33.3	2590.6
14	12.0	5394.0	39	19.1	3539.3	64	29.7	2039.1	89	33.4	2130.0
15	12.6	3813.8	40	19.1	3701.0	65	30.3	2091.4	90	38.1	1554.5
16	12.8	4390.2	41	19.2	3177.3	66	30.6	1975.0	91	38.6	1434.1
17	12.8	4478.1	42	19.2	4282.5	67	30.6	1845.0	92	38.9	1395.9
18	13.1	4392.3	43	19.3	3300.0	68	30.6	2126.3	93	39.1	1323.8
19	13.3	4831.5	44	19.3	3539.3	69	30.9	2000.0	94	39.1	1259.5
20	13.5	4175.4	45	19.3	3584.6	70	31.0	2869.9	95	39.3	1470.9
21	13.6	4478.1	46	19.3	4092.8	71	31.0	1798.9	96	39.5	1221.3
22	13.7	5314.7	47	19.4	3539.3	72	31.0	1871.1	97	39.6	1221.3
23	13.8	4392.3	48	19.4	3630.0	73	31.1	2369.3	98	39.6	1515.6
24	13.8	4848.4	49	19.5	3217.5	74	31.2	1845.0	99	39.6	1390.8
25	14.8	3642.6	50	19.5	3300.0	75	31.3	1733.1	100	40.1	1477.7



Şekil 8. HWD ölçümü tabaka modülü sonuçları

Şekil 9' da görüldüğü üzere yapılan ölçümlerde elde edilen defleksiyonların analizi sonucu elde edilen modül değerleri, ölçüm sıcaklığı arttıkça azalmaktadır.

Defleksiyon Ölçümlerinin Analizinde Sıcaklık Düzeltme Metotları

Yapılan ölçümlerde hesaplanan en düşük modül değeri 1477.7 MPa, en yüksek modül değeri ise 4592.9 MPa olarak hesaplanmıştır. Ölçümlerin yapıldığı nokta trafik etkisine

kapalı bir bölgede olduğundan, ölçüm noktasının yapısal karakteristiğinin aynı olması gerekmektedir. Fakat ölçüm sonuçlarında görülen farklılığın nedeni ölçüm esnasında BSK tabakanın sıcaklığının farklı olmasıdır.

Defleksiyon ölçümlerinde farklı noktalarda ve farklı sıcaklıklarda yapılan ölçümlerin karşılaştırılabilmesi ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapılacak üstyapı tasarımlarının doğru değerlendirilmesi için elde edilen modül değerlerinin referans sıcaklığa göre düzeltilmesi ve tasarımın referans modüller ile yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada literatürde en çok kullanılan sıcaklık düzeltme metotları araştırılmıştır. Literatür araştırmaları sonucunda bulunan mevcut metotlar Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. Sıcaklık düzeltme metotları

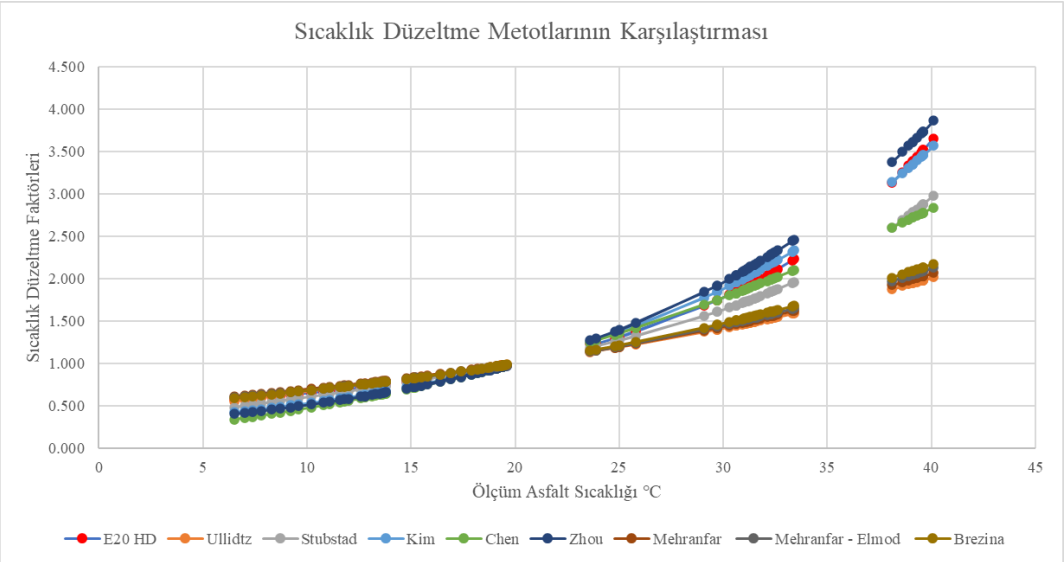
Sıcaklık Düzeltme Metodu	**Denklem**
Mehranfar ve Modarres (2020)	$E_{BSK} = E_{\text{ölçüm}} \times 0{,}4829 \times e^{0{,}0363 \times T_{\text{ölçüm}}}$
P. Ullidtz (1987)	$E_{BSK} = \frac{E_{\text{ölçüm}}}{3.117 - 1.673 \times \log T_{\text{ölçüm}}}$
Stubstad vd. (1994)	$E_{BSK} = \frac{E_{\text{ölçüm}}}{1 - 2{,}2 \times \log T_{\text{ölçüm}}/T_{ref}}$
Kim vd. (1995)	$E_{BSK} = E_{\text{ölçüm}} \times 10^{0{,}0275 \times (T_{\text{ölçüm}} - 20)}$
Chen vd. (2000)	$E_{BSK} = E_{\text{ölçüm}} \times \frac{\left(1{,}8 \times T_{\text{ölçüm}} + 32\right)^{2{,}4462}}{\left(1{,}8 \times T_{ref} + 32\right)^{2{,}4462}}$
Zhou (2014)	$E_{BSK} = E_{\text{ölçüm}} \times e^{0{,}0673 \times (T_{\text{ölçüm}} - 20)}$
Brezina vd. (2022)	$E_{BSK} = E_{\text{ölçüm}} \times e^{-0{,}0387 \times (20 - T_{\text{ölçüm}})}$
HD 29/08 Standardı (HD 29/08, 2008)	$E_{BSK} = E_{\text{ölçüm}} \times 10^{0{,}0003 \times (20 - T_{\text{ölçüm}})^2 - 0{,}022 \times (20 - T_{\text{ölçüm}})}$

Burada E_{BSK} referans sıcaklık BSK tabaka modülü, $E_{ölçüm}$ ölçüm sıcaklığı BSK tabaka modülü, T_{ref} referans sıcaklık, $T_{ölçüm}$ ise ölçüm asfalt sıcaklığıdır.

Sonuçlar

Toplanan ölçüm verilerinin analiz edilmesi ile elde edilen modül değerleri arasındaki büyük fark, defleksiyon ölçümlerinde sıcaklık düzeltmesinin yapılmamasının %67' ye varan düzeyde hatalara yol açabileceğini göstermiştir. Dolayısıyla esnek kaplamalarda yapılan defleksiyon ölçümlerinde mutlaka sıcaklık düzeltmesi uygulanmalıdır.

Bu çalışmada yapılan ölçümler yukarıda açıklanan sıcaklık düzeltme metotları ile analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerde ölçümlerde elde edilen BSK tabaka modülleri yukarıda açıklanan metotlar ile 20 °C referans sıcaklığa göre düzeltilmiş ve ölçüm sıcaklığı ile bölümünden sıcaklık düzeltme faktörleri hesaplanmıştır. Hesaplanan sıcaklık düzeltme faktörleri Şekil 10' da yer almaktadır.



Şekil 9. HWD ölçümleri üzerinden hesaplanan sıcaklık düzeltme faktörleri

Şekil 10' daki grafikten de görüleceği gibi literatürde yer alan sıcaklık metotlarına göre farklı düzeltme faktörlerinin eğilimleri birbirlerini destekleyen bir eğriye sahiptir. Fakat BSK sıcaklığı 30 ℃' nin üzerine çıktığında metotlara göre hesaplanan sonuçlar arasında farklılıklar gözlenmiştir. Bu duruma göre BSK sıcaklığının 30 ℃' nin üzerine çıktığı zaman yapılan ölçümlerin sıcaklık düzeltmesinin daha zor olduğu ve 30 ℃' nin üzerindeki BSK sıcaklıklarında defleksiyon ölçümlerinin diğer ölçümlere göre daha düşük doğrulukta olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre defleksiyon ölçümlerinin BSK sıcaklığının 5 ℃ ile 30 ℃ arasında olduğu koşullarda yapılması gerektiği tespit edilmiştir. 30 ℃' nin üzerinde yapılan ölçümler için ise Kim vd. (1995) ve Chen vd. (2000) tarafından geliştirilen metotların kullanılması diğer metotlara göre daha uygun olacaktır.

Yapılan defleksiyon ölçümlerinde doğru sıcaklık düzeltme metodunun seçilmemesi, değerlendirilen kesimlerde hesaplanacak tasarım kalınlıklarının veya onarım için kullanılacak gerekli takviye kalınlıklarının fazla hesaplanması durumuna yol açarak fazla yapım maliyetleri ya da kalınlıkların az hesaplanması durumunda yolların erken bozularak çok daha büyük bakım – onarım maliyetleri gereksinimine neden olacaktır. Bu nedenle ülkemizde yapılacak defleksiyon ölçümlerinde kullanılmak üzere, ülkemiz koşullarına en uygun sıcaklık düzeltme metodu geliştirilmeli ya da en uygun metot yapılacak çalışmalar ile tespit edilmelidir. Bu aşamada ülke genelinde farklı iklimsel özelliklere sahip bölgeler tespit edilerek, bu kesimlerde asfalt sıcaklığı verisi ve HWD ölçüm verisi toplanmalıdır. Toplanan verilerin analiz edilmesi sonucunda, farklı sıcaklıklarda toplanan verilerin sıcaklık düzeltme metotları ile düzeltilmesi sonucunda elde edilen modüller ile referans asfalt sıcaklığında ölçülen verilerden elde edilen modüller karşılaştırılabilir. Bu karşılaştırma ile en uygun metot saptanabilir. Ayrıca elde edilen veriler ile her bir test kesimi için birer sıcaklık düzeltme metodu geliştirilebilir, bu metotlar diğer kesimlerin verileri ile teyit edilerek en uygun model belirlenebilir.

Defleksiyon ölçümlerinde sıcaklık düzeltme metodu kadar, metotta kullanılacak referans sıcaklığın da önemi yüksektir. Ülkemizde yer alan farklı bölgelerde aynı sezonda farklı iklim şartları görülmesi nedeni ile coğrafi bölgelere göre farklı referans sıcaklık kullanılması gerekebilir. Yıl boyunca daha düşük sıcaklıkların yaşandığı Erzurum gibi bölgeler ile daha sıcak olan Mersin gibi bölgelerde yapılacak defleksiyon analizlerinin 20

– 25 °C gibi aynı referans sıcaklığa göre hesaplanması ve tasarımlarının yapılması uygun olmayacaktır. Bu nedenle üstyapının bozulmasına en çok etki yapan ağır taşıt trafiğinin yıllık değişimi doğrultusunda meteoroloji verilerinin analiz edilmesi ile farklı iklim özelliklerine sahip bölgelerde farklı referans sıcaklıkları belirlenmelidir.

Teşekkür

Yazarlar Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü' ne veri temini, Komsa Mühendislik İnşaat Sanayi Ticaret A.Ş.' ye ölçüm cihazı temini ve ölçümlerin yapılması çalışmalarına olan katkılarından dolayı teşekkür eder.

Kaynaklar

Altıok, Ş., et al. (2021). "Turkey Pavement Management System Software Development Works."

Calvarano, L. S., et al. (2017). 3D-FEM analysis on geogrid reinforced flexible pavement roads. IOP conference series: earth and environmental science, IOP Publishing.

Choi, J. W., et al. (2010). "New layer-moduli back-calculation method based on the constrained extended Kalman filter." Journal of Transportation Engineering **136**(1): 20-30.

Dawson, T. A. (2008). Backcalculated Subgrade Resilient Modulus Design Values for the State of Michigan, Michigan State University. Department of Civil Engineering.

Erkmen, F. (2023). Düşen Ağırlıklı Deflektometre Ölçümlerinde Asfalt Sıcaklığı Etkisi ve Sıcaklık Düzeltme Metodunun Belİrlenmesİ. Mühendislik Fakültesi. Isparta, Sületman Demirel Üniversitesi. **Doktora:** 160.

Fernando, E. G., et al. (2001). Development of a procedure for temperature correction of backcalculated AC modulus, Texas Transportation Institute, Texas A & M University System.

Hoffman, M. S. and M. R. Thompson (1982). Backcalculating nonlinear resilient moduli from deflection data.

Insititute, A. (2007). "The Asphalt Handbook (MS-4)." Asphalt Institute, Lexington.

Institute, A. (1962). The asphalt handbook, Asphalt Institute.

KGM (2015). "2015 Yılı Performans Programı." Retrieved 21.11.2022, 2022, from https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Kurumsal/PerformansProgrami/15performans.pdf.

KGM (2019). "2019 - 2023 Stratejik Planı." Retrieved 21.11.2022, 2022, from https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Kurumsal/StratejikPlan/strateji(2019-2023).pdf.

KGM (2023). "Yol Ağı Bilgileri." from https://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/kurumsal/yolagi.aspx.

Mohammad, L. N., et al. (2007). Comparative evaluation of subgrade resilient modulus from non-destructive, in-situ, and laboratory methods, Louisiana Transportation Research Center.

Shahin, M. Y. (1994). Pavement management for airports, roads, and parking lots.

Umar, F. and E. Ağar (1991). "Yol Üstyapısı, 4. baskı." TÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Zheng, Y., et al. (2019). "Correlation between pavement temperature and deflection basin form factors of asphalt pavement." International Journal of Pavement Engineering **20**(8): 874-883.

Taş Mastik Asfalt Kaplamalarda Mineral Elyaf Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Mohammad Aman Rasekh[1], Dolunay Zengin[2], Soner Haldenbilen[3]
[1,2,3] Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim dalı, Kınıklı Kampüs, Denizli
Tel: (+90) 5551876630, 5065455240
E-Posta: aman.rasekh2@gmail.com, dtopcuoglu@pau.edu.tr, shaldenbilen@pau.edu.tr

Öz

Ağır dingil yükleri bulunan ticari taşıt trafiğinin yoğun olduğu yollarda, tekerlek izi, aşınma ve çeşitli üst yapı bozulmalarını engellemek ve üst yapı ömrünü artırmak amacıyla geliştirilen Taş Mastik Asfalt (TMA) kaplamalar, yüksek dane teması, agregaların kenetlenme kabiliyeti ve yüksek bitüm oranı ile geleneksel kaplama tasarımlarından farklılık göstermektedir.

Bu çalışmada TMA kaplamalarda katkı maddesi olarak mineral elyaf grubunda yer alan bazalt elyafların kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneylerde farklı boyutlardaki bazalt elyaf tek başına ve TMA karışımlarda yaygın olarak kullanılan selülozik elyaflarla karıştırılarak bitümün süzülme performansı üzerindeki etkisi ve tekerlek izi performanslarındaki değişimleri araştırılmıştır. Elyaf katkılarının bitüm absorbe performansının belirlenmesi amacıyla 19 adet farklı numune hazırlanarak Schellenberger süzülme deneyi yapılmıştır. Bu deney setlerinde mineral elyafsız şahit karışım, 12mm ve 26mm boylarındaki bazalt elyafın %0,2, 0,3 ve 0,4 oranları kullanılarak hazırlanan 6 farklı oranda karışım, bazalt mineral elyaf içeren, 6 adet karışıma %0,1 ve %0,2 oranında selülozik elyaf eklenerek hazırlanan 12 adet hibrit numune olmak üzere toplamda 19 karışım hazırlanmıştır. Agrega, bitüm ve karışım oranları Denizli Honaz Tüneli için KGM tarafından onaylanmış karışım dizaynı dikkate alınarak hazırlanmıştır. Yapılan Schellenberger deneyleri sonucunda tüm numunelerin karayolları teknik şartnamesinde belirtilen standartlara uygun sonuç verdiği görülmüştür. Hamburg Tekerlek İzi deneyi için yoğurmalı sıkıştırıcı kullanılarak optimum bitüm oranlarında hazırlanan numuneler kullanılmış olup, deneyler sonucunda en yüksek tekerlek izi deformasyonunun %0,2 oranında 12mm'lik bazalt elyaf kullanılan numunelerde, en düşük tekerlek izi deformasyonu ise %0,3 oranında 12mm'lik bazalt elyaf ve %0,2 oranında selüloz elyaf içeren numunelerde ölçülmüştür. Selüloz ve bazalt elyaf karışımının tekerlek izi oluşumuna karşı direnci %37 oranında iyileştirebileceği belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Taş mastik asfalt, TMA, Schellenberger süzülme deneyi, Hamburg tekerlek izi deneyi, Bazalt elyaf, Selülozik elyaf

1.Giriş

Bir bitümlü sıcak karışım türü olan Taş Mastik Asfalt (TMA) çivili lastiklerinin oluşturduğu kalıcı deformasyonlara azaltmak amacıyla geliştirilmiş bir karışım tipidir (Çetin ve diğ.2020). Günümüzde artan taşıt trafiği, yolların işletilmesi ve bakım

maliyetlerinin artması, araştırmacıları bitümlü karışımların performansını iyileştirmek için yeni yöntemler ve tasarımlar bulmaya yöneltmiştir. Bu nedenle taş mastik asfaltın iyileştirilmesi bir araştırma alanı olmuştur. Bu tip kaplamalar 1999'de standart hale getirilmiştir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Taş mastik asfalt karışımlarda yoğun gradasyonlu asfalt karışımlarına kıyasla, kaba agrega oranının fazla olması, agrega daneleri arasında boşlukların fazla olmasına neden olmaktadır. Bu boşlukları kapatmak için mastik harç denilen bitüm veya modifiye bitüm, filler, ince agrega ile bitümün süzülmesini engelleyen elyaf veya diğer stabilize edici malzeme ile doldurulmaktadır (EAPA,1998). Farklı türdeki elyaflar dünyanın birçok yerinde yıllardır kaplama malzemelerini geliştirmek için kullanılmaktadır ve olumlu etkileri nedeniyle yaygın kullanım görülmektedir. Elyafların TMA karışımlarında bitümün süzülmesini önlemesinin yanı sıra karışımı stabilize edici, güçlendirici ve homojen dağıtıcı fonksiyonları vardır. Bu elyaflar, düşük ağırlıkları ve sahip olduğu zincir ağı nedeniyle, taş mastik asfalt karışımlarında doldurucu ve adezif rol oynamaktadırlar. Elyaf kullanımı aynı zamanda bitümün kaba agregadan süzülmesini ve dışarı akmasını engeller, homojen bir şekilde dağılmasını ve sıkışmasını sağlar. Bu nedenle, karışımın elyaflarla takviye edilmesi, asfaltın sünekliğini plastik limitini ve çekme mukavemetini artırır (Huang ve diğ.2020; Mahrez ve diğ. 2003). Selülozik elyaf, en yaygın olarak odunsu bitkilerden veya geri dönüştürülmüş kâğıtlardan elde edilen bitki bazlı elyaflardır. Bu elyaf türü, kaba bir dokuya, gözenekli bir yüzeye ve uzunluk boyunca değişen çapa sahiptir (Structuralve diğ. 2003; Huang ve diğ.2020; Statements,2013). TMA karışımlarda kullanılan bitüm miktarı diğer asfalt karışımlarda göre daha fazla olduğu için bitüm süzülmesi de sorun olmaktadır. Selülozik elyaf bitümün süzülmesini önleyerek, kaplamadaki kusmayı da engeller. Bazalt elyaf, sert, yoğun ve kararlı bir magmatik kaya olan bazaltın eritilmesi ve daha sonra yaklaşık 1500°C'de bükülerek veya ekstrüde edilerek fiziksel olarak elyaflar oluşturulmasıyla üretilen bir mineral elyafıdır (Singha,2012). Bazalt, dünyanın hemen hemen tüm ülkelerinde bulunan ve bilinen kırılmış bir kaya olmakla beraber, inşaat, sanayi ve karayolu mühendisliğinde kullanılmaktadır. Bazaltın imalatta kullanılabileceği ve ince elyaflar haline getirebileceği yaygın olarak bilinmemektedir. Günümüzde bazalt elyaf, mükemmel teknik performansı ve çevresel faydaları nedeniyle asfalt kaplama mühendisliğinde giderek daha fazla ilgi görmektedir (Wu ve diğ.2021). Bazalt elyaflar hava veya su ile zararlı bir reaksiyona girmez, yanmaz ve patlamaya karşı dayanıklıdır. Diğer kimaysallarla temas halindeyken sağlığa veya çevreye zarar verebilecek hiçbir kimyasal reaksiyon oluşturmaz (Sharma,2016). Hibrit modifikasyonun asfalt karışımının performans iyileştirmesi üzerindeki etkilerini araştırmak için taş mastik asfalta (TMA) aynı anda selüloz ve bazalt elyaf eklenmiştir ve sonuç olarak elyaflı numuneler tüm performans testlerinde kontrol grubundan daha iyi performans göstermiştir (Huang ve diğ.2020). Spesifik olarak, selüloz elyaf; bitümün süzülmesi, karışımın sünekliği ve yorulma dayanımını daha önemli ölçüde iyileştirirken, bazalt elyafın; kalıcı deformasyon, eğilme mukavemeti ve gerilme hassasiyetini iyileştirmede daha fazla etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir (Huang ve diğ.2020). Bitümün süzülmesinin önlenmesinde selülozik elyaf katkılarına alternatif olarak bazalt elyafın TMA karışımlarının performansına etkileri de araştırılmıştır (Çetin ve diğ.2020). 25 °C'de %0,6 bazalt lifi ilavesi, numunelerin esneklik modülünü ve çekme mukavemetini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. (Çetin ve diğ.2020). Elyaf tipinin taş mastik asfaltın uzun vadeli performansı üzerindeki etkisini netleştirmek için bazalt elyafı ve lignin elyafı kullanarak TMA'ın uzun vadeli performansları değerlendirilmiştir (Wu & diğ.2021). Tekerlek izi testi ve tek eksenli penetrasyon testinin sonuçları, bazalt fiber içeren TMA'ın yüksek sıcaklık performansının, lignin fiber içeren TMA'tan daha iyi

olduğunu göstermiştir (Wu & diğ.2021). Elyaf tipinin taş mastik asfaltın yol performansına etkisi lignin elyaf, polyester elyaf ve bazalt elyaf kullanılarak araştırılmıştır (Wan & diğ.2014). Mineral elyaflar kullanılan TMA karışımlarının, optimum yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık sergilediğini göstermiştir; lignin elyafların kullanıldığı TMA karışımlarda ise optimum su stabilitesi sergilemiştir (Wan & diğ.2014). Üç farklı elyaf türü olan ksilon elyaf, polyester elyaf ve bazalt mineral elyafın taş mastik asfaltın üstyapı performansı üzerindeki etkisi ve etki mekanizması, TMA'ın üstyapı performansının optimizasyonu için karşılaştırmalı analizlerle incelenmiştir (Dong & diğ.2013). Sonuçlar bazalt mineral elyaf içeren karışımın, bu araştırmada seçilen üç tip karışım arasında en uygun kaplama performansına sahip olduğu tespit etmiştir (Dong & diğ.2013).

Yapılan çalışmalar incelendiğinde çalışmaların genel olarak sürekli yoğun gradasyonlu bitümlü sıcak karışımlarda bazalt elyaf kullanım oranı üstüne yoğunlaştığı, taş mastik asfaltlarda bazalt elyaf kullanılması ile ilgili çalışmaların az olduğu görülmüştür. Hem selülozik elyaf hem bazalt elyaf kullanan çalışma oldukça azdır. Bu çalışmada literatürde farklılık yaratabilecek bir düşünce ile selülozik elyaflar ile farklı boyuttaki bazalt elyafların kombinasyonu denenerek TMA stabilitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla farklı oranlarda elyaf ile 18 adet numune hazırlanarak elyafların süzülme performansları belirlenmiş ve süzülme performanslarına bağlı olarak seçilen numunelere tekerlek izi deneyi uygulanarak elyaf karışım oranlarının tekerlek izi oluşumuna etkileri analiz edilmiştir.

2. Materyaller

Çalışmada kullanılan agrega ve bitüm özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

Çalışmada 12 mm ve 26 mm boyutlarında bazalt elyaflar, (0-5mm), (5-13mm), (13-19mm) olmak üzere 3 grup agrega, Dalama Kalker Taşocağından elde edilen mineral filler, 50/70 penetresyon sınıfında bitümlü bağlayıcı ve Hipercell selülozik elyaf kullanılmıştır. Kaba agrega, ince agrega ve fillere uygulanan deney sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Çalışmada kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Ocak Adı		Nam Nam T.O.– Dalama Kalker T.O.		
Kayacın cinsi		Dünit/Gabro - Kalker		
	Kaba Agrega	İnce Agrega	Filler	Deney Standardı
Hacim Özgül Ağırlığı (g/cm^3)	2,930	2,872		TS EN 1097-6
Zahiri Özgül Ağırlığı (g/cm^3)	2,989	2,937	2,825	
Su Absorpsiyonu %	0,675	0,766		
Karışımın Effektif Özgül Ağırlığı (deneyle)			2,929	ASTM D-2041
Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı (hesapla)			2,933	
Cilalanma Değeri			-	TS EN 1097-8
Metilen Mavisi			1,25	TS EN 933-9
$MgSO_4$ Donma Kaybı, %			2,8	TS EN 1367-2
Los Angeles Aşınma Kaybı, %			22,0	AASHTO T-96

Yassılık İndeksi, %	13,0	BS 812

Taş mastik asfalt üretiminde kullanılacak agrega, bitüm ve elyaf katkıları Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ, 2013) belirtilen kriterleri sağlayacak şeklinde belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan bitüm özellikleri Tablo 2 de görülmektedir.

Tablo 2: Çalışmada kullanılan bitümün fiziksel özellikleri

	Deney Sonucu	Deney Standardı
Modifiye Bitüm Özgül Ağırlığı (g/cm^3)	1,029	TS 1087
Modifiye Bitüm Penetrasyonu, dmm	42,7	TS EN 1426
Modifiye Yumuşama Noktası, ^{o}C	69,3	TS EN 1427
İmalatta kullanılacak bitümlü bağlayıcı	Tipi	Modifiye Bitüm
	Sınıfı	50/70

Çalışmada kullanılan bazalt elyaf ve hipercell selülozik elyaf özellikleri Tablo 3' te özetlenmiştir.

Tablo 3: çalışmada kullanılan bazalt elyaf ve hipercell selülozik elyafın teknik özellikleri

Bazalt elyaf	**Teknik özellikler**	
	Çekme dayanımı (Mpa)	4840
	Elastisite modülü (Gpa)	89
	Uygulama sıcaklık limitleri (°C)	±982
	Özgül ağırlık (gr/cc)	2,60-2,80
	Eltyaf çapı (µm)	9-23
Hipercell selülozik elyaf		
	Görünüm	Granül
	Isıl dayanımı (°C)	>250
	Palet çapı (mm)	5
	Ortalama elyaf uzunluğu (µm)	800
	Özgül ağırlık (gr/cc)	0,6

3. TMA Dizaynı (Karışımın Tasarımı)

Karışım tasarımı için Marshall Metodu kullanılmış olup malzemeye yönelik olarak KGM 2. Bölge Müdürlüğü laboratuvarlarında yapılmış ve onaylanmış dizayn değerlendirilmiştir. Deney sonucunda optimum bitüm miktarı kuru agregaya göre ağırlıkça %6,00 (100g. kuru agrega + 6,00 gr. uygun özellikteki bitüm+0,35 gr fiber) olarak bulunmuştur. Tablo 4'te dizayn bilgileri verilmiştir.

Tablo 4: Optimum bitümde diğer sonuçları

	Dizayn
Optimum Bitüm	6,00
Pratik Özgül Ağırlık	2,565

Boşluk, %	3,38
V.M.A, %	16,7

3.1. Bazalt Elyaf Katkı Oranlarının Belirlenmesi

Denyesel çalışmada onaylı dizaynı temsil eden şahit numunenin yanı sıra farklı boy ve oranlarda sadece bazalt elyaf içeren ve selülozik elyaf ile bazalt elyafı aynı anda içeren toplam 19 karışım önerisinin deneysel çalışmalarda kullanılması planlanmıştır. Tablo 4'te bu önerilen karışım oranları verilmiştir. Oranlar belirlenirken literatür çalışmaları dikkate alınmıştır. Tablo 5'te deney setlerine ait numune detayları verilmiştir.

Tablo 5: Deneyler için hazırlanan numunelere ait elyaf oranları

	Selülozik Elyaf	**Bazalt Elyaf**			**Selülozik Elyaf**	**Bazalt Elyaf**	
		12mm	**26mm**			**12mm**	**26mm**
Şahit	**0.35%**	0	0	Numune 10	0,10%	0	0,20%
Numune 1	0	0,20%	0	Numune 11	0,10%	0	0,30%
Numune 2	0	0,30%	0	Numune 12	0,10%	0	0,40%
Numune 3	0	0,40%	0	Numune 13	0,20%	0,20%	0
Numune 4	0	0	0,20%	Numune 14	0,20%	0,30%	0
Numune 5	0	0	0,30%	Numune 15	0,20%	0,40%	0
Numune 6	0	0	0,40%	Numune 16	0,20%	0	0,20%
Numune 7	0,10%	0,20%	0	Numune 17	0,20%	0	0,30%
Numune 8	0,10%	0,30%	0	Numune 18	0,20%	0	0,40%
Numune 9	0,10%	0,40%	0				

4. Metodoloji

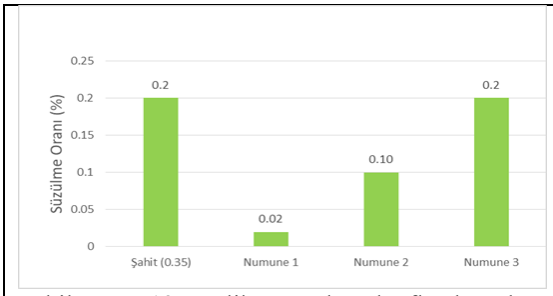
Deneysel çalışmalar kapsamında Tablo 4'te verilen karışım numuneler için önce bitüm süzülme performanslarını ortaya çıkarabilmek için Schellenberger deneyi yapılmıştır. Schellenberg bitüm süzülme deneyi TS EN.12697-18 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ardından süzülme performansları en iyi olan karışımlar ve şahit numune kullanılarak elyaf katkıların plastik yani kalıcı deformasyonlara karşı gösterdiği davranışı belirlemek amacı ile Hamburg tekerlek izi deneyi uygulanmıştır. Bu deney TS EN 12697-22 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

4.1. Schellenberger Süzülme Deneyi

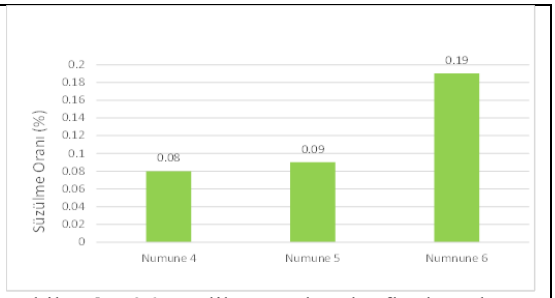
Schellenberg süzülme deneyi bitümün süzülme miktarını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Normal bitümlü karşımlarda 135 ± 5 °C'de ve modifiye bitümlü karışımlarda 145 ± 5 °C'de hazırlanan 1000gr TMA karışımı 1000 ml'lik önceden 110 °C'lik etüvde 15 dakika ısıtılmış cam behere konularak 0,1 g hassasiyetinde tartılır. Beher, üzeri kapatıldıktan sonra 1 saat ± 1 dk süre ile normal bitümlü karışımlar 175°C sıcaklıktaki, modifiye bitümlü karışımlar ise 185 °C sıcaklıktaki etüvde bekletilir. Bu sürenin sonunda etüvden çıkartılır ve karışım beheri sarsmadan boşaltılır. Cam behere yapışan agrega varsa temizlenir. Deney sonu cam beher 0,1gr hassasiyetinde tartılır ve boş beher ağırlığı çıkartılır. Süzülen bitüm miktarı ilk başlangıçta deneye alınan karışım miktarına oranlanarak belirlenmiş olur. KTŞ'ye göre bitümün süzülmesi maksimum %

0,3 olmalıdır. Çıkan sonuç; % 0,2' den küçükse iyi performans, % 0,2 ile % 0,3 arasında ise kabul edilir performans, % 0,3' den büyükse kötü performans olarak kabul edilir (KTŞ,2013).

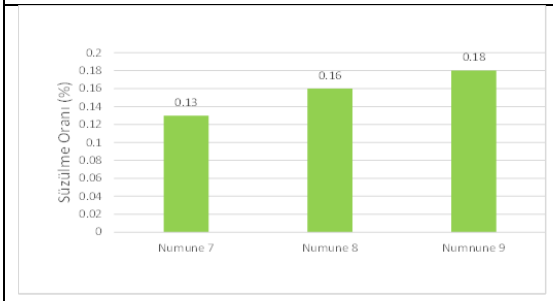
Karayolları Teknik Şartnamesi 'ne göre bitüm süzülme miktarının maksimum %0,3 olması şartı vardır. Bu şartın hangi elyaf oranında sağlandığını ayrıca elyaf katkı oranının ve bazalt mineral elyafı boyunun deney sonucuna etkisinin belirlenmesi amacı ile hazırlanan 19 adet numuneye Schellenberger süzülme testi yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde elde edilen süzülme sonuçları Şekil 1.a-f'de verilmiştir. Deneyler sonucunda elyaf içermeyen TMA, %0,35 oranında yüksek süzülme kaybı göstermiştir. 26 mm'lik %0,40 bazalt elyaf ve %0,20 oranında selüloz elyaf ile hazırlanan numune dışında, tüm numuneler sonuçlara göre standart olarak karayolları teknik şartnamesinde belirtilen maksimum %0,3 değerinin altında kalmıştır. Sadece bazalt elyaf kullanılan numunelerde en iyi sonucu %0,20 oranında 12 mm'lik bazalt elyaf içeren numune verirken, her iki elyaf türünün beraberce kullanıldığı numune gruplarında ise %0,3 oranında 12 mm'lik bazalt elyaf ve %0,2 oranında selüloz elyaf kullanılan numune en iyi sonucu vermiştir. Süzülme performansı en iyi olan 1, 4, 10 ve 14 numaralı numuneler ile şahit numuneye ait karışım değerlerinin tekerlek izi performansına etkisinin belirlenmesi amacı ile Hamburg Tekerlek izi deneyi uygulanmıştır.



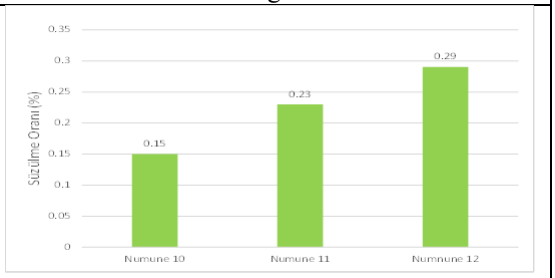
Şekil 1.a. 12mm'lik Bazalt Elyafla hazırlanan numunelerin süzülme değeri.



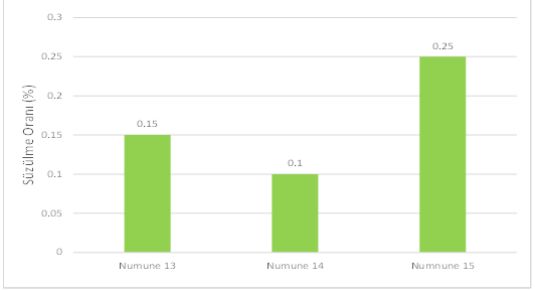
Şekil 1.b. 26'mmlik Bazalt Elyafla hazırlanan numunelerin süzülme değeri.



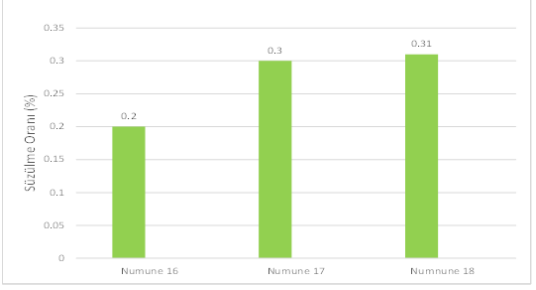
Şekil 1.c. 12mm'lik Bazalt + %0,1 Selülozik Elyafla hazırlanan numunelerin Süzülme değeri.



Şekil 1.d. 26mm'lik Bazalt + %0,1 Selülozik Elyafla hazırlanan numunelerin Süzülme değeri.



Şekil 1.e. 12mm'lik Bazalt + %0,2 Selülozik Elyafla hazırlanan numunelerin Süzülme değeri.



Şekil 1.f. 26mm'lik Bazalt + %0,2 Selülozik Elyafla hazırlanan numunelerin Süzülme değeri.

Tablo 6’da süzülme deney sonuçları sonrası şahit numuneye göre değişim oranları verilmiştir.

Tablo 6: Bazalt elyafların süzülme performansına etkisi.

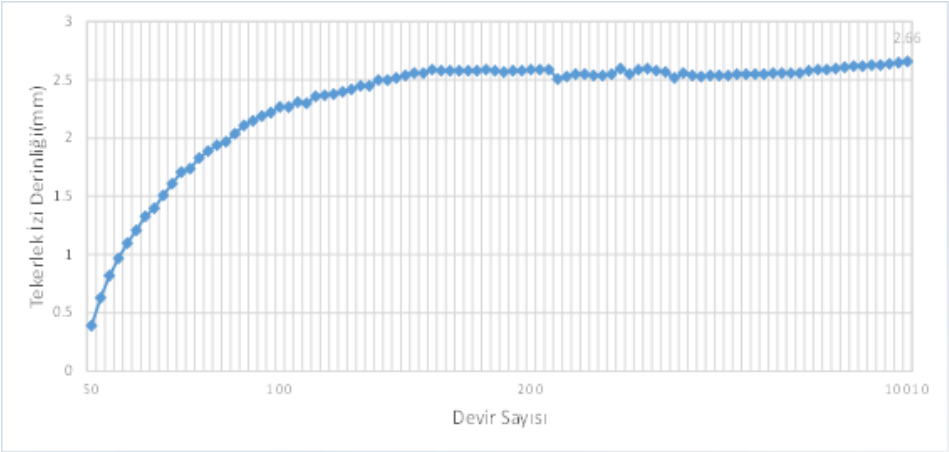
Numune No	Süzülme değeri değişim oranı	Numune No	Süzülme değeri değişim oranı
Şahit	---	**Numune 10**	57%
Numune 1	94%	**Numune 11**	34%
Numune 2	71%	**Numune 12**	17%
Numune 3	43%	**Numune 13**	57%
Numune 4	77%	**Numune 14**	71%
Numune 5	74%	**Numune 15**	29%
Numune 6	46%	**Numune 16**	43%
Numune 7	63%	**Numune 17**	14%
Numune 8	54%	**Numune 18**	11%
Numune 9	49%		

Elde edilen süzülme performanslarına bağlı olarak 4 numune tekerlek izi performansının belirlenmesi amacı ile Hamburg Tekerlek İzi deneyine tabi tutulmuşlardır.

4.2. Hamburg Tekerlek İzi Deneyi

Hamburg Tekerlek İzi deneyi (Hamburg Wheel Tracking Test-HWTT) ilk olarak Almanya'nın Hamburg kentinde Helmut Wind tarafından üretilmiştir. Hamburg Wheel Tracking Test, bitümlü sıcak karışımının tekerlek izi direncini belirlemeyi amaçlayan yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. 50 mm çapında, Superpave Döner Kompaktöründe hazırlanan TMA numunelerini test kalıplarına uygun boyuta getirilmiştir. Test için kullanılan suyun sıcaklığı genellikle 40-50 °C arasında ayarlanır ancak genellikle 50 °C kullanılmaktadır. Deneyde kullanılan çelik tekerlekler 204 mm çapında ve 47 mm genişliğindedir. Çelik silindirik tekerlekler tarafından her bir numuneye uygulanan yük 703 N'dur. Çelik silindir tekerlekler, dakikada 52 geçiş yapacak şekilde ayarlanmıştır. Her numuneye maksimum 10010 geçiş olacak şekilde ya da numunenin merkezinde maksimum 20 mm çökme olacak şekilde, yani tekerlek izi oluşuncaya kadar tekerlek yükü numune üzerine uygulanmaktadır. Numuneler belirtilen geçiş veya deformasyona ulaştığında cihaz otomatik olarak durmakta ve deneyi sonlandırmaktadır (Han ve Shiwakot, 2016; Izzo ve. Tahmoressi,1999).

Hamburg tekerlek izi testi başlatıldıktan sonra 50, 100, 200 ve 10010 devirdeki tekerlek izi derinlikleri kaydedilmiştir. Daha sonra bu değerlerin ortalaması alınarak meydana gelen tekerlek izi derinlikleri hesaplanmıştır. Taş mastik asfalt karışım numunelerinin Hamburg Tekerlek İzi deneyi sonucu meydana gelen tekerlek izi performansları Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Şahit numunenin ortalama tekerlek izi deformasyonu.

Hamburg Tekerlek izi deneyi sonuçları ve iyileşme oranları Tablo 7'da verilmiştir. Deney sonucunda tekerlek izi performansı en iyi olan numune %0,2 selülozik elyaf ve %0,3 oranında 12 mm'lik bazalt elyaf içeren Numune 14 olarak belirlenmiştir. Sadece %0,2 oranında 12 mm'lik bazalt elyaf kullanılan Numune 1 şahit numuneden de kötü bir performans göstermiştir. %0,2 oranında 26 mm'lik bazalt elyaf kullanılan Numune 4 şahit numuneye çok yakın bir performans göstermiştir. %0,1 selülozik elyaf ve %0,2 oranında 26 mm'lik bazalt elyaf içeren Numune 10 ise Numune 14'den sonra en fazla iyileşmenin sağlandığı karışım oranı olarak belirlenmiştir.

Tablo 7: Tekerlek izi deney sonuçları

Numune No	**Devir Sayısı**			
	50	**100**	**200**	**10010**
Şahit	0.39	2.27	2.59	2.66
Numune 1	0.07	1.58	2.56	2.91
İyileşme Oranı	**82%**	**30%**	**1%**	**9%**
Numune 4	0.8	2.55	2.58	2.69
İyileşme Oranı	**51%**	**12%**	**-**	**1%**
Numune 10	0.16	1.75	2.12	2.3
İyileşme Oranı	**59%**	**30%**	**22%**	**16%**
Numune 14	0.27	1.68	1.85	1.94
İyileşme Oranı	**44%**	**35%**	**40%**	**37%**

5. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışma kapsamında mineral elyaf sınıfında yer alan bazalt elyafların esnek üstyapı kaplama türü olan TMA'da kullanılabilirliği ve karışımın süzülme performansı ile stabilite performansı olarak kabul edilen tekerlek izi oluşumuna etkileri analiz edilmiştir. Aşağıda yapılan çalışmalar doğrultusunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Schellenberger bitüm süzülme deneyi sonuçlarına bakıldığında 18 numaralı karışım hariç tüm numunelerin şartnamesinde belirtilen maksimum %0,3

değerin altında kaldığı belirlenmiştir. Artan elyaf oranından dolayı elyaf dağılımının homojen olarak gerçekleşmemesi ve topaklanma kaynaklı olarak 18 numaralı karışımda arzu edilen sonuca ulaşılamamıştır. Homojen dağılım gerçekleşmediğinde elyafın olumlu etkilerinden yeterince faydalanılmayıp süzülme oranı sınır değeri aşmıştır.

- Hamburg Tekerlek izi testi sonucunda elde edilen tekerlek izi derinlikleri değerlendirdiğinde, bazalt ve selüloz elyaf katkı ilaveli taş mastik asfalt karışım numunelerinin şahit ve tek başına bazalt ilaveli karışım numunelerine göre tekerlek izi oluşumuna karşı daha dayanıklı olabileceği tespit edilmiştir.
- Hamburg tekerlek izi deney sonuçlarına göre 14 numaralı karışımın 10 numaralı karışıma göre tekerlek izine karşı dayanımının %19 daha fazla olduğu görülmüştür. Yine 14 numaralı karışımın 4 numaralı karışıma göre tekerlek izi oluşumuna karşı %39, 1 numaralı karışıma göre ise yaklaşık %50 daha dirençli olduğu belirlenmiştir. Şahit numune ile en iyi tekerlek izi performansını sergileyen 14 numaralı karışım kıyaslandığında ise; 14 numaralı karışımın tekerlek izine dayanımının şahit numuneden yaklaşık %37 daha fazla olduğu hesaplanmıştır.
- Buna göre taş mastik asfalt karışımlarda, katkı maddesi olarak kullanılan bazalt elyaf + selülozik elyaf miktarı arttıkça aşınma tabakasında tekerlek izi meydana gelme olasılığının azaldığı anlaşılmaktadır.

Yapılan deneyde su sıcaklığı tekerlek izi deformasyon miktarını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle sonuçlar Hamburg Tekerlek İzi deneyi farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilerek çıkan sonuçların karşılaştırılması yapılabilir.

Yapılan çalışmada, laboratuvar ortamında hazırlanan katkı ilaveli taş mastik asfalt karışım numunelerinde 12 mm'lik ve 26 mm'lik bazalt elyaf kullanılmıştır. Farklı uzunluk ve oranlarda elyaf kullanılarak karışımın mühendislik özelliklerindeki değişimler araştırılabilir. Çalışmada elyaf oranı arttıkça tekerlek izinde iyileşme olduğu görülse de optimum elyaf miktarından fazlası karışım homojenliğinde probleme yol açacak ve elyaflar arası topaklanma görülebilecektir. Bu nedenle daha yüksek elyaf oranları da denenerek kullanılabilecek maksimum elyaf yüzdesi tespit edilebilir.

6.Kaynaklar

Cetin, A. Evirgen, A. Karslioglu, A and Tuncan, A. (2020) The effect of basalt fiber on the performance of stone mastic asphalt. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 65(1),pp. 299–308.

Karayollar genel müdürlüğü, (2013) Karayolu teknik şartnamesi(KTŞ). Ankara.

EAPA, (1998) Heavy duty surfaces The Arguments For SMA.European Asphalt Pavment Association.

Huang,Y. Liu, Z. Liu, L. Zhang,Y and Xu,Q.(2020) Hybrid Modification of Stone Mastic Asphalt with Cellulose and Basalt Fiber. Advances in Materials Science and Engineering, pp. 11

Abdelaziz, M. Karim, M. and Katman, H. (2003) Prospect of using glass fiber reinforced bituminous mixes. J East Asia Soc Trans Stud, pp. 794–807.

Structural, R. Bars, S. Machine, A. and Statements, B. (2003) Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. ASTM International, West Conshohocken, pp. 4–7.

Statements, B.(2013) Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate. ASTM International, West Conshohocken, USA, pp. 1–5.

Singha, K. (2012) A Short Review on Basalt Fiber. International Journal of Textile Science, pp.19–28.

Wu, B. Wu, X. Xiao, P. Chen,C. Xia, J. and Lou, K. (2021) Evaluation of the Long-Term Performances of SMA-13 Containing Different Fibers. applied sciences, pp.1-16.

Sharma,P. (2016) An Introduction to Basalt Rock Fiber and Comparative Analysis of Engineering Properties of BRF and Other Natural Composites International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, pp.141–148.

Wan, C. Wang,Q. Ma, B. Zhang, Y. (2014) Influence of Fiber Type on Road Performance of Stone Mastic Asphalt. Advanced Materials Research, pp. 188–193.

Dong, G. Zheng, N. Qie, L. (2013) Research on Influence of Different Fibers on Pavement Performance of SMA Sustainable Development of Urban Infrastructure Applied Mechanics and Materials, pp.599–602.

Han ,J. Shiwakoti, H. (2016) Wheel tracking methods to evaluate moisture sensitivity of hot-mix asphalt mixtures. Frontiers of Structural and Civil Engineering, pp.30–43.

Izzo, R.P. Tahmoressi, M. (1999) Use of the Hamburg Wheel-Tracking Device for Evaluating Moisture Susceptibility of Hot-Mix Asphalt. Transportation Research Record, pp. 76–85.

Türkiye ve Yurtdışındaki Elektrikli Skuter Yönetmeliklerinin Karşılaştırılması

Arş. Gör. Saadet Deveci
İstanbul Teknik Üniversitesi,
İnşaat Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü.
E-posta: devecis20@itu.edu.tr

Doç. Dr. Selim Dündar
İstanbul Okan Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü.
Tel: (216) 677 16 30
E-posta: selim.dundar@okan.edu.tr

Doç. Dr. Hüseyin Onur Tezcan
İstanbul Teknik Üniversitesi,
İnşaat Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü.
Tel: (212) 285 36 65
E-posta: tezcanhu@itu.edu.tr

Öz

Dünyada birçok ülkede yaygın bir şekilde kullanılan elektrikli skuterler (e-skuter) son birkaç yıldır ülkemizde de kullanılmaya başlamıştır. E-skuterler trafik sıkışıklıklarından en alt düzeyde etkilenmeleri ve çevreci bir ulaşım türü olmalarına yönelik kamuoyu algısı sayesinde özellikle genç kesim tarafından rağbet gören bir ulaşım türü olmuştur. Covid-19 salgını sırasında da özellikle paylaşımlı e-skuter sistemlerine olan talepte artış görülmüştür. Mikromobilite türleri arasında önde gelen bu araçların kullanımındaki artışla birlikte e-skuterlerin karıştıkları trafik kazaları da giderek artmaktadır. E-skuterlerin tarihçesi her ne kadar 1915 yılında üretilen Autoped'e dayansa ve bu tarihten itibaren ülkemizde düşük düzeyde bireysel e-skuter kullanımı bulunsa da e-skuterlerin Türkiye'ye gerçek anlamda girişi ve kısa mesafeli yolculuklarda gözle görülür bir oranda tercih edilmesi 2018 yılında ilk paylaşımlı e-skuter firmasının piyasaya girmesiyle olmuştur. Gerek göreceli olarak yeni bir ulaşım türü olması, gerekse de bu kazaların etkisiyle ülkemizde bu araçların işletimine ilişkin yönetmelikler yayınlanmaya başlamıştır. Ancak gerçekleşen trafik kazalarını en aza indirmek ve gerek motorlu taşıt gerekse de yaya trafiğine olan etkileri iyileştirebilmek için ülkeler tarafından farklı tutumlar benimsenmiştir. Bu çalışmanın amacı, farklı ülkelerdeki yasal düzenlemeleri incelemek ve Türkiye Elektrikli Skuter Yönetmeliği'nin durumu ile karşılaştırmaktır. Çalışma kapsamında çeşitli ülkelerin yönetmeliklerinden e-skuterlerin sınıflandırıldığı araç tipi, hız sınırları, yaş sınırlaması, kask takma zorunluluğu, varsa kamusal alanda kullanılan e-skuterlerin en yüksek güç kısıtlaması, yolun hangi bölümünde kullanılabildiği, plakaya sahip olma gerekliliği gibi kurallar detaylı bir biçimde incelenmiştir. 14 Nisan 2021 tarihinde Türkiye'de yayınlanan "Elektrikli Skuter Yönetmeliği", belirtilen tüm açılardan diğer ülkelerle kıyaslanmış, eksik ya da yetersiz olduğu düşünülen noktalara değinilmiştir. Çalışmanın sonucunda e-skuterleri ülkemizde daha etkin ve güvenli bir biçimde işletebilmek için bazı stratejiler önerilmiştir.

Anahtar sözcükler: Mikromobilite, e-skuter, karayolu güvenliği, yasal düzenlemeler.

Giriş

Özellikle büyükşehir ve metropollerde artan nüfus ve araç sahipliliği ile doğru orantılı olarak büyüyen bir trafik sorunu ile karşı karşıya kalınmaktadır. Artan trafik; hava kirliliği, gürültü kirliliği, tıkanıklık ve trafik kazalarını beraberinde getirmekte, insan hayatını birçok yönden tehlikeye atmakta, yaşam standartlarını düşürmektedir. Ülkeler tarafından bu sorunlarla başa çıkabilmek, yaşam kalitesini iyileştirmek ve ekolojik dengeyi sağlamak için, yürüme, bisiklet ve toplu taşıma gibi seçenekler önerilmekte ve her geçen gün bu seçenekleri iyileştirme ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Çevreyi daha az kirleten, daha az enerji gerektiren, trafik sıkışıklığını azaltacak ulaşım türleri üzerine çalışmalar uzun yıllardır sürdürülmektedir. Özellikle büyükşehirlerde görülen araç sahipliliğindeki artış kent içi yollarda trafik sıkışıklığını ciddi oranda etkilemiş, fosil yakıt tüketmeyen ve trafiğin çok yoğun olduğu durumlarda bile ulaşım olanağı sağlayan mikro ulaşım araçlarına olan ilgiyi kısa sürede arttırmıştır. Ayrıca, tüm dünya genelinde yayılan ve ciddi oranda ölümlere sebep olan COVID-19 salgınının, mikromobilite ve özellikle elektrikli skuter (e-skuter) araç ve paylaşım sistemlerinin kullanımının giderek artmasında etkili olduğu düşünülmektedir (Dias vd., 2021).

Mikromobilite, oldukça yeni bir kavram olup, tanımı gün geçtikçe geliştirilmektedir. En genel tanımıyla mikromobilite: özellikle e-skuter, bisiklet gibi hafif araçların kiralanarak veya sahip olunarak, kent içinde kısa mesafeli ya da kısa süreli ulaşım aracı olarak kullanıldığı bir sistemdir (O'hern ve Estgfaeller, 2020; Zou vd., 2020). Dünya genelinde yeni mikromobilite seçeneklerinin ortaya çıkmasının ardından, e-skuterler birçok birey tarafından kısa mesafeli yolculuklarda kullanmak üzere tercih edilmektedir. İlk motorlu skuter olarak bilinen Authoped, Arthur Hugo Cecil Gibson tarafından 1915 yılında New York'ta tasarlanmıştır. Authoped'in geliştirilen ilk skuter ya da ilk motorlu skuter olmadığı bilinmekle beraber seri üretilen ilk motorlu skuterdir (URL-1, 2021). Bu araçlara olan talep, paylaşımlı e-skuter firmalarının hizmet vermeye başlamasıyla artış göstermiştir.

İlk olarak Amerika'da 2017 yılında uygulanan paylaşımlı e-skuter sistemleri daha sonra dünyanın çeşitli ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Gössling, 2020). Bu sistemlerin Avrupa'daki popülerliği, Haziran 2018'de ilk sağlayıcıların Paris'e gelmesinin ardından giderek artmıştır (Dias vd., 2021). Türkiye özelinde ise, ilk kez 2019'da İstanbul'da kullanılmaya başlanmıştır. E-skuterler, diğer ulaşım türlerine bağlantı olanağı sağlayarak, erişilebilirliği artırmakta ve trafik sıkışıklığının yaşandığı yoğun bölgelerde, kişisel ulaşım aracı olarak seçenek yolculuk olanakları yaratmaktadır (Ertoy Sarıışık ve Yalçıner Ercoşkun, 2021). Artan ilgi ve kullanım oranıyla birlikte, mikromobilite araçlarının uygulamada denetimi, daha güvenli kullanım şartlarının getirilmesi, kaza ve yaralanmaların en aza indirilmesi, diğer taşıtların ve özellikle yayaların haklarının korunması için yeni yasa ve yönetmelikler gerekli görülmüştür. Birçok ülkenin, mikromobilite araçlarının kullanımı üzerine özel mevzuatları bulunmaktadır.

E-skuterlerde Güvenlik

Daha önce de belirtildiği üzere, yeni mikromobilite seçeneklerinin ortaya çıkmasının ardından, e-skuterler dünya genelinde birçok birey tarafından özellikle kısa süreli yolculuklarda kullanılmak üzere tercih edilmekte, paylaşımlı e-skuter hizmetleri yaygınlaşmaktadır. Kullanım oranının artışıyla birlikte güvenlik ile ilgili sorunlar, diğer mikromobilite araçlarında olduğu gibi, e-skuterler için de büyük tehlike arz etmektedir.

2020'de Münih, Barselona ve İsrail'den elde edilen istatistiki bilgiler ve trafik kazaları araştırması konusunda 22 uzman tarafından doldurulan anket ışığında, e-skuter kazalarına neden olan temel unsurların %56 oranında araç sürücüsü kaynaklı, %15 araç kaynaklı, %14 yol kaynaklı ve %15 diğer etkenlerden kaynaklı olduğu belirlenmiştir (URL-2, 2020). Austin Public Health (2019) tarafından yürütülen bir araştırmada ise, e-skuterlerle ilgili kazaların önde gelen nedeninin, tüm nedenler içerisinde %37'lik bir oran ile aşırı hız olduğu bulunmuştur. Bu bağlamda, Blomberg vd. (2019), e-skuter kazalarının en fazla %87 ile aşırı hıza bağlı denge kaybından kaynaklandığını ortaya koymuştur. Bu çalışmaya göre, e-skuter kazalarının yaklaşık %5'i sabit bir nesneye, %9'u bir araç veya hareketli nesneye çarparak gerçekleşmiştir. Kaza geçiren sürücülerin yalnızca yaklaşık %4'ünün kask kullandığı tespit edilirken, %37'sinin alkol veya uyuşturucu etkisi altında olduğu belirtilmiştir. 2021 yılında Bloom vd. tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise denge kaybı en yaygın (%49) yaralanma nedenidir. Yaralanmaların %14'ü diğer bir e-skutere ya da arabaya çarpmakla, %6'sı park edilmiş bir e-skutere takılma sonucu, %10'u ise engebeli kaldırım nedeniyle meydana gelmiştir. Yürütülen başka bir çalışmanın bulgularına göre, e-skuter sürücüleri arasında en yaygın rastlanan yaralanma nedenleri düşme (%80), bir nesneyle çarpışma (%11) ve hareketli bir araç veya nesne tarafından vurulmadır (%9). Bu çalışmada, binicilerin sadece %4'ünün kask taktığı, %5'inin e-skuteri kullanırken alkollü olduğu belirtilmiştir (Trivedi vd., 2019). Alkollü olmanın etkisi başka çalışmalarda da vurgulanmıştır. Örneğin, 2021 yılında Kleinertz vd. tarafından yapılan bir çalışma sonucunda, e-skuter kazalarının daha çok geceleri meydana geldiği ve bunlara maruz kalan kişilerin %28'inin alkolün etkisi altında olduğu belirtilmiştir. Kamu bilinçlendirme çalışmaları ve zamanında alınan güvenlik önlemleri, e-skuter kazalarını azaltmada büyük önem arz etmektedir (Yang vd., 2020).

E-skuterler başta olmak üzere, mikro mobilite araçlarıyla ilgili kaygı ve şikayetler; temelde güvenlik ve şehirlerin mevcut altyapısının bu araçların oluşturduğu trafiği destekleyip desteklemeyeceği, araçların kaldırıma park edilmesi, kaza ve yaralanmalar, kısa ömürlü e-skuterler ve şarj problemleridir (Moreau vd., 2020). E-skuterlerin hangi yolları kullanacağı, araçların en fazla hangi hızlarla hareket edeceği gibi konuları açıklığa kavuşturma amacıyla, e-skuter kullanımlarına dair sorunlar yasal düzenlemelerle çözülmeye çalışılmaktadır. Bu kapsamda, yaşanan kazaları ve trafik akışını engelleyecek olumsuz davranışları en alt düzeye indirebilmek için ülkeler tarafından farklı tutumlar benimsenmiştir.

Farklı Ülkelerdeki E-skuter Yasaları

Paylaşımlı ve sahipli e-skuterler birçok açıdan avantajlı sistemler olmakla birlikte, bu taşıtların yolculuğun başladığı yere geri götürülmesi gerekmemesi, belirli noktalarda konumlandırılmış istasyonlara teslim edilmek zorunluluğu olmaması ve farklı yollarda kullanılabiliyor olması, beraberinde bir tür esneklik getirmiştir. Ancak bu esneklik, uygunsuz parklanma, yayaların haklarının ihlali, araç yolu ihlali, artan trafik kazaları gibi, uygulamada ve güvenlikte bazı sorunlara sebep olmaktadır. Bu sorunların azaltılması ve en güvenli koşulların oluşturulması için mikromobilite araçlarının işletme ve kullanım yasal düzenlemeleri büyük önem arz etmektedir.

2019 yılı itibariyle, Avrupa Birliği ülkeleri e-skuter kullanımı ile ilgili yasal düzenleme çalışmalarını başlatmıştır. Hala yeni sayılabilecek bu yasal düzenlemeler, e-skuterlerin kullanım şeklini ve trafikteki yerini tam anlamıyla tanımlayamamaktadır. E-skuterlerin hangi araç kategorisinde sınıflandığı, en yüksek hız, parklanma kuralları, yaş sınırlaması, kask

takma zorunluluğu, varsa kamusal alanda e-skuterlerin en yüksek gücü konusunda kısıtlamalar, yolun hangi bölümünde kullanılmak zorunda olduğu, plakaya ya da sigortaya sahip olma gerekliliği gibi kurallar ülkeden ülkeye hatta kentten kente farklılık göstermektedir.

Pek çok Avrupa ülkesiyle birlikte İngiltere, Avustralya ve Türkiye'nin e-skuter yasalarının karşılaştırıldığı Tablo 1 incelendiğinde, ülkelerin e-skuter kullanım kısıtlamaları konusunda ayrıştığı görülmektedir. Bu mikromobilite araçları Avusturya, Norveç, Polonya, İsveç'te bisiklet olarak sınıflandırılırken; Danimarka ve Fransa gibi birçok ülkede e-skuter olarak değerlendirilmiştir. Finlandiya ve Almanya'da hafif elektrikli araç olarak sınıflandırılan e-skuterler, İsviçre'de hafif motosiklet, İngiltere'de taşınabilir motorlu taşıt olarak değerlendirilmiştir. Birçok ülkede, e-skuterlerin işleyebileceği en yüksek hızı etkileyen motor gücü sınırlandırılmıştır. Almanya, İtalya, İsviçre ve İngiltere'de en fazla 500 Watt güce sahip olabilen mikromobilite araçları olarak tanımlanan e-skuterler, İspanya ve İsveç'te en fazla 250 Watt güce sahip olabilmektedir. Öte yandan, Finlandiya'da 1 kilowatt'a kadar izin verilirken, Avusturalya'da bu değer 600 Watt ile sınırlandırılmıştır. Belçika, Polonya ve Türkiye'de ise bu konuda getirilen bir kısıtlama bulunmamaktadır. İncelenen ülkeler genelinde, e-skuterlerin hız sınırlarının 20 ila 25 km/s arasında değiştiği görülmekteyken, bir ülkenin farklı kentlerinde farklı hız sınırları ile karşılaşmak mümkündür. Örneğin, e-skuter hızının 25 km/s ile sınırlandığı Fransa'da, kiralık skuter hızının 20 km/s ile kısıtlandığı Paris'te olduğu gibi, bu sınır yerel olarak düşürülebilmektedir.

Birçok Avrupa ülkesinde e-skuterler için 12-16 arasında değişen, bir en düşük yaş şartı vardır. Sürücüler, Fransa'da en az 8, Polonya'da 10, Avusturya, Norveç ve Avustralya'da 12, Almanya, İtalya ve İsviçre'de 14, Danimarka ve Türkiye'de 15, İspanya ve Belçika'da 16 yaşında olmalıdır, Finlandiya ve İsveç'te ise yaş sınırlaması bulunmamaktadır. Bazı ülkelerde en düşük yaş sınırı altında kalanların, yetişkinler ya da yasalarda belirtilen yaşa sahip bireylerin gözetiminde e-skuter kullanabilecekleri vurgulanmıştır. Örneğin, en düşük yaş sınırı 12 olan Avusturya'da, 12 yaş altındaki sürücüler, 16 yaş ve üzeri biriyle birlikte olmalıdır. Ülkelere göre kask zorunluluğu incelendiğinde, İtalya'da 18 yaş altındaki, Norveç ve İsveç'te 15 yaş altındaki her bireyin seyahat esnasında kask takmak zorunda olduğu görülmektedir. Avusturya'da 13, Fransa'da ise 12 yaş altı sürücülerin kask kullanması zorunlu iken, diğer ülkelerde kask kullanma zorunluluğu yoktur. Ayrıca e-skuterlerle yolculuk edebilmek için alkol kullanımı birçok ülkede kısıtlanmış ya da tamamen yasaklanmıştır. Örneğin Avusturya'da alkol sınırı 0,8, Belçika, Almanya, Danimarka ve Fransa'da 0,5, Norveç'te 0,2 promil olarak belirlenirken, İspanya ve Avustralya'da alkollü olarak e-skuter kullanmak yasaktır (URL-3,22).

Birçok Avrupa ülkesinde, e-skuter sürücüleri bisikletliler için belirlenen trafik kurallarına tabii tutulurken, Almanya'da hafif kişisel elektrikli araçlar olarak kabul edilen e-skuterlerin kendi kanunları vardır. Bu ülkede, e-skuterler motorlu taşıt sayıldığı için sigorta zorunludur ancak yolculuk yapabilmek için ehliyet zorunluluğu bulunmamaktadır. Benzer şekilde, Danimarka ve Fransa yasalarına göre e-skuterler için sigorta zorunludur fakat bunlara binmek için sürücü belgesi gerekli değildir. E-skuterlerin yalnızca belirli alanlarda deneme amaçlı kullanılabildiği İngiltere'de, hem e-skuter araç sigortası hem de sürücü belgesi zorunludur. Avusturya, Belçika, Finlandiya, İtalya, Norveç, İspanya ve İsveç'te bu mikromobilite araçlarını kullanmak isteyen vatandaşlar için sigorta gerekliliği olmadığı gibi, sürücülerin ehliyet sahibi olması da gerekmemektedir. Öte yandan, Polonya yasa ve düzenlemelerine göre, e-skuterlerin sigorta gerekliliği bulunmamaktadır fakat en düşük yaş sınırı 10 olan bu araçları 18 yaşından küçük bireylerin kullanabilmesi için bisiklet kartı veya uygun bir ehliyete

sahip olmaları gerekir. İsviçre'de ise e-skuterler için sigorta gerekli değildir fakat 14 ila 16 yaşları arasında e-skuter kullanıcıları için bir tür ehliyete ihtiyaç duyulur, 16 yaşına gelindiğinde, gençlerin artık ehliyete ihtiyacı yoktur (URL-3,22).

Ülkelere göre e-skuterlerle sürüş yapılabilen yol türleri incelendiğinde; Avusturya, Danimarka, Almanya, Fransa, İspanya ve İngiltere'de bisiklet yollarında ve kent içi yollarda kullanılabilen e-skuterlerin, aksi belirtilmedikçe kaldırımlarda kullanılmaları yasaktır. İtalya, Polonya, İsveç ve İsviçre yasa ve yönetmelikleri doğrultusunda, e-skuterler genel anlamda bisiklet yollarını kullanmalıdır; fakat 6 km/s hıza kadar kaldırımlarda kullanımlarına izin verilir. Belçika ve Finlandiya'da, bu taşıtlarla dolaşmak için doğru yer bisiklet yolları olsa da yaya hızında hareket etmek şartıyla (en fazla 6 km/s) yaya yollarında kullanılabilir. Norveç ve Avustralya'da e-skuterlerin bisiklet yollarında ve kent içi yollarda kullanımları yasaldır ve kaldırımlarda sürülmesine de izin verilir ancak, sürücüler yayalara yol vermek zorundadır. Avustralya'da kent içi yollarda ve bisiklet yollarında e-skuter için hız sınırı 25 km/s iken, yaya yollarında 15 km/s, kavşaklarda 10 km/s olarak belirlenmiştir.

Avustralya'da kullanıcılar ışıklardan geçerken her zaman yaya trafik ışıklarına uymalıdır. Belçika, Finlandiya, İtalya, Norveç, İsveç ve İsviçre'de e-skuter kullanıcıları yaya hızını aşmamak şartıyla yaya geçidini kullanabilir. Polonya'da da bu araçlar yaya geçidini kullanabilir, ancak yayalara öncelik vermeleri ve yayalarınkiyle karşılaştırılabilir bir hızda gitmeleri gerekir. E-skuterler Belçika ve Danimarka'da toplu taşıma araçlarında taşınabilirken, Almanya ve Fransa'da bu durum yerel yönetime göre değişiklik göstermektedir. Diğer ülkelerin düzenlemelerinde, bu konuda bir açıklamaya rastlanmamıştır.

Birçok konuda olduğu gibi, sürüş sonrası e-skuterleri park etme kuralları da ülkeler arasında farklılık göstermektedir. Avusturya, Belçika, Almanya ve Fransa'da bisiklet park alanlarına bırakılan ve bisiklet parklanma kurallarına tabi tutulan e-skuterlerin Danimarka ve Polonya'da kendine özel park alanları ve park etme kuralları mevcuttur. Polonya'da bu tür park yerlerinin yokluğunda, araçları kaldırımlara bırakmak mümkündür, fakat böylesi durumlarda e-skuter, kaldırımın dış kenarına mümkün olduğunca yakın, yoldan en uzağa, kaldırım kenarına paralel olarak yerleştirilecektir. İspanya'da ise belediyelerin yönlendirdiği şekilde yalnızca uygun görülen yerlere parklanmaya izin verilir.

Ülkelerin e-skuter yasa ve yönetmeliklerine göre genellikle sürüş esnasında yolcu taşımak, cep telefonu, kulaklık gibi cihazlar kullanmak yasaktır. Bu araçlar, diğer sürücüleri ve yayaları yaklaştığından haberdar etmek için sesli bir uyarı cihazı, durmayı ya da yavaşlamayı gerektiren durumlar için fren sistemleri ve karanlıkta fark edilmek için reflektörlerle donatılmalıdır. Hava karardığında ya da görüş zor olduğunda kullanılmak üzere, hem ön hem de arka ışıklara sahip olmalıdır. Ancak, ışık renkleri ve reflektör bulundurma gereklilikleri ülkeden ülkeye değişiklik gösterebilmektedir (URL-3,22).

Tablo 1: Bazı Ülkelerde ve Türkiye'de E-skuter Yasal Düzenlemeleri Karşılaştırması (URL-2,21)

	Avusturya	Belçika	Danimarka	Almanya	Finlandiya	Fransa	İtalya	Norveç	Polonya	İspanya	İsveç	İsviçre	İngiltere [1]	Avustralya	Türkiye
Yasal Tanımı	Bisiklet	E-skuter	E-skuter	Hafif elektrikli araç	Hafif elektrikli araç	E-skuter	E-skuter	Bisiklet	Bisiklet	E-skuter	Bisiklet	Hafif motosiklet	Taşınabilir motorlu taşıtlar	E-skuter	E-skuter
Yürürlüğe Girme Tarihi	2022	2022	2019	2019	2020	2020	2020	2021	2021	2021	2021	2019	2020	2020	2021
En Yüksek Güç	600 W	Yok	B/Y	500W	1kW	N/A	500 W	N/A	Yok	250 W	250 W	500 W	500 W	N/A	Yok
En Yüksek Hız	25 km/s	25 km/s	20 km/s	20 km/s	25 km/s	25 km/s	25 km/s	20 km/s	20 km/s	25 km/s	20 km/s	20 km/s	25 km/s	25 km/s [2]	25 km/s
Sigorta Gerekliliği	Yok	Yok	Var	Var	Yok	Var	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Var	N/A	Yok
Sürücü Belgesi Gerekliliği	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	18 yaş altı	Yok	Yok	16 yaş altı	Var	N/A	Yok
Yaş Sınırı	12	16	15	14	Yok	8	14	12	10	16	Yok	14	N/A	12	15
Kask Zorunluluğu	13 yaş altı	Yok	Yok	Yok	Yok	12 yaş altı	18 yaş altı	15 yaş altı	Yok	Var	15 yaş altı	Yok	Yok	Var	Yok
Alkol Sınırı (%)	0.8	0.5	0.5	0.5 [3]	Yok	0.5	N/A	0.2	B/Y	0.0	Yok	N/A	N/A	0.0	Yok
Taşıt Yollarında Kullanım	Uygun	N/A	Uygun	Uygun	N/A	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Bisiklet şeridi yoksa
Bisiklet Yollarında Kullanım	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
Yaya Yollarında Kullanım	İzin yok	≤6km/s	İzin yok	İzin yok	≤6km/s	İzin yok [4]	≤6km/s	Uygun	≤6km/s	İzin yok	≤6km/s	≤6km/s	İzin yok	Uygun [5]	İzin yok
Yaya Geçidi Kullanımı	Yönetime göre değişir	Uygun [6]	N/A	N/A	Uygun [6]	N/A	≤6km/s	Uygun [6]	Uygun [7]	N/A	Uygun [6]	Uygun [6]	N/A	Uygun	N/A
Toplu taşıma araçlarında taşıma	N/A	Taşınabilir	Taşınabilir	Yerel yönetime göre değişir	N/A	Yerel yönetime göre değişir	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Parklanma Türü	Bisiklet parklanma kurallarına tabi	Bisiklet parklanma kurallarına tabi	e-skuter parklanma alanı ve kuralları	Bisiklet parklanma kurallarına tabi	N/A	Bisiklet parklanma kurallarına tabi	N/A	N/A	e-skuter parklanma alanı ve kuralları	Yerel yönetime göre değişir	N/A	N/A	N/A	N/A	Yaya/araç [8] trafiğini engellemeden

N/A: Bilgiye Erişilemedi

[1]: E-skuterler yalnızca denemeye ev sahipliği yapan yerel alanlarda kullanılmalıdır.

[2]: Şehir içi yollarda ve bisiklet yollarında e-skuter için hız limiti 25 km/s iken, yaya yollarında 15 km/s, kavşaklarda 10 km/s olarak belirlenmiştir.

[3]: 21 yaşın altındakiler e-skuter kullanmak için tamamen alkolsüz olmalıdır, bu kandaki alkol düzeyi 0,0 olması anlamına gelir.

[4]: Bir yol levhasıyla belirtilmediği sürece, kaldırımda bir e-skuter kullanmak yasal değildir.

[5]: Yaya yollarında e-skuter sürmek yasaldır; ancak biniciler yayalara yol vermek zorundadır.

[6]: Yaya hızını aşmamak kaydıyla yaya geçidinde e-skuter sürülebilir.

[7]: Yaya geçidinde kullanılabilir, ancak yayalara öncelik vermeleri ve yayalarınkiyle karşılaştırılabilir bir hızda gitmeleri gerekir.

[8]: Yaya/araç trafiğini engellemeyecek şekilde park edilmelidir.

E-skuter sürücüleri trafik polisleri tarafından denetlenmekte, kurallara uyulmadığı tespit edildiğinde belirli cezalar uygulanmaktadır. Örneğin Danimarka'da, trafik kurallarını ihmal etmenin cezası 1.000 Danimarka Kronudur (DKK[1]). Bisiklet kaskı olmadan sürüş yapmanın cezası ise 1.500 DKK'dır. Polis, sürücülerin alkol düzeylerinin yüksek olduğunu fark ederse tutuklayıp kan testi yaptırmakta, kandaki alkol düzeyi 0,5'in üzerindeyse 2.000 DKK para cezası uygulanmaktadır (URL-5, 2022). Almanya yasalarında, araba veya bisiklet sürerken olduğu gibi, e-skuter kullanırken de cep telefonunu kullanımına izin verilmemektedir. Bunu yaparken yakalananlara, 100 €[2] para cezası uygulanmaktadır. Ayrıca, e-skuterler yalnızca bir kişiliktir, birden fazla kişinin aynı aracı kullandığı trafik polisleri tarafından fark edildiğinde 10 € para cezası uygulanır. Otoyolda e-skuter kullananlar 20 € para cezası ödemek zorundayken; kaldırımda, yalnızca yayalara ayrılmış bölgelerde veya tek yönlü sokaklarda trafiğin yönünün tersine e-skuter sürmenin cezası 15 € ile 30 € arasında değişir. E-skuter sürücüleri tıpkı diğer sürücüler gibi trafik ışıklarına uymak zorundadır ve e-skuter ile yolculuk ederken kırmızı ışığı görmezden gelmenin cezası 60 ila 180 € arasındadır. Kandaki alkol düzeyi 0,5 promilden yüksek olan bir kişi 500 € para cezasına çarptırılır (URL-8, 2022). Fransa'da, bisikletliler için belirlenen trafik kurallarına uyması beklenen e-skuter sürücülerinin bu kuralları ihlal ettiği tespit edildiğinde 35 € para cezası uygulanır. Kaldırımda ve yayalara ayrılan bölgelerde sürüş yapmanın cezası ve alkollü araç kullanmanın cezası 135 € iken, 25 km/s hız sınırını aşanlara 1.500 €'a kadar para cezası uygulanır (URL-10, 2020). Polonya yasalarına göre, sürüş esnasında telefon kullanmak durumunda 200 PLN[3], başka bir kişi, hayvan ya da kargo taşımak durumunda 100 PLN, kaldırımda aracı durdurma veya park etme koşullarının ihlali durumunda 100 PLN para cezası uygulanır (URL-14, 2021). E-skuterlere birden fazla kişinin binmesi durumunda, İspanya'da 100 € para cezası uygulanır. Seyir halinde cep telefonu, kulaklık gibi cihazlar kullanmanın ve alkol ve/veya uyuşturucu etkisi altında araç kullanmanın cezası ise 200 €'dur. Benzer şekilde, yaya yolunda e-skuter kullananlara ve geceleri uygun ışıklar olmadan sürüş yapanlara 200 € para cezası uygulanır (URL-16, 2019; URL-17, 2022).

İncelenen ülkelerin idari para cezaları kabaca karşılaştırılırsa, ülkemizde alkollü olarak e-skuter sürenlerin 4.064 TL (asgari ücretin yaklaşık yarısı) trafik cezası ödediği düşünüldüğünde, asgari ücretin 17.000 DKK olduğu Danimarka'da, 2.000 DKK olarak belirlenen alkollü araç kullanma cezasının düşük olduğu anlaşılmaktadır. Benzer şekilde asgari ücretin sırasıyla 1.987 €, 1.709 € ve 1.260 € olduğu Almanya, Fransa ve İspanya'da da alkollü araç kullanmanın cezalarının asgari ücrete oranına bakıldığında, Türkiye'ye kıyasla düşük kalmaktadır. (URL-23, 2023)

Türkiye'de E-skuter Düzenlemeleri

Türkiye'de, kullanıcıların yolculuk süresi boyunca kiraladığı e-skuterlerin kullanımı, 2019 yılından itibaren popülerlik kazanmaya başlamıştır ve sektöre katılan şirketler ile gelişimini sürdürmeye devam etmektedir. Büyük oranda trafik ve ulaşım sorununun çözümüne yönelik olarak tercih edilen bu uygulama, ilk olarak 2019 Mart ayında İstanbul'da hizmet vermeye başlamıştır. 2019 yılı Aralık ayı sonunda ise Ankara'da e-skuter paylaşımı başlamıştır (Güldür vd., 2022).

[1]20.06.2023 tarihi itibariyle 1 DKK = 3,46 TL'dir
[2]20.06.2023 tarihi itibariyle 1 EURO = 25,84 TL'dir
[3]20.06.2023 tarihi itibariyle 1 PLN = 5,82' TL'dir

E-skuterlerin kullanım oranındaki kısa sürede artış ve buna paralel olarak artan trafik kazaları yasal düzenlemeleri gerekli kılmıştır. Bu kapsamda, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı e-skuterler ve paylaşım sistemlerinin kullanımına yönelik bir yönetmelik hazırlamaya çalıştığı süreçte, 30 Aralık 2020 tarihinde 31350 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan 7261 sayılı Türkiye Çevre Ajansının Kurulması ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun'da, e-skuterler ilk kez; "Hızı en fazla 25 km/saate ulaşan, tekerlekli, ayak tahtası ve tutamağı olabilen, dikey bir direksiyon mekanizması içerebilen ve ayakta kullanılan taşıtlardır" olarak tanımlanmıştır. E-skuterler, bu tanımla birlikte 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu'nda (1983) yer alarak yasal bir statüye sahip olmuştur. Yürürlüğe giren kanunla ve yapılan değişikliklerle, e-skuter kullanabilmek için yaş sınırı, sürücü belgesi gerekliliği, e-skuterlerin kullanılabileceği yolların tanımı, sürücülerin uyması gereken kurallar ve park etme kuralları belirtilmiştir (Yavuz, 2021). Örneğin, 7261 sayılı Türkiye Çevre Ajansının Kurulması ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun'un 22. maddesiyle 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu'nun 3. maddesinin birinci fıkrasında yer alan e-skuterlerin sürülebileceği "Bisiklet yolu" tanımı "Bisiklet ve elektrikli skuter sürüşüne ayrılan, taşıt yolu ve yaya alanları ile kesişim noktaları hariç diğer araç ve yaya trafiğine kapalı yoldur" şeklinde değişmiştir. Ayrıca 2918 sayılı Kanun'un 66. maddesinin birinci fıkrasına "Elektrikli skuter otoyol, şehirlerarası karayolları ve azami hız sınırı 50 km/s üzerinde olan karayollarında kullanılamaz" bendi eklenmiştir. Aynı maddenin birinci fıkrasına eklenen "Elektrikli skuter ile sırtta taşınabilen kişisel eşya harici yük ve yolcu taşınması yasaktır" bendi ise, bu araçların kullanabileceği karayollarında da e-skuterlerle yolcu ve fazla yük taşımayı yasaklamıştır. Bu ekleme ve değişimler, daha sonra çıkartılan e-skuter yönetmeliğinde aynı şekilde yer almıştır (Seyrek, 2022).

14 Nisan 2021 tarihinde, Ulaştırma ve Altyapı, Çevre ve Şehircilik ile İçişleri Bakanlığı tarafından, Resmi Gazete'de "Elektrikli Skuter Yönetmeliği" yayımlanmıştır. Bu yönetmelikte hız ve yaş sınırı, parklanma ve trafik kurallarının yanı sıra paylaşımlı e-skuter işletmeciliği, yetki belgesi ve izin alma şartları gibi hususlara yer verilmiştir. E-skuter kullanım yaş sınırı 15 olarak, en yüksek hız sınırı 25 km/s olarak belirlenmiştir. E-skuterlerin birden fazla kişi tarafından kullanılmaları, sürücülerin sırtta taşınabilen kişisel eşya harici yük ve yolcu taşımaları yasaktır. Bu mikromobilite araçlarının yaya yolunda kullanımı, ayrı bisiklet yolu veya bisiklet şeridi varsa taşıt yolunda kullanımı, otoyol, şehirlerarası karayolları ve azami hız sınırı 50 km/s üzerinde olan karayollarında sürülmesi, araç ve yaya trafiğini engelleyecek şekilde park edilmeleri yasal değildir (TC Resmi Gazete, 2021: 31454).

Geceleri ya da olumsuz hava koşullarında yayaları ya da diğer araç sürücüleri tarafından fark edilmelerini kolaylaştırmak üzere; e-skuterlerin önde beyaz ışık verecek ve en az 20 metre önü aydınlatabilecek şekilde bir adet far, arkada, kırmızı renkte ışık veren bir lamba ve kırmızı reflektör ile 30 metreden duyulabilecek ses çıkarabilen zil, korna veya benzeri ses aleti ile bulundurması zorunludur. Ayrıca, Elektrikli Skuter Yönetmeliği'nin 5. maddesinin 3. fıkrasına göre "e-skuter kullananlar 2918 sayılı Kanunda ve ilgili diğer mevzuatta belirtilen kurallara uymakla yükümlüdürler". Bu yönetmelikte belirtilen kuralların ihlal edilmesi durumunda idari para cezası uygulanır (TC Resmi Gazete, 2021: 31454). 2023 yılı "Trafik Ceza Rehberi"ne göre, 15 yaşını bitirmeden e-skuter kullanmanın cezası 436 TL'dir. Ayrı bisiklet yolu veya şeridi varsa, e-skuterlerin taşıt yolunda sürülmesi, yayaların kullanımına ayrılmış yerlerde sürülmesi, ikiden fazlasının taşıt yolunun bir şeridinde yan yana sürülmesi, otoyol, şehirlerarası karayolları ve azami hız sınırı 50 km/s üzerinde olan karayollarında kullanılması yasaktır ve bu kurallara

uymayan sürücüler için 951 TL para cezası uygulanır. Yönetmelikte belirlenen hız sınırlarını %10'dan %30'a (otuz dahil) kadar aşmanın idari para cezası 951 TL, %30'dan %50'ye kadar aşmanın cezası 1.979 TL, %50'den daha fazla aşmanın cezası ise 4.064 TL'dir. Araçları 0,20 promil üzerinde alkollü olarak kullananlara 1. defada 4.064 TL, 2. defada 5.096 TL para cezası uygulanır (URL-24, 2023).

Kaza oranlarındaki dikkat çekici artış, zamanla e-skuter kullanım kurallarında bazı değişikliklere sebep olmuştur. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin Ulaştırma ve Koordinasyon Merkezi (UKOME), 1 Aralık 2022 itibariyle İstanbul içi hız sınırını saatte 25 kilometreden 20 kilometreye düşürmüştür (URL-25, 2022). İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından 3 Nisan 2023 tarihinde yapılan açıklamada, e-skuter kullanımıyla ilgili yeni eylem planının hayata geçirileceği belirtilmiştir. Belirtilen yeni e-skuter eylem planına göre; yaya trafiğinin yoğun olduğu bölgeler "hassas bölge" olarak adlandırılıp, bu bölgelerde hız sınırı 12,5 km/s olarak düzenlenecek, İstanbul'un farklı noktalarına 1.500 park alanı kurulacak ve kullanıcılar e-skuterleri gelişigüzel yerlere değil, bu park alanlarına bıraktıklarında açılış ücretinden muaf olacak, böylece indirimli ödeme yapacaklardır. Ayrıca, kullanıcılara operatörler tarafından 2 ayda bir eğitim verilecek, operatörlerin mobil uygulamaları İstanbulKart ile bütünleşecek, süreç içerisinde toplu taşıma ile bütünleşmeyi sağlayacak çözümler geliştirilecektir (URL-26, 2023).

Sonuç ve Öneriler

E-skuter yasa ve düzenlemeleri incelendiğinde, birçok ülkede, e-skuter kullanımının kentten kente farklılık gösterdiği görülmektedir. Her bir kentin farklı nüfusa, demografik ve topografik yapıya ve trafik yoğunluğuna sahip olduğu ülkemiz göz önüne alındığında bölgesel hız sınırlamasının faydalı olacağı düşünülmektedir. Avrupa ülkeleri gibi yükseltisi düşük ülkelerde e-skuterlerin sahip olabilecekleri en yüksek güç miktarı belirlenirken; engebeli şehir yapılarına sahip ve yüksek yükselti kuşağında bulunan Türkiye'de bu konuda bir sınırlama getirilmemiştir. Ülkemizde, herhangi bir yaş aralığında bulunan sürücülerin kask kullanım zorunluluğu görülmemektedir. E-skuter kullanımının denetlenmesi konusunda ciddi düzeyde eksiklikler görülen Türkiye'de kurallara uyulmaması durumunda caydırıcılığın arttırılması için ilgili birimler tarafından uygulanan para cezalarının büyük önem arz ettiği düşünülmektedir.

E-skuterlerin ulaşım amaçlı kullanımının, gündelik hayatımıza aniden girmesi nedeniyle, Türkiye de dahil olmak üzere pek çok ülke bu duruma hazırlıksız yakalanmıştır. Bazı ülkeler bisikletlerle ilgili yasal düzenlemelerini genişleterek, kimi ülkeler ise e-skuter ve benzeri araçlar için yeni yasal düzenlemeler hazırlayarak bu sürece uyum göstermeye çalışmıştır. Bu durumda, e-skuter kullanımına ilişkin sorunlar yaşandıkça, bu sorunlara çözüm getirecek düzenlemeler geliştirilmeye çalışılmıştır. E-skuterlerin özellikle trafiğe, trafik güvenliğine, çevreye ve sağlığa olan etkileri konusunda araştırmacılar çalışmaya devam etmektedir. Gerekli yasal düzenlemelerin tüm bu etkileri bir arada değerlendireceği şekilde gerçekleştirilmesi e-skuterler için en uygun işletme koşullarının tanımlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Avrupa Birliği'nin H2020 araştırma ve inovasyon programının desteğiyle RECIPROCITY Projesi (Hibe NO 101006576) ve 123M063 numaralı TÜBİTAK 1001 projelerinin katkılarıyla hazırlanmıştır. Desteklerinden dolayı AB ve TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Austin Public Health. (2019) Dockless Electric Scooter-related Injuries Study. Erişim Adresi: https://www.austintexas.gov/sites/default/files/files/Health/Epidemiology/APH_Dockless_Electric_Scooter_Study_5-2-19.pdf

Blomberg, S. N. F., Rosenkrantz, O. C. M., Lippert, F. and Christensen, H. C. (2019) Injury from electric scooters in Copenhagen: a retrospective cohort study. BMJ Open, 9(12), e033988. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-033988

Bloom, M. B., Noorzad, A., Lin, C., Little, M., Lee, E. Y., Margulies, D. R. and Torbati, S. S. (2021) Standing electric scooter injuries: Impact on a community. The American Journal of Surgery, 221(1), 227–232. https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2020.07.020

Dias, G., Arsenio, E. and Ribeiro, P. (2021) The Role of Shared E-Scooter Systems in Urban Sustainability and Resilience during the Covid-19 Mobility Restrictions. Sustainability, 13, 7084. https://doi.org/10.3390/su13137084.

Ersoy Sarıışık, B. ve Yalçıner Ercoşkun, Ö. (2021) Dünyada ve Türkiye'de Mikro Hareketlilikte E-Scooter Sistemleri. EKSEN Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2(1), 72-94.

Elektrikli Skuter Yönetmeliği. (14 Nisan 2021) Resmi Gazete (Sayı: 31454). Erişim Adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/04/20210414-3.htm

Gössling, S. (2020) Integrating e-scooters in urban transportation: Problems, policies, and the prospect of system change. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 79, 102230. https://doi.org/10 .1016/j.trd.2020.102230.

Güldür, H., Karakoç, F., Hatipoğlu, S. ve Çubuk, K. (2022) Yeni Bir Kent İçi Ulaşım Türü: E-scooter. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(1), 60-73.

Karayolları Trafik Kanunu. (18 Ekim 1983) T.C. Resmî Gazete, (Sayı: 2918).

Kleinertz, H., Ntalos, D., Hennes, F., Nüchtern, J. V., Frosch, K. and Thiesen, D. M. (2021) Accident Mechanisms and Injury Patterns in E-Scooter Users. Dtsch Arztebl Int, 118(8): 117–121. doi: 10.3238/arztebl.m2021.0019

Moreau, H., de Jamblinne de Meux, L., Zeller, V., D'Ans, P., Ruwet, C. and Achten, W. M. (2020) Dockless e-scooter: A green solution for mobility? Comparative case study

between dockless e-scooters, displaced transport, and personal e-scooters. Sustainability, 12(5), 1803.https://doi.org/10.3390/su12051803

O'hern, S. and Estgfaeller N. (2020) A scientometric review of powered micromobility. Sustainability, 12(22), 9505. https://doi.org/10.3390/su12229505.

Seyrek İ. (2022) Yeni Bir Kentsel Hareketlilik Modu ve Neoliberal Öznenin Kendisine Yatırım Aracı Olarak Paylaşımlı E-scooter Sistemleri: İstanbul Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Trivedi, T. K., Liu, C., Antonio, A. L. M., Wheaton, N., Kreger, V., Yap, A., Schriger, D. and Elmore, J. G. (2019) Injuries Associated With Standing Electric Scooter Use. JAMA Network Open, 2(1), e187381–e187381. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2018.7381

Türkiye Çevre Ajansının Kurulması ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanunun. (30 Aralık 2020) Resmi Gazete (Sayı: 31350). Erişim Adresi: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/12/20201230-10.htm

URL-1, Markut, (Ekim 2021) Skuter Tarihine Bakış. Erişim adresi: https://markut.net/sayi-14/scooter-tasarim-tarihi/

URL-2, eit Urban Mobility. (18 Aralık 2020) Activity Output E-Micromobility Safety Assessment. Erişim adresi: https://www.readkong.com/page/activity-output-e-micromobility-safety-assessment-eit-3512344

URL-3, Federal Ministry Republic of Austria. (14 Ağustos 2020) E-scooter. Erişim Adresi: https://www.bmk.gv.at/en/topics/mobility/walkcyc/escooter.html

URL-4, Electrische-Steps. (2 Şubat 2023) Het gebruik van een elektrische step in België. Erişim Adresi: https://elektrische-steps.com/belgie/

URL-5, Rådet for Sikker Trafik. (4 Mayıs 2022) Regler og gode råd om el-løbehjul. Erişim Adresi: https://www.sikkertrafik.dk/rad-og-viden/sma-el-koretojer/el-lobehjul/

URL-6, Gesley, J. (25 Haziran 2019) Germany: Regulation to Allow Use of E-scooters on Public Roads Enacted. Erişim Adresi: https://www.loc.gov/item/global-legal-monitor/2019-06-25/germany-regulation-to-allow-use-of-e-scooters-on-public-roads-enacted/

URL-7, Bundesministerium der Justiz. (6 Haziran 2019) Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr. Erişim Adresi: https://www.gesetze-im-internet.de/ekfv/BJNR075610019.html

URL-8, Magill, S., (18 Eylül 2022) EXPLAINED: The rules for riding an e-scooter in Germany. Erişim Adresi: https://www.thelocal.de/20220913/explained-the-rules-for-riding-an-e-scooter-in-germany#:~:text=If%20you're%20caught%20doing,scooter%2C%20though%20it%20is%20recommended.

URL-9, Traficom. (29 Ağustos 2022) Kevyet sähköajoneuvot. Erişim Adresi: https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/sahkoiset-liikkumisvalineet

URL-10, European Consumer Centre France. (15 Aralık 2020) Electric scooters in France. Erişim Adresi: https://www.europe-consommateurs.eu/en/travelling-motor-vehicles/motor-vehicles/electric-scooters-in-france.html

URL-11, Rose, M., Achi, C., Clercq, G. (3 Nisan 2023) Paris to ban e-scooters from September. Erişim Adresi: https://www.reuters.com/world/europe/parisians-vote-ban-e-scooters-french-capital-2023-04-02/

URL-12, Boccadutri, C. (25 Kasım 2020) Italy: Electric Scooters: The Law. Erişim Adresi: https://www.mondaq.com/italy/rail-road-cycling/1009680/electric-scooters-the-law

URL-13, Iversen, N. (12 Temmuz 2022) Rules For Electric Scooters In Norway (2022 Version). Erişim Adresi: https://thenorwayguide.com/rules-for-electric-scooters/#:~:text=Anyone%20used%20to%20be%20able,wear%20a%20helmet%20when%20driving

URL-14, Ministerstwo Infrastruktury. (26 Ocak 2021) Nowe przepisy dotyczące hulajnóg elektrycznych i urządzeń transportu osobistego. Erişim Adresi: https://www.gov.pl/web/infrastruktura/nowe-przepisy-dotyczace-hulajnog-elektrycznych-i-urzadzen-transportu-osobistego

URL-15, ThinkSpain Team. (2 Ocak 2021) New rules for electric scooters on Spain's roads. Erişim Adresi: https://www.thinkspain.com/news-spain/32617/new-rules-for-electric-scooters-on-spain-s-roads

URL-16, Gobierno De España, Ministerio Del Interior. (4 Aralık 2019) Nueva instrucción de la DGT sobre patinetes. Erişim Adresi: https://revista.dgt.es/es/noticias/nacional/2019/12DICIEMBRE/1204instruccion-dgt-vehiculos-de-movilidad-personal.shtml

URL-17, Fox, E. (22 Şubat 2022) Electric scooters in Spain: What are the rules and latest changes?. Erişim Adresi: https://www.thelocal.es/20220222/e-scooters-in-spain-what-are-the-rules-and-latest-changes

URL-18, Transport Styrelsen. (1 Mart 2021) Nya regler och krav på förare ska göra elsparkcyklar trafiksäkrare. Erişim Adresi: https://www.transportstyrelsen.se/sv/Nyhetsarkiv/2021/nya-regler-och-krav-pa-forare-ska-gora-elsparkcyklar-trafiksakrare

URL-19, Uebersax A. (12 Şubat 2019) Wie sind E-Scooter und E-Bikes für den Schweizer Strassenverkehr zugelassen. Erişim Adresi: https://eflizzer.ch/elektro-scooter-strassenzulassung-und-andere-rechtliche-fragen/

URL-20, Bundesamt für Strassen ASTRA. (22 Ekim 2019) Vorschriften für elektrische Trendfahrzeuge. Erişim Adresi:

https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/themen/verkehrsregeln/vorschriften-trendfahrzeuge.html

URL-21, Department for Transport. (13 Temmuz 2020) E-scooter trials: guidance for users. Erişim Adresi: https://www.gov.uk/guidance/e-scooter-trials-guidance-for-users#trial-areas

URL-22, Australian Capital Territory Policing. (13 Kasım 2020) E-scooters. Erişim Adresi: https://www.police.act.gov.au/road-safety/share-road/e-scooters

URL-23, Countryeconomy. (2023) National Minimum Wage. Erişim Adresi: https://countryeconomy.com/national-minimum-wage

URL-24, 2023 Yılı Trafik Cezaları Rehberi. (2023). Erişim Adresi: http://www.trafik.gov.tr/kurumlar/trafik.gov.tr/03-Mevzuat/2023_yili_Trafik_Ceza_Rehberi.pdf

URL-25, Hürriyet. (1 Aralık 2022) İstanbul'da elektrikli scooterlar için karar! Hız sınırı 20 km'ye düşürüldü. Erişim Adresi: https://www.hurriyet.com.tr/gundem/istanbulda-elektrikli-scooterlar-icin-karar-hiz-siniri-20-kmye-dusuruldu-42180475

URL-26, Dünya. (3 Nisan 2023) İBB elektrikli scooterlar için yeni eylem planını açıkladı. Erişim Adresi: https://www.dunya.com/ekonomi/ibb-elektrikli-scooterlar-icin-yeni-eylem-planini-acikladi-haberi-690343

Yang, H., Ma, Q., Wang, Z., Cai, Q., Xie, K. and Yang, D. (2020) Safety of micro-mobility: Analysis of E-Scooter crashes by mining news reports. Accident Analysis & Prevention, 143, 105608. https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105608

Yavuz, Y.C. (2021) İstanbul'da Mikro Hareketlilik: Paylaşımlı E-Skuter Kullanıcı Özellikleri ve Karşılaşılan Zorluklar. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Zou, Z., Younes, H., Erdoğan, S. and Wu, J. (2020) Exploratory analysis of real-time e-scooter trip data in Washington, D.C. Transp. Res. Rec., 2674(8), 285–299. https://doi.org/10.1177/0361198120919760.

Pandemi Dönemi ve Sonrasında Üniversite Öğrencilerinin Yürüme Alışkanlıklarının İncelenmesi

Prof.Dr.Soner HALDENBİLEN[1]
[2]Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
inşaat Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Kampüsü, Denizli
Tel: (258) 2963361
E-Posta: shaldenbilen@pau.edu.tr

Prof.Dr. Halim CEYLAN[2]
[2]Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
inşaat Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Kampüsü, Denizli
Tel: (258) 2963351
E-Posta: halimc@pau.edu.tr

Öz

Ulaşım ve ulaşımın planlanması 1950'li yıllardan sonra yaşanan teknolojik gelişmeler ile hızla değişime uğramış ve günümüzde çok disiplinli bir yapıya dönüşmüştür. Merkezinde insan olan kentsel ulaşımda araçlardan ve kullanılan enerji kaynaklarından dolayı ortaya çıkan olumsuz etkiler planlama süreçlerinin odağına yerleşmiş ve bu etkileri en aza indirgeyecek eylem planları süreçlerin vazgeçilmesi haline gelmiştir. Son yıllarda yaşanan gelişmeler ile birlikte 21. YY'da ulaşım planlama süreçleri Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planları'na (SKHP) evrilmiştir. SKHP yaklaşımı, erişilebilirlik odaklı, kısa ve orta mesafeli yolculuklar için yaya ve bisiklet vb. motorsuz türleri ön plana çıkaran, toplu taşımayı verimli ve etkin kullanmayı hedefleyen, mikromobiliteyi süreçlere dahil eden, 15 dakikalık kentler ve sıfır emisyon bölgeleri gibi bileşenleri ile 21. YY'da kabul görmüş bir yaklaşımdır.

Hızlı bir değişim yaşanan bu dönemde 2020-2021 yıllarında yaşanan COVİD 19 salgını ezber bozan bir dönüşümü yaşatmıştır. Başta iş dünyasındaki uzaktan çalışma modeli olmak üzere eğitim sisteminde de uzaktan eğitim modellerinin uygulamaya girmesi kentsel yaşamda ulaşım alışkanlıklarının değişmesine neden olmuştur. Bu çalışmada üniversite öğrencilerinin salgın döneminde uzaktan eğitim sürecindeki yürüme seviyelerinin yüzyüze eğitime başlanmasından sonraki seviyeler ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma için dijital anket uygulaması gerçekleştirilmiştir. Anketler Nisan 2021-Mart 2022 tarihleri arasındaki 12 aylık dönemi kapsamaktadır. Pamukkale Üniversitesinde bu dönemin ilk 5 ayında uzaktan eğitim kalan 7 ayında ise yüzyüze eğitim uygulamaları yürütülmüştür. Gerçekleştirilen anket çalışması ile Pamukkale Üniversitesi öğrencilerinin yürüme alışkanlıklarının uzaktan eğitim ve yüzyüze eğitim süreçlerinde nasıl değiştiği belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Pandemi, Uzaktan Eğitim, Yürüme Alışkanlığı

Giriş

Ulaşımın çevresel etkileri 20. YY'ın 2. yarısında hızla artmış ve gerek planlama gerekse de yatırım süreçlerinde bu etkilerin kontrol altına alınması, azaltılması yönünde yaklaşımlar ön plana çıkmıştır. 20. YY sonlarında toplu taşıma sistemlerinin toplam yolculuklardaki payını arttırmayı hedefleyen planlama yaklaşımları 21. YY ile motorize olmayan yaya ve bisiklet türlerini önceliyen yaklaşımlarla güçlendirilmeye başlamıştır. Günümüzde Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planları (SKHP) ile insan ve çevre merkezli ulaşım planlama yaklaşımı ülkemizde ve tüm dünyada yaygın şekilde kabul görmüş ve uygulanır hale gelmiştir.

Planlama süreçlerindeki değişimle birlikte kentsel ulaşımda yaya türü ön plana çıkmış ve insanların yaya olarak daha fazla hizmete erişebilmesi amacı ile arazi kullanım yapılarıyla birlikte ulaşımda altyapı ve işletme boyutunda yenilikçi uygulamalar hız kazanmıştır. 2020-2021 yıllarında yaşanan COVİD 19 salgınıda bu süreçte ezber bozan bir dönüşümü yaşatmıştır. Başta iş dünyasındaki uzaktan çalışma modeli olmak üzere eğitim sisteminde de uzaktan eğitim modellerinin uygulamaya girmesi kentsel yaşamda ulaşım alışkanlıklarının değişmesine neden olmuştur. Aynı dönemde toplu taşıma sistemlerinde de hızlı talep düşüşü ve beraberinde alınan tedbirlere bağlı olarak toplu taşıma kullanım alışkanlıklarında değişiklikler olmuş, beklentiler değişime uğramıştır. Sonuç olarak COVID-19 pandemisi dünya genelinde ulaşım alışkanlıklarını ciddi şekilde etkilemiştir. İnsanların seyahat etme şekilleri, sıklıkları ve tercihleri değişmiştir. Aşağıda COVİD döneminde yaşanan gelişmeler özetlenmiştir.

- Toplu taşıma kullanımının azalması; Otobüs, metro ve tren gibi toplu taşıma araçlarının kullanımı azaldı. Bu araçlarda yakın temas riski yüksek olduğundan, insanlar pandemi döneminde daha fazla kişisel araç kullanmayı tercih etmiştir.
- Kişisel araç kullanımının artması; Pandemi döneminde insanlar, kişisel araçlarına daha fazla güvendi ve seyahatlerinde özel araçlarını tercih etti. Bu nedenle, otomobil satışları artarken, toplu taşıma araçlarına olan talep düşmüştür.
- İş seyahatlerinin azalması; Birçok şirket, pandemi döneminde uzaktan çalışmaya geçtiği için iş seyahatleri azaldı. Video konferans ve diğer dijital platformlar, iş seyahatlerine olan ihtiyacı da azaltmıştır.
- Uzun mesafeli seyahatlerin ertelenmesi; Pandemi döneminde, insanlar uzun mesafeli seyahatlerden kaçındılar. Yurtiçi ve yurtdışı seyahatlerdeki kısıtlamalar ve karantina önlemleri, insanların seyahat planlarını ertelemelerine neden olmuştur.
- Bisiklet ve yaya türüne olan talebin artması; Yürüyüş ve bisiklet gibi açık hava aktiviteleri, pandemi döneminde popüler hale geldi. Bu aktiviteler, insanların sosyal mesafe kurallarını uygulayarak seyahat etmelerine ve egzersiz yapmalarına olanak tanımıştır.

Gözlemlenen bu değişikliklerin bazıları kalıcı olurken bazıları zaman içinde eskiye dönüş süreçlerine devam etmektedir. Örneğin toplu taşıma talebinde gözlemlenen %80 seviyelerindeki düşüş 2022 yılı için %20-30 seviyelerine inerek toplu taşıma talebinin artış eğilimine geçtiği görülmektedir. Ancak, bu süreçte toplu taşıma kullanıcılarının beklentileri de değişmeye başlamıştır. Bu değişimin belirlendiği örnek çalışmalardan bir tanesi 2020 yılında Balıkesir BŞB tarafından il genelindeki toplu taşıma sistemine yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmadır (Balıkesir BŞB, 2020). COVID 19 dönemi toplu taşıma

kullanıcılarına yönelik olarak yapılan bu çalışmada toplu taşıma kullanıcılarına anket uygulanarak kullanıcılarının pandemi sonrası beklentileri belirlenmeye çalışılmıştır. 12-16 Ekim 2020 tarihleri arasında Balıkesir Anakent Belediyesi sınırları içerisinde gerçekleştirilen çalışmada yolcuların pandemi sürecinde toplu taşımayı tercih etmemesinin sebebi olarak hijyen ve sosyal mesafe koşulları olarak görülse de bu tercihteki düşüşün altında yatan başka sebepler de olup olamadığı araştırılmıştır. Ankete katılan kullanıcıların toplu taşımayı neden tercih etmedikleri ve hangi koşullarda tercih edebileceklerine ilişkin birtakım sorular yöneltilmiş ve alınan cevapların irdelemesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda;

- Araç kapasitelerinin düşük olması pandemi döneminde ve sonrasında toplu taşıma kullanıcılarının toplu taşıma kullanma isteklerini olumlu yönde etkileyeceği,
- İşletme parametresi olan sıklığın düşük olması seyahat süresi, bekleme süresi başta olmak üzere iyileştirerek kullanıcıları olumlu yönde etkileyeceği,
- Toplu taşıma araçlarında hiyjen ve temizlik konularının sıkı denetlenmesi ve maske kuralına uyulması önümüzdeki dönemlerde kullanım oranını pozitif yönde etkileyeceği belirlenmiştir.

Bu tespitler doğrultusunda toplu taşıma filo taşıt sayısı ve kapasitelerinin düzenlenmesi, işletme koşullarının iyileştirilmesi vb. çalışmalar önümüzdeki yıllarda düşen toplu taşıma kullanım oranının artması yönünde önemli rol oynayacağı vurgulanmştır.

Toplu taşıma talebinde yaşanan bu değişimler ulaşım talebinin yaya ve bisiklet gibi bireysel türlere kaymasına neden olmuştur. Özellikle pandemi döneminde uzaktan eğitim modellerine geçilmesi öğrencilerin fiziksel olarak okula gitmek yerine evlerinde kalmalarına neden olarak ev-okul yolculuk talebinin ortadan kalkmasına neden olmuştur. Bu süreç öğrencilerin yürüme alışkanlıkları da değiştirmiştir. Bu çalışmada uzaktan eğitim modeli döneminde ve sonrasında Pamukkale Üniversitesi öğrencilerinin yürüme alışkanlıklarının nasıl değiştiği araştırılmıştır.

Pandemi Döneminde Uzaktan Eğitim

Dünya genelinde pandemi döneminde eğitim süreçlerinin aksamaması amacı ile uzaktan eğitim tüm seviyeler için uygulanan bir yöntem olmuştur.Türkiye'de uzaktan eğitim 23 Mart 2020 tarihinde başlatılmıştır. Milli Eğitim Bakanlığı tarafından hazırlanan EBA (Eğitim Bilişim Ağı) sistemi üzerinden canlı dersler, video dersler ve interaktif materyaller ile uzaktan eğitim gerçekleştirilmiştir (MEB, 2023). Uzaktan eğitimden etkilenen öğrenci sayısı Milli Eğitim Bakanlığı verilerine göre, Türkiye genelinde 2021-2022 eğitim dönemi itibarıyla 18 milyon öğrenci olarak belirlenmiştir. Aynı dönemde üniversiteler de uzaktan eğitim yöntemi ile faaliyetlerini devam ettirmiştir. Yükseköğretim Kurulu (YÖK) tarafından belirlenen uzaktan eğitim esaslarına göre üniversiteler, online dersler, sanal sınıflar, canlı dersler, video dersler ve diğer dijital materyaller aracılığıyla uzaktan eğitim yürütmüşlerdir.

Pandemi döneminde uzaktan eğitime geçilmesiyle birlikte üniversite öğrencilerinin yürüme alışkanlıkları oldukça değişmiştir. Öğrencilerin kampüslere gitme sıklığı ve bu süreçte yürüme alışkanlıkları azalmış, bununla birlikte, evde daha fazla vakit geçirilmesi ve sosyal izolasyonun artması, bazı öğrencilerin fiziksel aktivite düzeylerinin azalmasına neden olmuştur. Bu süreçte öğrenciler evlerinde daha fazla vakit geçirdikleri için,

hareketsizlik ve fiziksel aktivite eksikliği nedeni ile sağlık sorunları ortaya çıkmaması amacı ile bazı üniversiteler online egzersiz programları, sanal spor etkinlikleri ve benzer aktiviteler gibi farklı çözümler sunmaya başlamışlardır. Bunlardan bazıları;

- Boğaziçi Üniversitesi, öğrencilerin evde kalmaları nedeniyle fiziksel aktivite düzeylerinin azalmasını önlemek için "Evde Spor" adı altında bir dizi online egzersiz programı başlatmıştır (BOUN, 2021).
- Hacettepe Üniversitesi, öğrencilerin sağlıklarını korumak için "Hacettepe Spor Evde" adı altında bir dizi online egzersiz programı sunmuştur (Hacattepe, 2021).
- İstanbul Üniversitesi, öğrencilerin evde kalması nedeniyle sağlıklı kalmalarını sağlamak için "Sağlık İçin Hareket Et" adı altında online egzersiz programları sunmuştur (İstanbul, 2021).
- ODTÜ, öğrencilerin sağlıklarını korumak için "ODTÜ Spor Salonu Evde" adı altında bir dizi online egzersiz programı başlatmıştır (ODTU, 2021).
- Yeditepe Üniversitesi, öğrencilerin sağlıklı kalmalarını sağlamak için online spor etkinlikleri, fitness dersleri ve diğer benzer aktiviteler gibi farklı çözümler sunmuştur (Yeditepe, 2021).

Bu dönemde evde kalmanın teşvik edilmesi, sosyal mesafeye uyma çabası ve izelasyonla birlikte birçok öğrenci evde daha fazla vakit geçirerek dışarıda yürüme alışkanlıklarını azaltmış olabileceği gibi bazı öğrencilerinde evde kalmak yerine açık havada yürüyüş yaparak, günlük egzersizlerini artırmış olmaları söz konusudur. Sonuç olarak, pandemi dönemi öğrencilerin yürüme alışkanlıklarını değiştirmiş olma ihtimali oldukça yüksektir. Çalışma ile bu değişimin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Anket Çalışması ve Değerlendirilmesi

Öğrencilerin salgın döneminde uzaktan eğitim sürecindeki yürüme seviyelerinin yüzyüze eğitime başlanmasından sonraki seviyeler ile karşılaştırılması amacı ile anket uygulanmıştır. Bu anket çalışmaları yapılırken öğrencilerin mobil cihazlarında adım sayısını belirten uygulamadan alınan verilerle çevrimiçi olarak ankete katılım sağlamaları istenmiştir. Yapılan anket çalışması sonucunda öğrencilerden 446 adet yanıt gelmiştir.

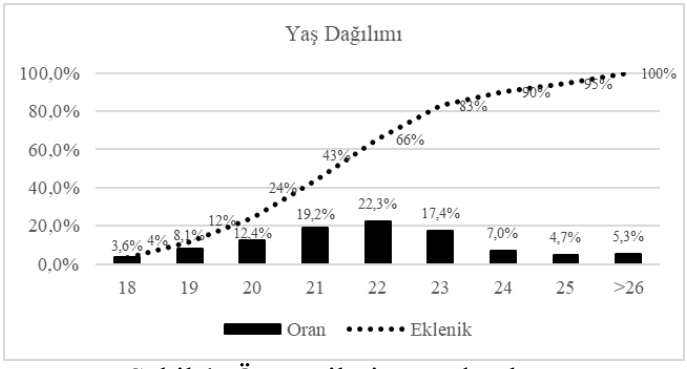
Ankette kampüsteki öğrencilerin yaş, cinsiyet, memleket, okuduğu bölüm, kaçıncı sınıf olduğu, kampüse gelmek için tercih ettiği ulaşım türü, kampüse olan uzaklığı, günlük ortalama adım sayısı, son aydaki en düşük ve en yüksek adım sayıları hakkında veriler toplanmıştır. Aşağıda 446 öğrencinin katıldığı anket sonuçları özetlenmiştir.

Ankete katılanların %3,6'sı 18 yaşında, %8,1'i 19 yaşında, %12,4'ü 20 yaşında, %19,2'si 21 yaşında, %22,3'ü 22 yaşında, %17,4'ü 23 yaşında, %7'si 24 yaşında, %4,7'si 25 yaşında, %5,3'ü de 26 yaş ve üzeri öğrencilerden oluşmaktadır. Öğrencilerin büyük bir bölümü 18-25 yaş aralığında yer almaktadır. Ankete katılan öğrencilerin %38,1'ini kadınlar %61,9'unu ise erkekler oluşturmaktadır. Şekil 1 ve Şekil 2'de anketi cevaplayan öğrencilerin yaş ve cinsiyet dağılımları verilmiştir.

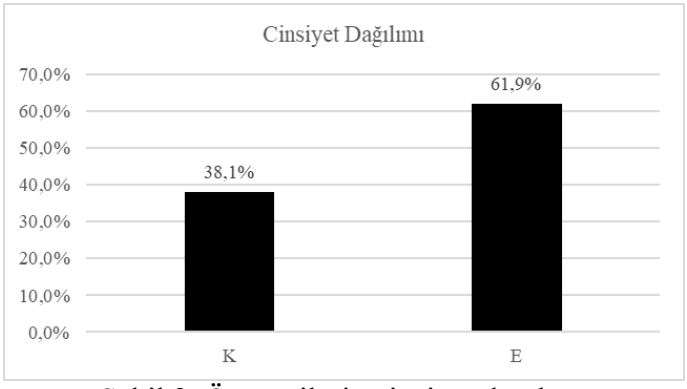
Şekil 3'de öğrencilerin fakültelere göre dağılımları verilmiştir. Ankete katılım sağlayan öğrencilerin %43'ü Mühendislik Fakültesi, %11,9'u Fen Edebiyat Fakültesi, 11,9'u İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, %10,6'sı Eğitim Fakültesi, %7,7'si İlahiyat Fakültesi, %6,5'i Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, %5,6'sı Teknoloji Fakültesi, %2,7'si Tıp Fakültesine eğitim görmektedirler. Öğrencilerin sınıf düzeyindeki dağılımı

incelendiğinde %2'sinin hazırlık, %9,3'ünün 1. Sınıf, %18,4'ünün 2. Sınıf, %22,3'ünün 3. Sınıf, %33,6'sının 4. Sınıf ve %14,3'ünün daha üst sınıflarda eğitim gördüğü belirlenmiştir.

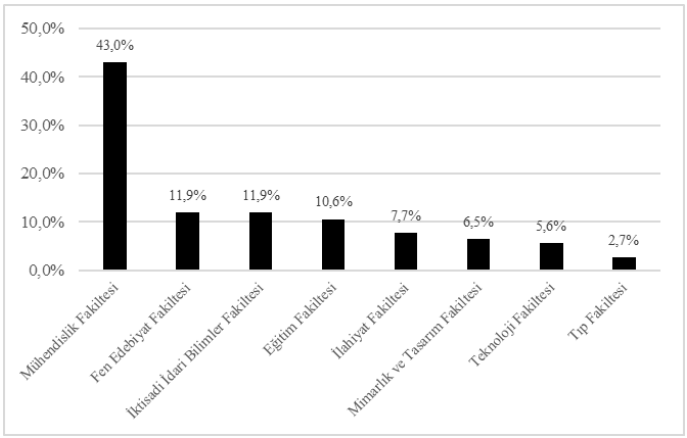
Ankete katılan öğrencilerin memleket dağılımı %16,6'sı Denizli, %8,3'ü Aydın, %5,8'i Antalya, %5,6'sı İzmir, %5,2'si İstanbul, %3,4'ü Balıkesir, %2,5'i Uşak geri kalan %52,6 sı ise diğer illerden oluşmaktakdır. Şekil 4'de öğrencilerin illere göre dağılımları verilmiştir. Öğrencilerin %50 gibi büyük bir oranı Denizli ve yakın illerden gelmektedirler.



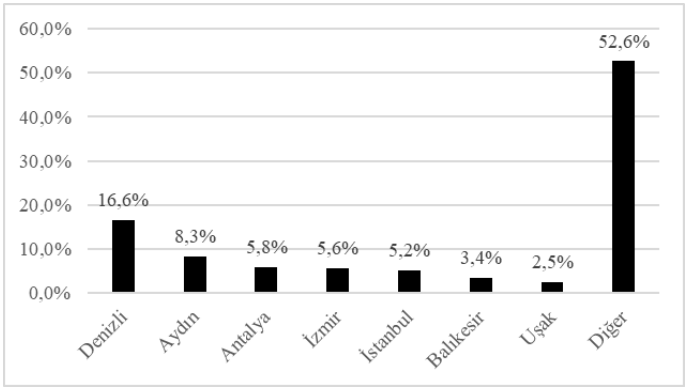
Şekil 1. Öğrencilerin yaş dağılımı



Şekil 2. Öğrencilerin cinsiyet dağılımı

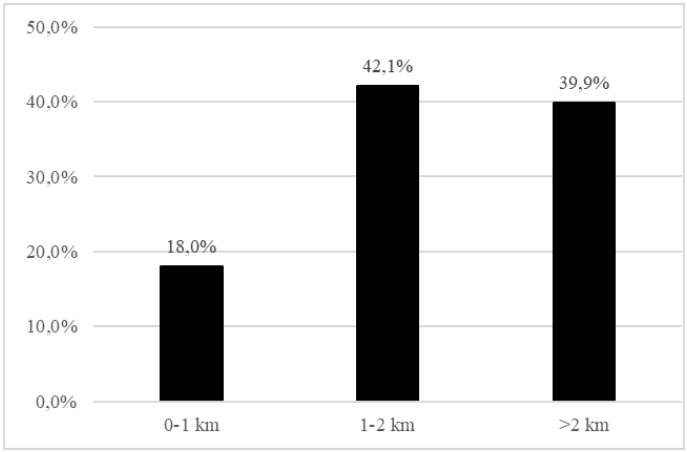


Şekil 3. Fakültelere göre dağılım

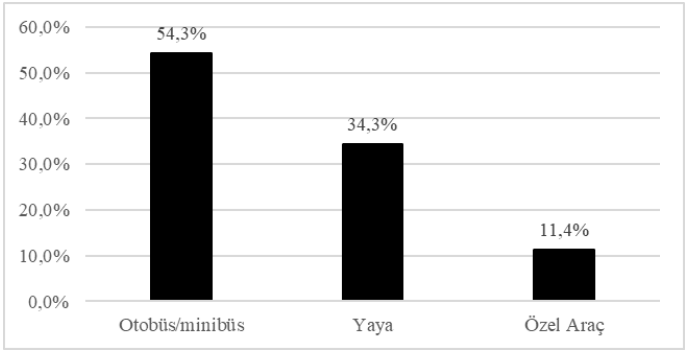


Şekil 4. Memleketlerine göre dağılımı

Genel sosyo demografik yapının belirlenmesinin ardından öğrencilere ikamet ettikleri yerin okula olan uzaklığı ve okula erişimde tercih ettikleri ulaşım türü sorulmuştur. Şekil 5'de görüldüğü üzere öğrencilerin ikametlerinin %18'inin kampüse 0-1 km uzaklıkta, %42,1'inin 1-2 km uzaklıkta ve %39,9'unun 2 km üzeri uzaklıkta olduğu belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında öğrencilerin %60 gibi büyük bir bölümünün akmpüs yakınında ikamet ettiği belirlenmiştir. Öğrencilerin okula erişimde %54,3'ünün Otobüs/Minibüs toplu taşıma sistemlerini kullandığı, %34,3'ünün yaya olarak erişim sağladığı ve %11,4'ünün ise özel araç kullandıkları belirlenmiştir. Şekil 6'da öğrencilerin okula erişim türlerinin dağılımı verilmiştir.



Şekil 5. İkametlerinin okula uzaklıkları



Şekil 6. Okula erişim şekillerinin dağılımı

Anketin ikinci bölümünde öğrencilerin mobil cihazlarında yer alan sağlık uygulamalarından Nisan 2021-Mart 2022 olmak üzere 12 aylık adım verilerini ankete girmeleri istenmiştir. Bu dönem online eğitim ve yüzyüze eğitim sürelerini içeren ve yürüme düzeylerinin karşılaştırılabileceği şekilde seçilmiştir. Öğrencilerin günlük adım sayıları 1500-2000, 2000-2500, 2500-3000, 3000-4000, 4000-5000 ve >5000 adım/gün olmak üzere 6 gruba ayrılarak değerlendirme yapılmıştır. Nisan-Ağustos 2021 dönemi online eğitimin devam ettiği bir dönem olup 5 aylık süreyi kapsamaktadır. Kalan 7 aylık dönem ise yüzyüze eğitimin başladığı dönemdir. Tablo 1'de ankete katılan öğrencilerin Nisan 2021 – Mart 2022 dönemine ait ortalama adım sayılarına göre oransal dağılımları verilmiştir.

Öğrencilerin adım sayıları incelendiğinde pandemi döneminde %27 oranla en yüksek gözlemlenen adım sayısı 2000-2500 adım/gün olarak belirlenmiştir. Pandemi sonrasında ise en yoğun adım sayısı değeri ortalama %33 ile 5000 adım/gün ve üzeri değer grubu oluşturmuştur. Tablo 2'de online eğitim ve yüzyüze eğitim dönemlerinde ortalama adım değerlerinin dağılımı verilmiştir. Tabodan da görüleceği gibi yüzyüze eğitime geçilmesi ile birlikte 3000 adım ve üstü değerlerde %141-175 oranında artışlar gözlenmiştir.

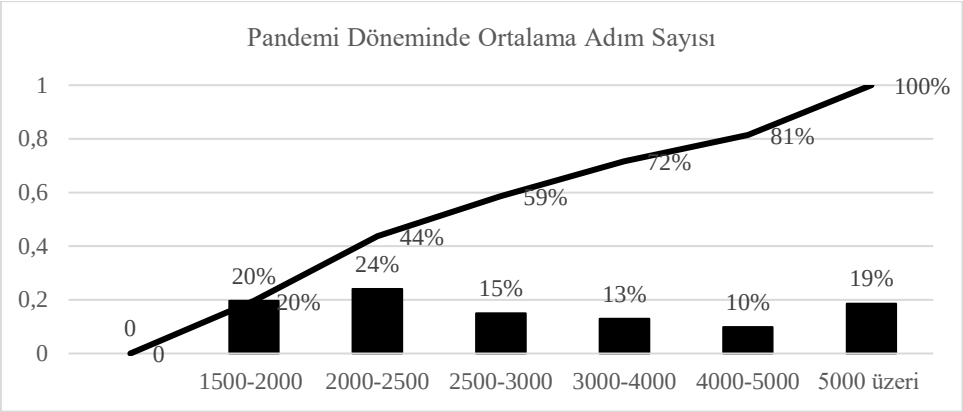
Tablo 1. Pandemi döneminde ve sonrasında öğrencilerin aylık yürüme düzeylerinin dağılımı (%)

	Ay/ Adım Sayısı	1500-2000	2000-2500	2500-3000	3000-4000	4000-5000	>5000
Online Eğitim Dönemi	Nis.21	25%	27%	13%	11%	8%	16%
	May.21	22%	26%	15%	12%	7%	18%
	Haz.21	20%	25%	14%	13%	10%	18%
	Tem.21	17%	22%	17%	14%	11%	19%
	Ağu.21	15%	20%	17%	15%	11%	22%
Yüz Yüze Eğitim Dönemi	Eyl.21	11%	18%	17%	19%	12%	23%
	Eki.21	7%	16%	18%	19%	17%	23%
	Kas.21	7%	11%	17%	24%	15%	26%
	Ara.21	9%	10%	13%	21%	19%	28%
	Oca.22	12%	8%	11%	17%	17%	35%
	Şub.22	8%	9%	10%	15%	17%	41%
	Mar.22	5%	5%	10%	13%	15%	52%

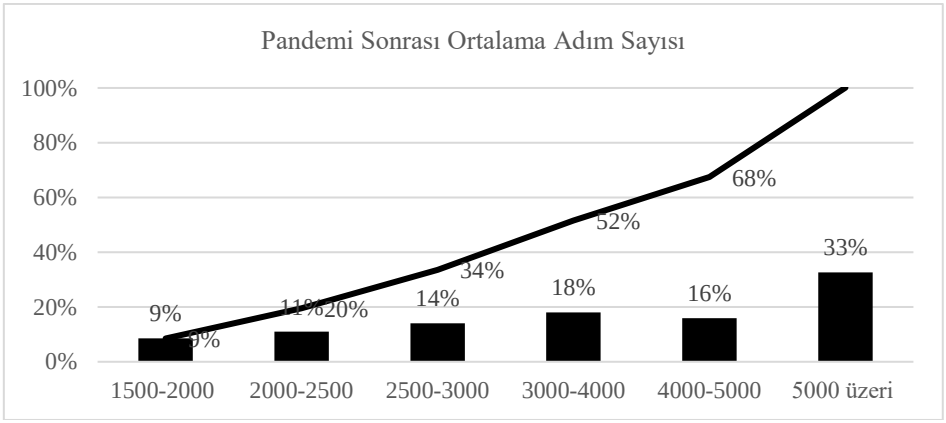
Tablo 2. Pandemi döneminde ve sonrasında öğrencilerin ortalama yürüme düzeylerinin değişimi

	1500-2000	**2000-2500**	**2500-3000**	**3000-4000**	**4000-5000**	**>5000**
Online Eğitim Dönemi	20%	24%	15%	13%	9%	19%
Yüz Yüze Eğitim Dönemi	8%	11%	14%	18%	16%	33%
Değişim	43%	46%	90%	141%	170%	175%

Şekil 7 ve 8'de pandemi dönemi ve sonrasında ortalama adım ve eklenik değerler verilmiştir.

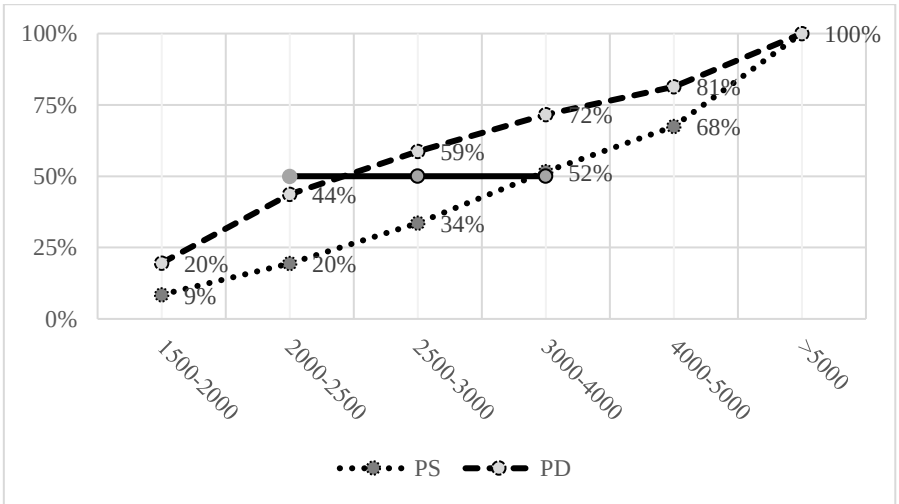


Şekil 7. Pandemi dönemi ortalama adım değerleri ve eklenik değişimi



Şekil 8. Pandemi sonrası ortalama adım değerleri ve eklenik değişimi

Uzaktan eğitim döneminde öğrencilerin %59'luk bir bölümü 3000 adım/gün ve daha az sayıda hareketlilik gösterirken yüz yüze eğitim döneminde sadece %34'lük bir kesim 3000 adım/gün ve daha az sayıda hareketlilik göstermiştir. Pandemi döneminde 5000 adın/gün üstünde yürüyen %19'lük bir öğrenci grubu varken yüz yüze eğitime geçilmesi ile bu değer %175 artarak %33 değerine ulaşmıştır. Şekil 9'da pandemi döneminde ve sonrasında yüzyüze eğitime geçilmesi ile yürüme alışkanlıklarında yaşanan değişim verilmiştir.



Şekil 9. Pandemi dönemi ve sonrası ortalama adım değerlerinin karşılaştırılması

%50'lik dilim incelendiğinde uzaktan eğitim döneminde öğrencilerin %50'si yaklaşık olarak 2000-2500 adım/gün aralığında hareketlilik gösterirken yüzyüze eğitim döneminde hareketlilik değeri 3000-4000 adım/gün değerine ulaşmıştır.

SONUÇLAR

Çalışma salgın hastalık döneminde uygulanan uzaktan eğitim ve sonrasında uygulanan yüz yüze eğitim süreçlerinin ulaşım alışkanlıklarına etkisini araştırmış ve yaya olarak gerçekleştirilen hareketlilik değerleri mobil cihaz verileri kullanılarak aylık ortalama değerler üzerinden karşılaştırılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Verilerin toplanması amacı ile Denizli Pamukkale Üniversitesi öğrencilerine online anket uygulanmış ve 446 başarılı anket gerçekleştirilmiştir. Anket uygulanan dönemin ilk 5 ayında Pamukkale Üniversitesinde uzaktan eğitim, kalan 7 ayında ise yüzyüze eğitim uygulamaları yürütülmüştür.

Öğrencilerin adım sayıları incelendiğinde pandemi döneminde %27 oranla en yüksek gözlemlenen adım sayısı 2000-2500 adım/gün olarak belirlenmiştir. Pandemi sonrasında ise en yoğun adım sayısı değeri ortalama %33 ile 5000 adım/gün ve üzeri değer grubu oluşturmuştur. Yüzyüze eğitime geçilmesi ile birlikte 3000 adım ve üstü değerlerde %141-175 oranında artışlar gözlenmiştir. %50'lik dilim incelendiğinde uzaktan eğitim döneminde öğrencilerin %50'si yaklaşık olarak 2000-2500 adım/gün aralığında hareketlilik gösterirken yüzyüze eğitim döneminde hareketlilik değeri 3000-4000 adım/gün değerine ulaşmıştır.

Anket sonuçlarına göre yıllık bazda günlük ortalama adım sayısı verilerini dikkate aldığında özellikle pandemi döneminde, sokağa çıkma yasaklarınında etkisiyle öğrencilerin adım sayısında düşüş olduğu görülmektedir. Pandemi dönemindeki kısıtlamalar azaltılıp okullar açıldıktan sonra öğrencilerin adım sayısında artış görülmektedir. Gerek pandemi gerekse de yüzyüze eğitim dönemi olsun öğrencilerin yürüme düzeylerinin günlük 10.000 adımın çok altında olduğu bu onuda farkındalık yaratılarak hareketliliğin arttırılması gerektiği görülmüştür. Toplum sağlığı açısından yürümenin öneminin vurgulanması, kampüslerde ve kentlerde hizmetlere erişim için öğrencilerin yürümeye yönlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Yüzyüze eğitim döneminde öğrencilerin barınma ve ulaşım alışkanlıklarına verdikleri cevaplar sonucunda öğrencilerin okula yakın yerlerde barınmayı tercih ettikleri belirlenmiş ve büyük bölümünün toplu taşıma sistemlerini aktif kullandıkları görülmüştür. Sadece %11,4'lük bir kesim özel araç kullandığını belirtmiştir. Özel araç kullanım oranınında küçümsenmiyecek düzeyde olduğu görülmektedir. Mikromobilite araçları ise Denizli özelinde eğitim amaçlı yolculuklarda göz ardı edilecek kadar azdır. Bu noktada okul erişim yollarının özellikle bisiklet ve mikromobilite araçlarına uygun hale getirilerek motorlu taşıtlarla olan erişim oranının düşürülmesi hedeflenebilir.

Sonuç olarak eğitim süreçlerinde online sisteme geçilmesi, izelasyon ve kısıtlamalar nedeni ile üniversite öğrencilerinin yürüme düzeylerinde yüzyüze eğitim dönemine göre yaklaşık %50 azalma gerçekleşmiştir. Normalleşme süreci ile pandemi döneminde 2000-25000 adım/gün olan %50'lik dilim 3000-4000 adım/gün değerine yükselmiştir. Pamukkale üniversitesinde normal koşullar altında öğrencilerin %32'lik bir kesimi 5000 adım/gün gerçekleştirirken pandemi döneminde bu oran %19'a düşmüştür. Yürüme düzeylerindeki bu düşük değerlerin dolaylı olumsuz etkileri dikkate alınarak öğrencilerin

daha sağlıklı bir geleceğe kavuçmaları amacıyla kampüsler ve yakın çevrelerinde yürümeyi destekleyen, yönlendiren ve teşvik eden düzenlemelere gidilmesi gerekmektedir. Ayrıca son yıllarda üniversitelerin performans endeksleri arasına sürdürülebilirlik girmiş olmakla birlikle yürünebilir kampüsler, kampüslere yaya erişim koşulları vb. sağlıklı yaşamı destekleyen düzenlemelerinde sistemli bir şekilde analiz edilerek yeni bir endeks geliştirilmesi yada sürdürülebilirlik endeksine entegrasyonunun sağlanması gerekmektedir.

Kaynaklar

Balıkesir BŞB. (2020), Balıkesir İli Edremit, Burhaniye, Gömeç, Ayvalık, Gönen, Bandırma, Erdek, Karesi Ve Altıeylül İlçelerinde Toplu Taşıma Sistemi İyileştirme Projelerinin Hazırlanması İşi. Balıkesir

MEB. (2023), www.meb.gov.tr

BOUN. (2021), www.boun.edu.tr

Hacattepe, (2021), https://sporbilimleri.hacettepe.edu. tr/index.php?pid=1444&lang=tr&publish=0&action=17689

İstanbul. (2021), www.iuc.edu.tr

ODTU, (2021), www.metu.edu.tr

Yeditepe, (2021), www.yeditepe.edu.tr

Motosiklet Kullanıcılarının Özellik ve Davranışlarının İncelenmesi: Sakarya İli Motosikletli Kuryeler Örneği

Zeliha Çağla KUYUMCU, **Hakan ASLAN**
Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya
Tel: (0264) 295 67 28, (0264) 295 57 52
E-Posta: caglacaglar@sakarya.edu.tr, haslan@sakarya.edu.tr

Deniz Mert DOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, İstanbul
E-Posta: mert.dogan5@std.yildiz.edu.tr

Öz

Şehir içi taşımacılıkta, ürünleri hızlı ve daha az maliyetle teslim edebilmek için motosikletler (mopetler dahil) oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Trafikteki motosikletli kurye sayısı artışı ve ülkemizde motosikletin hem motosiklet sürücüleri hem diğer sürücüler tarafından motorlu taşıt gibi değerlendirilmemesi, olası tehlikeleri giderek arttırmaktadır. Özellikle Covid-19 salgınıyla birlikte motosikletli kurye ile alışveriş ve yemek taşımacılığı sektörü hız kazanmış, insanların bu konudaki alışkanlıklarında köklü değişiklikler meydana gelmiştir. Bu gelişen sektörün önemli bir parçası olan ve trafikte savunmasız yol kullanıcılarından olan motosikletli kuryelerin Sakarya'da trafikteki davranışlarını (kural ihlalleri vs.) incelemek için çeşitli firmalarda çalışan 100 motosikletli kurye ile yüz yüze anket yapılmıştır. Ankette motosikletli kuryelere, trafik kuralları ve sürücü davranışları ile ilgili sorular sorulmuş, alınan cevapların öğrenim durumu, yaş gibi sürücü özellikleri ile ilişkileri de incelenmiştir. Ayrıca günlük çalışma süreleri, çalışmaya başlarken aldıkları eğitim ve süre kısıtlamaları gibi sorular da ankette yer almaktadır. Elektrikli türlerinin kullanımı da giderek artan, bu sayede diğer motorlu taşıt türlerine göre daha çevreci olan bu ulaşım türünün trafikte daha güvenli hale getirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmanın da bu konudaki farkındalıklara ve alınabilecek önlemlere yönelik yardımcı bir kaynak olması beklenmektedir.

Anahtar sözcükler: *Motosikletli kurye, savunmasız yol kullanıcısı, trafik güvenliği, trafik kuralları, trafik kazaları*

Giriş

Karayollarında kullanılan ulaşım aracı türlerinden biri olan motosiklet (mopet dahil), trafik sıkışıklığından daha az etkilenmesi, hızlı ve ekonomik olması nedenleriyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Covid-19 salgınıyla beraber teslimat sektörünün büyümesi daha da hızlı ivme kazanmış, kısıtlamalar dolayısıyla çevrimiçi siparişlere olan talepler artmıştır. Geleneksel ticaretin yerini her geçen gün daha da almaktadır. 2021'de internet üzerinden perakende satışları dünya çapında yaklaşık 4,9 trilyon ABD dolarını bulmuştur. Bu rakamın bu gelecek dört yıl içinde yüzde 50 artarak 2025 yılına kadar yaklaşık 7,4 trilyon dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir (*Global Retail E-Commerce Sales 2026*, n.d.). T.C. Ticaret Bakanlığı'nın verilerine göre 2020 yılının ilk 6 ayındaki e-ticaret hacmi, bir önceki yıla göre %64 oranında artarak 91,7 milyar TL olmuştur (International Labour Organization). Covid-19 salgınıyla birlikte tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de motosikletli kuryelere gereksinim artmış ve trafikte motosiklet sayısının artmasına neden olmuştur. Tüketicilerin %52'si mağazalara gitmek istememekte, %36'sı Covid-19 aşısı olana kadar bu tür mağazalara gitmeyeceğini belirtmiştir (Bhatti et al., 2020). Salgın etkisiyle e-ticaret sektörü ve paket servis hizmetleri sektöründe büyüme olmuştur. Motosikletli kurye ihtiyacında artış ile sonuçlanmış ihtiyaç duyulan motosikletli kuryeler, iş aramakta olan motosikletli kurye tecrübesi olmayan motosiklet sürücüleri ile doldurulmaya çalışılmıştır (Başpınar, 2022). Türkiye'de 2015'te 2.938.364 trafiğe kayıtlı motosiklet varken, bu sayı Mart 2023 itibari ile 4.292.876'a ulaşmış olup, trafiğe kayıtlı taşıtların %15,9'unu motosikletliler oluşturmaktadır (*TÜİK Taşıt Sayıları*, 2023).

Bu çalışmanın amacı, trafikteki araçlar arasında azımsanmayacak bir ağırlığı (%16) olan ve ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarında ilk sıralarda yer alan motosikletlilerin özelliklerinin (yaş, eğitim vs.) ve motosiklet kullanımı sırasındaki (trafikteki) bazı davranışlarının (telefon kullanımı, hız davranışı) anket aracılığı ile elde edilerek trafik güvenliğini arttırabilecek önlemler alma konusunda bilgi kazanımı sağlamaktır. Çalışmada motosikletli (mopetliler dahil) kuryelere odaklanılarak sayıları giderek artan ve büyük risk oluşturan bu kullanıcı grubu için karar vericilere kaynak oluşturmak hedeflenmiştir.

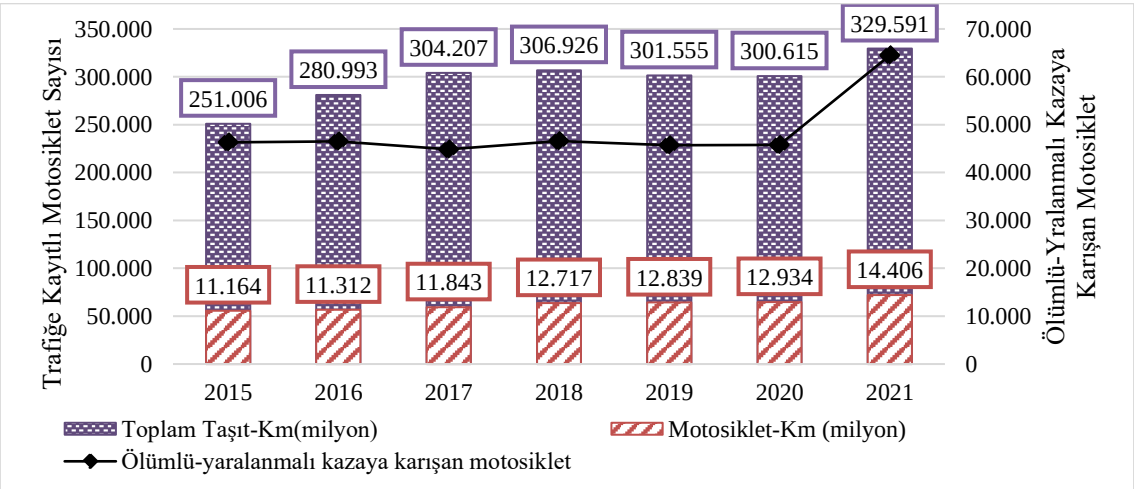
Dünya ve Türkiye'de Motosiklet Kaza İstatistikleri

Motosikletler ABD'de kayıtlı tüm araçların %3'ünü ve kat edilen tüm araç millerinin %0,6'sını oluşturmasına rağmen, 2021'de trafik kazalarındaki bütün ölümlerinin %14'ünü, tüm yolcu ölümlerinin %17'sini ve tüm yolcu yaralanmalarının %3'ünü oluşturmaktadır (*National Safety Council Injury Facts*, 2022). Avrupa Komisyonu verilerine göre savunmasız yol kullanıcıları 2021 yılında meydana gelen kazalardaki can kayıpları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 2021 Avrupa'da savunmasız yol kullanıcılarının ölümlü kazaları (*National Safety Council Injury Facts*, 2022).

	Yaya	Bisiklet	Motorlu Bisiklet	Motosiklet	Araba	Kamyon	Tır	Otobüs	Bilinmeyen	Başka Araç Yok	Toplam
Yaya		0,15	0,08	0,58	11,7	2,09	1,96	0,48	0,81		17,86
Bisiklet	0,03	0,23	0,03	0,13	4,21	0,92	1	0,15	0,39	2,14	9,23
Motorlu B.	0	0,005	0,035	0,03	1,16	0,21	0,13	0,02	0,1	0,87	2,59
Motosiklet	0,05	0,04	0,04	0,45	6,96	1,16	1,04	0,06	0,43	6,01	16,26
Araba	0,09	0,03	0,02	0,1	12,58	3,14	3,73	0,58	1,5	44,64	44,64
Kamyon	0,005	0	0,005	0	0,62	0,31	1,25	0,05	0,16	1,31	3,79
Tır	0,005	0,005	0	0	0,2	0,05	0,96	0,01	0,06	0,76	2,07
Otobüs	0,015	0	0	0	0,03	0,035	0,06	0,02	0,07	0,37	0,6
Bilinmeyen	0,01	0,015	0,01	0,02	0,85	0,17	0,26	0,02	0,13	1,5	3
Toplam	0,21	0,46	0,22	1,32	38,33	8,09	13,68	1,40	3,65	32,60	100

Motosiklet ile otomobilin karıştığı kazalarda 1386 can kaybı olmuştur. Başka aracın olmadığı sadece motosiklet sürücüsünün karıştığı kazalarda 1197 can kaybı olmuştur.
Türkiye'de de her geçen yıl trafiğe kayıtlı motosiklet sayısı ve gidilen yol (taşıt-km) artmaktadır. Ancak 2018-2021 yılları arasında trafiğe kayıtlı motosiklet sayısı artmasına rağmen sokağa çıkma yasaklarının olduğu salgın dönemi nedeniyle gidilen yol (taşıt-km) artmak yerine azalmıştır. Yollardaki araç sayısının fazla olması kaza sayılarını arttırmaktadır. Bunu net bir şekilde görebilmek için Şekil 1'de verilen grafik çizilmiştir. Bu şekilde, 2015-2021 yıllarında toplam taşıt-km, motosikletlilerin bir yılda aldıkları yolu ifade eden motosiklet-km, ölümlü-yaralanmalı kazalara karışan motosiklet sayıları Türkiye İstatistik Kurumundan alınan tablolardan elde edilmiştir.

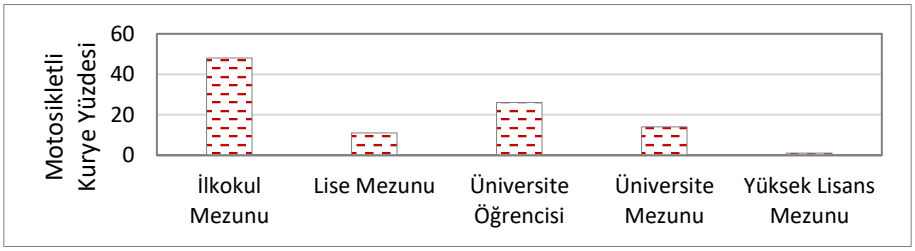


Şekil 1 Trafikteki taşıt sayıları ve motosiklet kaza sayılarının 7 yıllık değişimi.

2021 yılında Türkiye'de trafiğe kayıtlı taşıtların %15'i motosiklet olup, kazalarda hayatını kaybeden sürücülerden %30'u motosiklet sürücüleri olmuş, 54.037 motosiklet kazaya karışmış 687 motosiklet kullanıcısı hayatını kaybetmiştir (*TrafikKazalariOzeti2021*, 2022).

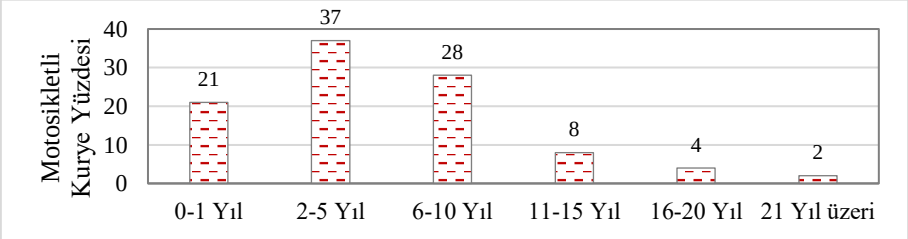
Anket Çalışması

Çalışmanın yapıldığı il olan Sakarya, konum olarak İstanbul, Ankara ve Bursa gibi Türkiye'nin her alanda önde gelen büyükşehirlerinin arasında yer alan, sanayisi gelişmiş, nüfusu 1.080.080 olan ve artmaya devam eden bir büyükşehirdir (*Sakarya Rehberi*, 2023). Trafiğe kayıtlı toplam taşıt sayısı 331.167 olup, bu taşıtların 41.779'u motosiklettir (*TÜİK Taşıt Sayıları*, n.d.). Ülkemizde tüm taşıtların %16'sını, Sakarya'da ise %13'ünü motosikletler oluşturmaktadır. Çalışmada, Sakarya ilinin Serdivan ilçesinde yer alan motosikletli kuryeler incelenmektedir. Örneklem büyüklüğü 100 kişi olup, bu ilçedeki toplam kurye sayısının yaklaşık olarak %1'ine karşılık gelmektedir. 17-30 Mart 2022 tarihleri arasında yüz yüze ve soru yanıt şeklinde anket çalışması yapılmıştır. Ankete katılan motosikletli kuryelerin 99'u erkek, 1'i kadın olup, Şekil 2'de eğitim durumları verilmiştir.



Şekil 2 Motosiklet Sürücülerinin Eğitim Durumu

Ankete katılan kuryelerin yarıya yakınının ilkokul mezunu olduğu, çeyreğinin üniversite öğrencisi olduğu ve azımsanmayacak bir yüzdesinin (%15) üniversite mezunu olduğu görülmektedir. Şekil 3'te motosikletli kuryelerin aktif motosiklet kullanma süreleri verilmiştir.



Şekil 3 Motosiklet Sürücülerinin Aktif Motosiklet Kullanma Süresi

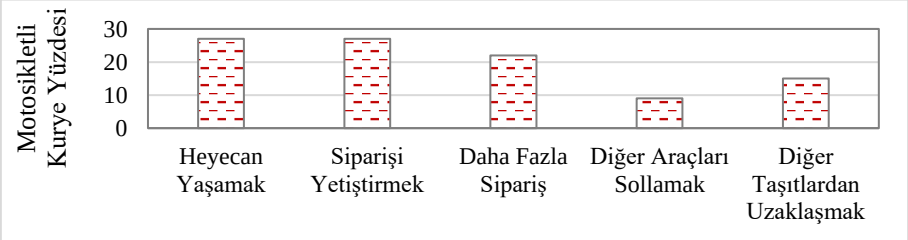
Çalışmada yer alan kuryelerin yarısından çoğu 5 yıldan, %86'sı 10 yıldan az süredir aktif olarak motosiklet kullanmaktadır. Motosikletli kuryelere kent içi yollarda yasal hız limiti sorulmuştur. Ankete katılanların %57'si 50, %27,3 'ü 60, %9,1'i 70, %4'ü 90 ve %2'si 80 km/sa cevabını vermiştir. Ankete katılanlara çevre yollarında yasal hız limiti sorulmuştur. %30'luk kısmı 80, %27'lik kısmı 90, %19'lık kısmı 70, %14'lük kısmı 100, %10'luk kısımsa 110 km/sa cevabını vermiştir. Bu cevaplara göre, kent içi yollarda 50 km/sa olan hız sınırını çalışmada yer alan motosikletli kuryelerin %42,4'ünün, çevre yollarında 90 km/sa olan hız sınırını ise bu kuryelerin %81'inin bilmediği sonucuna

ulaşılmıştır. Şekil 4'te "Yasal Hız Limitinin Üzerine Çıkar Mısınız?" sorusuna verilen cevapların dağılımı verilmiştir.



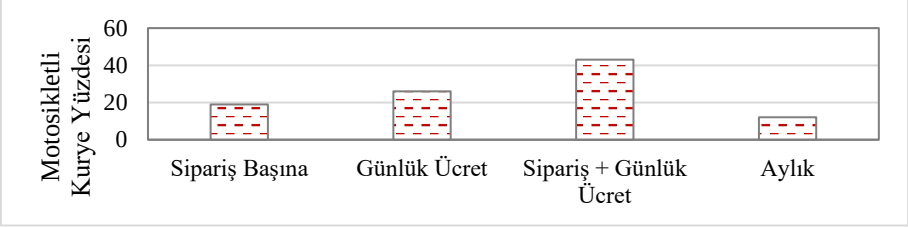
Şekil 4 Yasal Hız Limitinin Üzerine Çıkar mısınız? Sorusuna Verilen Cevaplar

Motosikletli kuryelere yasal hız limiti kuralına uymama durumları sorulmuştur. Ulaşılan cevaplar aşağıda yasal hız limitinin üzerine çıkma sebepleri grafiğinde verilmiştir. Ankete katılan kuryelerin yalnızca %21'i yasal hız limitinin üzerine çıkmam yanıtını vermiştir. Yasal hız limitini aşan kuryelere hız limitinin üzerine çıkma sebepleri sorulmuştur. Şekil 5'te yasal hız limitinin üzerine çıkma nedenleri verilmiştir. Birden fazla cevap vermelerine izin verildiğinden toplam kişi sayısından fazla yanıt vardır.



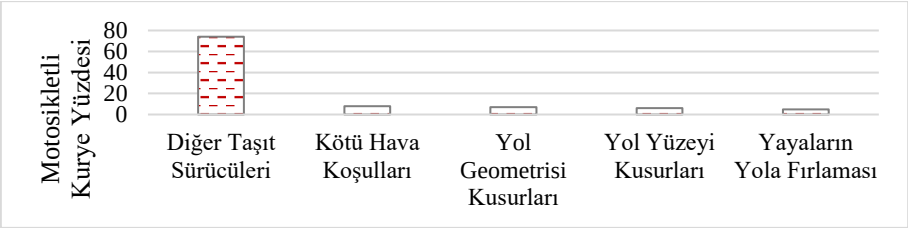
Şekil 5 Yasal hız limitinin üzerine çıkma nedenleri

Ankete katılan motosikletli kuryelerin yarısına yakını (%47) daha fazla sipariş götürmek için, %18'lik kesim diğer taşıtlardan uzaklaşmak ve %9'luk kesim diğer araçları sollamak için yasal hız limitini aştığını belirtmiştir. Şekil 6'da kuryelerin nasıl ücret aldıkları ile ilgili yanıtlara ait grafik verilmiştir.



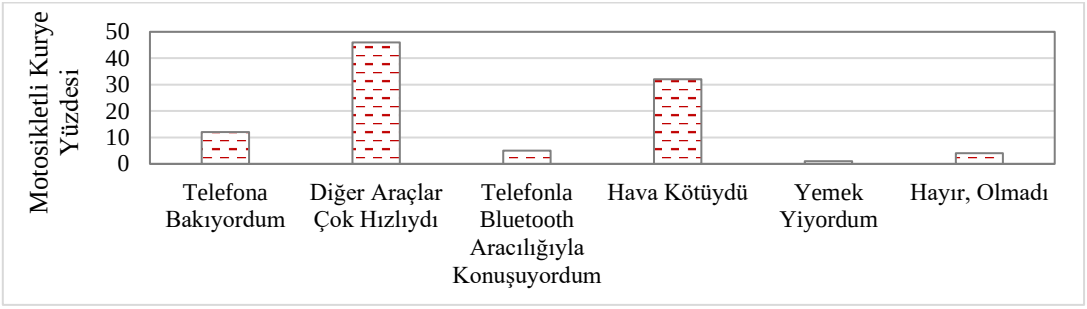
Şekil 6 Maaş tipi

Ankete katılanların motosikletli kuryelerin %62'sinin kazandığı ücrete taşıdığı sipariş sayısı etki etmektedir. Ankete katılanların %70'i kaza yaptığını belirtmiştir. Kaza yapan motosikletli kuryelere kaza yapma sebebi sorulmuştur. Yanıtların dağılımı Şekil 7'de verilmiştir.



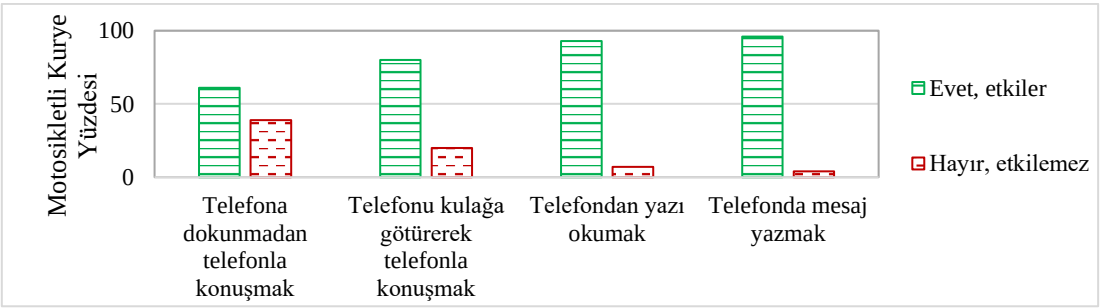
Şekil 7 Kaza nedenleri

Soru sorulan kuryelerin büyük çoğunluğu kaza sebebi olarak diğer taşıt sürücülerinin hatalı olduğunu söylemiştir. Ölümlü ve yaralanmalı trafik kazalarına sebep olan kusurlar yerleşim yerlerinde %89,92 sürücü kusurları, %5,76 yaya kusurları, %2,69 taşıt kusurları, %1,48 yolcu kusurları ve %0,15 yol kusurları olmuştur (*TrafikKazalariOzeti2021*.2022). Kuryelere, kazaya ramak kala durumunda kalıp kalmadıkları sorulmuş, bu durumu yaşayan motosikletli kuryelere bu durumun nedenleri sorulmuştur. Ulaşılan sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir.



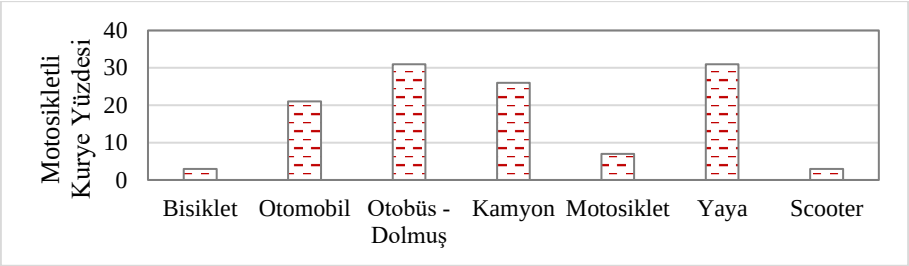
Şekil 8 Kazaya ramak kala nedenleri

Anket yapılan kuryelerin %78'i kazaya ramak kalmasına sebep olan durumun kendisinden kaynaklı olmadığını söylemiştir. Bu cevaplar Şekil 7'de verilen kaza nedenleriyle örtüşmektedir. Motosikletlilerin kaza nedenleri ile neredeyse kaza yapacakları durumlar büyük oranda diğer taşıtlarla ilişkilidir. Motosikletli kuryelere sürüş güvenliğini etkileyen durumlardan olan telefonun 4 farklı kullanımı sorulmuştur. Soru sorulan kuryeler telefon kullanımını genel olarak güvensiz bulmakta, en güvenli olduğu değerlendirilen durum kulaklık ile konuşmak olmakta ancak bu durumu bile güvensiz bulanların oranı %60'ı aşmaktadır. Ulaşılan cevapların dağılımları Şekil 9'da verilmiştir.



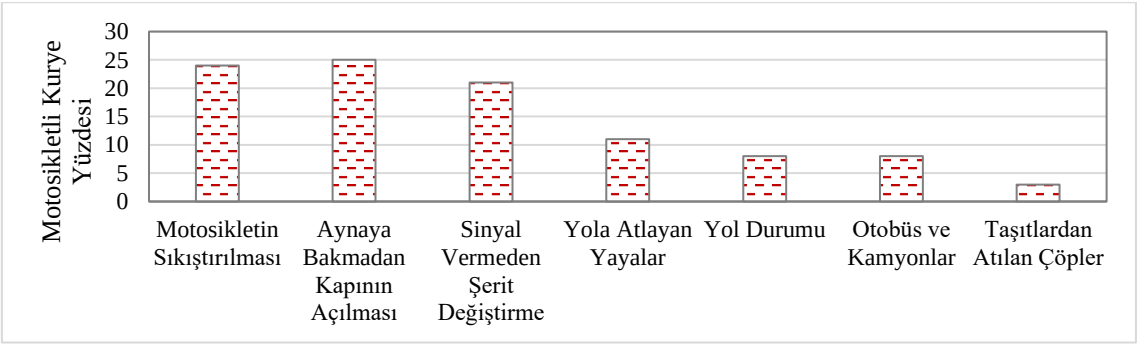
Şekil 9 Sürüş esnasında telefon kullanımıyla ilgili görüşler

Ankette kuryelere 'Hangi yol kullanıcısını daha tehlikeli buluyorsunuz?' sorusu sorulmuştur. Ulaşılan cevaplar aşağıda Şekil 10'da Hangi Yol Kullanıcısını Daha Tehlikeli Buluyorsunuz? Sorusuna Verilen Cevapların Dağılımı grafiğinde verilmiştir.



Şekil 10 Hangi yol kullanıcısını daha tehlikeli buluyorsunuz? sorusuna verilen cevapların dağılımı

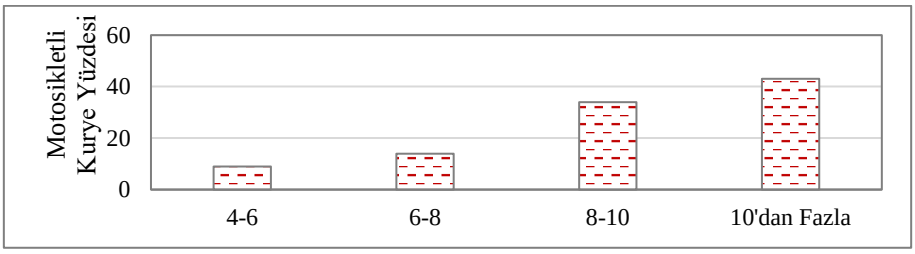
Motosikletli kuryeler, eşit ve büyük oranda yaya ve otobüs-dolmuşları tehlikeli bulduklarını söylemişlerdir. Ankette motosiklet kullanımı sırasında en büyük tehditler sorulmuştur. Ulaşılan cevaplar Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11 Motosiklet kullanımı sırasında en büyük tehdit

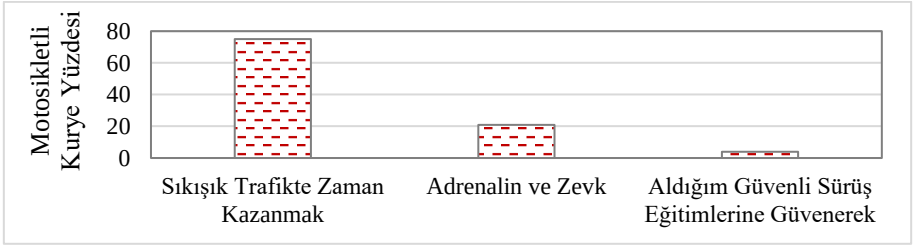
Verilen cevaplara bakıldığında Şekil 7'ye benzer sonuçlar elde edilmiştir. En büyük tehditin diğer taşıtlarla ilişkili olduğu (%81) görülmektedir.

Günlük motosiklet kullanım süreleri sorulmuştur ve ulaşılan Şekil 12'de verilmiştir.



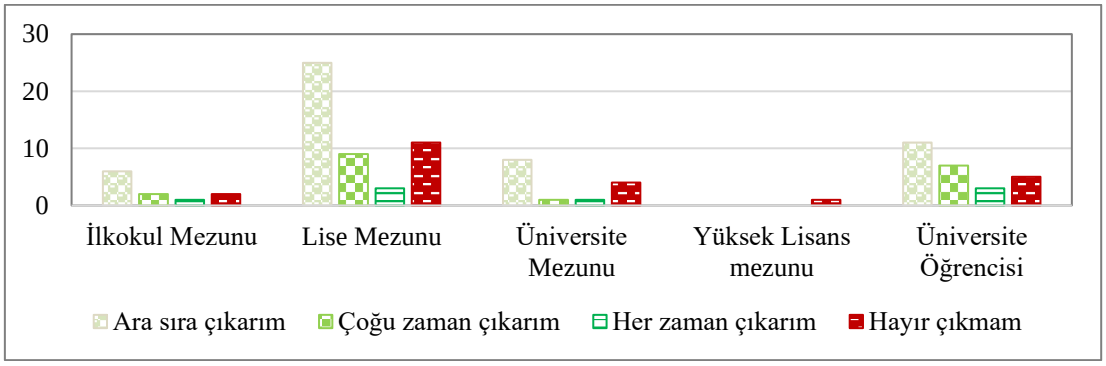
Şekil 12 "Günde kaç saat motosiklet kullanıyorsunuz" sorusu cevapları

Kuryelerin cevaplarını incelediğimizde motosikletli kuryelerin %77'si günde 8, %43'ü 10 saatten fazla çalışmaktadır. Şekil 13'te "Trafikte Taşıt Aralarına Girmenizin En Önemli Gerekçesi Nedir" sorusuna verilen cevapların dağılımı verilmiştir.



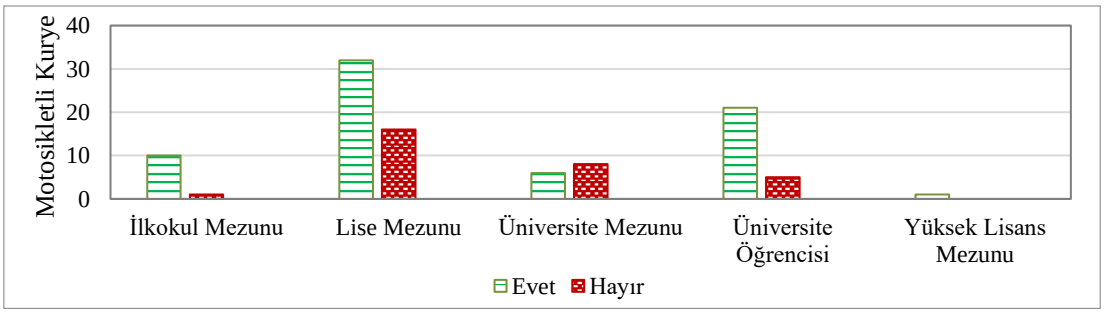
Şekil 13 Trafikte taşıt aralarına girmenizin en önemli gerekçesi nedir sorusuna verilen cevapların dağılımı

Kuryelerin cevaplarını incelediğimizde %75'lik kısım sıkışık trafikte zaman kazanmak için trafikte taşıt aralarına girdiğini belirtmiştir. Şekil 14'te Eğitim durumu – hız sınırı aşma durumu arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil 15'te Eğitim durumu – kaza yapma durumu arasındaki ilişki verilmiştir.



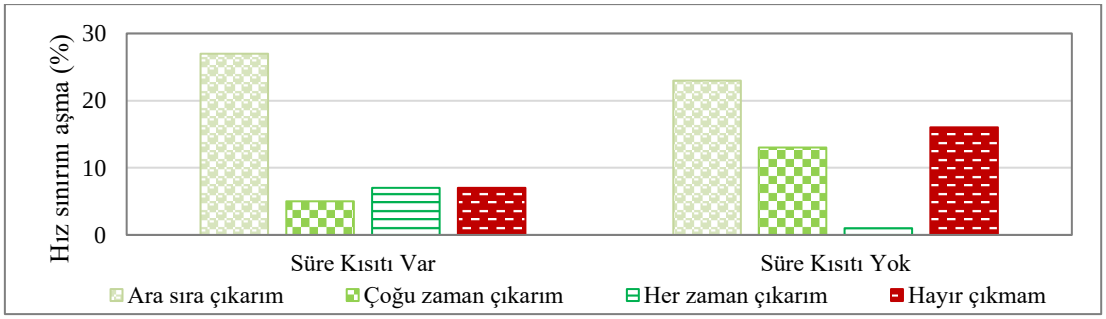
Şekil 14 Eğitim durumu – hız sınırı aşma durumu arasındaki ilişki

Üniversite mezunu ve üniversite öğrencisi olanlarda hız sınırını aşmam diyenlerin grup içerisindeki oranları diğer gruplardaki oranlardan yüksektir. Bu sonuç, eğitim seviyesi arttıkça hız ihlalleri ile ilgili bilincin arttığı şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 15 Eğitim durumu – kaza yapma durumu arasındaki ilişki

Kaza yapma durumlarının eğitim seviyeleri ile ilişkisine bakıldığında, yalnızca üniversite mezunları büyük oranda kaza yapmadığını belirtmiştir. Üniversite öğrencisi, lise ve ilkokul mezunlarının çoğunun kaza yaptığı görülmektedir.
Ankette ayrıca süre kısıtı sorulmuştur. Soruya cevap veren kuryelerin %54'ü süre kısıtı olmadığını %46'si ise süre kısıtının olduğunu belirtmiştir. Evet cevabı verenlere süre kısıtı zorluğu sorulmuştur. Motosikletli kuryelerin %50,7'si süre kısıtının kendilerini zorladığını söylemiştir. Şekil 16'da ise, süre kısıtı olmasının hız sınırını aşma üzerindeki etkisini görebilmek için grafik verilmiştir.



Şekil 16 Motosikletli kuryelerin süre kısıtı varlığına göre hız sınırı aşma oranları

Süre kısıtı olan kuryelerin hız sınırını aşma sorusuna verdikleri cevaplara bakıldığında süre kısıtı olmayanların, süre kısıtı olanların aksine hız sınırına uyma konusunda daha iyi oldukları, her zaman hız sınırının üzerine çıkarım diyenlerin oranının da süre kısıtı olanlara göre oldukça düşük olduğu görülmektedir.
Grafiklerle verilmeyen diğer sonuçlar:
-görünürlük arttırıcı (reflektif) kullanan (ankete katılanların %71'i) ve araç gibi davranan sürücülerin taşıt aralarına girdiklerinde diğer taşıt sürücüleri tarafından sıkıştırılma oranları %91,3 iken taşıt aralarına girmediklerinde bu oran %86,7 olmuş,
-süre kısıtı olan motosikletli kuryelerin trafik cezası olması oranının %56,5 iken süre kısıtı olmayanların trafik cezası olması oranı %50,9 olmuş,
-trafikte diğer taşıt sürücüleri tarafından sıkıştırılma durumları sorulmuştur. Kuryelerin %43'ü evet çoğunlukla, %31'i bazen, %19'u bazen oldu yanıtını vermiş, %7'lik kısım ise hayır olmadı; kask kullanımı sorulduğunda %73'ü güvenliği için %26'sı zorunlu olduğu için, %1'lik kesim kask kullanmadığı yanıtını vermiş,
-ankete katılan motosikletli kuryelerin %84'ü trafik ışıklarında araç gibi davrandığını, %16'lık kesimse yaya gibi davrandığını (kırmızı ışıkta bekleme-geçme durumu) belirtmiş,
-trafik cezaları sorulmuştur. %52'si trafik cezası olduğunu belirtmiş, en yaygın cezaların kırmızı ışık, kask takmama ve hız cezası olduğu, bu cezaları ehliyet bulundurmama, şerit ihlali, ters yön, sigorta, muayene, sinyal vermeme, kaldırımı kullanmak, yanlış park gibi cezalar izlemekte,
-kuryelerin %62'lik kısmı işe girmeden eğitim aldığını belirtmiş, Eğitim alanların %39,5'i pratik, %42,1'i hem pratik hem teorik, %18,4'ü ileri seviye sürüş eğitimi aldığını belirtmiştir.

Sonuçlar

Bu çalışma ile, Sakarya ili Serdivan ilçesinde çalışan motosikletli (mopet dahil) kuryelerle anket aracılığı ile trafik güvenliği konusunda çeşitli çıkarımlar elde edilmiştir. Bunlardan en önemlileri aşağıda verilmiştir.

- Motosikletli kuryelerin trafikte motorlu taşıt-yaya ikileminde kalarak hareket ettikleri ortaya çıkmıştır. Bu durum çarpışma riskini arttırmaktadır.
- Görünürlük arttırıcı ekipman kullanan sürücülerin diğer taşıtlar tarafından daha az oranda sıkıştırıldıkları saptanmıştır. İşletmelerin kuryelerin görünürlük arttırıcı ekipman kullanmasını zorunlu hale getirmesi önerilmektedir.
- Süre kısıtının trafik cezasına çarptırılma olasılığını az da olsa arttırdığı çıkarımı yapılabilir. Süre kısıtının hız sınırını aşma davranışını etkilediği sonucu da ortaya çıkmıştır. Bunun yanında sipariş sayısının maaşı etkilediğini belirten kuryelerin %89'unun hız limitini (her zaman-çoğu zaman-ara sıra) aştığını, %73'ü kaza yaptığını belirtmiştir. Bu nedenle işletmelerin süre kısıtlarını kaldırmaları, sipariş başına ücret ödememeleri yönünde yaptırımlar getirilmesi trafik güvenliğinin artmasına yardımcı olacaktır.
- Yasal hız limiti kuralına uyduğunu belirten motosikletli kuryelerin %38'i kent içi yollarda, %78'i çevre yollarında hız limitini bilmemektedir. Hız limitini bilmemeleri hız sınırını aşma ihtimallerini arttırmakta ve trafik güvenliği için tehlike oluşturmaktadır.
- Trafikte taşıt aralarına girme nedeni olarak sıkışık olan trafikte zaman kazanmak şeklinde bir sonuç ortaya çıkmıştır. Burada motosikletin boyutunun küçük olması üstünlüğünden faydalanarak şeritte diğer motorlu taşıtlar (otomobil vs.) gibi hareket

etmediği bu durumun trafik kaza riskini arttırdığı, ülkemizde bu kullanımın denetim ve eğitim gibi metotlarla çözülmesi gerektiği söylenebilir.

- Ayrıca sipariş sayısının maaşı etkilediğini belirten kuryelerin %89'unun hız limitini (her zaman-çoğu zaman-ara sıra) aştığını, %73'ü kaza yaptığını belirtmiştir. Bu sonuç, kuryelerin gelirlerini arttırmak için trafikte hızlı sürme eğiliminde olduklarını, kaza riskinin arttığını ortaya çıkarmıştır.

Bunun için eğitim ve denetimlerin arttırılması konusu üzerinde durulmalıdır. İşletmelerin sürücülere periyodik olarak trafik kurallarını hatırlatma eğitimleri verdirip, bilgilerinin güncel kalması sağlanmalıdır. Trafikteki denetimlerin arttırılması ve ceza uygulamaları da kurallara uyumu arttırması açısından önemlidir.

Kaynaklar

Başpinar DA. (2022) Motosikletli Kuryelerin Covid-19 Pandemisi Döneminde İş Sağlığı Güvenliği Koşulları ve İş Güvencesizliği Düzeyi.

Bhatti A, Akram H, Basit HM, Khan AU, Raza SM, Bilal M. E-commerce trends during COVID-19 Pandemic. International Journal of Future Generation Communication and Networking. 2020;13(2).

Global retail e-commerce sales 2026. Statista. Accessed May 26, 2023. https://www.statista.com/statistics/379046/worldwide-retail-e-commerce-sales/

International Labour Organization UÇÖ. Motosikletli Kuryeler Odağında Teslimat Sektörü Çalışanlarında Psikososyal Risk Analizi.

KGM Hız Sınırları. Accessed June 5, 2023. https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/HizSinirlari.aspx

Moto-Kuryenin El Kitabı. Türkiye Turing ve Otomobil Kurumu. Accessed June 5, 2023. https://www.turing.org.tr/yayinlar/moto-kuryenin-el-kitabi/

National Safety Council Injury Facts. Injury Facts. Published May 3, 2022. Accessed May 3, 2022. https://injuryfacts.nsc.org/motor-vehicle/road-users/motorcycles/

Sakarya Rehberi. Sakarya Büyükşehir Belediyesi. Accessed May 26, 2023. https://www.sakarya.bel.tr/

TrafikKazalariOzeti2021.pdf. (2022). General Directorate of Highways. https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/TrafikKazalariOzeti2021.pdf

TÜİK Taşıt Sayıları. Accessed May 24, 2023. https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Subat-2023-49424

Işıksız Kavşaklarda Yayaların Karşıdan Karşıya Geçiş Davranışları ile Yaya-Taşıt Çatışmalarının İncelenmesi

Yalçın Alver, Pelin Önelçin
Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova, İzmir
Tel: (232) 388 60 26
E-Posta: yalcin.alver@ege.edu.tr, pelin.onelcin@ege.edu.tr

Öz

Işıksız kavşaklar birden fazla trafik akımının ışık kontrolü olmadan birbiriyle etkileşimde olduğu kavşak türüdür. Yayaların ışıksız kavşaklarda karşıdan karşıya geçerken tüm yönlerden gelen taşıtlara dikkat etmesi gerekmektedir. Bu çalışmada yayaların, İzmir'de bulunan iki adet ışıksız kavşakta karşıdan karşıya geçiş davranışları ile yaya-taşıt çatışmaları incelenmiştir. Bu amaçla zirve saatte ve zirve saat dışında birer saat olmak üzere hafta içi birer gün insansız hava aracı ve kameralarla çekim yapılarak veri toplanmıştır. Yayaların yaya geçidini kullanarak yaptıkları geçişler ile yaya geçidinden itibaren ilk 30 m dâhilinde yaptığı geçişler dikkate alınmıştır. Her bir yayanın karşıdan karşıya geçiş hızları, geçiş kararını verirken ne kadar süre bekledikleri ve yaya-taşıt etkileşimleri tespit edilmiştir. Yayalar ile ilgili veriler, cinsiyet, yaş (genç, yetişkin, ileri yaş), grup halinde geçiş, yük taşıma durumu ve geçiş öncesi bekleme durumlarına göre kaydedilmiştir. Yaya-taşıt çatışmaları temsili güvenlik ölçütlerinden olan, bir taşıtın/yayanın potansiyel çatışma alanından çıktığı an ile diğer taşıtın/yayanın aynı noktaya varış anı arasındaki süre olarak tanımlanan ihlal sonrası süre ölçütü ile değerlendirilmiştir. Bu amaçla yaya konumunun yanı sıra kabul edilen taşıtın konumu da dikkate alınmıştır. Temsili güvenlik ölçütleri kazaların meydana gelmesini beklemeden trafik tesislerinin güvenliği hakkında bilgi sahibi olunmasına olanak sağlamaktadır. Her bir yaya-taşıt çatışması için ihlal sonrası süre değerleri belirlendikten sonra güvenli ve güvensiz olmayan çatışmalar belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Işıksız kavşaklar, İhlal sonrası süre, Yaya davranışı, Yaya-taşıt çatışması.

Giriş

Dünya Sağlık Örgütü (2018) verilerine göre trafik kazası neticesinde gerçekleşen ölümlerin %26'sını yayalar ve bisikletliler oluşturmaktadır. Yaya geçitleri, yayaların eşdüzey kavşaklarda veya yol bölümlerinde güvenli bir şekilde geçiş yapmaları için kullanılan tesislerdir. Işıksız yaya geçitlerinde zebra işaretleri ile yaya önceliği netleştirilerek, refüjler ve diğer yol yapılarıyla görüş ve hız kontrolü iyileştirilerek yaya güvenliği sağlanmaktadır (Iryo-Asano ve diğ., 2021).

Aghabayk ve diğ. (2021) Tahran, İran'da ışıklı ve ışıksız kavşaklarda yayaların karşıdan karşıya geçiş davranışlarını incelemişlerdir. Her iki tip kavşakta 276 yaya gözlenmiştir. Yayaların ışıksız kavşaklarda ortalama karşıdan karşıya geçiş hızı 1,28 m/s bulunmuştur. Erkeklerin ve yaya geçidi dışında geçiş yapan yayaların daha hızlı geçiş yaptıkları, ileri yaştaki yayalar ile grup halinde geçiş yapan yayaların ise daha yavaş geçiş yaptıkları tespit edilmiştir. Zhuang ve Wu (2012) benzer şekilde grup halinde geçen yayaların daha düşük hızla hareket ettiğini ve sürücülerin büyük gruplar halinde geçen yayalara daha fazla yol verme eğiliminde olduğunu belirtmiştir. Ünal ve Saplıoğlu (2021) Mersin'de ışıklı bir kavşağın en yoğun kolunda gerçekleştirdikleri çalışmada erkeklerin (1,16 m/sn) kadınlara (1,11 m/sn) göre ve tek geçiş yapan yayaların (1,16 m/sn) da diğer yayalara göre daha yüksek bir hızla geçiş yaptıklarını tespit etmişlerdir. Hindistan'da yapılan bir çalışmada yaş grupları dikkate alındığında gençlerin geçiş hızlarının 1,24 m/sn ila 2,04 m/sn arasında değiştiği, ileri yaştaki yayaların hızlarının ise 0,82 m/sn ila 1,37 m/sn arasında değiştiği bulunmuştur (Ravishankar ve Nair, 2018). Alver ve diğ. (2021) orta bloklarda ortalama geçiş hızını 1,04 m/sn bulmuşlar ve kadın ile erkeklerin geçiş hızları arasında farklılık gözlemlememişlerdir. Üstgeçit bölgelerinde yapılan bir çalışmada ise yayaların karşıdan karşıya geçiş hızının taşıtla yaya arasındaki uzaklık arttıkça azaldığı görülmüştür (Alver ve Onelcin, 2018).

Çin'de yapılan bir çalışmada kaldırım kenarında bekleyen yayalar için, 33 saniye ve üzeri bekledikten sonra refüjde ise en fazla 12 saniye bekledikten sonra mevcut boşlukları kabul etme olasılıklarının %50'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Yayaların yaya geçidinde geçiş hakları olmasına rağmen, özellikle kaldırım kenarlarında daha uzun süre bekleyerek karşıdan karşıya geçme riskine karşı dikkatli oldukları gözlenmiştir (Zhao ve diğ., 2019). Yayaların geçiş için uygun aralık beklerken yola inip bekleme yaptıkları da görülmektedir. Fransa'da yapılan bir çalışmada yayaların %91,7'sinin kaldırımda %8,3'ünün ise yola adım attıktan sonra bekleme yaptıkları gözlenmiştir (Tom ve Granié, 2011).

Temsili güvenlik ölçütlerinden biri olan "İhlal Sonrası Süre (İSS)" yaya-taşıt çatışmalarının incelenmesinde kullanılmıştır. Cooper (1984), İSS için ""soruna sebep olan" bir taşıtın potansiyel çarpışma alanından çıktığı an ile geçiş hakkına sahip "çatışan" taşıtın potansiyel çarpışma noktasına varma anı arasındaki zaman farkı" tanımını yapmıştır. Allen ve diğ. (1978) ise iki yol kullanıcısı arasındaki İSS'yi "ilk yol kullanıcısının çatışma alanını terk ettiği andan, ikinci yol kullanıcısının çatışma alanına ulaştığı ana kadar geçen süre" olarak tanımlamıştır. Ismail ve diğ. (2013) yaya-taşıt çatışmalarının değerlendirilmesinde İSS'nin en güvenilir parametre olduğunu belirtmiştir. Mukherjee ve Mitra (2022) Hindistan'da yaptıkları çalışmada yayaların karşıdan karşıya geçmeye dair algıladıkları zorluk düzeyinin ışıksız kavşaklarda ışıklı kavşaklara göre %24 daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yaya-taşıt çatışması için İSS değerindeki bir birimlik artışın yayaların algıladıkları geçiş zorluğunu %19 azalttığını ortaya koymuşlardır.

Bu çalışma kapsamında ışıksız kavşaklarda yayaların karşıdan karşıya geçiş hızına etki eden faktörlerin (cinsiyet, yaş, grup halinde geçiş, yük taşıma durumu ve geçiş öncesi bekleme durumu) belirlenmesi ve yayaların incelenen faktörlere göre ortalama ve %15'lik hızlarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın bir diğer amacı ise İSS ölçütünün kullanılarak yaya-taşıt etkileşimlerinin değerlendirilmesi ve 1,5 sn eşik değeri esas alınarak riskli yaya-taşıt çatışma oranının belirlenmesidir. Temsili güvenlik

ölçütlerinden trafik tesislerinin güvenlik analizinde sıklıkla yararlanılmaktadır. Bu çalışmada da İSS ölçütünün pratikte bir uygulaması yapılmış olup incelenen yaya geçitlerinin güvenliği üzerine değerlendirmede bulunulmuştur.

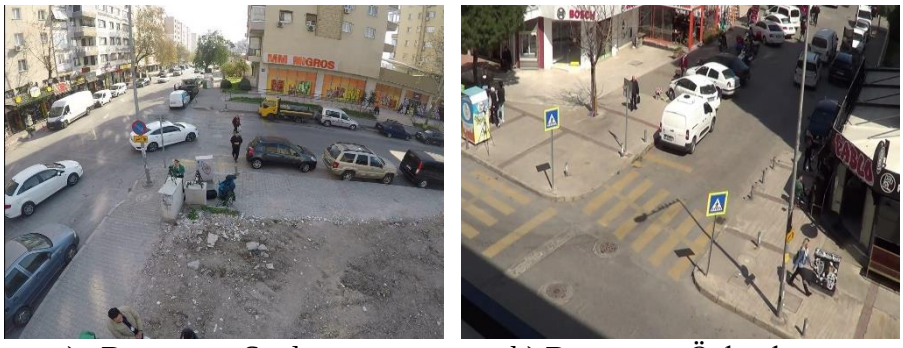
Saha Çalışması

İzmir'de bulunan iki adet ışıksız üç kollu kavşakta karşıdan karşıya geçiş davranışları ile yaya-taşıt çatışmaları incelenmiştir. Bu kavşaklar Bornova ilçesinde yer almaktadır. İncelenen kavşakların hiçbirinde yaya geçişlerinin incelendiği kavşak kolu üzerinde orta ayırıcı bulunmamaktadır. Şekil 1'de gözlem yapılan kavşakların konumları gösterilmiştir.

İncelenen bölgelerde iki kavşak kolu da bir gidiş bir geliş olmak üzere iki şeritlidir. Özkanlar kavşağında yol genişliği 8 m'dir ve yaya geçidinin 8 m gerisinde her iki yönde park cebi bulunmaktadır. Stadyum kavşağında yol genişliği 11 m'dir. Yolun her iki tarafında da parklanma mevcuttur.

Stadyum kavşağında gözlemler insansız hava aracı (İHA) ve kameralar ile yapılmıştır. Özkanlar kavşağında ise kavşağı gören bir apartmanın balkonundan ve yine yol üzerine kurulan kameralarla çekim yapılmıştır. Yayaların cinsiyetini, yaşını, yük taşıma durumunu tespit etmek için yaya geçidini görecek şekilde iki adet kamera karşılıklı olarak kurulmuştur. Bir kamera ise kural dışı geçiş yapan yayaları görebilmek için gözlem sahasının gerisine kurulmuştur.

Stadyum kavşağındaki çekim 29.12.2022 tarihinde öğlen (14.00 -15.00) ve akşam (16.30-17.30) saatlerinde, Özkanlar kavşağındaki çekim 20.03.2023 tarihinde öğlen (14.00 – 15.00) ve akşam (16.00 – 17.00) saatlerinde yapılmıştır. Çekimler yaya ve taşıt trafiğinin yoğun olduğu saatlerde gerçekleştirilmiştir. İki kavşaktan toplam dört saatlik veri toplanmıştır.



a) Bornova – Stadyum b) Bornova – Özkanlar

Şekil 1 Gözlem yapılan kavşaklar.

Yöntem

Gözlem yapılan her kavşak için karşıdan karşıya geçiş yapan yayaların cinsiyetleri, yaklaşık yaşları, yük taşıma durumları, grup halinde veya tek geçişleri, hangi tür taşıt yaklaşırken geçiş yaptıkları, kaç tane aracı reddettikleri, kabul edilen taşıtın konumu Excel dosyasına kaydedilmiştir. Veriler, videolardan manuel olarak çıkarılmıştır. Sahada

birer metre ara ile referans noktaları belirlenmiş ve daha sonra Autocad programı ile 1×1 m'lik ızgara oluşturulmuştur. Oluşturulan ızgara sistemi video üzerine getirilerek ölçümlerin yüksek doğrulukla yapılması sağlanmıştır. Şekil 2'de oluşturulan ızgara sitemi gösterilmiştir. Önceki çalışmalarda 3,5×3,5 m gibi farklı ızgara değerleri de kullanılmıştır. Daha kesin sonuçlar elde etmek için daha küçük ızgara boyutlarının kullanılması önerilmektedir (Reddy ve diğ., 2019). Önceki çalışmalarda da oluşturulan ızgara sistemi görüntü üzerine yerleştirilerek manuel veri çıkarımı yapılmış ve İSS değerleri elde edilmiştir (Chaudhari ve diğ., 2021; Goyani ve diğ., 2019; Reddy ve diğ., 2019). Video oynatma hızı üç kat yavaşlatılarak verilerin en doğru şekilde çıkarılmasına özen gösterilmiştir.

Sırt çantaları, alışveriş poşetleri, valizler gibi nesnelerle geçiş yapan yayalar yük taşıyan yayalar olarak nitelendirilmiştir. Yayaların bekleme süresi, bir yayanın karşıya geçmek için daha güvenli olan bir aralığı beklemesi için geçen süredir. Bir yayanın kaldırıma veya refüje geldiği andan karşıdan karşıya geçmek için sokağa ayak bastığı ana kadar geçen süre ölçülmektedir. Yayaların bir kısmı kaldırımda beklerken bir kısmı yola adımını atıp beklemektedir. Bundan dolayı bekleme süreleri hem kaldırımda hem de yolda bekleyen yayalar için hesaplanmıştır.

Yayaların karşıdan karşıya geçiş hızına etki eden faktörler çoklu regresyon analizi ile tespit edilmiştir. Cinsiyet, yaş, grup halinde veya tek geçiş, yük taşıma durumu ile yayaların kaldırımda ya da yolda bekleme durumlarının yaya geçiş hızına etkisi SPSS v25 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Lineer regresyon modeli bağımlı değişkenin sürekli olmasında tercih edilmektedir. Çoklu regresyon modeli Eşitlik 1 ile gösterilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots\ldots + \beta n Xn \qquad \text{(Eşitlik 1)}$$

Y: Bağımlı değişken
$X_{1\text{-}n}$: Bağımsız değişkenler
$\beta_{1\text{-}n}$: Katsayılar



Şekil 2 Oluşturulan 1×1'lik ızgara sistemine örnek.

Yaya-taşıt çatışmalarının değerlendirilmesinde en sık kullanılan temsili güvenlik ölçütlerinden biri olan İSS kullanılmıştır. İSS değerinin belirlenmesi için öncelikle çatışma noktası belirlenmelidir. Bunun için yaya ve taşıtların konum verisinden faydalanılmıştır. Şekil 3'te Özkanlar kavşağında incelenen yaya geçidi üzerinde bir yaya-taşıt çatışma noktası örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3 Yaya-taşıt çatışma noktası.

Şekil 2'de gösterilen ızgara sistemi üzerinden bir örnek verilecek olursa, yayanın kaldırımda üçüncü metrede (3,0), yaklaşan taşıtın ise sekizinci metrede (8,4) olduğu, çatışma noktasının koordinatlarının ise (3,4) olduğunu kabul edelim. Taşıtın çatışma noktasına girdiği ve bu noktadan ayrıldığı anlar sırası ile T_{t1} ve T_{t2} ile yayanın çatışma noktasına girdiği ve ayrıldığı anlar ise T_{y1} ve T_{y2} ile gösterilsin. Çatışma noktasından ayrılma önceliğine göre iki durum ortaya çıkmaktadır. Bunlardan ilki taşıtın çatışma noktasından önce ayrılmasıdır (taşıtın arka tamponunun (8,4) koordinatından (3,4) koordinata gelmesi durumu). Bu koşulda İSS Eşitlik 2 ile hesaplanmaktadır.

$$İSS = T_{y1} - T_{t2} \quad \text{(Eşitlik 2)}$$

İkinci durum ise yayanın çatışma noktasından önce ayrılmasıdır (yayanın (3,0) koordinatından (3,4) koordinatına gelmesi durumu). Bu koşulda İSS Eşitlik 3 ile hesaplanmaktadır.

$$İSS = T_{t1} - T_{y2} \quad \text{(Eşitlik 3)}$$

Bulgular

Yaya Özellikleri

İki kavşakta toplam 1312 yaya karşıdan karşıya geçmiştir. Yaya sayımları özelliklerine göre Tablo 1'de sunulmuştur. Kadınların toplam yayalar içindeki yüzdesi %43,06 iken, erkeklerin yüzdesi %56,94 olarak hesaplanmıştır. Yaşlara göre dağılıma bakıldığında yetişkin yayaların sayısı 929'dur ve toplam yayaların %70,81'ini temsil etmektedir. Bu yaş aralığı, en büyük yaya grubunu oluşturmaktadır. Grup büyüklüğü dikkate alındığında yayaların büyük bir kısmının (%64,03) tek başına hareket ettiği görülmektedir.

Tablo 1 Gözlem Yapılan Kavşaklardaki Yaya Sayımları.

		Gözlenen yaya sayısı	Yüzde değerler (%)
Cinsiyet			
	Kadın	565	43,06
	Erkek	747	56,94
Yaş			
	Genç	157	11,96
	Yetişkin	929	70,81
	65+	226	17,23
Grup büyüklüğü			
	Tek	840	64,03
	2+	472	35,97
Yük taşıma durumu			
	Evet	577	43,98
	Hayır	735	56,02

Yayaların Karşıdan Karşıya Geçiş Hızı

Gözlemlenen yayaların ortalama, %15'lik hız değerleri ve standart sapmaları cinsiyet, yaş, grup büyüklüğü ve yük taşıma durumuna göre Tablo 2'de sunulmuştur. %15'lik hız yayaların %15'inin daha düşük hızla geçiş yaptığı hızı belirtmektedir ve birçok çalışmada bu hız dikkate alınmaktadır (Forde and Daniel, 2021). Böylece daha düşük hızla geçiş yapan ileri yaştaki yayaların, dezavantajlı bireylerin güvenli bir şekilde geçişlerinin tamamlanması sağlanmaktadır.

Tablo 2 Yaya Hızları.

		Ortalama geçiş hızı (m/s)	Standart sapma	%15'lik hız (m/s)
Cinsiyet				
	Kadın	1,34	0,33	1,02
	Erkek	1,43	0,35	1,04
Yaş				
	Genç	1,43	0,35	1,10
	Yetişkin	1,43	0,34	1,10
	65+	1,19	0,29	0,89
Grup büyüklüğü				
	Tek	1,44	0,35	1,12
	2+	1,31	0,32	1,02
Yük taşıma durumu				
	Evet	1,39	0,34	1,02
	Hayır	1,39	0,35	1,02

Gözlem yapılan yayaların ortalama karşıdan karşıya geçiş hızları hesaplandığında kadınlarda bu değer 1,34 m/s, erkeklerde ise 1,43 m/s olarak bulunmuştur. Yaş dikkate alındığında genç yayalardaki ortalama geçiş hızı ile yetişkin yayaların ortalama geçiş hızları aynı bulunmuştur. Bununla birlikte 65 yaş üstü yayalarda 1,19 m/s ile diğer

gruplardan daha düşük bir ortalama hız değeri gözlenmiştir. Yük taşıma durumunun yayaların hızına herhangi bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Tüm yayalar birlikte değerlendirildiğinde ise ortalama karşıdan karşıya geçiş hızı 1,39 m/s bulunmuştur.

Yayaların Karşıdan Karşıya Geçiş Hızına Etki Eden Faktörler

Yayaların karşıdan karşıya geçiş hızına etki eden faktörler çoklu regresyon analizi ile bulunmuştur. Yapılan analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 3'te verilmiştir. Yük taşıma durumu hariç tüm değişkenlerin anlamlılık düzeyi 0,05'in altında çıkmıştır. Çoklu regresyon analizinde genellikle çoklu bağlantılılık sorunu ile karşılaşılmaktadır. Çoklu bağlantılılık, modeldeki bağımsız değişkenlerden ikisinin veya daha fazlasının birbiriyle ilişkili olduğu durumu ifade etmektedir. VIF (Variance Inflation Factor) olarak gösterilen "Varyans Enflasyon Faktörü" değerinin 1'e yakın olması bağımsız değişkenler arasında anlamlı bir doğrusal ilişki olmadığını göstermektedir (Zhao ve diğ., 2019).

Tablo 3 Yaya Hızına Etki Eden Faktörler.

Değişken	β	Std. hata	t-Değeri	p-Değeri	VIF
Sabit	1,595	0,029	54,635	0,000	
Cinsiyet	0,086	0,019	4,563	0,000	1,097
Grup büyüklüğü	-0,156	0,019	-8,088	0,000	1,074
Yaş	-0,170	0,017	-9,786	0,000	1,094
Yük taşıma durumu	-0,021	0,019	-1,075	0,283	1,131
Geçiş öncesi bekleme	-0,054	0,024	-2,293	0,022	1,004

Tablo 3'teki katsayılar dikkate alındığında Eşitlik 4'teki bağıntı elde edilmektedir.

Yaya hızı = 1,595 + 0,086×Cinsiyet - 0,156×Grup büyüklüğü -0,170×Yaş-0,054×Geçiş öncesi bekleme (Eşitlik 4)

Yayaların Bekleme Süresi

Toplamda incelenen 1312 yayadan 164'ü kaldırımda veya yola adım atarak bekleme yapmıştır. Geri kalan yayalar ise beklemeden doğrudan geçiş yapmıştır. Kaldırımda/yolda ortalama bekleme süresi 4,00 sn olarak bulunmuştur. Yol ortasında ise yayaların 60'ı bekleme yapmış, ortalama bekleme süreleri ise 2 sn olarak tespit edilmiştir.

Yaya-Taşıt Çatışmalarında İhlal Sonrası Süre

Gözlem yapılan bölgelerde İSS değerine sahip 126 yaya-taşıt çatışması incelenmiştir. Yolda yaklaşan taşıt yokken geçen yayalar, taşıtlar tamamen dururken geçen yayalar ve yaklaşan taşıt 30 m'nin gerisindeyken olası çatışma noktasını terk eden yayalar çalışma kapsamında dikkate alınmamıştır. Çalışmada 30 m eşik değerinin kullanılmasının sebebi kameralar ile net olarak görülebilen uzaklık olmasıdır. Görüntüler üzerine çizilen 1×1 m'lik ızgara ile her bir taşıtın ve yayanın konumu belirlenebilmiştir. İSS değerleri incelendiğinde taşıt tipine göre bulunan ortalama İSS değerleri Tablo 4'te sunulmuştur. Tablodaki verilerden yaya-kamyon çatışmalarının ise en yüksek İSS süresine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Yaya ve diğer taşıt türleri arasındaki çatışmalarda ise yakın ortalama İSS değerleri elde edilmiştir.

Tablo 4 Taşıt Türüne Göre İSS Değerleri.

Taşıt türü	Ortalama İSS (sn)
Araba (101)	3,57
Minibüs (4)	3,50
Kamyon (2)	4,00
Otobüs	-
Motosiklet (19)	3,45

Literatürde İSS'nin riskli çatışmaları diğerlerinden ayıran değeri için genellikle 1,5 sn kabulü yapılmıştır (Cooper, 1984; Chaudhari ve diğ., 2021). Çalışmadan elde edilen veriler 1,5 sn sınır değer alınarak ayrıldığında yedi adet riskli yaya-taşıt çatışması gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Çatışma oranları dikkate alındığında iki değer hesaplanmıştır. İlk değer 5 sn'den az olan İSS değerlerinin 20 sn'den az olan İSS değerine sahip yaya-taşıt etkileşim sayısına bölünmesi ile bulunan çatışma oranı (Ço) değeridir. İkincisi ise tehlikeli çatıma oranı olarak (TÇo) bilinmekte ve 1,5 sn'den az olan İSS değerlerinin 20 sn'den az olan İSS değerine sahip yaya-taşıt etkileşim sayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Burada kullanılan 20 sn değeri yaya-taşıt etkileşimini tanımlamak için kullanılan üst eşiktir (Zhao ve diğ., 2019). Toplam incelenen 126 yaya-taşıt etkileşimi değerlendirildiğinde TÇo değeri %5,55, Ço değeri ise %70,64 olarak bulunmuştur. Her kazanın bir çatışma sonucunda olduğu düşünüldüğünde tehlikeli çatışma oranının incelenen bölgelerin güvenliği ile ilgili bilgi vermesi temsili güvenlik ölçütlerinin asıl kullanım sebeplerinden bir tanesidir. İncelenen bölgelerde TÇo değeri çatışmaların kazaya dönüşme olasılığı ile ilgili yorum yapılmasına yardımcı olsa da kaza şiddeti ile ilgili bilgi vermemektedir. Kaza şiddeti ile ilgili tahminde bulunabilmesi için taşıt hızını da dikkate alan ölçütler kullanılması gerekmektedir. İncelenen yaya-taşıt etkileşimlerinin tamamında taşıt hızları 30 km/sa değerinin altındadır. Taşıtlar yaya geçidine yaklaştıkça (yaya geçidine 10-15 m kala) hızlar daha da düşerek durma seviyesine gelmektedir. Bu nedenle gözlem süresi içinde şiddetli bir kazaya sebep olacak bir etkileşimle karşılaşılmamıştır. Ancak hız sınırının yüksek olduğu bölgelerde İSS değerinin düşmesi ve TÇo değerinin artması beklenmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, İzmir'deki iki adet ışıksız kavşakta yayaların karşıdan karşıya geçiş davranışları ve yaya-taşıt çatışmaları incelenmiştir. İncelenen kavşaklarda yayaların geçiş hızları, geçiş kararını verme süreleri, kabul ettikleri taşıtın konumu kaydedilmiştir. Ayrıca yayaların cinsiyet, yaş, grup halinde geçiş yapma durumu ve yük taşıma durumu gibi faktörlere göre veriler toplanmıştır.

Yayaların karşıdan karşıya geçiş hızları incelendiğinde erkeklerin daha yüksek geçiş hızına sahip olduğu, ileri yaş grupları ve grup halinde geçiş yapan yayaların daha yavaş geçiş yaptığı görülmüştür.

Temsili güvenlik ölçütlerinden İSS güvenlik analizinde sıklıkla kullanılan bir ölçüttür. İSS'nin kullanılabilmesi için belirli bir çatışma noktasının bulunması gerekmektedir. Bu çalışmada İSS'nin üst eşik değeri için 20 sn kullanılarak yaya-taşıt etkileşimleri belirlenmiş ve tehlikeli çatışma oranı ile çatışma oranı değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada toplam 126 yaya-taşıt etkileşimi incelenmiş ve TÇo değeri %5,55, Ço değeri

ise %70,64 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, tehlikeli çatışma oranının incelenen bölgelerin güvenliği hakkında bilgi vermede kullanılan temsili güvenlik ölçütlerinden biri olduğunu göstermektedir. Ancak, bu değerler çatışmaların kaza olasılığıyla ilgili bilgi sağlasa da kaza şiddeti hakkında bilgi sunmamaktadır. Kaza şiddetini tahmin etmek için taşıt hızını içeren ölçütlerin de dikkate alınması gerekmektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, ışıksız kavşaklarda yayaların geçiş davranışlarını anlamak ve güvenlik önlemlerini geliştirmek için önemli bilgiler sunmaktadır. Yaya geçitlerinin görünürlüğü ve düzenlemeleri, yayaların geçiş süreçlerini etkileyen faktörlerin anlaşılması ve sürücü eğitimleri gibi önlemler, yaya-taşıt çatışmalarını azaltmaya yardımcı olabilir.

Bu çalışma, yaya güvenliği ve ışıksız kavşakların etkili yönetimi konusunda bilimsel temele dayalı bilgiler sağlamaktadır. Bu bilgiler, trafikten sorumlu yöneticiler ve şehir planlamacıları tarafından kullanılarak trafiğin güvenliği ve yayaların korunması konusunda daha etkili politikalar geliştirilebilir.

Teşekkür Bu çalışma TÜBİTAK 2209/A projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Projede yer alan Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğrencileri Ömercan Ekinci, Handenur Keser ve Merve Azmaner'e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Aghabayk, K., Esmailpour, J., Jafari, A. and Shiwakoti, N. (2021) Observational-Based Study to Explore Pedestrian Crossing Behaviors at Signalized and Unsignalized Crosswalks. Accident Analysis and Prevention, 151, pp. 105990.

Allen, B. I., Shin, B. T. and Cooper P. J. (1978) Analysis of Traffic Conflict Collisions. Transportation Research Record, 667, pp. 67-74.

Alver, Y. ve Onelcin, P. (2018). Gap Acceptance of Pedestrians at Overpass Locations. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 56, pp. 436-443.

Alver, Y., Onelcin, P., Cicekli, A. and Abdel-Aty, M. (2021) Evaluation of Pedestrian Critical Gap and Crossing Speed at Midblock Crossing Using Image Processing. Accident Analysis and Prevention, 156, pp. 106127.

Chaudhari, A., Gore, N., Arkatkar, S., Joshi, G. and Pulugurtha, S. (2021) Exploring Pedestrian Surrogate Safety Measures by Road Geometry at Midblock Crosswalks: A Perspective Under Mixed Traffic Conditions. IATSS Research, 45(1), pp. 87-101.

Cooper, P.J. (1984) State-of-the-Art. Report on Traffic Conflicts Research in Canada. Proceedings of the 1st Workshop on Traffic Conflicts, Oslo, Norway.

Dünya Sağlık Örgütü. (2018) Global Status Report on Road Safety. Geneva: World Health Organization. License: CC BYNC-SA 3.0 IGO.

Forde, A. and Daniel, J. (2021). Pedestrian Walking Speed at Un-Signalized Midblock Crosswalk and Its Impact on Urban Street Segment Performance. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 8(1), pp. 57-69.

Goyani, J., Pawar, N., Gore, N., Jain, M. and Shriniwas, A. (2019) Investigation of Traffic Conflicts at Unsignalized Intersection for Reckoning Crash Probability Under Mixed Traffic Conditions. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 13, pp. 2091-2110.

Iryo-Asano, M., Alhajyaseen, W. K. M. and Suzuki, K. (2021) Pedestrian Crossing (Crosswalk). International Encyclopedia of Transportation, pp. 346-354.

Ismail, K., Sayed, T. and Saunier, N. (2010) Automated Analysis of Pedestrian–Vehicle Conflicts: Context for Before-and-After Studies. Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, 2198(1), pp. 52-64.

Mukherjee, D. and Mitra, S. (2022) What Affects Pedestrian Crossing Difficulty at Urban Intersections in a Developing Country? IATSS Research, 46(4), pp. 586-601.

Ravishankar, K. V. R. and Nair, P. M. (2018) Pedestrian Risk Analysis at Uncontrolled Midblock and Unsignalised Intersections. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 5(2), pp. 137-147.

Reddy, S. K. A, Chepuri, A. Arkatkar, S. S. and Joshi, G. (2019) Developing Proximal Safety Indicators for Assessment of Un-Signalized Intersections – A Case Study in Surat City. Transportation Letters, 12(5), pp. 303-314.

Ünal, A. ve Saplıoğlu, M. (2021). Yaya Geçitlerinde Yaya-Yaya ve Yaya-Araç Etkileşimleri ile Diğer Faktörlerin Geçiş Hızına Etkisinin Mikro Düzey İncelenmesi. Kırıkkale Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 13(1), pp. 113-126.

Tom, A. and Granié, M. A. (2011) Gender Differences in Pedestrian Rule Compliance and Visual Search at Signalized and Unsignalized Crossroads. Accident Analysis and Prevention, 43(5), pp. 1794-1801.

Zhao, J., Malenje, J. O., Tang, Y. and Han, Y. (2019) Gap Acceptance Probability Model for Pedestrians at Unsignalized Mid-Block Crosswalks Based on Logistic Regression. Accident Analysis and Prevention, 129, pp. 76-83.

Zhuang, X. and Wu, C. (2012) The Safety Margin and Perceived Safety of Pedestrians at Unmarked Roadway. Transportation Research Part F, 15, pp. 119-131.

Işıksız Kavşaklarda Karma Trafik Akım Koşullarının Modellenmesi

Sezin Hızarcı
İnş Yük. Müh. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye,
E-Mail : sezinhizarci@gmail.com

Serhan Tanyel
Prof.Dr. Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye,
E-Mail : serhan.tanyel@deu.edu.tr

Selim Dündar
Doç.Dr. İstanbul Okan Üniversitesi,İnşaat Mühendisliği Bölümü,İstanbul,Türkiye
E-Mail : selim.dundar@okan.edu.tr

Ilgın Gökaşar
Doç.Dr. Boğazici Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye,
E-Mail : ilgin.gokasar@boun.edu.tr

Öz

Bilişim çağı olarak adlandırılan 21.yüzyıldaki teknolojik gelişmeler ulaşımdaki geleneksel sürüş tekniklerini geliştirerek sürücüsüz taşıtları ulaşım ağına kazandırmıştır. Sürücüsüz taşıtların; taşıt gecikmeleri, trafik kazaları, yakıt tüketimi ve hava kirliliği gibi hem ulaşımın hem de çevrenin sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkileyen sorunlara çözüm bulacağı düşünüldüğü için sürücüsüz taşıtların yakın gelecekte günlük yaşantının ayrılmaz bir parçası haline geleceği beklenmektedir. Her ülkenin sürücü davranışlarının önemli farklılıklar gösterdiği göz önünde bulundurulduğunda, ülkemizde sürücüsüz taşıtların trafiğe katılması durumunda ışıksız kavşakların kapasite ve başarımlarının belirlenmesi daha da büyük bir önem kazanmaktadır. Bu çalışma kapsamında temkinli ve cesur olmak üzere iki farklı sürüş stratejisine sahip sürücüsüz taşıtların, sürücülü taşıtlarla birlikte yer alacakları karma trafik akım koşulları altında ışıksız kavşakların kapasite ve başarımları kritik aralık kabul yöntemine dayanan analizlerle tanımlanmaya çalışılmıştır. Çalışmada ilk olarak İzmir İl'inde yer alan ışıksız kavşaklardan sürücülü taşıtlara ait veriler (hız, takip aralığı, kritik aralık, vb.) toplanmıştır. Toplanan veriler ışığında ve literatürde sürücüsüz taşıtlar için ortaya konulan varsayımlar yardımıyla kritik aralık kabul yöntemine dayanan bir benzetim programı yazılmıştır. Sürücüsüz taşıtların yanyol kapasitesi üzerindeki etkisinin daha gerçekçi tanımlanması amacıyla farklı sürüş stratejisine sahip sürücüsüz taşıtların karma trafik akım koşullarında değişen yüzdelerde yer aldığı trafik koşulları modellenerek farklı sürüş stratejisine sahip sürücüsüz taşıtların yan yol kapasitesine etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Işıksız Kavşak, Sürücüsüz Taşıt, Kapasite, Karma Trafik Akımı

Giriş

Ülkemizde ve Dünya da nüfus artışına bağlı olarak araç sahipliği artmakta ve bu durum kent içi ulaşım sorunlarını beraberinde getirmektedir. Son dönemde teknolojide meydana gelen atılımlar sayesinde, ulaşımdaki sorunları çözmeye yönelik artan yenilikçi yaklaşımlar, içinde bulunduğumuz bilişim çağının gereksinimlerine cevap vererek akıllı ulaşım sistemlerinin gelişmesine katkıda bulunmaktadır. Ulaşım sektörüne sağladığı potansiyel faydalar sayesinde sürücüsüz taşıtlar akıllı ulaşım sistemlerinin başında gelmektedir.

Sürücüsüz taşıtların tepki süresinin sürücülü taşıtlara oranla daha düşük olması ve sürücülü taşıtlara oranla daha düşük takip aralıkları ile bir birlerini takip etmesi sebebiyle sürücüsüz taşıtlar sayesinde enerji ve yakıt tüketiminde azalma, yolculuk sürelerinde kısalma ve yolların kapasitelerinde artma meydana geleceği düşünülmektedir. Sürücüsüz taşıtlar sürücülü taşıtlara oranla bir çok fayda sağlayacak olmasına rağmen trafiğin tamamen sürücüsüz taşıtlardan oluşmasının en erken 2050 yılında (Milakis vd., 2015), bazı araştırmacılara göre 2070 yılında olacağı (Abraham, 2015) ön görülmektedir. Bu nedenle günümüz koşullarında sürücüsüz taşıtların ve sürücülü taşıtlarının trafikte beraber işletilmesi gerekmektedir. Sürücülü ve sürücüsüz taşıtların beraber yer aldığı karma trafik akım koşullarının etkisi, özellikle maddi ve manevi kayıpların en çok meydana geldiği ve kent içi ulaşım ağının en kritik noktalarından biri olan kavşaklarda dikkatle incelenmelidir.

Literatürde sürücüsüz taşıtlarla ilgili yer alan çalışmaların çoğu ışıklı kavşaklarla ilgili olup ışıksız kavşaklarla ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Işıksız kavşaklarla ilgili bu sınırlı sayıdaki çalışmalar ise daha çok sürücüsüz taşıtların sağladığı enerji verimliliği ve sera gazı salınımı (Tanyel v.d., 2018), seyahat sürelerinin kısaltılması (Malikopoulos v.d., 2018), gecikme sürelerinin azaltılması (Alanazi v.d., 2022) ve kavşakta meydana gelen çatışmaların azaltılması (Li v.d., 2018; Tian v.d., 2021; Peng v.d., 2021; Hang v.d. 2022) ile ilgilidir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde sürücüsüz taşıtların ışıksız kavşaklar üzerindeki etkisinin bir dizi algoritmalar yardımıyla iyileştirildiği, ancak ışıksız kavşakların başarımların belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biri olan kritik aralık yöntemine dayalı çalışmaların sınırlı sayıda olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca, yapılan çalışmalarda sürücüsüz taşıtlar için belirlenen reaksiyon süresinin sürücülü taşıtların reaksiyon süresinden daha düşük olduğu kabul edilerek sürücüsüz taşıtların olası faydaları tespit edilmiştir. Ancak sürücüsüz taşıtların reaksiyon süresinin farklı olması yani sürüş stratejisinde farklılık olması durumundaki kavşak başarımlarının da daha gerçekçi analizler için incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı; cesur ve temkinli olmak üzere iki farklı sürüş stratejisine sahip sürücüsüz taşıtların değişen yüzdelerde yer aldığı trafik koşulları dikkate alınarak kritik aralık yöntemi yardımıyla anayol ve yanyol kapasitesinin hesaplanmasıdır. Çalışma kapsamında, İzmir İl'inde yer alan ışıksız kavşaklardan insan sürücülü taşıtlara ait veriler (hız, takip aralığı, kritik aralık, vb.) ışığında, sürücüsüz taşıtlar için ışıksız kavşaklarda en çok kullanılan yöntemlerden biri olan kritik aralık kabul yöntemine dayanan bir benzetim programı yazılmış benzetim programı yardımıyla anayol ve yanyol kapasitesi hesaplanmaya çalışılmıştır.

Gözlem Yapılan Kavşaklar

Çalışma kapsamında İzmir'de yer alan üç adet ışıksız kavşakta gözlemler yapılmıştır. Kavşakların ikisi Buca, birisi de Karşıyaka ilçesinde yer almaktadır. Kavşakların geometrik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Gözlemler, sabah ve/veya akşam zirve saatlerinde, açık hava koşullarında video kamera ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen video çekimleri daha sonra büro ortamında gözlem ekibi tarafından izlenerek hız,takip aralığı,kritik aralığı vb. veriler toplanmıştır. Kavşaklara ait özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1 Kavşaklara ait özellikler.

Kavşaklar	Kontrol Tipi	Yaklaşım Kolu	Şerit Sayısı	Şerit Genişliği (m)
Bülent Ecevit	Denetimsiz	6753/19 Sk.	2*2	3
	Denetimsiz	Bülent Ecevit Cd.	2*2	3
Çevik Bir	Yol Ver	Uğur Mumcu Cd.	1*1	3,5
	Yol Ver	Özmen Cd.	1*1	3
	Yol Ver	255. Sk.	2	3,25
Buca Mezarlık	Yol Ver	Erdem Cd.	1*1	3
	Yol Ver	4/2 Sk.	1*1	3
	Yol Ver	61 Sk.	1*1	3

Kritik Aralık Kabulüne Dayalı Kapasite Hesap Yöntemleri

Kritik aralık kabulü ile kapasite, aşağıdaki bağıntıdan yararlanarak hesaplanabilmektedir:

$$q_e = \frac{q_c \alpha e^{-\lambda(T-\Delta)}}{1 - e^{\lambda T_0}} \quad (1)$$

Bağıntıda q_e; yanyol kapasitesini (taşıt/saniye); q_c, yanyol akımı önündeki engelleyici trafik akım değerini (taşıt/saniye); T, yanyol srücülerinin anakım içinde kavşağa girmek için kabul ettikleri aralık değerini (saniye); T_0, yanyolda birden fazla taşıtın kavşağa girmek için anayolda aynı takip aralığını kabul etmeleri durumunda birbirlerini takip edecekleri en küçük aralığı(saniye); Δ, anayoldaki taşıtlar arasındaki en küçük zaman cinsinden takip aralığını (saniye);α, ana akım içindeki serbest taşıt oranını ve `l` ise Cowan M3 dağılımına ait bir azaltma katsayını ifade etmektedir.

Bağıntı (1)'den anlaşılabileceği üzere ışıksız kavşakların kapasite ve başarımlarının hesaplanmasında anayoldaki taşıtlar arasındaki zaman cinsinden takip aralıklarının özellikleri ile yanyoldan kavşağa girmek isteyen sürücülerin davranış ve tercihleri büyük önem taşımaktadır. Sürücüsüz taşıtların ışıksız kavaklar üzerindeki etkileri belirlenirken de benzer bir yaklaşımın tercih edilmesinin daha doğru olacağı düşünülmektedir.

Anayoldaki Taşıtlar Arasındaki Zaman Cinsinden Takip Aralıklarının Modellenmesi

Yukarıda da değinildiği üzere ana akım içindeki taşıtlar arasındaki zaman cinsinden takip aralıklarının Cowan M3 dağılımına uygun olduğu kabul edilmiştir. Cowan M3 dağılımı; trafik akımının özelliklerine göre kolaylıkla modellenebildiği ve doğru sonuçlar verdiği için sık kullanılan bir dağılımdır. Ancak, özelikle sürücüsüz taşıtların sisteme katılmalarıyla, sürücüsüz

taşıtların anayoldaki taşıtlarla arasındaki zaman cinsinden aralık değerlerinin değişeceği düşünülmektedir.

Friedrich (2016), sürücüsüz taşıtların kesintisiz akımlardaki etkisinin belirlenebilmesi için trafiğin yoğunluğu kavramından yararlanmıştır. Friedrich (2016), trafik yoğunluğunun aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabileceğini belirtmiştir:

$$k = \frac{1}{vT_H + L} \tag{2}$$

Bağıntıda *k*, yoğunluğu (taşıt/m); *v*, taşıtın hızını (m/san); *L* taşıtın etkin uzunluğunu (lider taşıt uzunluğu + takip eden taşıtın ön tamponu ile lider taşıtın arka tamponu arasındaki etkin uzaklık) (m) ve T_H ise zaman aralığını ifade etmektedir. Aslında bağıntı literatürde oldukça iyi tanınan aşağıdaki bağıntının tersidir:

$$d = 0{,}278VT_r + 8 \tag{3}$$

Burada *d*, taşıtlar arasındaki uzaklık cinsinden takip aralığını (m); *V* km/saat cinsinden taşıt hızını, T_r, sürücülere ait intikal reaksiyon süresini(saniye) belirtmektedir. Bağıntıda yer alan "8" katsayısı; bağıntı (2) te bulunan *L* uzunluğudur. (3) bağıntısı, (2) bağıntısının paydasına eşittir ve bu durumda T_H=T_r denilebilir. Aslında (3) bağıntısından elde edilmiş olan takip uzaklığı değerini, taşıtın hızına böldüğümüzde, iki taşıt arasındaki zaman cinsinden takip aralığı değeri elde edilebilir.

$$t = \frac{0{,}278VT_h + 8}{V/3{,}6} \tag{4}$$

Bağıntıda "*t*", zaman cinsinden takip aralığıdır (saniye).

Atkins Ltd. (2016), tarafından yapılan çalışmada sürücüsüz taşıtların, trafik akımı içindeki diğer sürücülü taşıtları takip ederken izleyecekleri stratejilerin belirlenmesi için sürücüsüz taşıtlara ait 9 (dokuz) farklı sürüş stratejisi tanımlanmıştır. Ayrıca çalışmada aynı şerit üzerinde hareket eden taşıtların arasındaki güvenli takip aralığı için aşağıdaki bağıntı önerilmiştir:

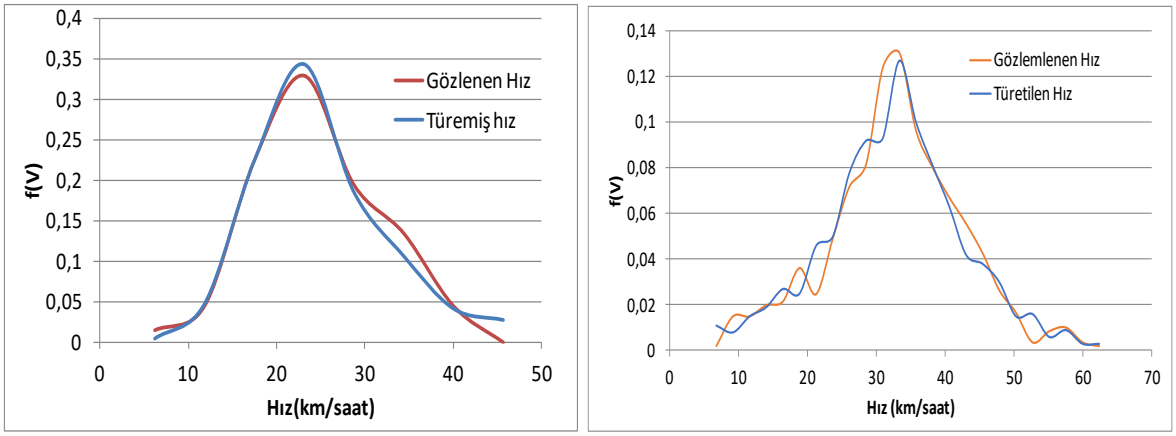
$$d_{güvenli} = CCO + CC1 * v \tag{5}$$

Burada $d_{güvenli}$; uzaklık cinsinden güvenli takip aralığını (metre); *CCO*; lider taşıtın arka tamponu ile takip eden taşıtın ön tamponu arasında kalan en kısa uzaklık değerini (metre); *v*; taşıtların hızlarını (metre/saniye) ve *CC1*, zaman cinsinden takip aralığı değerini (saniye) ifade etmektedir. Bağıntı, aslında (3) bağıntısı ile aynıdır. Farklılık olarak (3) bağıntısında yer alan 8 metre değerinin, "***öndeki (lider) taşıtın uzunluğu + lider taşıtın arka tamponu ile takip eden taşıtın ön tamponu arasındaki uzaklık***" şeklinde hesaplanan bir değer olmasıdır. Bağıntıdaki CC1 ise, takip eden taşıttaki sürücünün reaksiyon süresi olarak kabul edilebilir. Atkins Ltd. tarafından 1 numara yani en temkinli sürüş için tekniği için CCO değeri 2.5 m, CC1 değeri 2.1 s; 9 numaralı yani en cesur sürüş tekniği için CCO değeri 0.5m, CC1 değeri 0.5 s değerleri önerilmiştir.

Çalışma kapsamında yukarıda özellikleri verilen Buca Mezarlık, Bülent Ecevit ve Buca Çevik Bir meydanlarından toplanan anayol taşıtlarının hızları ölçülmüştür. Hızların loglojistik

dağılıma uyduğu bulunmuştur. Verilerin kalitesini arttırmak ve daha gerçekçi sonuçlar bulmak amacıyla hız verilerine bağlı olarak 1000 yeni hız değeri türetilmiştir.

Şekil 1'de (a) Bülent Ecevit ve (b) Buca Mezarlık (b) kavşaklarına ait gözlenen ve türetilmiş hızlara ait olasılık yoğunluk fonksiyonları görülmektedir. Türetilen değerlerin gözlemlenen değerler ile uyuştuğu görülmektedir.



a) Bülent Ecevit Kavşağı b) Buca Mezarlık Kavşağı

Şekil 1 Gözlemlenen hız verileri ile türetilen hız verilerine ait olasılık yoğunluk fonksiyonları.
Çalışmada, üç kavşakta anayolda elde edilen hız değerlerinden yararlanarak sürücüsüz taşıtlara ait farklı sürüş stratejilerinden 1 (temkinli) ve 9 (cesur) stratejilerine göre sürücüsüz taşıtların **diğer taşıtları takip aralıkları** bağıntı (5) hesaplanmıştır. İki sürücüsüz taşıtın ise birbirleriyle haberleşebilecekleri ve buna bağlı olarak **sürücüsüz bir taşıtın yine sürücüsüz bir taşıtı takip etmesi durumunda reaksiyon süresinin "0" (sıfır) olacağı** öngörülmüştür. Çalışma kapsamında sürücüsüz taşıtlar arasında iletişim varken, sürücülü taşıt ve sürücüsüz taşıt arasında iletişim olmadığı varsayılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda, iki farklı sürüş stratejisine ait zaman cinsinden aralık değerlerinin 4 parametreli Burr dağılımı ile hesaplanabileceğini göstermiştir. Burr XII dağılımı veya kısaca Burr dağılımı, Burr (1942) tarafından pozitif tanımlı bir rastlantı değişkeni için önerilen sürekli bir olasılık dağılımıdır. Burr dağılımın olasılık yoğunluk ve olasılık dağılım fonksiyonları aşağıda verilmiştir:

$$f(t) = \frac{\alpha k \left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1}}{\beta \left(1+\left(\frac{t+\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}\right)^{k+1}} \tag{6}$$

$$F(t) = 1 - \left[1+\left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}\right]^{-k} \tag{7}$$

Burada t (s) zaman cinsinden aralık değeri, α ve k şekil parametresi, γ konum parametresini ve β ölçek parametresini temsil etmektedir. L değeri yani taşın etkin uzunluğunun değişken olması durumundaki Burr Dağılımına ait parametre değerleri Tablo 2 'de görülmektedir. L değerinin değişken olduğu durumlarda hem γ hem de β değerleri değişiklik göstermektedir. Bu değerlerin, taşıtlar arasındaki uzaklıklarla ilişkili olduğu söylenebilir. Diğer bir yaklaşımda yoğunlukla

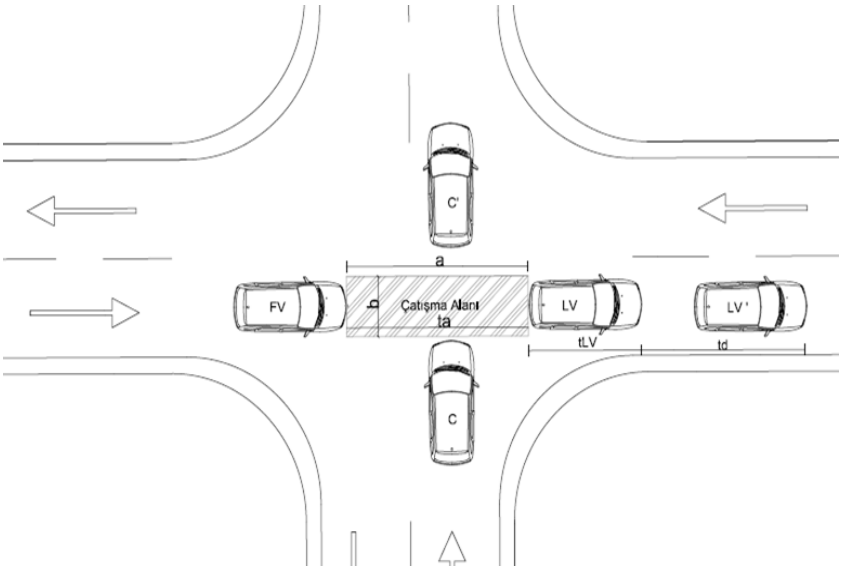
ilişkilendirilebilirler. k ve α parametrelerinin ise hızların dağılımına bağlı olarak farklılık gösterdikleri düşünülebilir. Burr dağılımının katsayılarının trafik akım parametreleri ile olan ilişkileri ancak çok daha fazla gözlem verisi kullanılarak tam anlamıyla ortaya konabilir.

Tablo 2 L değerinin değişken olması koşulu için Burr Dağılımına ait parametre değerleri

Kavşak Adı	L (m)	Sürüş Stratejisi	Burr Dağılımı Parametreleri				Güvenilirlik Testleri	
			k	α	β	γ	Kolmogorov-Simirnov	Anderson-Darling
Buca Mezarlık	5	AV-AV	0.563	4.390	0.308	0.195	0.023	0.739
	8	Temkinli	0.563	4.390	0.500	2.412	0.023	0.739
	5	Cesur	0.563	4.390	0.308	0.695	0.023	0.739
Bülent Ecevit	5	AV-AV	1.312	3.755	0.798	0.217	0.025	0.677
	8	Temkinli	1.312	3.755	1.397	2.307	0.025	0.677
	5	Cesur	1.312	3.755	0.798	0.627	0.025	0.677
Çevik Bir	5	AV-AV	0.437	6.873	0.619	0.126	0.030	0.625
	8	Temkinli	0.437	6.873	1.004	2.307	0.030	0.625
	5	Cesur	0.437	6.873	0.619	0.627	0.030	0.625

Sürücüsüz Taşıtların Kritik Aralık Kabul Değerlerinin Belirlenmesi

Sürücüsüz bir aracın kritik aralık kabul değeri sürücülü taşıtlara göre daha düşüktür. Bu nedenle sürücüsüz taşıtların trafiğe katılması ile kavşak kapasitesinin artacağı düşünülmektedir. Fakat, bu beklentinin bulgular ile desteklenebilmesi için öncelikle sürücüsüz taşıtların kritik aralık kabul değerinin tanımlanması gerekmektedir. Zhong v.d. (2015), çalışmalarında bu yönde bir bağıntı önermişlerdir. Yapılan çalışmada, iki yolun kesiştiği her iki yaklaşımda da tek yönlü iki kavşağın bulunduğu bir trafik sistemi ortaya konularak yan yolda yer alan sürücülere ait kritik aralık hesaplaması yapılmıştır.



Şekil 2 Sürücüsüz taşıtlar için kritik aralık hesabı.

Zhong v.d. (2015) tarafından yapılan çalışma baz alınarak Şekil 2'de yer alan kavşağa ait kritik aralık değerleri hesaplanmıştır. Şekil 2'de C aracı yanyolda bulunurken anayol üzerinde bulunan LV taşıtları lider taşıt, FV taşıtları ise takip eden taşıt olarak isimlendirilmiştir.

$$T_k = t_a + t_{LV} + t_d \quad (8)$$

Yukarıda yer alan formül kritik aralığın hesaplanması için kullanılmakta olup Zhong v.d. (2015) tarafından sunulmuştur . Bağıntıda T_k, yan yolda bulunan taşıt C'nin kritik aralığıdır. t_a bir taşıtın "a" uzunluğunu geçme süresidir. $t_{LV,}$ lider aracın uzunluğunu bir kesitten geçme süresidir t_d ise yan yoldaki aracın kesişim bölgesini geçtiği zamandır.

Bağıntı (8) kullanılarak Şekil 2'de şematik gösterimi bulunan yanyoldaki sürücüsüz taşıta ve sürücülü taşıta ait kritik aralık değerleri hesaplanmış hesaplanan değerler Tablo 3'de yer almaktadır.

Tablo 3 Doğru geçiş yapan sürücüsüz taşıt için tanımlayıcı istatistikler.

Manevra/Tanımlayıcı İstatistik	***Sürücü Tipi***	***Ortalama (s)***	***Standart Sapma***	***Basıklık***	***Çarpıklık***
Doğru Geçiş	Cesur	3.88	0.75	29.62	4.27
	Temkinli	5.02	0.52	62.43	6.67

Tablo 3 incelendiğinde görülmektedir ki doğru geçiş yapan ve sürücü tipi cesur olan sürücüsüz taşıt daha düşük kritik aralıkları kabul etmektedir.

Sürücüsüz Taşıtların Yanyol Kapasitesi Üzerindeki Etkileri

Çalışmanın bu bölümünde, yukarıda zaman cinsinden takip aralıkları ve kritik aralık kabul değerleri hakkındaki analiz ve tartışmalardan yararlanarak sürücüsüz taşıtların kavşak kapasitesi üzerindeki etkisi basit bir benzetim programı kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Benzetim programının temeli Troutbeck (1997) tarafından hazırlanan yine basit bir benzetim programına dayanmakta olup MATLAP programında yazılmıştır. Programın oluşturulmasında yapılan kabuller ve programda yapılan geliştirmeler aşağıda kısaca açıklanmaktadır:

- Program kapsamında yanyolun tek şeritli olduğu ve sürekli kavşağa giriş yapmak için bekleyen bir taşıt bulunduğu öngörülmüştür.

- Anayolda bulunan sürücüsüz taşıt oranının (AV%), %0~%90 aralığında değiştiği kabul edilmiştir. Bir akım içinde bulunan sürücüsüz taşıtlar, yine bir sürücüsüz taşıtı takip edebilecekleri gibi; geleneksel sürücülü bir taşıtı da takip edebilirler. Bu oranlar, akım içindeki sürücüsüz taşıt yüzdesine bağlı olarak farklılık gösterecektir. Sürücüsüz taşıtı takip eden sürücüsüz taşıt oranı (P1) üssel bir modele uyarken, sürücülü bir taşıtı takip eden sürücüsüz taşıt oranı (P2) ise ikinci dereceden bir parabole uygun olarak değişmektedir. Bu oranlar programda aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmaktadır:

$$P1=0,9855*AV\%^{1,99} \quad (9)$$

$$P2=-0,9821*AV\%^2+0,9875*AV\%-0,0002 \quad (10)$$

- Anayolda sadece sürücülü taşıt bulunması durumunda trafik akımının 1200 taşıt/saat'e kadar artabileceği kabul edilmiştir.

- Anayoldaki taşıtlar arasındaki en küçük takip aralığı değerinin (⊿), 1,5~2,4 saniye arasında değiştiği kabul edilmiştir.

- Anayoldaki sürücülü taşıtlar arasındaki serbest taşıt oranı Plank'ın önerdiği aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmaktadır (Hagring, 1998):

$$\alpha = 1 - q^2\Delta^2(3 - 2\Delta q) \tag{11}$$

- Anayoldaki sürücülü taşıtlara ait zaman cinsinden takip aralığı değerleri, aşağıdaki bağıntı ile türetilmiştir. Burada Rnd, 0 ile 1 arasında rastgele atanmış bir değerdir:

$$t = \Delta - \frac{ln\left(Rnd/\alpha\right)}{\lambda} \tag{12}$$

- Sürücüsüz taşıtlara ait zaman cinsinden takip aralığı değeri Tablo 2'de yer alan şekil parametreleri olan α ve k, konum parametresi olan γ ve ölçek parametresi olan β, kullanılarak türetilmiştir:

$$t = \gamma + \beta\left(\left(\frac{1}{1 - Rnd}\right)^{1/k} - 1\right)^{1/\alpha} \tag{13}$$

- Bir yanyol sürücüsünün karşılaşacağı zaman cinsinden aralık değeri ise en son aşağıdaki bağıntı ile bulunmaktadır:

$$t_i = (1\text{-}P1\text{-}P2) * t_{CVi} + P1 * t_{AV1i} + P2 * t_{AV2i} \tag{14}$$

Bağıntıda t_i, hesaplanan zaman cinsinden takip aralığı değerini (saniye); t_{CVi}, "*i*"nci sürücülü taşıta ait zaman cinsinden aralık değerini (saniye); t_{AV1i}, "*i*"nci taşıtın sürücüsüz taşıtı takip eden bir sürücüsüz taşıt olması durumundaki takip aralığı değerini (saniye) ve t_{AV2i}, "*i*" nci taşıtın sürücülü bir taşıtı takip eden sürücüsüz bir taşıt olamsı durumundaki takip aralığı değerini (saniye) ifade etmektedir.

- Çalışmada, yanyol sürücülerine ait kritik aralık kabul değerlerinin Erlang dağılımına uydukları kabul edilmiştir. Kritik aralık kabul değerlerinin ortalamasının (*Tort*) 5,0; 7,5 saniye arasında değiştiği kabul edilmiştir. Kritik aralık kabulü değerinin türetilmesi için de, Dawson ve Chimni (1968) tarafından önerilmiş olan, aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır:

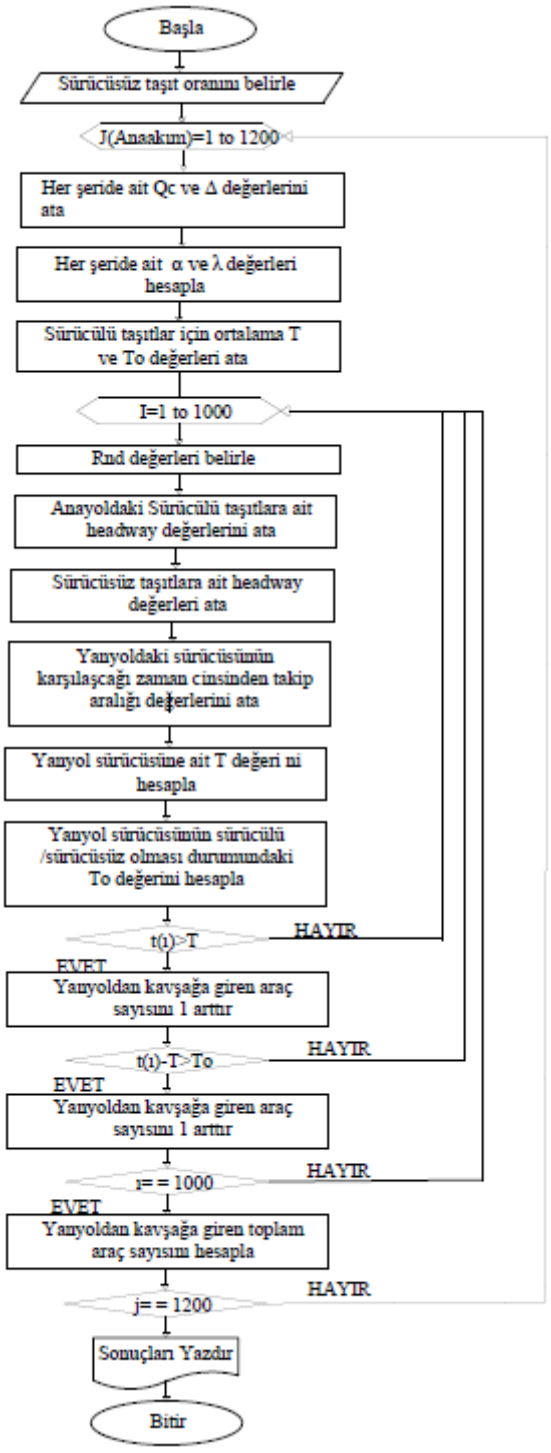
$$T = -\frac{k}{(T_{ort} - \Delta)} \ln\left(\prod_{i=1}^{k} r_i\right) \tag{15}$$

Burada *k*, Erlang Dağılımına ait şekil parametresi; r_i, 0 ile 1 arasında rastgele türetilen sayılar; T_{ort}, kritik aralık kabulü değerlerinin ortalaması; *T*, türetilen kritik aralık kabulü değeridir. Çalışmada, Çalışkanelli ve Tanyel (2016) tarafından önerilmiş ve ülkemiz koşullarını temsil etmesi açısından "*k*" değeri ve "7" olarak alınmıştır.

- Yanyoldaki sürücüsüz taşıtlara ait kritik aralık kabul değerleri Zhong v.d. (2015) tarafından önerilmiş olan (8) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

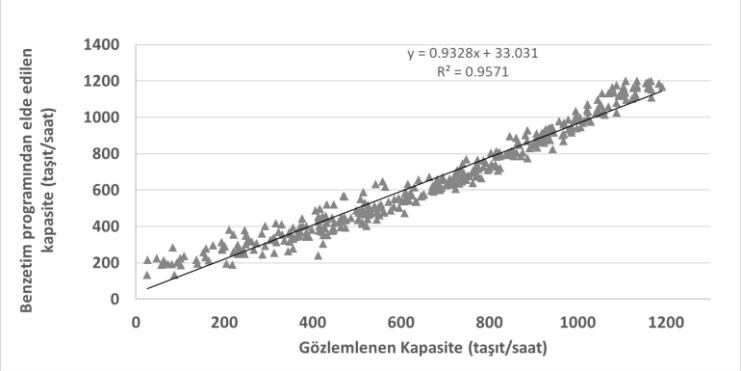
- Program, yanyoldaki taşıtın türünü (sürücülü "*CV*" veya sürücüsüz "*AV*") tanımlanan AV% değerine bağlı olarak rastgele belirlemekte ve buna bağlı olarak kritik aralık kabul değerini seçerek hesaplara devam etmektedir.

Yukarıda hesap yöntemi detaylı olarak açıklanan ve program yardımıyla, sürücüsüz taşıtların temkinli ve cesur sürüş stratejileri için yanyol kapasitesinin ne şekilde etkilendiği hesaplanmaya çalışılmıştır. Benzetim programına ait akış şeması aşağıda yer almaktadır.



Şekil 3 Benzetim programına ait akış şeması

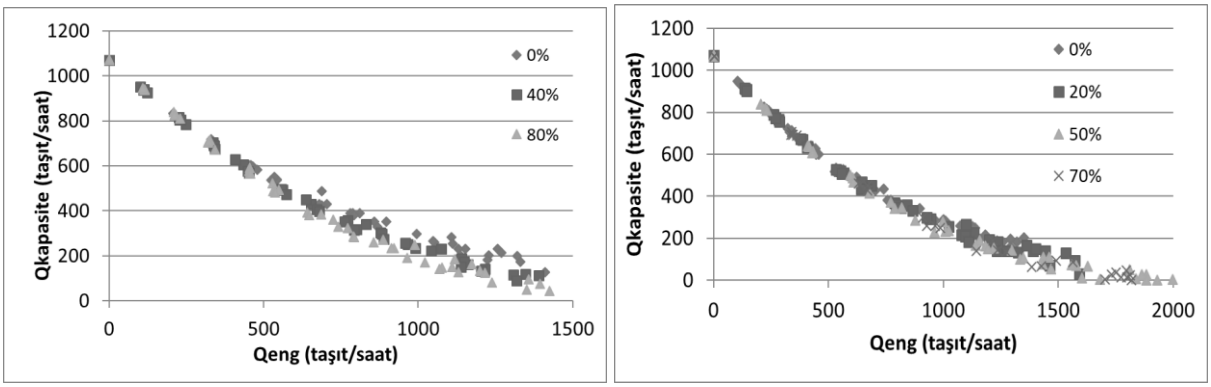
İlk olarak anayoldaki sürücülü taşıtların kapasite üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Şekil 4'te, gözlemlenen ve benzetim programından elde edilen sürücülü taşıtlara ait kapasite değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Benzetim programı sonuçları, kavşaklarda yapılan gözlem verilerini yüksek oranda temsil ettiği görülmektedir. Bu bağlamda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, hesaplamalarda kullanılan kabuller değiştirilerek farklı sürüş stratejisine sahip sürücüsüz taşıtların ışıksız kavşaklardaki kapasite hesaplamalarında kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 4 Gözlemlenen ve benzetim programından elde edilen kapasite değerlerinin karşılaştırılması

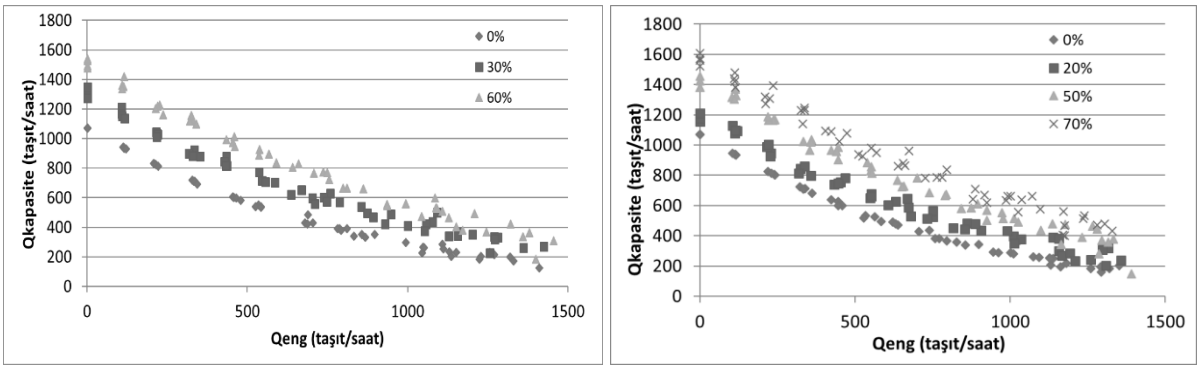
Şekil 5'te temkinli ve cesur sürüş stratejisi için sadece anayolda sürücüsüz taşıt olması durumu Şekil 6'da ise temkinli ve cesur sürüş stratejisi için sadece yanyol da sürücüsüz taşıt olması durumu Şekil 7'de ise temkinli ve cesur sürüş stratejisi için her iki yolda da aynı oranda sürücüsüz taşıt olması durumu incelenmiştir. Şekil 5 incelendiğinde, temkinli sürüş stratejisinde, anayoldaki AV% değeri arttıkça yanyol kapasitesinin özellikle yüksek anayol akımları altında düştüğü görülmektedir. Benzer bir durum cesur sürüş stratejisi için gözlemlenmekteyse de, kapasitedeki düşüş oranı, temkinli sürüş stratejisine oranla daha düşüktür. Ancak yine şekillerden, anayolda sürücüsüz taşıt oranı arttıkça anayolun bir şeridinden geçebilen taşıt sayısının da önemli oranda arttığı görülmektedir.

Şekil 6 de açıkça görülebildiği gibi, yanyol da sürücüsüz taşıt oranı arttıkça yanyol kapasitesi de önemli oranda artmaktadır. Aynı durum, yanyol ve anayolda eşit oranda sürücüsüz taşıt bulunması durumları içinde geçerlidir (Şekil 7). Ancak sürücüsüz taşıtların sağladığı iyileşme, anayol hacmi arttıkça düşmektedir.



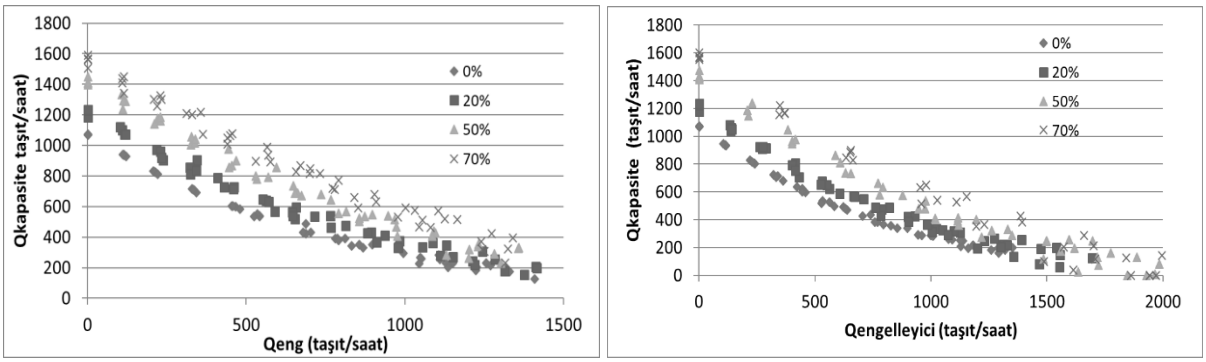
a)Temkinli sürüş stratejisi b)Cesur sürüş stratejisi

Şekil 5 Sadece anayolda sürücüsüz taşıt olması durumunda yanyol kapasitesinin değişimi.



a)Temkinli sürüş stratejisi b)Cesur sürüş stratejisi

Şekil 6 Sadece yanyolda sürücüsüz taşıt olması durumunda yanyol kapasitesinin değişimi.



a)Temkinli sürüş stratejisi b)Cesur sürüş stratejisi

Şekil 7 Her iki akımda da eşit oranda sürücüsüz taşıt olması durumunda yanyol kapasitesinin değişimi.

Sonuçlar irdelendiğinde, özellikle anayoldaki trafik akım değerleri arttıkça sürücüsüz taşıtların kavşak kapasitesine olan olumlu etkilerinin de azalabileceği görülmektedir. Bu etki temkinli sürüş stratejisinde ana akım değerlerinin 1000 taşıt/saat'e, cesur sürüş tekniğinde ise 1200 taşıt/saate eriştiği bölgelerde ortaya çıkmaktadır.

Burada önemli bir hususu vurgulamakta yarar vardır: yanyolda ki sürücüsüz taşıtların kavşağa girerken öndeki taşıtı daha yakından takip edebileceği durumu şimdilik analizlere dahil edilmemiştir. Yine de sonuçlar, belirli bir iyileşmenin sağlanabileceğini göstermektedir.

Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, İzmir İl'inde yer alan ışıksız kavşaklardan sürücülü taşıtlara ait veriler (hız, takip aralığı, kritik aralık, vb.) veriler ışığında, sürücüsüz taşıtlar için kritik aralık kabul yöntemine dayanan bir benzetim programı yardımıyla farklı sürücü stratejisine sahip sürücüsüz taşıtların trafikte farklı oranlarda yer almasıyla sürücüsüz taşıtların anayol ve yanyol kapasitesi üzerindeki etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda;

- Temkinli sürüş stratejisinde, anayoldaki AV% değeri arttıkça yanyol kapasitesinin özellikle yüksek anayol akımları altında düştüğü

- Sadece yanyol da sürücüsüz taşıt oranı arttıkça yanyol kapasitesinin de önemli oranda arttığı ve aynı durumun yanyol ve anayolda eşit oranda sürücüsüz taşıt bulunması durumunda da geçerli olduğu,

- Anayoldaki trafik akım değerleri arttıkça sürücüsüz taşıtların kavşak kapasitesine olan olumlu etkilerinin de azalabileceği tespit edilmiştir.

Çalışma sonuçları, üç kavşak verisi ile sınırlıdır. Kavşak sayısı arttıkça, sürücüsüz taşıtların kapasite üzerindeki etkisi daha sağlıklı bir şekilde anlaşılabilir. Bundan sonraki sürücüsüz taşıtlar için daha gelişmiş analiz yöntemleriyle hesap yapılması hedeflenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma kapsamında kullanılan veriler TÜBİTAK 118M637 nolu araştırma projesi kapsamında elde edilmiştir. Yazarlar desteği nedeniyle TÜBİTAK'a teşekkür eder. Birinci yazar, doktora tez çalışmaları kapsamında verdiği destek nedeniyle Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Abraham, Z. Z. M. (2015). Identifying The Optimal Highway Driving Conditions For The Integration Of Manned And Autonomous Vehicles, Doctoral Dissertation, Massachusetts Institute of Technology.

Alanazi, F., Ping, Y. and Nader, E. G. (2022) Improving The sance Of Unsignalized T-Intersections Within Cavs Mixed Traffic. Journal of Applied Engineering Science, 20 (2), pp. 464–476.

Atkins, Ltd. (2016) Research On The Impacts Of Connected And Autonomous Vehicles (Cavs) On Traffic Flow Tech. Rep., Department for Transport, UK.

Burr, I. W. (1942) Cumulative Frequency Functions. The Annals Of Mathematical Statistics, 13(2), pp. 215-232.

Cowan, R. J. (1975) Useful Headway Models. Transportation Research, *9*(6), pp. 371-375.

Cowan, R. J. (1984) Adams'formula Revised. Traffic Engineering & Control, 25(HS-037 221).

Çalişkanelli, S. P. ve Tanyel, S. (2016) Denetimsiz Kavşaklarda Yanyol Katılım Kapasitesinin Modellenmesi. Teknik Dergi, 27(1), s. 7309-7324.

Dawson, R. F. and Chimini, L. A. (1967) The Hyperlang Probability Distribution: A Generalized Traffic Headway Model. University of Connecticut, School of Engineering, Civil Engineering Department.

Friedrich, B. (2016) The Effect of Autonomous Vehicles on Traffic. Autonomous Driving: Technical, Legal and Social Aspects, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 317-334.

Hagring, O. (1998) Vehicle-vehicle Interactions at Roundabouts and their Implications for the Entry Capacity-A Methodological Study with Applications to Two-lane Roundabouts . Doctoral dissertation, Lund University.

Hang, P., Huang, C., Hu, Z., and Lv, C. (2022) Driving Conflict Resolution Of Autonomous Vehicles At Unsignalized Intersections: A Differential Game Approach. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 27(6), 5136-5146.

Li, N., Kolmanovsky, I., Girard, A., and Yildiz, Y. (2018) Game Theoretic Modeling Of Vehicle Interactions At Unsignalized Intersections And Application To Autonomous Vehicle Control. In 2018 Annual American Control Conference (ACC), IEEE , pp. 3215-3220.

Malikopoulos, A.A., Cassandras, C. G. and Zhang, Y. (2018) A Decentralized Energy-Optimal Control Framework For Connected Automated Vehicles At Signal-Free Intersections. Automatica, vol. 93, pp. 244-256.

Milakis, D., Van Arem, B., & Van Wee, B. (2017) Policy And Society Related Implications Of Automated Driving: A Review Of Literature And Directions For Future Research. Journal of Intelligent Transportation Systems, 21(4), 324-348.

Peng, B., Keskin, M. F., Kulcsár, B. and Wymeersch, H. (2021) Connected Autonomous Vehicles For Improving Mixed Traffic Efficiency In Unsignalized Intersections With Deep Reinforcement Learning. Communications in Transportation Research, 1, 100017.

Tanyel, S., Gökaşar, I., Dündar, S., Topal, A., ve Şengöz, B. (2022) Işıksız Kavşaklarda Sürücüsüz Taşıtlarla Ağır Taşıt Etkileşimlerinin İrdelenmesi. 18. Teknik Kongre ve Sergisi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Bildiriler Kitabı, s. 621-627, 7-9 Kasım, İstanbul.

Tian, R., Li, N., Kolmanovsky, I., Yildiz, Y., and Girard, A. R. (2020) Game-Theoretic Modeling Of Traffic In Unsignalized Intersection Network For Autonomous Vehicle Control Verification And Validation. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, *23*(3), 2211-2226.

Troutbeck, R. (1998) The Capacity Of A Limited Priority Merge. Physical Infrastructure Centre Research Report, Queensland University Of Technology, School Of Civil Engineering, Brisbane, Australia.

Zhong, G., Zhang, J., Yin, T. and Nie, J. (2015) A Cooperative Management Strategy Designed for Unsignalized Intersections Under a Connected Vehicle Environment, CICTP 2015 : Efficient, Safe, and Green Multimodal Transportation

Değişken Faz Planı ve Sinyal Süresinin Gecikmeye Etkisi

Ersin KORKMAZ, Erdem DOĞAN
Kırıkkale Üniversitesi Müh. ve Mimarlık Fak. İnşaat Müh. Bölümü, Kırıkkale
Tel: (0318) 357 42 42
E-Posta: edogan@kku.edu.tr ersinkorkmaz@kku.edu.tr

Ali Payidar AKGÜNGÖR
Kırıkkale Üniversitesi Müh. ve Mimarlık Fak. İnşaat Müh. Bölümü, Kırıkkale
Tel: (0318) 357 42 42
E-Posta: akgungor@kku.edu.tr

Öz

Ülkemizde ve dünyada hem nüfus hem de motorlu taşıt sayısı artışı ulaşım talebinin artmasına, şehir içi yol ağlarında yoğunluk oluşmasına ve dolayısıyla taşıt gecikmelerinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca kavşak geometrilerine bağlı kapasitenin yetersiz kalması ve yaygın olarak kullanılan sabit zamanlı devre süresi ve sabit faz planlı kontrol sistemlerinin değişen taleplere yeterince uyum sağlamaması gibi etkenler de taşıt gecikmelerindeki bu artışlarda rol oynamaktadır. Optimize edilmiş sabit zamanlı, trafik uyarmalı gibi farklı sinyal kontrol yaklaşımlarının uygulanmasıyla trafik sıkışıklığı problemine çözümler üretilmiş olsa da maksimum kavşak performansını sağlamakta yetersiz kaldığı gözlenmektedir. Yapay zekaya dayalı farklı teknikler kavşak kontrolünde uygulanmış olup geleneksel yaklaşımlara göre etkin sonuçlar elde edilmiş ve kavşak performansını iyileştirebilmiştir. Yapılan çalışmalarda genellikle yeşil süresinin trafik durumuna göre belirlenmesine ağırlık verilmiş olup bazı çalışmalarda ise faz planının da ayarlanması sağlanmıştır. Fakat hem yeşil süresinin hem de faz planının birlikte ayarlanması ve değişen trafik durumlarına göre güncellenebilen kontrol sistemleri üzerinde çalışmalar sınırlı sayıdadır ve bu sistemlerin özellikle gecikme üzerine etkileri hakkında bilgiler oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada, izole sinyalize kavşaklar için uyarlamalı olarak değişebilen faz planı ve yeşil sürenin gecikmeyi ne düzeyde iyileştirebileceğini ortaya koymak amaçlanmaktadır. Sabit zamanlı ve optimize edilmiş sabit zamanlı sistemlere göre 3 ve 4 kollu kavşaklarda önerilen yaklaşımın performansı ortaya konulmuştur. Faz planının belirlenmesinde çiçek tozlaşma algoritması, sinyal süresinin belirlenmesinde karga arama algoritması ve bulanık mantık kullanılan yaklaşım ile sabit zamanlı sisteme %34'e kadar gecikmede iyileşme sağlanabileceği belirlenmiş olup optimize edilmiş sabit zamanlı sisteme göre de %19'a kadar iyileşme sağlanabildiği görülmüştür. Aynı zamanda doygunaltı ve doygunüstü trafik durumları için de incelemeler yapılmış olup, doygunaltı trafik durumlarında %13.53 ile %26.41 arasında, doygunüstü trafik durumlarında ise %12.24 ile %14.24 arasında iyileşme sağlanabileceği belirlenmiştir. Bir kavşağın etkin olarak kontrol edilebilmesinde hem faz planının hem de sinyal süresinin etkili olduğu görülmüş olup kavşakların daha yüksek hizmet seviyesinde çalışabilmesinde trafik durumlarına göre adaptif olan sistemlerin önem arz ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar sözcükler: Trafik Sinyal Kontrolü, Çiçek Tozlaşma Algoritması, Diferansiyel Gelişim Algoritması, Karga Arama Algoritması, Tip-2 Bulanık Mantık

Giriş

Sabit zamanlı, trafik uyarmalı gibi farklı sinyal kontrol yaklaşımlarının uygulanmasıyla trafik sıkışıklığı problemine çözümler üretilmiş olsa da mevcut tekniklerin hem trafik güvenliği hem de maksimum kavşak performansı arasındaki dengeyi sağlamakta yetersiz kaldığı gözlenmektedir. Bu durum birçok araştırmacının özellikle yapay zekaya dayalı farklı tekniklerin kavşak kontrolünde uygulanabilirliğini araştırmaya itmesinin temel nedenini oluşturmaktadır. Yapay sinir ağları, bulanık mantık, meta-sezgisel algoritmalar gibi geniş bir yelpazedeki teknikler uygulanmış olup geleneksel yaklaşımlara göre etkin sonuçlar elde edilmiştir. Genellikle yeşil sürenin optimize edilmesine dayalı yaklaşımlar kullanılmakla birlikte faz planının değiştirilmesine yönelik ya da her iki yaklaşımın birlikte kullanıldığı çalışmalar yapılmıştır.

(Trabia ve diğ., 1999) gerçek zamanlı trafik taleplerine göre bulanık mantık yaklaşımına dayalı mevcut sinyal fazının uzatılmasına karar veren bir kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistemi trafik uyarmalı sistem ile karşılaştırmışlar ve ortalama gecikmeyi %9,5 azaltabildiklerini ortaya koymuşlardır. (Ceylan ve Bell, 2004) genetik algoritmaya dayalı sinyal sürelerini optimize eden bir sistem geliştirmişler ve TRANSYT software aracılığı ile sistem performans indeksini belirlemişlerdir. Karşılıklı tutarlılık çözümü yaklaşımı ile karşılaştırma sonuçları genetik algoritma yaklaşımının daha etkin olduğunu göstermiştir. (Murat ve Gedizlioğlu, 2005) izole sinyalize kavşaklar için bir bulanık mantık çok aşamalı sinyal kontrol modeli geliştirilmiştir. Bu sistem ile hem yeşil süreleri hem de faz sırasını değiştirmişlerdir. Hem trafik uyarmalı sistem hem de Sidra programı ile karşılaştırmışlar ve önerdikleri modelin daha iyi sonuçlar ortaya koyduğunu göstermişlerdir. (Chen ve Xu, 2006) bulanık mantık sinyal kontrolöründe üyelik fonksiyonları ve kural tabanının optimizasyonuna parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını uygulamışlardır. Optimize edilen yaklaşımın zamana bağlı değişen trafik taleplerinde gecikmeyi önemli derecede azaltabildiğini göstermişlerdir. (Murat ve Kikuchi, 2007) highway Capacity Manual, Webster ve Akçelik sinyal süresi modellerini bulanık mantık ile yeniden optimize etmişlerdir. Geleneksel modellerle karşılaştırma sonucunda genel olarak ortalama gecikme ve yakıt tüketimi için, bulanık optimizasyon yaklaşımından elde edilen sonuçların, üç modelden elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu bulunmuştur. (Balaji ve Srinivasan, 2009) Tip-2 bulanık mantık mimarisi ile kentsel trafik sinyal kontrol sistemi gelişmişlerdir. Singapurdaki 25 farklı kavşak verisine göre test ettikleri sistemi uyarmalı kontrol ve Tip-1 bulanık mantık kontrol sistemleri ile karşılaştırmışlar ve gecikme değerini yaklaşık 66% düşürebilmişlerdir. (He ve Hou, 2012) gecikme, durma sayısı ve kapasite değerlerinin performans indeksi olarak kullanıldığı çalışmalarında karınca koloni algoritması ile sinyal sürelerini belirlemişlerdir. Webster modeli ve genetik algoritma ile karşılaştırılan yaklaşımın Webster modeline üstünlük kurduğu ve genetik algoritmadan da daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Böylece daha düşük gecikme ve durma sayısı ile kavşak kontrolünü sağlayabilmişlerdir. (Sabetghadam ve diğ., 2012) Tip-2 bulanık mantık trafik sinyal kontrolörü geliştirerek kuyruk uzunluğuna göre performans karşılaştırması yapmışlardır. Sabit zamanlı kontrol ile yapılan karşılaştırmada kuyruk uzunluğunu yaklaşık 40% azaltabildiklerini göstermişlerdir. (Araghi ve diğ., 2014) yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımlarını trafik sinyal kontrolünde kullanarak yeşil sürelerin optimal şekilde ayarlanmasını sağlamışlardır. Bulanık mantık kontrolörde her bir linkteki kuyruk uzunluğunu giriş parametresi olarak kullanmışlardır. Sabit zamanlı kontrol sistemi ile yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımlarını karşılaştırmış ve belirgin oranda toplam gecikmeyi düşürebilmişlerdir. (Dell'Orco ve diğ., 2014) yapay arı kolonisi algoritması ile geliştirdikleri kontrolörle sinyal sürelerini belirlemişlerdir. Yapay arı kolonisi

yaklaşımını, genetik algoritma ve tepe tırmanışı algoritmaları ile karşılaştırarak daha iyi bir performansa sahip olduğunu ortaya koymuşlar ve bu yöntem ile gecikmeyi %2,4-%2,7 oranında azalttığını belirtmişlerdir. (Odeh ve diğ., 2015) genetik algoritma ile hibritleştirdikleri Bulanık Mantık yaklaşımını kullanarak adaptif trafik sinyal sistemi geliştirmişlerdir. Hibrit sistemin geleneksel Bulanık Mantık yaklaşımından %31 daha iyi performans ortaya koyduğunu ve geleneksel trafik kontrol sistemine göre %34 iyileşme sağladığını belirtmişlerdir. (Araghi ve dig., 2015) guguk arama algoritmasını kullanarak yapay sinir ağları ve uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi trafik sinyal kontrolörlerini optimize etmişlerdir. Q-öğrenme ve sabit zamanlı kontrolörler ile performans karşılaştırması yaparak guguk arama algoritmasının performansını ortaya koymuşlardır. Yapay sinir ağları ve uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi ve Q-öğrenme kontrollerinin sabit zamanlı kontrole göre sırasıyla %44, %39 ve %35 iyileşme sağlayabildiğini göstermişlerdir. (Doğan ve Akgüngör, 2016) bulanık mantık trafik kontrolör geliştirmiş ve bulanık mantık sistemini diferansiyel evrim algoritması ile optimize etmişlerdir. İki seviyede gerçekleştirdikleri optimizasyonda ilk seviyede üyelik fonksiyonlarının minimum ve maksimum noktalarını belirlemişler ve ikinci seviyede ise belirlenen aralıklarda en düşük gecikmeyi elde edecek şekilde üyelik fonksiyonlarını yeniden ayarlamışlardır. Düşük, orta ve yüksek trafik durumlarına göre kavşak performansını sırasıyla %52, %48 ve %14 iyileştirebilmişlerdir. (Araghi ve diğ., 2017) aralıklı tip 2-bulanık trafik sinyal kontrolörü benzetimli tavlama, genetik algoritma ve guguk arama algoritmaları ile optimize ederek kontrol sisteminin performansını iyileştirmişlerdir. Sabit zamanlı kontrole göre guguk arama algoritması yaklaşımı ile %31, genetik algoritma yaklaşımı ile %17 ve benzetimli tavlama yaklaşımı ile %3 iyileştirme sağlayabilmişlerdir. (Chatterjee ve diğ., 2019) dinamik trafik verilerini içeren büyük kavşaklardaki belirsizliklerin üstesinden gelmek için gölgeli Tip-2 bulanık mantık yaklaşımını kullananmışlar ve yeni bir kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Modelin üstünlüğünü altı yönlü kavşak üzerinde test etmişler ve toplam bekleme süresinde düşüşler sağlayabilmişlerdir. (Çakıcı ve Murat 2019) diferansiyel evrim algoritmasını kullanarak bir trafik kontrol sistemi geliştirmiştir. Sinyal süresi ve fazının optimize edildiği bu yaklaşım, sabit zamanlı ve uyarlamalı kontrol sistemleri ile karşılaştırılmıştır. Ortalama araç gecikmesi, sabit zamanlı kontrole kıyasla %28-%42 ve uyarlamalı kontrole kıyasla %3-%38 oranında azalmayı başarmışlardır. (Korkmaz ve Akgüngör 2021) çiçek tozlaşma algoritmasını kullanarak bir trafik kontrol sistemi geliştirmiştir. Sinyal zamanlamasının ve fazın optimize edildiği bu yaklaşım, sabit zamanlı ve bulanık mantık sistemleri ile karşılaştırılmıştır. Ortalama araç gecikmesi, sabit zamanlı kontrole göre %12-%30 ve BM sistemine göre %0,77-%3 oranında azaltılabilmiştir.

Bu çalışmanın temel motivasyonu, trafikteki değişimlere hızlı tepki verebilen ve daha düşük gecikme değeri ile kavşak kontrolüne olanak sağlayan dinamik bir kontrol sistemi geliştirmektir. Literatürdeki birçok çalışma ile farklı yapay zekâ tabanlı yaklaşımların kavşak kontrolünde başarılı sonuçlar elde ettiği görülmektedir. Mevcut kontrol sistemlerinin çoğunda yeşil süre optimizasyonu yaklaşımı kullanılmış ancak kavşak performansını artırmak için tek başına yeterli olmamıştır. Aynı zamanda faz planının kavşak performansı üzerinde de etkisi de bulunmaktadır ve dinamik bir faz planı oluşturmak oldukça önemlidir. Bu nedenle, değişen trafik koşullarına uyum sağlayabilen, sinyal süresini ve faz planını optimize edebilen dinamik bir trafik kontrol sistemi geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Önerilen dinamik trafik kontrol sisteminin mevcut sistemlerden daha iyi performans gösterebilmesi için faz planı ve sinyal süreleri optimize edilmiş ve faz sırasının değişken olması sağlanmıştır. Modüler yapıda geliştirilen bu sistem ile faz ve yeşil süre optimizasyonunun etkileri net bir şekilde gösterilebilmektedir. Trafik, stokastik yapısı nedeniyle belirsizlikler içerir. Bu belirsizliklere uyum sağlayacak

bir kontrol sistemi geliştirmek için bulanık mantık yaklaşımı tercih edilmiştir. Tip-2 bulanık mantık yaklaşımının, birçok belirsizliğin olduğu trafik kontrolünde etkili bir performans sergilediği de bilinmektedir. Aynı zamanda, yeşil süresini optimize etmek ve bulanık mantık yaklaşımını farklı trafik durumlarına uyarlamak için etkili optimizasyon yöntemlerine ihtiyaç vardır. Bu problemde birçok farklı optimizasyon yöntemi olmasına rağmen hızlı ve etkili performans algoritmaları tercih edilmiştir. Çiçek tozlaşma ve karga arama algoritmaları birçok mühendislik probleminde başarılı sonuçlar göstermiştir. Bu algoritmalar yaygın olarak kullanılan genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyonu, diferansiyel evrim gibi algoritmalardan daha iyi performans göstermekte ve hızlı bir şekilde çözüme ulaşabilmektedir. Çiçek tozlaşma algoritması, faz optimizasyon modülünde minimum gecikme değerini ortaya çıkaran faz planını belirlemek için tercih edilmiştir. Aynı zamanda belirlenen faz planının optimum devre süresinin belirlenmesi bu modülde gerçekleştirilmektedir. Faz optimizasyonunun yanı sıra faz seçimi de sağlanmakta ve belirlenen faz planında hangi faza öncelik verileceği belirlenmektedir. Faz sırası, fazlara ait araç sayısına göre belirlenmiş ve araç sayısı en fazla olan faza öncelik verilecek şekilde oluşturulmuştur. Yeşil süre optimizasyon modülünde, belirli bir kavşak geometrisi, faz planı ve devre süresi ile izole edilmiş bir kavşağın yeşil sürelerinin Tip-2 bulanık mantık yaklaşımı ile arttırılıp azaltılacağına karar verilmektedir. Bulanık mantık yönteminin farklı trafik durumlarına göre optimize edilmesi, daha düşük gecikme değerleri ile kavşak kontrolüne olanak sağlarken sistemin her trafik durumuna uyum sağlamasına da olanak vermektedir ve bulanık mantık yaklaşımının üyelik fonksiyonları KAA kullanılarak optimize edilmiştir. Özetle, Çiçek tozlaşma algoritması ile faz planını ve optimum devre süresini belirleyen ve karga arama algoritması ile optimize edilmiş Tip-2 bulanık mantık ile yeşil süre değişimini belirleyen yeni bir hibrit trafik sinyal kontrolörü ortaya konulmuştur. Bu çalışmanın en önemli katkısı ve diğer çalışmalardan farkı, yeşil sürenin, faz planının ve sıralamanın birlikte optimize edilmiş olmasıdır. Ayrıca hibrit sinyal kontrol sistemi trafik değişikliklerini sürekli kontrol ederek yeşil süreleri, faz planını ve sıralamayı aynı anda değiştirebilen bir kontrol yaklaşımıdır.

Hibrit Trafik Kontrol Sistemi

Önerilen hibrid trafik kontrol sisteminde karga arama algoritması ile optimize edilen Tip-2 bulanık mantık yaklaşımı ve çiçek tozlaşma algoritması yaklaşımı birlikte kullanılmaktadır. Polenle üreme sürecin evrimsel karakteristiği 2012 yılında Yang tarafından, çiçek tozlaşma algoritması olarak ortaya konulmuştur. Ortaya konulduğu günden beri hızlı bir şekilde popülaritesini arttıran bir algoritma olmuş ve farklı alanlardaki birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Farklı alanlardaki uygulamaları ve mevcut yapay zekâ yaklaşımları ile performans kıyaslamalarında rekabet edici özelliklere sahip olduğu ve üstünlük gösteren sonuçları ortaya koyduğu görülmüştür. Çiçekli bitkilerin üreme davranışının temelinde en uygun biyolojik canlılığın devam etmesi yatmakta ve bunun için tozlaşma yöntemi kullanılmaktadır. Bu nedenle bitkiler iki farklı tozlaşma yöntemi kullanmaktadırlar. Kelebek, kuş, böcek gibi herhangi bir canlı tozlaştırıcı ile sağlanan tozlaşma yöntemi biyotik tozlaşma olarak adlandırılır ve bitkilerdeki tozlaşmanın %90'ı bu yöntemle gerçekleşmektedir. Su ya da rüzgâr gibi canlı olmayan bir taşıyıcı ile polenlerin taşınması durumu ise abiyotik olarak adlandırılmakta ve %10 oranında tozlaşmada kullanılmaktadır. Bu üreme davranışına göre çözümü arayan bu algoritmanın dört temel kuralı vardır.

Kural 1: Levy uçuşuna göre taşıyıcıların tozlaşmayı sağlaması küresel tozlaşma işlemidir ve biyotik tozlaşma olarak adlandırılır.

Kural 2: Abiyotik tozlaşma işlemi yerel tozlaşma işlemidir.
Kural 3: Üretim olasılığı çiçek sabiti adı verilen bir katsayı ile sağlanmakta ve çiçek türlerinin benzerliğiyle orantılı değişmektedir.
Kural 4: Yerel ve global tozlaşma işlemi [0-1] aralığında geçiş olasılığı değişkeni ile kontrol edilir.

Askarzadeh karga sürülerinin akıllı davranışından ilham alarak popülasyon tabanlı sezgisel algoritmayı geliştirmiştir. 2 parametre ile kontrol edilebilen bir algoritma olduğundan dolayı farklı alanlara kolaylıkla uygulanabilmektedir. KAA algoritması çalışmasında dört temel prensip bulunmakta olup bunlar;

- Kargalar sürü şeklinde yaşar.
- Kargalar saklanma yerlerinin konumunu ezberler.
- Kargalar hırsızlığı yapmak için birbirini takip eder.
- Kargalar, hırsızlıklara karşı tedbirlidirler ve yakalanma olasılıklarına karşı kendilerini korurlar.

Bulanık Mantık yaklaşımı Zadeh tarafından ortaya konulmuştur. Mutlak kesin diye bir şeyin olmadığı bu yaklaşımda her şey 0 ile 1 arasında ifade edilebilmektedir. Diğer bir değişle her şey bulanık küme kuramıyla ifade edilmektedir ki bu küme de elemanlar arası kesin bir ayrım yoktur ve sınırları açıkça belli değildir. Tip-1 bulanık mantık yaklaşımı yüksek dereceli belirsizliklerin olduğu problemlerde yetersiz kalmaktadır. Aynı zamanda üyelik fonksiyonları, sınır değerleri ve kural tabanı yeni belirsizliklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle Tip-2 bulanık mantık kavramı ortaya çıkmıştır. Tip-2 bulanık mantıkta ise her bir parametrenin üyelik dereceleri bulanık küme içerdiğinden dolayı üyelik fonksiyonları ile tanımlanmaktadır. Bu durum serbestlik derecesinin artmasını sağlamakta ve fazladan serbestlik derecesi ile Tip-2 bulanık mantıkta belirsizliklerin daha iyi ifade edilebilmesi mümkün olmaktadır. Tip-2 bulanık kümelerin kullanımı belirsizliklerin olmasına göre sıklık göstermekte olup bir kümeye ait üyelik fonksiyonunu tanımlanırken üyelik fonksiyonu net olarak belirlenemiyorsa tercih edilmektedir. Tip-1 ve Tip-2 bulanık kümelerde mantık birbirine benzerken temel farklılık boyutsal olarak ortaya çıkmaktadır. Yani, Tip-1 bulanık kümelerde iki boyutlu üyelik fonksiyonları kullanılırken, Tip-2 bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları üç boyutludur. Tip-2 bulanık mantık sisteminin yapısı Tip-1 bulanık mantık sistemine çok benzemektedir. Tek farklılık Tip-2 bulanık mantık işlem bloğunda tip azaltıcı işlemin bulunmasıdır. Böylece son işlem olan durulaştırma ile keskin çıkış değerinin basit şekilde elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

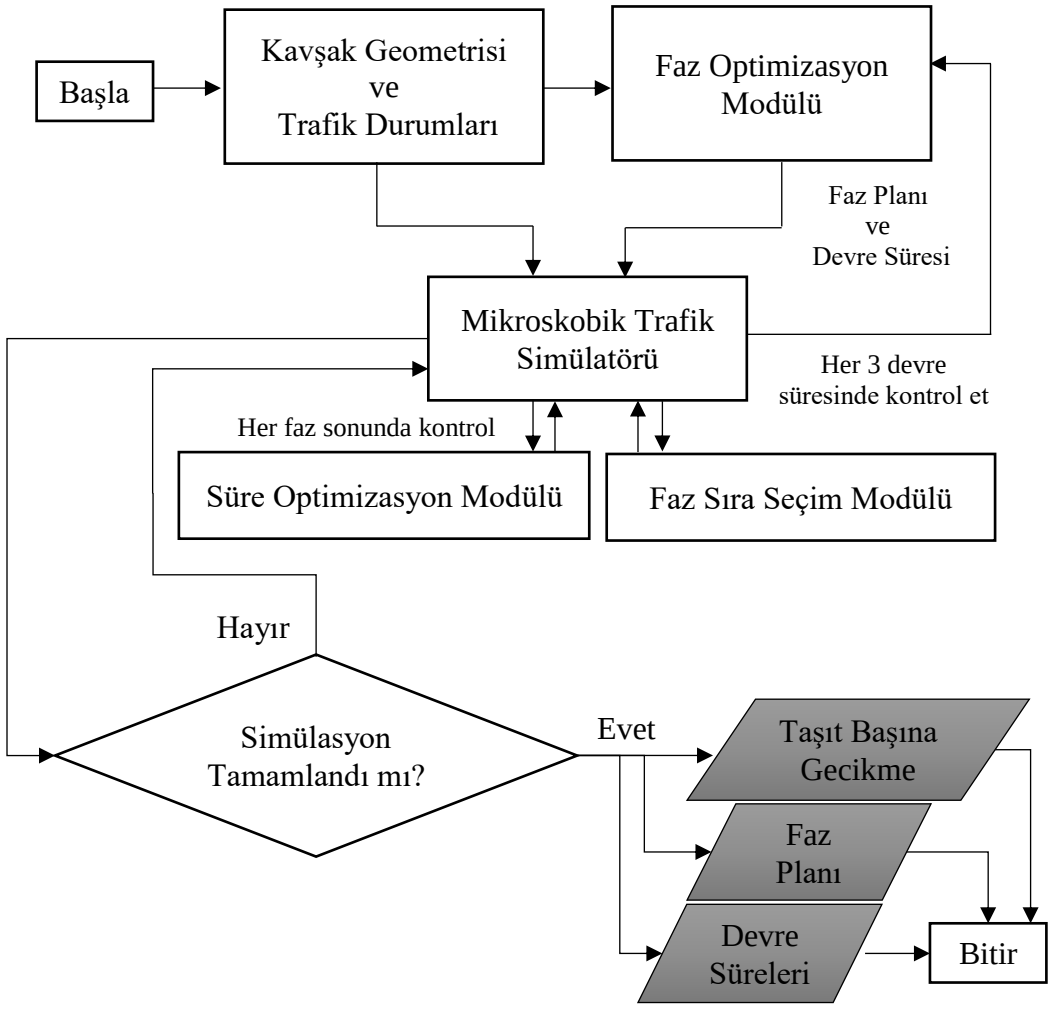
İki ana modülden oluşan sistemin birinci modülünde çiçek tozlaşma algoritması kullanılarak faz plan optimizasyonu yapılmakta ve ikinci modülünde ise bulanık mantık yaklaşımı ile süre optimizasyonu gerçekleştirilmektedir. Faz modülde kavşağın kaç fazda çalışacağı ve hangi şeritlerin fazlarda hareket edeceğine karar verilmektedir. Kavşak geometrisi ve trafik hacimlerine göre faz planı belirlenirken Highway Capacity Manual gecikme bağıntısı amaç fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Böylece bütün faz kombinasyonları arasından en düşük gecikmeyi veren faz planının belirlenebilmesi sağlanmaktadır. Bir kavşağın uygun faz planı ile işletiminde gecikmenin minimize edilmesini sağlamak kadar trafik güvenliğinin de maksimize edilmesini sağlamak da gerekmektedir. Bu modülde güvenlik kriteri de göz önüne alındığı için faz planı belirlenirken trafik akımlarının kesişmesine izin verilmemekte sadece sola ve sağa dönüşlerde katılmalara izin verilmektedir. Özellikle sola dönen araçların ayrı bir fazda

çalışıp çalışmayacağı hem gecikme hem de trafik güvenliği açısından önem arz etmektedir. Bu hususta modül güvenlik kriterine göre çalışmaktadır. Roess'in trafik mühendisliği kitabında belirttiği kurala göre sola dönen trafik hacmi ile sola dönen trafik hacmini kesen hacmin çarpımı 50.000 araç/saat'den küçük ise katılmaya izin verilmekte eğer değil ise sola dönecek araçlar için ayrı bir faz oluşturulmaktadır. Aynı zamanda belirlenen faz planına göre optimum devre süresi de elde edilebilmektedir. Optimum devre süresinin belirlenmesinde minimum ve maksimum yeşil süreleri belirlemek için kısıtlar konulmuştur. Bu kısıtlarda minimum yeşil süre 8 sn. ve maksimum yeşil süre 60 sn. olarak belirlenmiştir. Böylece devre süreleri 22 sn. ile 252 sn. arasında değişim göstermektedir. Faz optimizasyon modülünde elde edilen optimum devre süresinin kavşak kollarındaki trafik bilgisine göre optimize edilmesi kontrol sisteminin dinamikliğini sağlamaktadır. Süre optimizasyonu modülünde ise her bir fazın bitiminde bir sonraki faz için yeşil sürelerinin araç sayısı ve kuyruk uzunluğuna göre arttırılması ya da azaltılması gerektiğine karar verilmektedir. Araç sayısı ve kuyruk uzunluğu araç gelişlerindeki rastgeleliğe göre değişim gösterdiği için belirsizlikler ortaya çıkmaktadır. Bu noktada bulanık mantık yaklaşımın kullanılması ile bu belirsizlikler ifade edilebilmekte ve uygun çözümler sağlanabilmektedir. İki giriş değişkeni ve tek çıkış değişkeni olacak şekilde oluşturulan sugeno Tip-2 bulanık mantık süre optimizasyonu modülüyle -6 sn ile +6 sn. arasında yeşil süreler değiştirilmektedir. Böylece faz optimizasyon modülü içerisindeki optimum devre süresinin belirlenmesi esnasında yeşil sürelere uygulanan 8 sn. ile 60 sn. kısıtlarının altında veya üstünde süre ihtiyacı olduğunda bu talep karşılanabilmektedir. Dolayısı ile, yeşil süre kısıtlarından kaynaklanan gecikmeler ortadan kaldırılabilecektir. Önerilen sistem kapsamında, faz optimizasyonu ve süre optimizasyonu modüllerine ait amaç fonksiyonu, karar değişkeni ve kısıtlar Tablo 1'de sunulmaktadır. Önerilen sisteminin genel çalışma yapısı Şekil 1'de verilmiş olup faz modülü ve süre modülü akış diyagramları sırasıyla Şekil 2 ve 3'de gösterilmiştir.

Tablo 1. hibrid trafik kontrol sistemi amaç fonksiyonu, karar değişkenleri ve kısıtlar

<table>
<tr><th colspan="3">Faz Optimizasyonu Modülü</th></tr>
<tr><td>Amaç Fonksiyonu
(k kavşaktaki şerit sayısı)</td><td colspan="2">$f = \min\left\{\frac{\sum_{l=1}^{k} d_l}{\sum_{l=1}^{k} q_l}\right\}$</td></tr>
<tr><td>Karar Değişkenleri</td><td>g_i</td><td>g faza ait yeşil ışık süresi
i kavşaktaki faz sayısı</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Kısıtlar</td><td colspan="2">$8 \leq g_i \leq 60$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$0 \leq \frac{q_i \times C}{s \times g_i} \leq 1.4$</td></tr>
<tr><th colspan="3">Süre Optimizasyonu Modülü</th></tr>
<tr><td>Amaç Fonksiyonu</td><td colspan="2">$f = \min\left\{\sum_{l=1}^{k} d_n\right\}$</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Karar Değişkenleri</td><td>$g_{değişim}$</td><td>$g_{değişim}$ yeşil ışık süresi değişim miktarı</td></tr>
<tr><td>m_i</td><td>m_i BM üst üyelik fonksiyonları merkezleri</td></tr>
<tr><td>b_i</td><td>b_i BM üst üyelik fonksiyonları sol bacakları</td></tr>
<tr><td>b_j</td><td>b_j BM üst üyelik fonksiyonları sağ bacakları</td></tr>
</table>

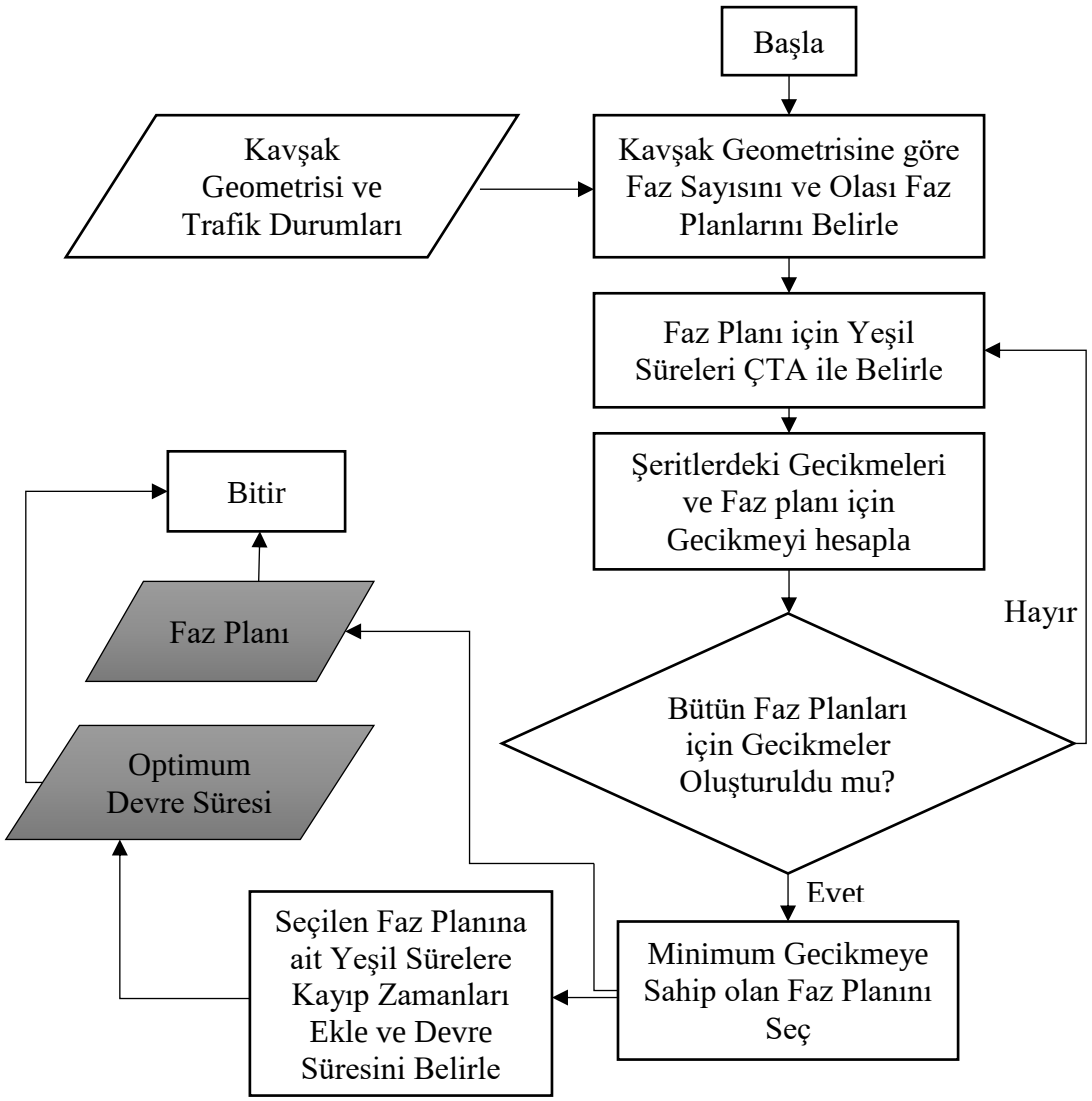
	m_{ii}	m_{ii} BM alt üyelik fonksiyonları merkezleri
	b_{ii}	b_{ii} BM alt üyelik fonksiyonları sol bacakları
	b_{jj}	b_{jj} BM alt üyelik fonksiyonları sağ bacakları
Kısıtlar	$-6 \leq g_{değişim} \leq +6$	
	$m_i \leq m_{i+1}$	
	$m_i = m_{ii}$	
	$b_i \leq m_i$	
	$b_j \geq m_i$	
	$b_i \leq b_{ii} \leq m_i$	
	$m_i \leq b_{jj} \leq b_j$	



Şekil 1. Hibrid trafik kontrol sistemi genel yapısı

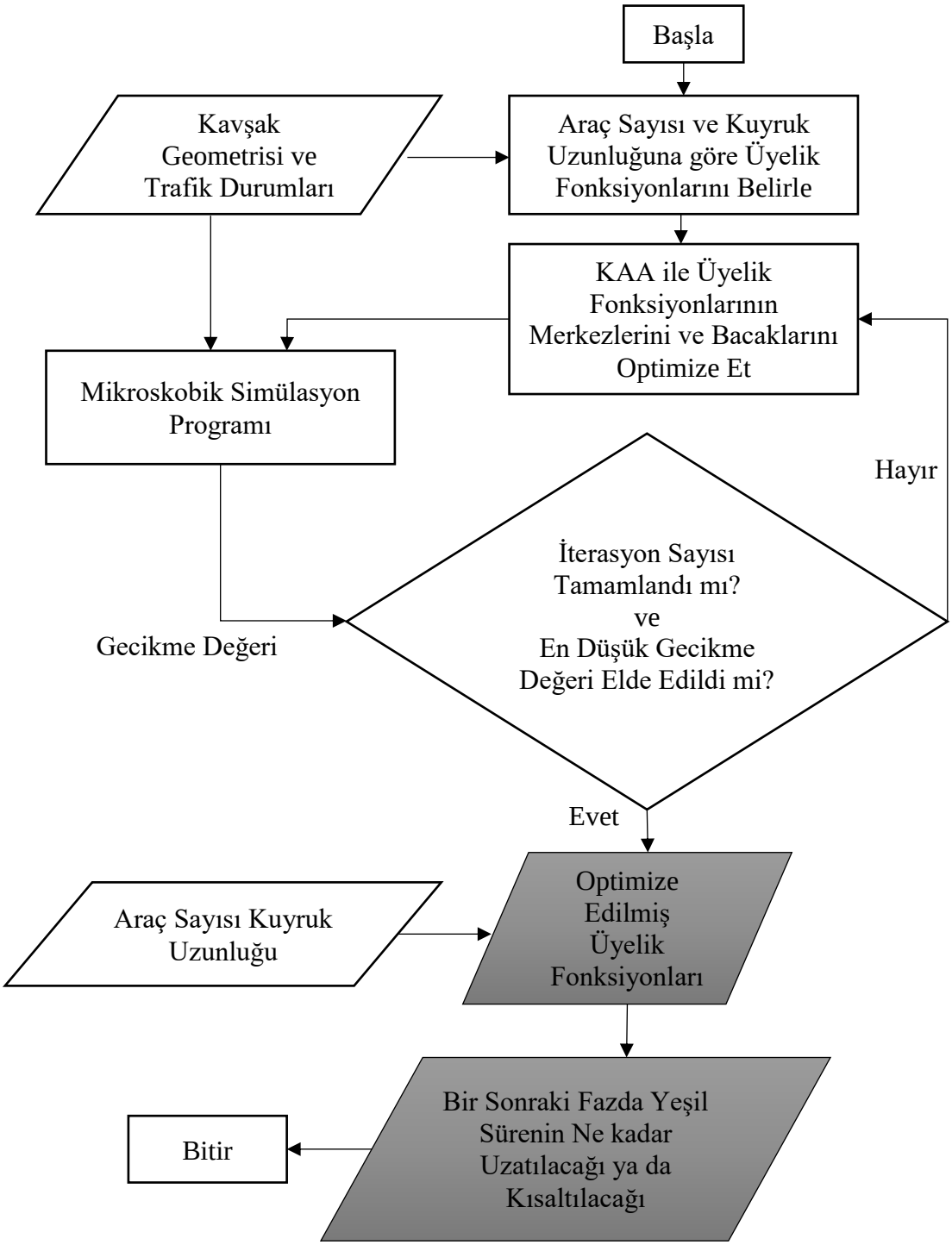
Önerilen sistemde faz optimizasyon modülün etkinliğini arttırabilmek için sistem içerisinde daha fazla görev almasının sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle kaç devrede bir faz kontrolünün yapılacağına karar verirken ne çok kısa tutularak süre optimizasyonunun etkisiz hale getirilmesinden, ne de uzun tutup faz modülünün kullanımının azaltılmasına sebep olmaktan kaçınılmıştır. Faz optimizasyon modülünün kaç kez çalışacağının belirlenmesinde belirleyici unsur simülasyon süresidir. Simülasyon

süresi olarak 900 sn. kullanılmış olup 900 sn. simülasyon süresinin bir kavşağın performansını göstermek için yeterli bir zaman dilimi olmasından dolayı bu süre tercih edilmiştir. Kaç devrede bir kontrol edilmesinin belirlenmesinde simülasyon süresi kadar devre süreleri de önem teşkil etmektedir. Geliştirilen sistemin düşük, orta ve yüksek trafik akımlarına cevap verebilecek şekilde çalışabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle özellikle yüksek trafik akımlarında devre süresi fazla olacaktır. 900 sn. simülasyon süresi içerisinde faz optimizasyon modülünün en az iki kez sistemde çalışması planladığı için 140 sn. devre süresi kritik eşiktir. Böylece simülasyon süresi 420. sn. ve 840. sn.'de faz modülü devreye girebilecektir. Daha yüksek devre sürelerinin olduğu trafik durumlarında ise mecburen bir kez devreye girecektir. Bu nedenle maksimum faz modülü kontrol devre sayısı 3 olmaktadır. 3 devreden daha fazla seçilmesi durumunda ise kritik devre süresi eşiği daha düşük olacağından yüksek trafik akımlarında performans yetersizliğine sebep olacaktır. 1 ve 2 devrede bir kontrol edilme durumları ise süre optimizasyon modülü göz önüne alınarak uygun bulunmamıştır. Her devrede bir faz optimizasyon modülünün çalışması durumunda süre optimizasyon modülünün çalışmaması ve 2 devrede bir olması durumunda ise süre optimizasyon modülünün sadece bir kez devreye girmesi tercih edilmeme sebepleridir. Böylece 3 devrede bir kontrol edilmesiyle 900 sn. simülasyon süresi içerisinde hem faz hem de süre optimizasyon modüllerinin en az iki kez çalışmasına olanak sağlanmıştır. Bu aşamada bir diğer önemli husus ise 3 devre süresi bittiğinde simülasyonda kesinti olmaksızın faz optimizasyonun yapılabilmiş olmasıdır. Bu nedenle 3. devre süresinde son faz çalışırken faz optimizasyonu modülü paralel olarak çalıştırılmakta ve 3. devre süresinin bitiminde yeni faz düzeni hazır hale getirilmektedir. Böylece simülasyon ortamında herhangi bir kesinti olmaksızın optimizasyon ve simülasyonlar devam ettirilmektedir.



Şekil 2. Faz optimizasyon modülü akış diyagramı

Süre optimizasyon modülünde bulanık mantık yaklaşımının tek bir üyelik fonksiyonuna göre çalıştırılması farklı trafik durumlarında yetersizliklere sebep olmaktadır. Bu nedenle her bir trafik durumuna göre üyelik fonksiyonlarının optimize edilmesi kaçınılmazdır. Her bir trafik durumu için üyelik fonksiyonlarının optimizasyonu karga arama algoritması yaklaşımı ile sağlanmıştır. En düşük gecikme değerinin elde edilmesi amaçlanan karga arama algoritması yöntemine göre her bir üyelik kümesinin merkezi ve bacakları optimize edilmiştir. Süre optimizasyon modülünün başta oluşturduğu taşıt sayısı ve kuyruk uzunluğu üyelik fonksiyonları sırasıyla 7 ve 6 kümeye ayrılmış ve üyelik dereceleri belirlenmiştir. Taşıt sayısı üyelik fonksiyonunun 7 kümeye ayrılması, ölçüm aralığı olan 175 m'de bulunan maksimum 35 otomobil sayısına göre (taşıt uzunluğu 5m) belirlenmiştir. Kuyruk uzunluğu üyelik fonksiyonu ise her 30 m'de kümelere ayrılmıştır.



Şekil 3. Süre optimizasyon modülü akış diyagramı

Tip-2 BM yaklaşımında belirsizliklerin ifade edilebilmesi için üst üyelik fonksiyonunu ve alt üyelik fonksiyonunu bulunmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının optimizasyonunda Tip-2 BM yaklaşımının çalışma mantığıyla çakışmasına yol açacak şekilde düzenlemelerin önlenmesi için kısıtlar konulmuştur. Üst üyelik fonksiyonlarının merkezlerinin yerinin belirlenmesinde kümelerin diğer kümelere göre konumlarının değişmesi engellenmiştir. Bir diğer önemli kısıt alt üyelik fonksiyonları ile alakalıdır. Tip-2 BM yaklaşımında alt üyelik fonksiyonlarının merkezlerinin üst üyelik fonksiyonları ile aynı konumda olması gerekmektedir. Merkezlerde olduğu gibi üyelik

fonksiyonlarının bacaklarının optimize edilmesinde de kısıtlar söz konusudur. Üst üyelik fonksiyonlarında bir kümenin bacaklarının konumu komşu kümelerinin sınırlarını geçememektedir. Alt üyelik fonksiyonunda ise bacakların konumu bulunduğu üst üyelik fonksiyonunun sınır değerleri içerisinde kalmalıdır. Bulanık mantık yaklaşımında çıkış kümesinin hangi aralıklarda yeşil sürenin arttırılıp azaltılacağına karar vermesinde farklı süreler farklı trafik durumlarına göre 3 ve 4 kollu kavşaklar üzerinde incelenmiştir. En düşük gecikme değerini veren -6 ile +6 sürelerinin kullanılması uygun olduğu görülmüştür.

Simülasyon Sonuçları ve Performans Karşılaştırma

Geliştirilen kontrol sisteminin, birçok trafik durumuna ve farklı kavşak geometrilerine uygun olması ve etkili sonuçlar ortaya koyabilmesi gerekmektedir. Yeni önerilen kontrol sistemlerinin uygunluğu mevcut sistemlerle performans karşılaştırması yapılarak istatistiksel olarak Ortalama Yüzdesel Hatalar (OYH) ile ortaya konulmuştur.

$$OYH = {}^{1}/_{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{Gecikme_r - Gecikme_h}{Gecikme_r} * 100$$

Burada n örnek sayısı, $Gecikme_r$ referans alınacak kontrol sisteminin gecikme değerini ve $Gecikme_h$ yüzdesel hatası hesaplanacak kontrol sisteminin gecikme değerini ifade etmektedir.

Sabit zamanlı kontrol sistemin yanı sıra yapay zekâ yaklaşımı ile sabit zamanlı sistemin performansını iyileştirmek için optimum devre süresi (ODS) tahminine dayalı sabit zaman sistemi ile karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. HCM gecikme bağıntısının amaç fonksiyonu olarak kullanıldığı yaklaşımda trafik durumuna göre en düşük gecikmeyi verecek devre süresinin belirlenmesi diferansiyel evrim algoritması ile sağlanmıştır. Önerilen kontrol yaklaşımın performans değerlendirmesinde farklı trafik durumları ve kavşak geometrileri göz önüne alınmıştır. Düşük, orta ve yüksek olmak üzere trafik hacimleri içeren 15 farklı senaryo oluşturulmuştur. Ayrıca 3 kollu ve 4 kollu olmak üzere 4 farklı kavşak geometrisine göre simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyon için yapılan kabuller ise aşağıdaki gibidir.

- Her kol 2 şeritli, şerit genişlikleri 3.6m ve eğim 0'dır.
- Başlangıç kaybı 3.6 sn'dir.
- Serbest akım hızı 50 km/saat'tir.
- Kayıp zamanlar; sarı ışık 2 sn ve her yöne kırmızı 1 sn olarak alınmıştır.
- Sağa dönüşler %10 ve sola dönüler %20 olarak belirlenmiştir.
- Doygun akım 1800 (araç/saat)/şerit olarak ayarlanmıştır.
- Simülasyon süresi 15 dakikadır.
- Yayalar fazlar arası geçiş yapmaktadır.
- Sürücüler herhangi bir ihlal yapmamaktadır.

Farklı araç tiplerinin gecikme üzerindeki etkisini de sisteme dahil etmek için 5 farklı araç tipinin sistemde simülasyonunun yapılması sağlanmıştır. Otomobil, minibüs, otobüs, kamyon ve tır olarak farklı uzunluklara ve hızlanma-yavaşlama ivmelerine sahip araçlar kullanılmıştır. Senaryolarda oluşturulan trafik durumlarında %80 otomobil, %10 minibüs, %5 otobüs, %3 kamyon ve %2 tır olarak araç tipi dağılımı oluşturulmuştur. Simülasyonda kullanılan trafik senaryoları 3 ve 4 kollu kavşaklar için Tablo 2 ve 3'de

verilmiştir. Her koldan gelen trafik hacimlerinin aynı olması durumu eşit olarak, kollarda farklı trafik hacimlerinin olması durumu da karışık olarak ifade edilmiştir.

Tablo 2. 3 kollu kavşak için trafik senaryoları

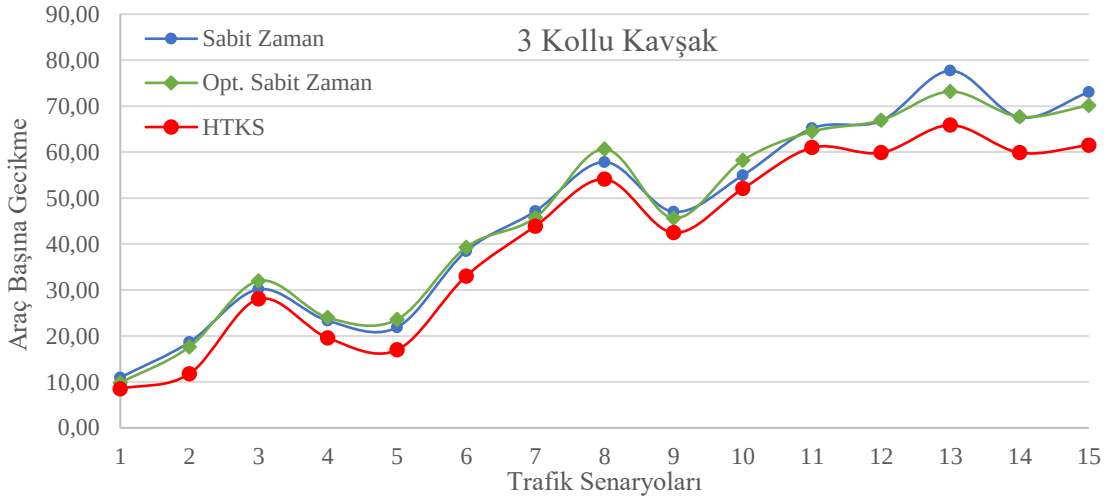
Durum	Trafik Şablonları	Doğu (araç/s)	Batı (araç/s)	Kuzey (araç/s)
Düşük	Eşit	100	100	100
	Eşit	250	250	250
	Eşit	400	400	400
	Karışık	100	250	400
	Karışık	400	250	250
Orta	Eşit	500	500	500
	Eşit	650	650	650
	Eşit	800	800	800
	Karışık	500	650	650
	Karışık	650	800	800
Yüksek	Eşit	900	900	900
	Eşit	1050	1050	1050
	Eşit	1200	1200	1200
	Karışık	900	1050	1050
	Karışık	1200	1200	900

Tablo 3. 4 kollu kavşak için trafik senaryoları

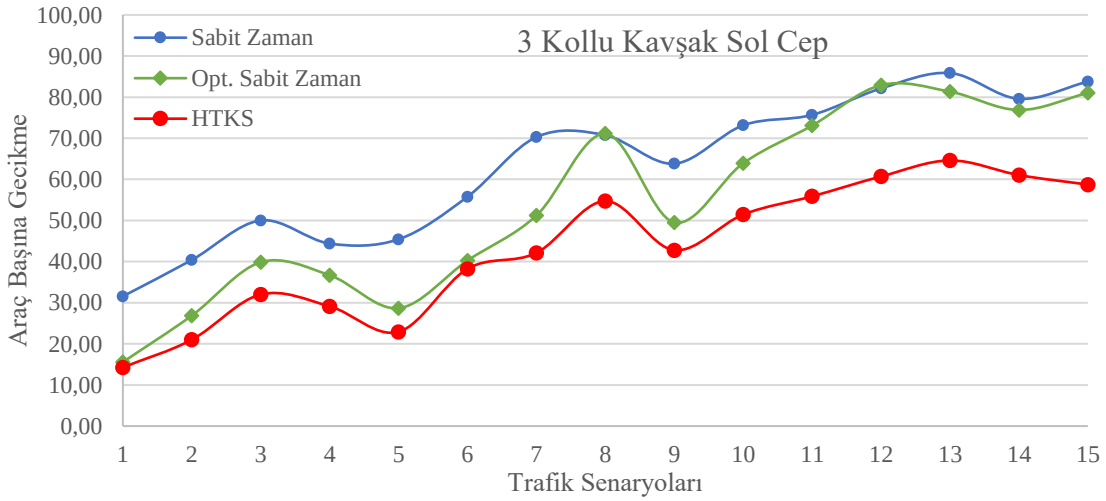
Durum	Trafik Şablonları	Doğu (araç/s)	Batı (araç/s)	Kuzey (araç/s)	Güney (araç/s)
Düşük	Eşit	100	100	100	100
	Eşit	250	250	250	250
	Eşit	400	400	400	400
	Karışık	100	250	400	400
	Karışık	400	250	250	100
Orta	Eşit	500	500	500	500
	Eşit	650	650	650	650
	Eşit	800	800	800	800
	Karışık	500	650	650	800
	Karışık	650	800	800	500
Yüksek	Eşit	900	900	900	900
	Eşit	1050	1050	1050	1050
	Eşit	1200	1200	1200	1200
	Karışık	900	1050	1050	1200
	Karışık	1200	1200	900	1050

Simülasyon ortamında araç gelişleri ve sürücü davranışları çekirdek (seed) numarasına göre değişkenlik gösterdiği için gecikmenin belirlenmesinde tek bir çekirdek numarasının

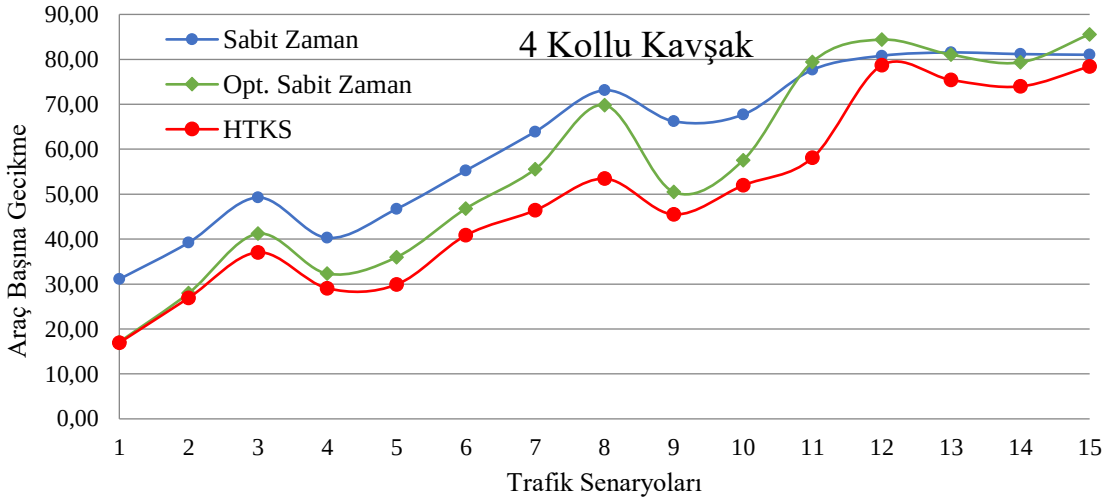
kullanılması sonuçların yanıltıcı olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında 20 farklı çekirdek numarası kullanılarak her bir trafik durumu simüle edilmiş ve 20 farklı gecikme değerinin ortalaması alınarak her bir trafik durumuna ait gecikme değeri elde edilmiştir. Her bir kavşak geometrisinde yapılan simülasyonlara göre trafik durumlarına ait ortalama gecikme değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 4-7'de verilmiştir.



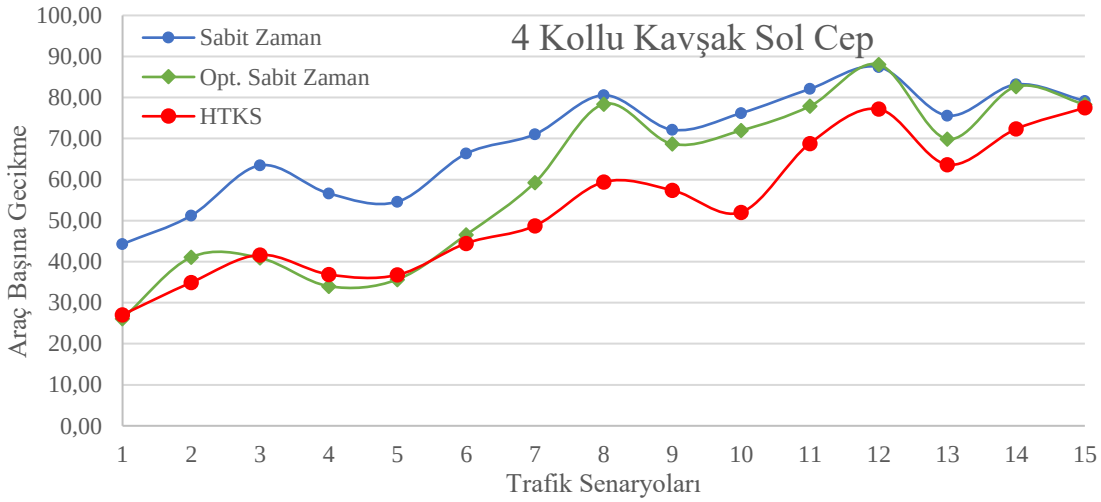
Şekil 4. 3 Kollu Kavşak için Trafik durumlarına Göre Gecikme Dağılımı



Şekil 5. 3 Kollu Kavşak Sol Cep için için Trafik durumlarına Göre Gecikme Dağılımı



Şekil 6. 4 Kollu Kavşak için Trafik durumlarına Göre Gecikme Dağılımı



Şekil 7. 4 Kollu Kavşak Sol Cep için için Trafik durumlarına Göre Gecikme Dağılımı

Şekil 4-7'den de görüldüğü gibi sabit zamanlı kontrol yaklaşımı en yüksek gecikme değerleri ile kavşak kontrolünü gerçekleştirmiştir. Optimum devre süresine göre iyileştirilmiş sabit zaman yaklaşımı ise sabit zamanlı kontrolden daha iyi performans göstermiş fakat önerilen yaklaşımının gerisinde kalmıştır. Önerilen yaklaşımı ise en düşük gecikme değerleri ile kavşak kontrolünü gerçekleştirmiştir. 15 farklı trafik durumuna göre kontrol sistemlerinin birbirleri ile performans karşılaştırılması yapılmış OYH bakımından değerlendirilmiştir. Dört farklı kavşak geometrisine ait OYH değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Ayrıca doygunaltı ve doygunüstü trafik durumlarına göre karşılaştırma yapılmış olup OYH değerleri Tablo 5 ile verilmiştir. Doygunluk derecesi 1'in altında olan trafik durumları doygunaltı ve 1'in üstünde olanlar ise doygunüstü trafik durumlarıdır. Trafik senaryolarında kullanılan hacimlerde 900 araç/s'e kadar doygunaltı, 900 araç/s'den fazla hazimlerde ise doygunüstü trafik durumları oluşmaktadır.

Tablo 4. Farklı kavşak geometrilerine göre OYH

Kavşaklar	OYH		
	Sabit Zaman ------ Opt. Sabit Zaman	Sabit Zaman ------ HTKS	Opt. Sabit Zaman ------ HTKS
3 Kollu	-0,17	-17,76	-13,57
3 Kollu- Sol Cep	-17,50	-33,98	-19,23
4 Kollu	-13,00	-23,19	-11,32
4 Kollu- Sol Cep	-16,27	-24,94	-9,00

Tablo 5. Doygunaltı ve doygunüstü trafik akımları göre OYH

	HTKS	
	Sabit Zaman	**Opt. Sabit Zaman**
Doygunaltı Trafik Akımları	-26,41	-13,53
Doygunüstü Trafik Akımları	-14,24	-12,24

Şekil 4 ve Tablo 4'den anlaşıldığı gibi üç kollu kavşakta Opt. Sabit Zaman yaklaşımı sabit zamanlı sistem ile çok yakın bir performans göstermiş olup, gecikme değerini ancak % 0,17 iyileştirebilmiştir. Hibrid trafik kontrol sistemi yaklaşımı ise % 17,76 iyileştirme sağlamıştır. Hibrid trafik kontrol sistemi yaklaşımı Opt. Sabit Zamana göre % 13,57 iyileştirme sağlamış olup en iyi performansı göstererek kavşak performansını arttırabilmiştir. 3 kollu kavşakta sola dönüş cebinin olması kontrol sistemlerinin performansını etkilemektedir. Şekil 5 ve Tablo 4'den sabit zamanlı sisteme göre Opt. Sabit Zaman yaklaşımının %17,50 ve Hibrid trafik kontrol sistemi yaklaşımının %33,98 iyileştirme sağladığı görülmüştür. Hibrid trafik kontrol sistemi yaklaşımı ise Opt. Sabit Zamana göre % 19,23 iyileştirme sağlamış ve en iyi performası göstermiştir. Dört kollu kavşak geometrilerinde ise Şekil 6 ve Tablo 4'den anlaşıldığı gibi sabit zamanlı sisteme göre Opt. Sabit Zaman yaklaşımı %13 ve Hibrid trafik kontrol sistemi yaklaşımı %23,19 iyileştirme sağlamıştır. Hibrid trafik kontrol sistemi yaklaşımı Opt. Sabit Zamana göre % 11,32 iyileştirme sağlamış olup en iyi performansı göstererek kavşak performansını arttırabilmiştir. Sola dönüş cebinin olması dörtlü kollu kavşaklarda da kontrol sistemlerinin performansını etkilemektedir. Şekil 7 ve Tablo 4'den sabit zamanlı sisteme göre Opt. Sabit Zaman yaklaşımının %16,27 ve hibrid trafik kontrol sistemi yaklaşımının %24,94 iyileştirme sağladığı görülmüştür. Hibrid trafik kontrol sistemi yaklaşımı ise Opt. Sabit Zamana göre % 9 iyileştirme sağlamıştır. Tablo 5'e göre hibrid trafik kontrol sisteminin doygunaltı trafik akımlarında daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Hibrid trafik kontrol sisteminde bu iyileştirmeler % 26,41 ve % 13,53 olmuştur. Doygunüstü trafik akımlarında sabit zamanlı kontrol sistemine göre hibrid trafik kontrol sistemi kontrol sisteminin performansı % 50'ye yakın düşmekte olup, % 14,24 olmuştur. Opt. Sabit Zaman yaklaşımına göre ise hibrid trafik kontrol sisteminde % 12,24 iyileştirme sağlanmıştır.

Sonuç

Trafik mühendisliğinde önemli bir konu olan kavşak kontrolünde temel husus kavşağın hızlı, etkili ve güvenli bir şekilde işletilebilmesidir. Bu nedenle birçok araştırmacının temel amaçları arasında herhangi bir trafik durumunda minimum gecikme, minimum duruş oranı, maksimum kapasite gibi kavşak performans göstergelerinin iyileştirilmesi yer almaktadır. Yapay zekâ teknolojisinin gelişmesi ve yeni yaklaşımların daha iyi performanslar ortaya koyması bu amaca ulaşılabilmede önemli katkılar sağlamaktadır. Sabit zamanlı ya da yapay zekâ yöntemlerinin öncü yaklaşımlarına dayalı kavşak kontrol sistemlerinin yetersiz kaldığı noktalarda yeni yaklaşımların kavşak kontrolüne uygulanması ile mevcut sistemlerin eksiklikleri bertaraf edilebilmekte ve performans iyileştirmesi sağlanmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı da bu doğrultuda olup güncel ve etkili algoritmalardan çiçek tozlaşma algoritması ve karga arama algoritması yaklaşımlarını ve Tip-2 bulanık mantık yaklaşımını kullanarak kavşak kontrolünde etkili sonuçlar alabilmektir. Çiçek tozlaşma algoritması ve karga arama algoritmas yaklaşımlarının ve Tip-2 bulanık mantık yaklaşımının optimizasyon tekniklerinin performans avantajlarından yararlanılarak geliştirilen kontrol sistemlerinin uygulanabilirliği ortaya konulmuştur. Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Farklı trafik durumlarında sabit zamanlı kontrol sistemi yetersiz kalmakta ve her trafik durumuna göre kavşağı optimum şekilde kontrol edememektedir. Bu bağlamda kavşak kontrolünde minimum gecikmeyi amaçlayan bir arama algoritması geliştirilerek her bir trafik durumunun optimum devre süresi tayini sağlanmıştır. Böylece farklı kavşak geometrilerinde önerilen yaklaşımla sabit zamanlı sisteme göre yaklaşık %18 iyileştirme sağlanabilmiştir.

2. Hem faz planının hem de yeşil sürelerin trafik durumuna göre ayarlanabildiği hibrid trafik kontrol sistemi ile dinamik bir kontrol sistemi ortaya konulmuştur. Sabit zamanlı sisteme göre %17 ile %33 arasında gecikmenin iyileştirilmesi sağlanabilmiş, optimize edilen sabit zamanlı sisteme göre ise %9 ile %19 arasında iyileşme sağlanmıştır. Aynı zamanda doygunaltı ve doygunüstü trafik durumları için de hibrid trafik kontrol sisteminin %12 ile %24 arasında iyileşme sağlayabildiği ortaya konulmuştur. Doygunaltı trafik durumlarında iyileştirme daha belirgin olmaktayken, doygunüstü trafik durumlarında trafik haciminin artmasına bağlı olarak iyileştirme daha düşük kalmıştır.

3. Türkiye'deki araç sahipliği nüfusla birlikte her geçen gün artış göstermektedir. Bu durum seyahat taleplerinin artışına ve trafik sıkışıklıklarına neden olmaktadır. Özellikle kavşak geometrilerinin değiştirilmesinin mümkün olmadığı durumlarda etkinliği daha fazla olan trafik kontrol sisteminin kullanımı gerekmektedir. Geliştirilen kontrol yaklaşımının hızlı ve daha yüksek performansa sahip olması sistemin uygulanabilirliğini arttırmaktadır.

Kaynaklar

Araghi, S., Khosravi, A., Creighton, D. (2015). Intelligent cuckoo search optimized traffic signal controllers for multi-intersection network. Expert Syst. Appl. 42, 4422–4431.

Araghi, S., Khosravi, A., Creighton, D. (2014). Optimal design of traffic signal controller

using neural networks and fuzzy logic systems, in: 2014 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). IEEE, 42–47.

Araghi, S., Khosravi, A., Creighton, D., Nahavandi, S. (2017). Influence of meta-heuristic optimization on the performance of adaptive interval type2-fuzzy traffic signal controllers. Expert Syst. Appl. 71, 493–503.

Balaji, P.G., Srinivasan, D. (2009). Distributed multi-agent type-2 fuzzy architecture for urban traffic signal control, in: 2009 IEEE International Conference on Fuzzy Systems. IEEE, 1627–1632.

Cakici, Z., Murat, Y. S. (2019). A differential evolution algorithm-based traffic control model for signalized intersections. Advances in Civil Engineering, 2019, 1-16.

Ceylan, H., Bell, M.G.H. (2004). Traffic signal timing optimisation based on genetic algorithm approach, including drivers' routing. Transp. Res. Part B Methodol. 38, 329–342.

Chatterjee, K., De, A., Chan, F.T.S. (2019). Real time traffic delay optimization using shadowed type-2 fuzzy rule base. Appl. Soft Comput. 74, 226–241.

Chen, J., Xu, L. (2006). Road-junction traffic signal timing optimization by an adaptive particle swarm algorithm, in: 2006 9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision. IEEE, 1–7.

Dell'Orco, M., Başkan, Ö., Marinelli, M. (2014). Artificial bee colony-based algorithm for optimising traffic signal timings, in: Soft Computing in Industrial Applications. Springer, 327–337.

Doğan, E., Akgüngör, A.P. (2016). Optimizing a fuzzy logic traffic signal controller via the differential evolution algorithm under different traffic scenarios. Simulation 92, 1013–1023.

He, J., Hou, Z. (2012). Ant colony algorithm for traffic signal timing optimization. Adv. Eng. Softw. 43, 14–18.

Korkmaz E, Akgüngör AP (2021) Optimizing of phase plan, sequence and signal timing based on flower pollination algorithm for signalized intersections. Soft Computing 25, 4243–4259.

Murat, Y. S., Gedizlioglu, E. (2005) A fuzzy logic multi-phased signal control model for isolated junctions. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 13(1), 19-36.

Murat, Y.Ş., Kikuchi S. (2007) The Fuzzy Optimization Approach:A Comparison with the Classical Optimization Approach using the Problem of Timing a Traffic Signal. Transportation Research Record, 2024, 82-91.

Odeh, S.M., Mora, A.M., Moreno, M.N., Merelo, J.J. (2015). A hybrid fuzzy genetic algorithm for an adaptive traffic signal system. Adv. Fuzzy Syst., 11.

Sabetghadam, B., Shabaninia, F., Vaziri, M., Vadhava, S. (2012). Type-2 fuzzy multiagent traffic signal control, in: 2012 IEEE 13th International Conference on Information Reuse & Integration (IRI). IEEE, 509–512.

Trabia, M.B., Kaseko, M.S., Ande, M. (1999). A two-stage fuzzy logic controller for traffic signals. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 7, 353–367.

Trafik Akımlarında Dalgalanma Görülebilen Işıklı Kavşaklarda Farklı Denetim Tekniklerinin Performanslarının Karşılaştırılması

Ziya Çakıcı
İzmir Demokrasi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü - İzmir
Tel: (0 232) 299 03 82
E-Posta: ziya.cakici@idu.edu.tr

Yetiş Şazi Murat
Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü - Denizli
Tel: (0 258) 296 33 57
E-Posta: ysmurat@pau.edu.tr

Öz

Trafik akımlarında dalgalanma meydana gelebilen ışıklı kavşaklarda sabit zamanlı denetim sistemlerinin, kavşak performansını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle, özellikle son yıllarda, kentlerdeki taşıt sayısı artışına da bağlı olarak, şehiriçi ve şehirlerarası birçok kavşakta, sabit zamanlı denetim sistemlerinin yerini trafik uyarmalı denetim sistemleri veya adaptif denetim sistemleri almıştır.

Trafik uyarmalı ve adaptif denetim sistemleri, farklı araştırmacılar tarafından uygulanan farklı yaklaşım teknikleri, algoritmalar-yöntemler, karar destek sistemleri vb. ile sürekli olarak geliştirilmeye ve iyileştirilmeye devam etmektedir. Bu çalışmada da, ışıklı kavşakların verimli ve etkin bir şekilde işletilmesi için geliştirilen şerit işaretlemelerine dayalı yeni bir dinamik **S**inyal süresi ve **F**az **O**ptimizasyonu **T**abanlı kavşak **D**enetim (**SFOTD**) modeli göz önünde bulundurularak söz konusu modelin, trafik akımlarındaki dalgalanmalara uyum sağlayıp sağlayamadığı benzetim ortamında test edilmiştir.

Çalışma kapsamında, öncelikli olarak, dört kollu bir ışıklı kavşakta kavşak toplam trafik hacminin 2000 ta/sa ile 4000 ta/sa arasında değiştiği 5 farklı örnek durum oluşturulmuştur. Daha sonra, söz konusu örnek durumlar, trafik akımlarında dalgalanma görülmesi ve görülmemesi durumları için optimum sabit zamanlı denetim, trafik uyarmalı denetim ve sinyal süresi ve faz optimizasyonu tabanlı denetim teknikleri göz önünde bulundurularak VISSIM benzetim programında ayrı ayrı analiz edilmiştir.

Çalışma sonucunda, trafik akımlarında dalgalanma görülmemesi halinde, optimum sabit zamanlı denetim ve trafik uyarmalı denetim yerine sinyal süresi ve faz optimizasyonu tabanlı denetim uygulanması durumunda ortalama taşıt gecikmelerinin sırasıyla ortalama %30,4 ve %17,5 oranında azaltılabileceği belirlenmiştir. Trafik akımlarında dalgalanma meydana gelmesi halinde ise söz konusu başarım oranları yaklaşık %50 artarak sırasıyla ortalama %45,9 ve %26,3 olarak elde edilmiştir. Bu veriler ışığında, geliştirilen modelin ışıklı kavşakların performansını önemli düzeyde arttırabileceği ve sürdürülebilir ulaşıma katkı sağlayabileceği söylenebilir.

Anahtar Sözcükler: Sinyal Süresi, Trafik Uyarmalı Denetim, Optimizasyon Tabanlı Denetim, Faz Planı, Sabit Zamanlı Denetim

Giriş

Işıklı kavşaklar; farklı yönlerden gelen trafik akımlarının, kesiştiği, birleştiği ve ayrıldığı alanlar oldukları için şehir içi ve şehirlerarası yol ağlarının en kritik kesimlerinden birisidir. Bu nedenle, söz konusu kesimlerdeki trafiğin, güvenli ve düzenli bir şekilde akışını sağlamak oldukça önemlidir. Özellikle son 15-20 yıldır, ışıklı kavşakların kapasiteleri dahilinde kullanılabilmeleri için en sık uygulanan yöntemlerden birisi de ışıklı kavşağın, sabit zamanlı denetim sistemleri yerine trafik uyarmalı veya adaptif denetim sistemleri ile yönetilmesidir (Ma ve diğ., 2014). Doğru bir şekilde tasarlanmış ve güçlü bir bilimsel altyapıya sahip olan trafik uyarmalı ve/veya adaptif denetim sistemleri kavşaktaki zaman kayıplarının azaltılmasında ve kavşak kapasitesinin arttırılmasında aktif bir görev almaktadır (Yu ve diğ., 2016; Mohajerpoor ve diğ., 2019).

Literatürde yıllardır yapılan birçok çalışmada, özellikle kavşak yaklaşım kollarındaki trafik akımlarında dalgalanma meydana gelmesi durumunda, sabit zamanlı denetim sistemlerinin verimliliğinin önemli oranlarda azaldığı belirtilmiştir (Rezzai ve diğ., 2015). Bu bağlamda, dünyadaki ekonomik ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak artan yer değiştirme ve hareketlilik talebi de göz önünde bulundurularak, trafik uyarmalı ve adaptif denetim sistemlerinin verimliliğinin arttırılmasına yönelik çalışmalar tüm hızıyla devam etmektedir. Trafik uyarmalı denetim sistemleri herhangi bir denetim algoritmasına dayalı olarak adaptif denetim sistemleri ise optimizasyon temelinde işletilmeleri nedeniyle sistemsel olarak belirgin farklılıklar içermektedir (Li ve Prevedouros, 2004). Bu nedenle, her iki denetim sistemininin ayrı ayrı ele alınması ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Trafik uyarmalı denetimde, kavşak yaklaşım kollarına yerleştirilen algılayıcılar vasıtası ile elde edilen taşıt geliş ve kuyruklanma verilerinin mevcut dinamiklerine göre yeşil ve kırmızı sinyal süreleri hakkında karar verilmektedir (Viti ve van Zuylen, 2010). Trafik uyarmalı denetim; yarı uyarmalı ve tam uyarmalı olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilebilir. Yarı uyarmalı denetimde, kavşak yaklaşım kollarının bazılarında tam uyarmalı denetimde ise tüm kavşak yaklaşımlarında algılayıcılar kullanılmaktadır. Tam uyarmalı denetim sistemlerinde faz sıralaması sabit veya değişken olabilmektedir. Bununla birlikte, eğer bir faza talep yok ise o faz atlanabilmektedir (Wang ve diğ., 2018). Trafik uyarmalı denetimde en düşük yeşil süre, kritik aralık, algılayıcı yerleşimi ve en yüksek yeşil süre gibi parametrelerin seçimi kavşak performansının iyileştirilmesi açısından büyük bir önem arz etmektedir (Guo ve diğ., 2007; Jiang ve diğ., 2011). Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, kritik aralık değerinin genel olarak 1,5 sn ile 4,5 sn aralığında seçildiği görülmüştür (Mathew, 2014). Algılayıcıların kavşak girişine olan uzaklıkları ise, trafik hacimlerine bağlı olarak, 15 m ile 45 m arasında değişmektedir (Bullen, 1989). En düşük yeşil sürelerin algılayıcı uzaklığına bağlı olarak 5 sn ile 17 sn saniye aralığında değiştiği söylenebilir. En yüksek yeşil süreler ise, genel olarak, 45 sn ile 60 sn arasında bir değer seçilmektedir (Doğan, 2014).

Adaptif denetim sistemlerinde, kavşak yaklaşım kollarındaki trafik verileri algılayıcılar veya kameralar yardımıyla tespit edilerek, sinyal süreleri mevcut trafiğin durumuna göre sürekli olarak en iyilenmektedir. RHODES, OPAC, SCATS, SCOOT ve MOTION gibi sistemler de dahil olmak üzere adaptif denetim sistemleri ile ışıklı kavşakların performanslarının ve hizmet düzeylerinin arttırıldığı birçok çalışmada belirtilmiştir (Mirchandani ve Head, 2001; Zhao ve Tian, 2012; Studer ve diğ., 2015; Aavani ve diğ., 2017; Thunig ve diğ., 2019). Bu tür sistemlerde, kameralar ve izleme ekipmanları ile kavşak sürekli olarak izlenmekte ve trafiğin durumuna göre sinyal parametrelerinde

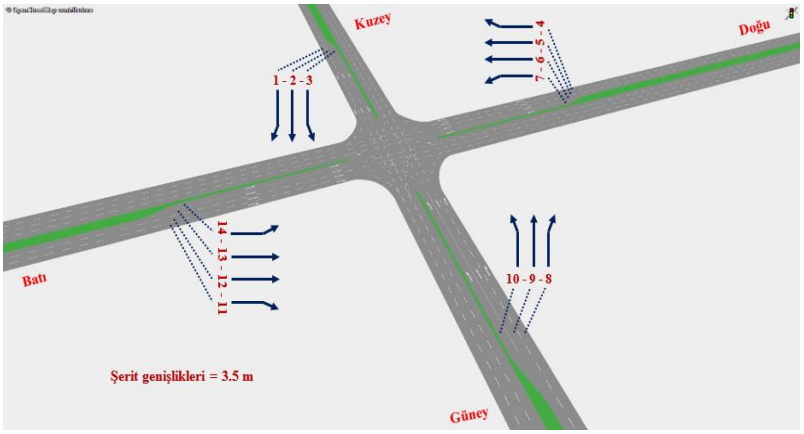
güncellemeler yapılmaktadır (Aavani ve diğ., 2017). Gerçek gözlem verilerine ve tahminlere dayalı sinyal süresi stratejisi uygulayan bu sistemlerde optimizasyon süreci belirli periyodlar ile tekrarlanabilmektedir. Bununla birlikte, geçiş bozukluklarından kaçınmak için bu süreler, genel olarak, 10 dk' nın üzerinde tutulmamaktadır (Van Katwijk, 2008). Adaptif denetim sistemleri ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların birçoğunda yalnızca sinyal sürelerinin dinamik olarak güncellendiği, faz planı ile ilgili gücellemelerin çok fazla göz önünde bulundurulmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, Çakıcı (2020), yapmış olduğu çalışmada, literatürdeki bu boşluğu doldurmaya çalışmıştır. Çalışma kapsamında, ışıklı kavşakların verimli ve etkin bir şekilde işletilmesi için şerit işaretlemelerine dayalı yeni bir adaptif **S**inyal süresi ve **F**az **O**ptimizasyonu **T**abanlı kavşak **D**enetim (**SFOTD**) modeli geliştirmiştir.

Bu çalışmada da, geliştirilen SFOTD modelinin trafik akımlarındaki dalgalanmalara uyum sağlayıp sağlayamadığının test edilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, öncelikli olarak, birbirinden farklı trafik hacimlerine sahip 5 farklı örnek durum oluşturulmuştur. Daha sonra, trafik akımlarında dalgalanma görülüp görülmemesi durumları ayrı ayrı göz önünde bulundurularak tüm mevcut kombinasyonlar VISSIM benzetim programına aktarılmıştır. Son olarak, söz konusu kombinasyonlar, sabit zamanlı denetim, trafik uyarmalı denetim ve SFOTD modeli uygulanarak ayrı ayrı analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde, çalışma kapsamında kullanılan kavşak modeli sunulmuş ve analizlerde kullanılan denetim türleri ile ilgili bilgiler detaylı olarak açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, oluşturulan örnek durumlar ve bu örnek durumlar için hacimlerdeki dalgalanmalar hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, VISSIM' de yapılan analizlerden elde edilen sayısal sonuçlar tablolar ve grafikler yardımıyla özetlenmiştir. Son bölümde ise, analiz sonuçlarından elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Işıklı Kavşak Modeli ve Denetim Türleri

Bu çalışmada, yapılacak olan analizler için dört kollu bir ışıklı kavşak modeli oluşturulmuştur. Söz konusu kavşakta, her bir yaklaşım kolunda birer sola dönüş cebi de dahil olmak üzere, batı ve doğu yaklaşım kollarında dört, kuzey ve güney yaklaşım kollarında ise üçer şerit bulunmaktadır. Mevcut kavşak planı Şekil 1' de gösterilmektedir.



Şekil 1 Analizlerde Kullanılan Dört Kollu Işıklı Kavşak Modeli

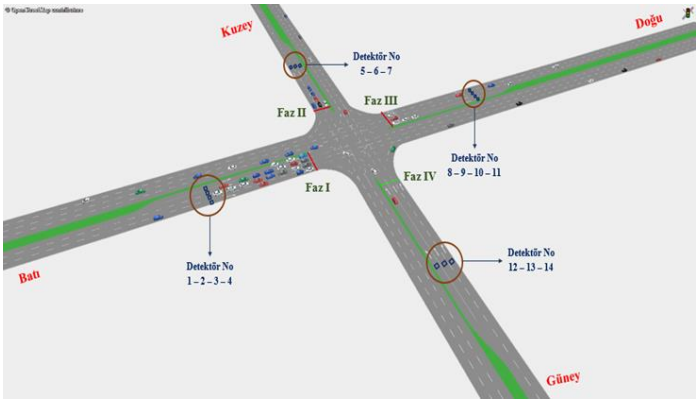
Kavşak modelinin oluşturulmasının ardından, kavşakta uygulanacak olan farklı denetim türlerinin her biri için altyapı hazırlanmıştır. Analizlerde göz önünde bulundurulan denetim türleri için karakteristik özellikler aşağıda tanımlanmıştır:

Optimum Sabit Zamanlı Denetim (OSZD)

Sabit zamanlı denetimde, fazların sıralaması ve fazlara ait yeşil süreler tüm devrelerde sabittir. Dolayısıyla, bu tür denetimde, trafik hacimlerindeki dalgalanmalara uyum sağlayabilme (faz sıralamaları ve faz süreleri için dinamik değişimler) durumu söz konusu değildir. Bu çalışma kapsamında, Şekil 1' de gösterilen kavşağın, her bir yaklaşım koluna bir fazda geçiş hakkı verilmesi durumu dikkate alınarak 4 fazlı işletildiği varsayılmıştır. Kavşak akım (hareket) bazlı değerlendirildiği için, yeşil süreler ve devre süresi de Avustralya (Akçelik) gecikme modeli göz önünde bulundurularak en iyilenmiştir (Çakıcı ve Murat, 2019). Oluşturulan benzetim modelinde, batı yaklaşım koluna Faz I' de, kuzey yaklaşım koluna Faz II' de, doğu yaklaşım koluna Faz III' de, Güney yaklaşım koluna da Faz IV' de geçiş hakkı sağlanmıştır. Fazlara ait yeşil süreler, kavşak performansı üzerinde doğrudan bir etkiye sahip oldukları için, her bir faza ait yeşil süre karar değişkeni olarak belirlenmiştir. Yeşil süreler, literatürde daha önce yapılan çalışmalar da göz önünde bulundurularak en düşük 7 sn ve en yüksek 45 sn olacak şekilde sınırlandırılmıştır (Murat ve Kikucki, 2007; Yuedong ve diğ., 2016). Bununla birlikte, doygun üstü durumları da değerlendirebilmek amacıyla şerit bazlı doygunluk derecesi de en yüksek 1,2 olacak şekilde sınırlandırılmıştır.

Trafik Uyarmalı Denetim (TUD)

Çalışma kapsamında, öncelikli olarak, kavşak modelinde her bir şeride bir algılayıcı yerleştirilmiştir. Daha sonra, trafik uyarmalı denetim için, VISSIM' in VISVAP modülü kullanılarak bir denetim algoritması oluşturulmuştur. Analizlerde kullanılan yüksek trafik hacimleri de göz önünde bulundurularak en düşük kritik aralık yaklaşık 2 sn olarak seçilmiştir. Bu durumda, algılayıcılar ile belirlenen kritik aralık, 2 sn' yi geçmediği sürece, 2 sn yeşil süre uzatımı yapılmaktadır. Algılayıcıların yerleşimleri, örnek trafik durumlarına ait trafik hacimleri göz önünde bulundurularak, deneme-yanılma yoluyla belirlenmiştir. En düşük yeşil süreler, algılayıcı uzaklıklarına bağlı olarak 5 sn ile 17 sn aralığında seçilmiştir. En yüksek yeşil süre ise, literatürde daha önce Doğan (2014) tarafından yapılan çalışma göz önünde bulundurularak 60 sn olarak belirlenmiştir. Şekil 2' de, oluşturulan kavşak modelinde, trafik uyarmalı denetim için fazlara ve algılayıcılara ait bilgiler sunulmaktadır.



Şekil 2 Trafik Uyarmalı Denetim için Fazlara ve Algılayıcılara ait Bilgiler

Şekil 2' den görüldüğü üzere, trafik uyarmalı denetimde batı yaklaşım koluna Faz I' de, kuzey yaklaşım koluna Faz II' de, doğu yaklaşım koluna Faz III' de ve güney yaklaşım koluna da Faz IV' de geçiş hakkı verilmektedir. Algılayıcılardan işgaliye bilgisi/bilgileri alınmadığı durumda faz atlamaları gerçekleştirilmektedir.

Sinyal Süresi ve Faz Optimizasyonu Tabanlı Denetim (SFOTD)

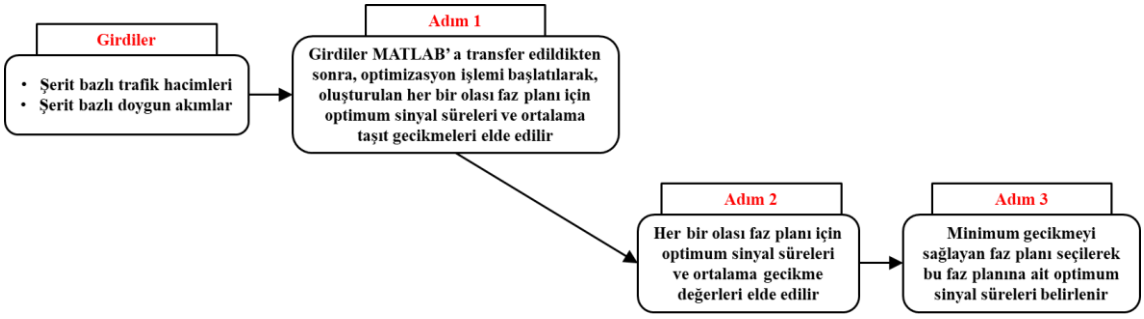
Bu denetim türünde, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, sinyal süreleri ile birlikte faz planları da trafiğin durumuna göre belirli aralıklarla sürekli olarak güncellenmektedir. Çalışma kapsamında, öncelikli olarak, oluşturulan kavşak modeli için, kavşaktaki kesişme, birleşme ve ayrılma sayılarının sıfıra eşit olduğu olası faz planları belirlenmiştir. Şekil 1' de gösterilen akım numaralandırmaları kullanılarak elde edilen olası faz planları Tablo 1' de sunulmaktadır.

Tablo 1 SFOTD için Oluşturulan Olası Faz Planları

Plan No	Faz I Akımlar	Faz II Akımlar	Faz III Akımlar	Faz IV Akımlar
1	11 – 12 – 13 – 14	4 – 5 – 6 – 7	1 – 2 – 3	8 – 9 – 10
2	8 – 9 – 10 – 11	1 – 11 – 12 – 13 – 14	1 – 2 – 3 – 4	4 – 5 – 6 – 7 – 8
3	4 – 5 – 6 – 11 – 12 – 13	1 – 7 – 8 – 14	1 – 2 – 8 – 9	3 – 4 – 10 – 11
4	1 – 11 – 12 – 13 – 14	4 – 5 – 6 – 7 – 8	1 – 2 – 8 – 9	3 – 4 – 10 – 11

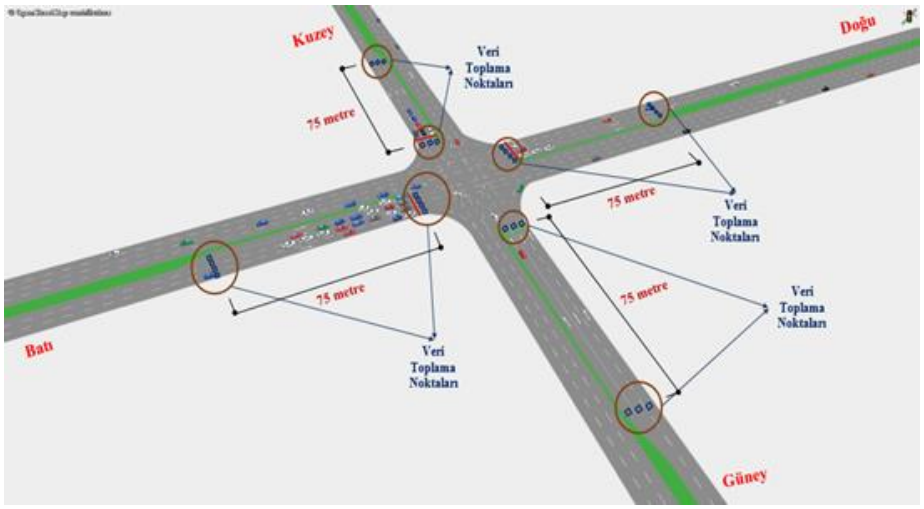
İkinci aşamada, belirlenen her bir faz planı için, sabit zamanlı denetimde olduğu gibi, kavşaktaki gecikmelerin minimize edilmesine dayalı, amaç fonksiyonu-karar değişkenleri ve kısıtlar setini içeren optimizasyon modelleri kurulmuştur. Bu denetim türünde de, tüm kısıtların en düşük ve en yüksek değerleri, sabit zamanlı denetimde bahsedilen değerler ile aynı değerler alınmıştır. Bununla birlikte, yalnızca akımlara ait yeşil süreler değişmektedir. Örneğin; 1 numaralı akım, 1 numaralı planda yalnızca Faz III' de, 2 numaralı planda Faz II ve Faz III' de, 4 numaralı planda ise Faz I ve Faz III' de geçiş hakkı almaktadır. Dolayısıyla, 1 numaralı akıma ait yeşil süre; 1 numaralı planda yalnızca Faz III' ün yeşil süresine, 2 numaralı planda Faz II ve Faz III' ün yeşil süre toplamına, 4 numaralı planda da Faz I ve Faz III' ün yeşil süre toplamına eşit olmaktadır.

Üçüncü aşamada, oluşturulan optimizasyon modelleri kullanılarak, her bir olası plan için, Diferansiyel Gelişim Algoritması' nın işlem adımlarına uygun bir şekilde MATLAB' da sinyal süre optimizasyonu programı yazılmıştır. Çalışma kapsamında göz önünde bulundurulan kavşak modeli için optimum faz planı ve sinyal sürelerinin seçim adımları Şekil 3' de gösterilmektedir.



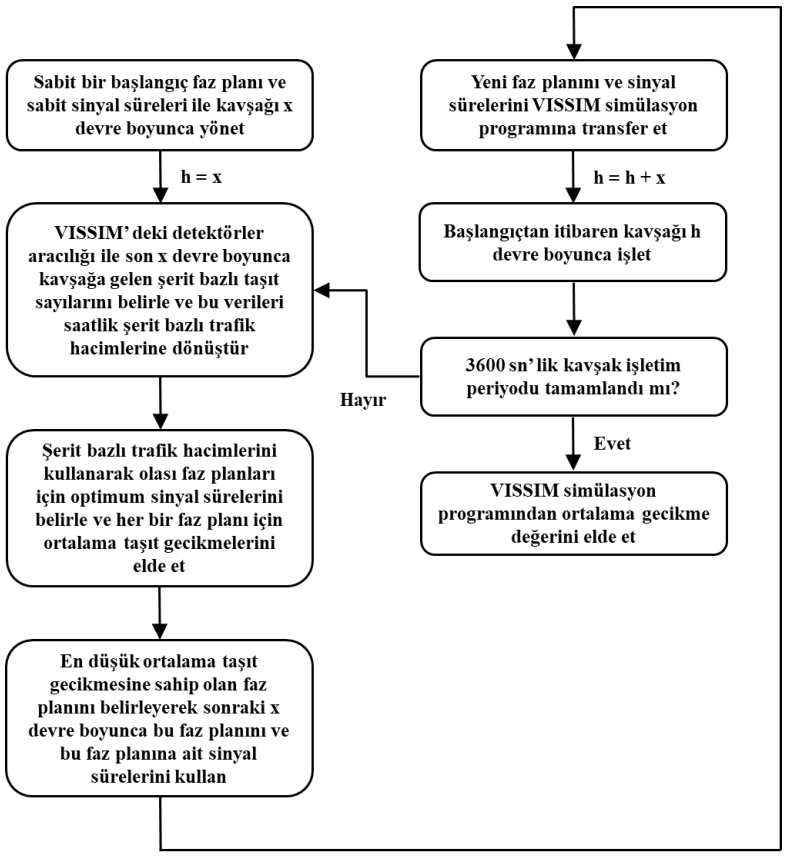
Şekil 3 Optimum Faz Planı ve Sinyal Sürelerinin Belirlenmesi için Süreç Adımları

Analizlerde, şerit bazlı trafik hacimleri, VISSIM benzetim programından veri toplama noktaları aracılığı ile elde edilmiştir. Tüm şeritler için doygun akım değeri de ortalama bir değer olarak, şerit başına 1800 bo/sa olarak kabul edilmiştir (HCM 2010). Veri toplama noktalarının yerleşimi Şekil 4' de detaylı olarak gösterilmektedir.



Şekil 4 Sinyal Süresi ve Faz Optimizasyonu Tabanlı Denetim için Veri Toplama Noktalarının Yerleşimi

Son aşamada ise Sinyal Süresi ve Faz Optimizasyonu Tabanlı Denetim için Şekil 5' de akış diyagramı verilen denetim algoritması oluşturulmuştur.



Şekil 5 Sinyal Süresi ve Faz Optimizasyonu Tabanlı Denetim Akış Diyagramı

Şekil 5’ de, x, sinyal süresi ve faz planının güncellenme periyodunu ifade etmektedir. Ayrıca, x için net bir değer verilmediği görülmektedir. x değerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli analizler ve istatistiksel çalışmalar yapılmış ve x’ in 1, 2, 3 ve 5’ e eşit olması durumları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda, x’ in 1 veya 2’ ye eşit olması durumunda trafik tahminlerinde sapmaların meydana geldiği ve bunun kavşak performansını olumsuz etkilediği görülmüştür. x’ in 3 veya 5 olması durumunda ise daha iyi ve benzer performans değerleri elde edilmiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler ışığında, x’ in 5 olarak alınmasının uygun olduğu belirlenmiştir (Çakıcı, 2020).

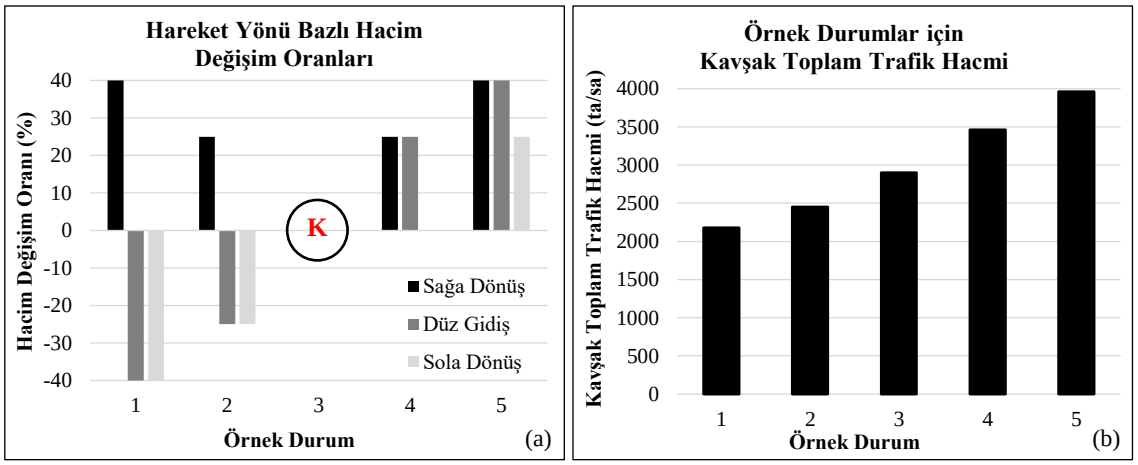
Örnek Durumlar ve Trafik Akımlarındaki Dalgalanmalar

Çalışmanın bu bölümünde, öncelikli olarak, bir önceki bölümde bahsedilen kavşak denetim türlerinin etkinliğinin test edilmesi amacıyla, kavşaktaki toplam trafik hacminin 2000 ta/sa ile 4000 ta/sa arasında değiştiği 5 farklı örnek durum oluşturulmuştur. Söz konusu örnek durumların oluşturulması aşamasında, kullanılan hareket yönü bazlı kaynak trafik talep matrisi Tablo 2’ de detaylı olarak verilmektedir (Çakıcı ve diğ, 2022).

Tablo 2 Örnek Durumların Oluşturulmasında Kullanılan Kaynak Talep Matrisi

Hacimler (ta/sa)					**Oranlar**				
Yaklaşım Kolu (B-V)	**Batı**	**Kuzey**	**Doğu**	**Güney**	**Yaklaşım Kolu (B-V)**	**Batı**	**Kuzey**	**Doğu**	**Güney**
Batı	-	200	700	100	**Batı**	-	0.200	0.700	0.100
Kuzey	150	-	100	150	**Kuzey**	0.375	-	0.250	0.375
Doğu	600	100	-	150	**Doğu**	0.706	0.118	-	0.176
Güney	200	250	200	-	**Güney**	0.308	0.384	0.308	
Batı Yaklaşım Kolu: 1000 ta/sa **Kuzey Yaklaşım Kolu:** 400 ta/sa **Doğu Yaklaşım Kolu:** 850 ta/sa **Güney Yaklaşım Kolu:** 650 ta/sa					**Kavşak Toplam Hacmi:** 2900 ta/sa				

Bir sonraki aşamada, kaynak talep matrisindeki hareket yönü bazlı trafik hacimlerinde oransal olarak azaltma ve/veya arttırmalar yapılarak, 4 farklı örnek trafik durumu daha oluşturulmuştur. Oluşturulan örnek durumlar için, hareket yönü bazlı hacim değişim oranları ve kavşak toplam trafik hacimleri Şekil 6 (a) ve Şekil 6 (b)’ de gösterilmektedir.



Şekil 6 Örnek Durumlar için; (a) Hacim Değişim Oranları, (b) Toplam Trafik Hacimleri

Şekil 6 (a)' dan görüldüğü üzere, hareket yönü bazlı hacim değişim oranları -%40 ile +%40 arasında değişmektedir. Bununla birlikte, Şekil 6 (b)' den, örnek durumlar için kavşaktaki toplam trafik hacminin 2000 ta/sa ile 4000 ta/sa arasında değiştiği anlaşılmaktadır. Bu durum, çalışma kapsamında, geniş bir trafik hacim aralığının değerlendirilebilmesine imkan sağlamıştır.

VISSIM, taşıt gelişlerinin poisson dağılımına, geliş aralıklarının ise negatif üstel dağılıma uygun olduğunu kabul eden bir mikrobenzetim programıdır (Çakıcı ve Murat, 2016). Mikrobenzetim programlarının en büyük avantajlarından birisi de trafikte dalgalanma (anlık artışlar) görülmesi durumlarının da analiz edilebilmesidir. Özellikle konserler, spor müsabakaları, büyük toplantılar vb. gibi geniş katılımlı buluşmaların sona ermesinin ardından yol ağlarında anlık dalgalanmalar görülebilmektedir. Bu çalışma kapsamında, trafikte dalgalanma görülmesi durumları da ele alınmış ve böylece farklı tür denetim sistemlerinin dalgalanmalara hangi ölçüde uyum sağlayabileceklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Örnek trafik durumları için, yaklaşım kolu ve periyod bazlı dalgalanma bilgileri Tablo 3' de sunulmaktadır.

Tablo 3 Örnek Durumlar için Yaklaşım Kolu ve Periyod Bazlı Dalgalanmalar

Örnek Durum	Dalgalanmaların Meydana Geldiği Zaman Dilimleri ve Dalgalanmaların Nicelikleri
1	Batı yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %44' ünün 15. ve 30. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
2	Batı yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %56' sının 8. ve 30. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Doğu yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %56' sının 8. ve 30. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
3	Batı yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50' sinin 30. ve 50. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Doğu yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50' sinin 30. ve 50. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
4	Batı yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %38' inin 15. ve 30. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
5	Doğu yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50' sinin 15. ve 30. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
Analiz Süresi = 60 dk	

Analizler

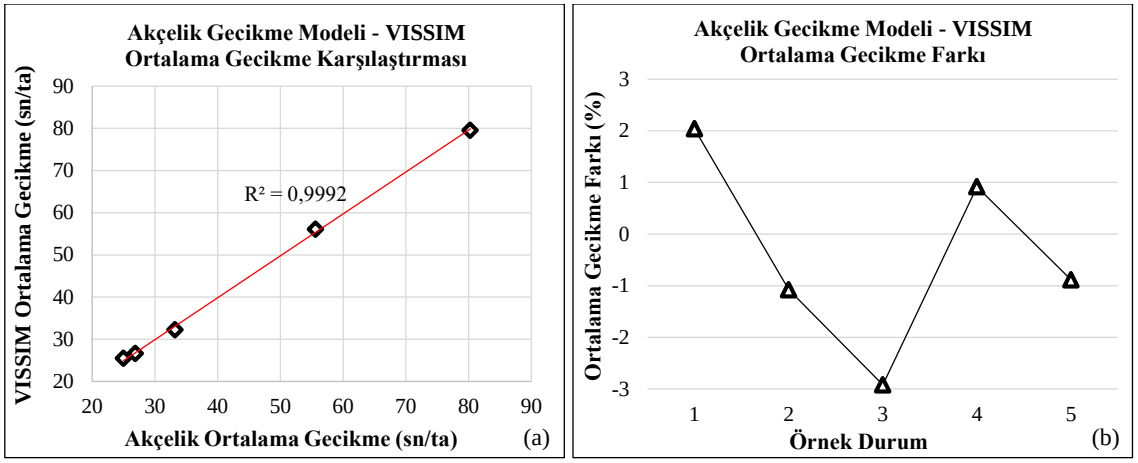
Bu bölümde, öncelikli olarak, oluşturulan herbir örnek durum için, OSZD için hazırlanan optimizasyon kodları (scriptleri) kullanılarak sinyal süreleri ve ortalama gecikme değerleri elde edilmiştir. Örnek durumlar için elde edilen sinyal süreleri ve ortalama taşıt gecikmeleri Tablo 4' de verilmektedir.

Tablo 4 Örnek Durumlar için Optimum Sinyal Süreleri ve Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Örnek Durum	Faz I (sn)	Faz II (sn)	Faz III (sn)	Faz IV (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Gecikme (sn/ta)
1	10	9	9	12	60	25,00
2	13	11	9	11	64	26,89
3	19	16	9	13	77	33,20
4	31	27	14	22	114	55,59
5	45	39	20	31	155	80,26
Sarı Süreler: 2+2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 1 sn						

Örnek durumlar için optimum sinyal sürelerinin ve ortalama taşıt gecikmelerinin elde edilmesinin ardından, her bir örnek durum ve bu örnek durumlara ait sinyal süreleri ayrı ayrı VISSIM benzetim programına aktarılmıştır. Daha sonra, VISSIM' de sürücü davranışlarında bazı düzenlemeler yapılarak VISSIM' den ele edilen ortalama taşıt

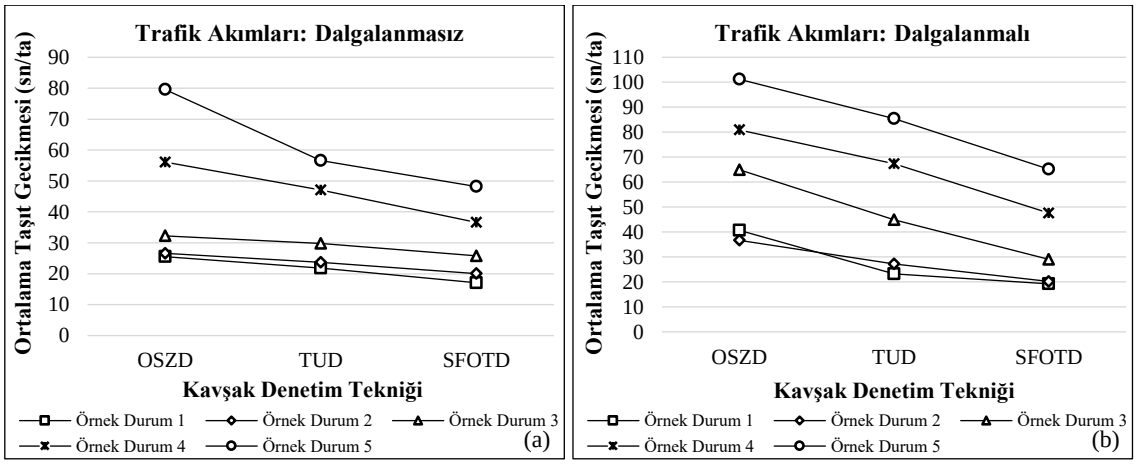
gecikmeleri analitik model ile elde edilen ortalama taşıt gecikmelerine benzetilmeye çalışılmıştır. Böylece, tüm denetim yaklaşımlarının aynı şartlar altında karşılaştırılması mümkün hale getirilmiştir. Örnek durumlar için, VISSIM ve analitik model ile elde edilen ortalama gecikme karşılaştırması ve yüzdesel ortalama gecikme farkları Şekil 7 (a) ve Şekil 7 (b)' de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.



Şekil 7 Örnek Durumlar için Akçelik Gecikme Modeli-VISSIM; (a) Ortalama Gecikme Karşılaştırması, (b) Ortalama Gecikme Farkı

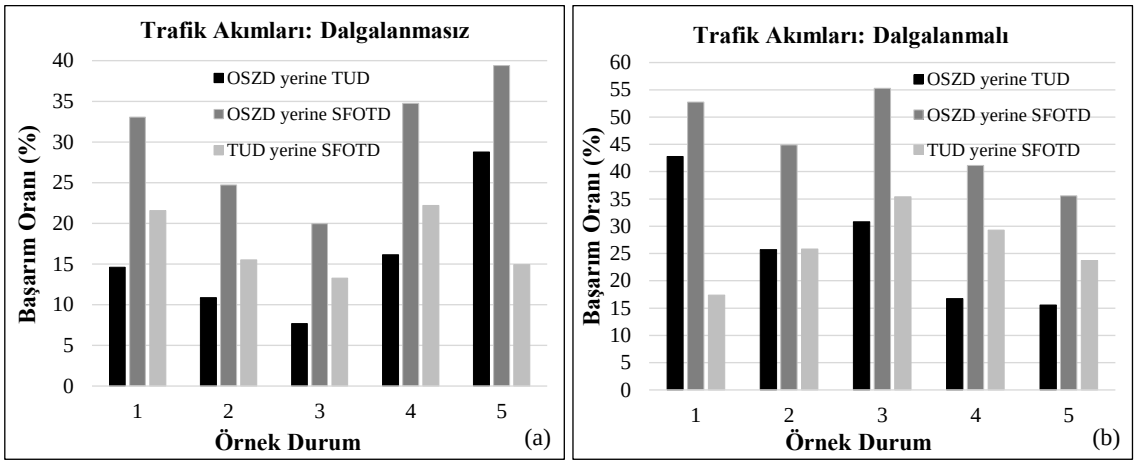
Şekil 7 (a)' dan görüldüğü üzere, VISSIM' den elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri Akçelik gecikme modeli ile elde edilen ortalama taşıt gecikmelerine oldukça benzerdir (R^2=0,999). Ayrıca, ortalama gecikme farklarının düşük (Şekil 7 (b)) belirleme katsayısının (R^2) ise yüksek olması, örnek durumların VISSIM' e iyi bir şekilde yansıtılabildiğinin önemli bir göstergesidir.

Bir sonraki aşamada, tüm örnek durumlar, trafik akımlarında dalgalanma olup olmaması durumları göz önünde bulundurularak ve OSZD, TUD ve SFOTD uygulanarak VISSIM' de ayrı ayrı analiz edilmiştir. Örnek durumlar için, dalgalanmasız ve dalgalanmalı akım durumlarında, farklı denetim teknikleri uygulanarak elde edilen ortalama taşıt gecikmeleri Şekil 8 (a) ve Şekil 8 (b)' de grafiksel olarak sunulmaktadır.



Şekil 8 Örnek Durumlar için (a) Dalgalanmasız, (b) Dalgalanmalı Akım Durumlarında Farklı Denetim Teknikleri Uygulanarak Elde Edilen Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Şekil 8’ den görüldüğü üzere, akımların hem dalgalanmasız hem de dalgalanmalı olmaları durumunda, tüm örnek durumlar için en yüksek ve en düşük ortalama taşıt gecikmeleri sırasıyla OSZD ve SFOTD ile elde edilmiştir. Ayrıca, TUD ile OSZD’ ye kıyasla daha iyi, SFOTD’ ye kıyasla ise daha kötü performans değerleri elde edilebildiği açıkça görülmektedir. Dalgalanmasız ve dalgalanmalı akım durumlarında farklı denetim türlerinin karşılaştırılması sonucunda hesaplanan başarım oranları Şekil 9 (a) ve Şekil 9 (b)’ de detaylı olarak gösterilmektedir.



Şekil 9 (a) Dalgalanmasız ve (b) Dalgalanmalı Akım Durumlarında Farklı Denetim Türlerinin Karşılaştırılması Sonucunda Hesaplanan Başarım Oranları

Şekil 9 (a) ve Şekil 9 (b) dikkatle incelendiğinde, örnek durumlar için, dalgalanmasız ve dalgalanmalı akım durumlarında, farklı denetim türlerinin karşılaştırmalı performans analizleri sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

Dalgalanmasız akım durumunda;

- OSZD yerine TUD uygulanarak, en düşük %7,7; en yüksek %28,8 ve ortalama %15,6 oranında gecikme azalımı sağlanabilmiştir.
- TUD yerine SFOTD uygulanarak, en düşük %13,3; en yüksek %22,2 ve ortalama %17,5 oranında gecikme azalımı sağlanabilmiştir.
- OSZD yerine SFOTD uygulanarak, en düşük %20,0; en yüksek %39,4 ve ortalama %30,4 oranında gecikme azalımı sağlanabilmiştir.

Dalgalanmalı akım durumunda ise;

- OSZD yerine TUD uygulanarak, en düşük %15,6; en yüksek %42,8 ve ortalama %26,3 oranında gecikme azalımı sağlanabilmiştir.
- TUD yerine SFOTD uygulanarak, en düşük %17,4; en yüksek %35,4 ve ortalama %26,3 oranında gecikme azalımı sağlanabilmiştir.
- OSZD yerine SFOTD uygulanarak, en düşük %35,6; en yüksek %55,3 ve ortalama %45,9 oranında gecikme azalımı sağlanabilmiştir.

Sonuçlar

Bu çalışmada, ışıklı kavşakların verimli ve etkin bir şekilde işletilebilmesi için geliştirilen şerit kullanımlarına (işaretlemelerine) dayalı dinamik Sinyal süresi ve Faz Optimizasyonu Tabanlı kavşak Denetim (SFOTD) modeli’ nin trafik akımlarındaki dalgalanmalara uyum sağlayıp sağlayamayacağının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, 5 farklı örnek

trafik durumu, farklı denetim türleri (Optimum Sabit Zamanlı Denetim – OSZD, Trafik Uyarmalı Denetim – TUD, Sinyal süresi ve Faz Optimizasyonu Tabanlı Denetim – SFOTD) ve trafik akımlarında dalgalanma görülüp görülmemesi faktörü göz önünde bulundurularak ayrı ayrı analiz edilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen bulgular şu şekilde sıralanabilir:

- Tüm örnek durumlar için, hem dalgalanmasız hem de dalgalanmalı akım durumlarında, en yüksek ortalama gecikme değerleri OSZD ile, en düşük ortalama gecikme değerleri ise SFOTD ile elde edilmiştir. Ayrıca, TUD, OSZD' ye kıyasla belirgin avantajlar sağlamasına rağmen, SFOTD' ye kıyasla daha düşük bir performans göstermiştir.
- Tüm örnek durumlar için, akımlarda dalgalanma görülmemesi halinde, OSZD yerine SFOTD uygulanması durumunda ortalama %30,4; TUD yerine SFOTD uygulanması durumunda ise ortalama %17,5 başarım sağlanmıştır. Akımlarda dalgalanma görülmesi halinde ise bu oranlar yaklaşık %50 artış göstererek %45,9 ve %26,3 olarak elde edilmiştir.
- Analizler ile elde edilen ortalama gecikme değerleri, akımlarda dalgalanma görülmesi durumunda, OSZD' nin etkinliğinin dramatik bir şekilde azaldığını açıkça ortaya koymaktadır. Bu durum, trafikteki ani dalgalanmalar durumunda, OSZD' nin diğer denetim türlerine kıyasla kavşak kapasitesini önemli oranlarda azalttığının önemli bir göstergesidir.
- Sonuçlar detaylı bir şekilde incelendiğinde, özellikle dalgalanmalı akım durumlarında, SFOTD ile hem OSZD' ye hem de TUD' a kıyasla çok daha iyi performans değerleri elde edilebileceği görülmektedir. Bu durum, SFOTD' nin akımlardaki dalgalanmalara iyi bir şekilde uyum sağlayabildiğinin önemli bir kanıtı olarak değerlendirilebilir.
- Literatürde, optimizasyon tabanlı dinamik denetim sistemleri üzerine yapılan birçok çalışmada, yalnızca sinyal süreleri optimizasyonu üzerinde durulmuştur. SFOTD modelinde ise sinyal süreleri ile birlikte faz planları da en iyilenmiştir. Sonuçlar, faz planı optimizasyonunun da ortalama gecikmeleri azaltmaya ve kavşak performansını arttırmaya yardımcı olabileceğini açıkça göstermektedir.

Bilindiği üzere, bu çalışma kapsamında, farklı denetim türleri, yalnızca dört kollu bir kavşak modeli göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Kavşak yaklaşım kolu sayısı arttıkça, SFOTD ile elde edilen başarım oranlarının, trafik akımlarındaki kesişme olasılığı da arttığı için, azalabileceği öngörülmektedir. Bu bağlamda, sonraki çalışmalarda, SFOTD' nin etkinliğinin tam anlamıyla test edilebilmesi için farklı geometrik özelliklere sahip farklı kavşak modellerinin analiz edilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, SFOTD modelinde, doğru ve güvenilir gerçek zamanlı trafik tahminleri ve gerçek zamanlı doygun akım ölçümleri (şerit bazlı) ile sinyal sürelerinin ve faz planlarının çok daha kısa periyodlarda güncellenmesi hedeflenmektedir. Kısa periyodlu güncellemelerin, SFOTD modelinin performansına olumlu katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

Aavani, P., Sawant, M. K., Sawant, S., Deshmukh, R. S. (2017) A Review on Adaptive Traffic Controls Systems, International Journal of Latest Engineering and Management Research, 2 (1), pp 52-57.

Bullen, A. G. R. (1989) Effects of Actuated Signal Settings and Detector Placement on Vehicle Delay, Transportation Research Record, 1244, 32-38.

Cakici, Z., Murat, Y. S. (2019) A Differential Evolution Algorithm-based Traffic Control Model for Signalized Intersections, Advances in Civil Engineering, Article ID: 7360939, pp 1-16.

Cakici, Z., Murat, Y. S., Aydin, M. M. (2022) Design of An Effcient Vehicle-Actuated Signal Control Logic for Signalized Intersections, Scientia Iranica-Transaction A-Civil Engineering, 29 (3), pp 1059-1076.

Çakıcı, Z., Murat, Y. Ş. (2016) Sinyalize Dönel Kavşaklar için Hesap Yöntemi Önerisi ve Performans Analizi, İMO Teknik Dergi, 27 (4), pp 7569-7592.

Çakıcı, Z. (2020) Sinyalize Kavşaklar için Optimizasyon Tabanlı Trafik Yönetim Modeli, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli

Doğan, E. (2014) Optimize Edilmiş Bulanık Mantık Yöntemi ile İzole Sinyalize Kavşak Kontrolü, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale

Guo, W., Yu, Z., He, Z., Zheng, S. (2007) Traffic-Actuated Signal Control based on Dynamic Optimal Maximum Green Time, International Conference on Transportation Engineering 2007 (ICTE 2007), pp 582-587.

Highway Capacity Manual (2010) National Research Council, Washington, D. C.

Jiang, X., Qiu, Y., Ruan, S. (2011) An Approach to Optimize The Settings of Actuated Signals, Journal of Modern Transportation, 19 (1), pp 68-74.

Li, H., Prevedouros, P. D. (2004) Traffic Adaptive Control for Oversaturated Isolated Intersections: Model Development and Simulation Testing, Journal of Transportation Engineering, 130 (5), pp 594-601.

Ma, X., Jin, J., Lei, W. (2014) Multi-Criteria Analysis of Optimal Signal Plans using Microscopic Traffic Models, Transportation Research Part D, 32 (2014), pp 1-14.

Mathew, T. V. (2017) Signalized Intersections Delay Models, Lecture Notes in Transportation System Engineering.

Mirchandani, P., Head, L. (2001) A Real-Time Traffic Signal Control System: Architecture, Algorithms, and Analysis. Transportation Research Part C, 9 (6), pp 415-432.

Mohajerpoor, R., Saberi, M., Ramezani, M. (2019) Analytical Derivation of the Optimal Traffic Signal Timing: Minimizing Delay Variability and Spillback Probability for Undersaturated Intersections, Transportation Research Part B, 119 (2019), pp 45-68.

Murat, Y. S., Kikuchi, S. (2007) Fuzzy Optimization Approach: Comparison with The Classical Optimization method using The Problem of Timing a Traffic Signal, Transportation Research Record, 2024 (1), pp 82-91.

Rezzai, M., Dachry, W., Moutaouakkil, F., Medromi, H. (2015) Designing An Intelligent System for Traffic Management, Journal of Communication and Computer, 12 (3), pp 106-114.

Studer, L., Ketabdari, M., Marchionni, G. (2015) Analysis of Adaptive Traffic Control Systems Design of A Decision Support System for Better Choices, Journal of Civil & Environmental Engineering, 5 (6), pp 1-10.

Thunig, T., Kühnel, N., Nagel, K. (2019) Adaptive Traffic Signal Control for Real-World Scenarios in Agent-based Transport Simulations, Transportation Research Procedia, 37 (2019), pp 481-488.

Van Katwijk, R. T. (2008) Multi-Agent Look-Ahead Traffic Adaptive Control, Ph.D Thesis, Technische Universiteit Delft, Delft.

Viti, F., Van Zuylen, H. J. (2010) A Probabilistic Model for Traffic at Actuated Control Signals. Transportation Research Part C, 18 (3), pp 299-310.

Wang, X. B., Yin, K., Liu, H. (2018) Vehicle Actuated Signal Performance under General Traffic at An Isolated Intersection, Transportation Research Part C, 95 (2018), pp 582-598.

Yu, D., Tian, X., Xing, X., Gao, S. (2016) Signal Timing Optimization based on Fuzzy Compromise Programming for Isolated Signalized Intersection, Mathematical Problems in Engineering, Article ID: 1682394, pp 1-12.

Yuedong, Z., Wei, F. and Chenchen, Q. (2016) A PSO based Signal Timing Optimization Approach of Phase Combination, International Conference on Civil, Transportation and Environment 2016 (ICCTE 2016), pp 314-319.

Zhao, Y., Tian, Z. (2012) An Overview of The Usage of Adaptive Signal Control System in The United States of America, Applied Mechanics and Materials, 178-181, pp 2591-2598.

Karayolu Ulaşımının Çevresel Etkileri Üzerine Bilimsel Çalışmalar Işığında Bir İnceleme

Mehmet Ali ERÇETİN[1*] İslam GÖKALP[2]
[1*]Batman Üniversitesi, Kozluk MYO, İnşaat Bölümü, Kozluk/Batman
Tel: 0 (488) 217 35 00
E-Posta: mehmetaliercetin@gmail.com (Sorumlu Yazar)
[2]Batman Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Merkez/Batman
Tel: 0 (488) 217 21 56
E-Posta: islamgokalp@gmail.com

ÖZ

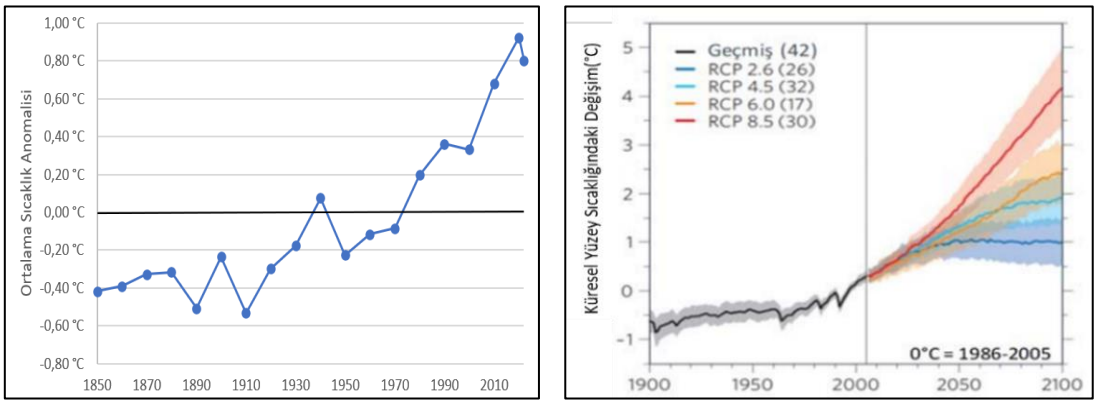
Bireysel ve toplumsal ulaşımın sağlanması karayolu, demiryolu, havayolu ve denizyolu olmak üzere temel olarak dört farklı ulaşım sistemi ile yapılmaktadır Ulaşımın bir sonucu olarak toplumlarda çeşitli sosyal, ekonomik, kültürel ve çevresel değişim meydana gelmektedir. Anılan değişimler toplumsal yarar sağlayabildiği gibi toplumun yaşam alanlarına ve kalitesine zarar verebilmektedir. Genellikle ulaşım sistemlerinde kullanılan yakıt türünün %95 'i fosil kaynaklardan temin edilmektedir. Küresel ısınma ve iklim değişikliğin en temel nedeni olan sera gazı salımlarının kaynağını oluşturan bu yakıt türünün kullanımı her geçen gün artmaktadır. Zira küresel ölçekte meydana gelen sera gazı salımlarının yaklaşık olarak %25 'i ulaşım kaynaklıdır. Bu oranın yaklaşık olarak %75 'i, (Türkiye ’de yaklaşık olarak %95 'ini) ise karayolu ulaşım etkinlikleri oluşturmaktadır. Ayrıca, karayolu üst ve altyapısının geçtiği bölgelerde belirgin bir şekilde hava kalitesinde düşüş, gürültü kirliliğinde yükseliş, arazi kullanımındaki farklılaşma ile biyo-çeşitlilikte azalış görülmektedir. Bu çalışmada, günümüzde toplumun hassasiyet ile üzerinde durduğu sürdürülebilir bir çevre ekosistemi bağlamında karayolu ulaşımın inşa ve hizmet sürecinde çevre üzerindeki etkileri mevcut bilimsel çalışmalar ve raporlar ışığında ele alınmış, bu ulaşım sistemlerinden kaynaklanan zararlı çevresel etkilerin azaltılması hususunda çeşitli çözüm önerileri sunulmuştur. Böylelikle, çevre ekosisteminin korunması ve ilgili paydaşları aydınlatmak ve paydaşlara farkındalık kazandırmak amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Sürdürülebilirlik, Ulaşım, Çevre, İklim Değişikliği, Sera gazı salımı.

Giriş

Ulaşım, insanların günlük yaşamlarında iş, alışveriş, eğitim, sağlık ve ekonomik gibi eylemlerinin yürütülmesi ve devam ettirilebilmesi için zorunlu bir ihtiyaçtır (Mouratidis ve diğ., 2021). Artan nüfus ve ekonomik büyümeyle birlikte, taşımacılığa olan talep giderek artmakta ve günümüzde modern toplumun ayrılmaz bir parçası haline gelmektedir (Euchi ve Kallel, 2021). Bu artan talepleri karşılama noktasında yük ve yolcu taşımacılığı başta karayolları olmak üzere demiryolu, havayolu ve denizyolu gibi ulaşım sistemlerinden yararlanılmaktadır (Némethy ve diğ., 2022). Bu farklı ulaşım sistemleri, insanları ve ürünleri daha hızlı, daha verimli ve daha güvenli bir şekilde taşımak amacıyla tasarlanmıştır.

Tüm ulaşım sistemlerinin toplumsal fayda sağlayan tarafları olmakla beraber toplumun yaşam kalitesini etkileyen zararlı yönleri de (özellikle çevre üzerinde) bulunmaktadır. Zira bu sistemlerin çevre üzerindeki zararlı etkileri son yıllarda önemli ölçüde kaygı verici bir duruma erişmiştir. Diğerlerinden farklı olarak karayolu ulaşım sistemleri, küresel sera gazı salımlarının artmasına ve iklim değişikliğinin etkilerinin daha fazla kötüleşmesine yol açmaktadır (Kouridis ve Vlachokostas, 2022). Bu durum dünya liderleri tarafından sanayi öncesi dönemine göre 2 °C' nin altında küresel ısınmanın tutulması ve mümkünse 1.5 °C'ye kadar indirilmesi hedefi imzalan Paris Anlaşması belirtilmiştir. Bu anlaşmada ortaya konan **"NET SIFIR EMİSYON HEDEFİ",** karayolu ulaşımında kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı salım miktarını, yeryüzünde doğal olarak emilen sera gazı salım miktarıyla dengeleyerek sıfıra indirme amacını taşımaktadır. Böylelikle tüm sektörlerde küresel sera gazı salımlarının azaltılması gereği olarak ortaya çıkmıştır (Axsen ve diğ., 2020; Sacchi ve diğ., 2022). Ulaşım sektörünün, mevcut alt ve üstyapı sistemlerinin geliştirilmesi, malzeme üretimi, artan araç sayısı ve fosil yakıtlara dayalı motorlu taşıt teknolojilerinin kullanımı ile çevresel etkileri önemli bir boyuta erişmektedir (Demirtürk, 2021). Yanı sıra, bu sistemlerin sahip olduğu alt ve üstyapı bakım-onarım işlemleri ve/veya yenilemelerinin yapılması gibi iş ve işlemlerinde kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklı atmosfere salınan gazlar, sera etkisi oluşturarak küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olmaktadır (Castle ve Hendry, 2020). 1850 yılından bu yana dünyamızda yaklaşık 1.2 °C' lik sıcaklık değer artışı (Şekil 1-a) meydana gelmiştir (Türkeş, 2022). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli' nin (HİDP) yayınlanan raporlarına göre, sera gazı salımlarındaki mevcut artış eğilimi devam ettiği takdirde 2100 yılına kadar küresel ortalama yüzey sıcaklığı 1.5 °C ile 4.5 °C arasında artış meydana gelebileceği (Şekil 1-b) ortaya konulmuştur (Meral Akgül ve Gürsel Dino, 2020).



a) b)

Şekil 1. Dünyanın kara – deniz ortalama sıcaklığı diyagramı (1850-2022) (Ritchie ve diğ., 2020) (a), Küresel yüzey sıcaklığındaki değişim ve belirsizliğinin CMIP5 modeli kullanılarak farklı RCP senaryoları (Meral Akgül ve Gürsel Dino, 2020) (b).

Artan sıcaklıklarla birlikte değişen iklimin göstergeleri arasında yükselen deniz seviyeleri, eriyen buzullar, çiçeklenme zamanındaki farklılaşmalar ve artan su baskınları gibi bir dizi çevresel olaylar yaşanmaktadır. Bu değişiklikler zamanla daha belirgin hale gelirken su kaynaklarının azalması ve kirlenmesi gibi durumlar biyo-çeşitliliği olumsuz etkilemektedir (Zhao ve diğ., 2022). İklim değişikliği ile beraber insan sağlığı için temel kabul edilen temiz hava, temiz su, yeterli beslenme ve sağlık gibi temel gereksinimleri tehlike altına almaktadır (Kalair ve diğ., 2021). İklim değişikliğine olumsuz yönde etki eden en önemli sektörlerin başında ulaşım sektörü gelmektedir. Bu nedenle ulaşım sektörü ve iklim değişikliği arasında bağımlı bir ilişki söz konusu olmaktadır (de Abreu ve diğ., 2022).

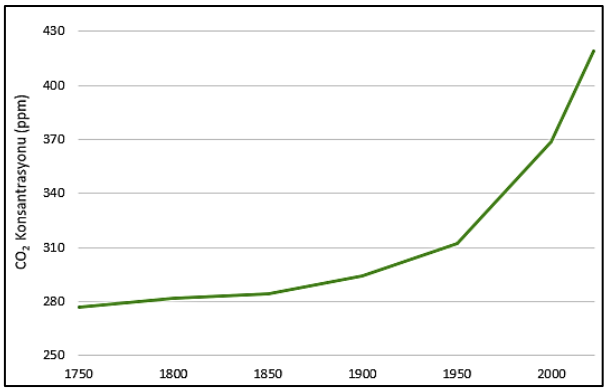
Bu çalışmanın araştırma konusunu oluşturan karayolu ulaşımı, yalnızca iklim değişikliğine değil aynı zamanda önemli bir hava ve gürültü kirliliği kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır. Özellikle şehirlerde ve yoğun trafik akışının olduğu bölgelerde yaşayan insanların halk ve diğer canlı sağlığını bu bağlamada olumsuz etkilemekte ve yaşam kalitelerinin düşmesine neden olmaktadır (Bălă ve diğ., 2021; Münzel ve diğ., 2021). Yolların inşası ve genişletilmesi, doğal alanların yok olmasına neden olmaktadır. Karayolu ulaşımı arazi kullanımı ve biyo-çeşitlilik üzerinde de olumsuz etkilere sahip olmaktadır. Çevre üzerindeki anılan olumsuz etkiler yalnızca yerelde değil, küresel boyutlarda da görülmektedir (Wachs ve Engel, 2021). Karayolu ulaşım sistemlerinin anılan zararlı etkilerinin yanı sıra çevreye ve topluma yansıyan olumlu etkileri de mevcuttur. Zira karayolu ulaşım sistemi, diğer ulaşım sistemleri ile birlikte çalışarak, bir ülkenin ulaşım ihtiyaçlarını karşılayarak tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir (Barua ve diğ., 2020). Akaryakıt maliyetleri ve varış noktasına ulaşmak için harcanan zamanı düşürerek ürün ve hizmetlere erişimde fırsat eşitliğini vermekte, kısa ve orta mesafelerde ürün ve hizmetlerin "kapıdan kapıya" verimli dağıtımına imkân sunmaktadır. (Nunes ve diğ., 2020). Karayolu ulaşımı, aynı zamanda sosyal, kültür ve sanatsal etkinliklerin ve iletişimin gelişmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Ballarano ve diğ., 2022).

Bu çalışmada, karayolu ulaşımının iklim değişikliği, hava kirliliği, gürültü kirliliği, arazi kullanımı ve biyo-çeşitlilik üzerindeki etkileri mevcut çalışmalar ışığında incelenmiştir. Mevcut durum neden ve sonuç ilişiklisi içerisinde detaylı bir şekilde ele alınmış, karayolu ulaşımının çevresel etkilerini azaltmak için alınabilecek önlemler ve uygulanabilecek stratejiler ortaya konulmuştur. Böylelikle, karayolu ulaşımının çevresel etkilerinin farkındalığını artırmak ve sürdürülebilir bir ulaşım sistemi için stratejiler geliştirme önerileri paylaşmak amaçlanmıştır.

Küresel Isınma ve İklim Değişimi Üzerine Etkisi

Bir ülkedeki modern ve gelişmiş bir ulaşım sistemi, işletmelerin büyümesi ve uluslararası ticaretin gelişmesi için hayati önem taşımaktadır. Buna paralel olarak ulusal ve uluslararası ekonomiye katma değer yaratılması, ihracatın artırılması, yatırımcıları teşvik edilmesi ve istihdam olanaklarını yükseltmesi gibi hususlarda da modern ve gelişmiş bir ulaşım sistemi ile mümkün olabilmektedir. Diğerlerine oranla daha fazla yararlanılan karayolu ulaşım sisteminin etkili olması ile birlikte ülkelerin büyüme potansiyelleri ve ekonomik refahları ve kalkınmaları üzerinde belirgin bir iyileşme oluşturmaktadır (Asif ve diğ., 2021; Zou ve diğ., 2022).

Artan toplumsal ulaşım taleplerinin karşılanabilmesi noktasında kullanılan mevcut motorlu araç teknolojisi ile fosil yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır (Dündar ve Kolay, 2021). Öyle ki, dünya genelinde gerçekleştirilen ulaşım hizmetleri fosil yakıtlarla çalışan motorlar tarafından sağlanan enerjinin %95'ten fazlasını kullanmaktadır. Bu yakıtların kullanımı tüm ulaşım etkinlikleri içerisinde ortaya çıkan sera gazı salımlarının yaklaşık %25' ini oluşturmaktadır (Albuquerque ve diğ., 2020). Karayolu ulaşımında fosil yakıtlarla çalışan motorlar ile çalışan taşıtların artan sayısı, kullanım süreleri ve yeni yapılacak yol inşası için hammadde temini sera gaz salımlarını artırmaktadır (Ma ve diğ., 2016). Sanayi devrimi ile birlikte sera gazı salımları sürekli olarak artmaktadır ve özellikle son 50 yılda bu artış oranı daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir (Şekil 2). Bu durum, küresel ısınma ve iklim değişikliği sorunlarının artmasına neden olmaktadır (Malhi ve diğ., 2021).



Şekil 2. Atmosferdeki Karbondioksit (CO_2) yoğunluğunun yıllara göre değişimi (1750-2022) (Ritchie ve diğ., 2020).

Güneşten gelen ışınlar bir kısmı atmosferden uzaya geri yansımakta ve bir kısmı da yer küre yüzeyine ulaşmaktadır. Yüzeye ulaşan ışınlar ısınmayı arttırmakta ve yüzeyden tekrar yansıyan ışınlar ya atmosferden geçerek uzaya doğru ilerlemekte ya da atmosferde bulunan sera gazları tarafından tutularak yüzeye geri yansıtılmaktadır. Bu döngü, sera gazların dünyamızda ısı miktarının birikmesine ve canlı yaşamının elverişli koşullar altında yaşamasına imkân tanımaktadır. Sera etkisi, Dünya'nın atmosferindeki gazların belirli bir kısmının güneş ışınlarını emerek, uzaya geri yansıtmadan tutulması sonucu ortaya çıkan doğal bir olaydır. (Kılıç ve diğ., 2021). Bu sera gazları, atmosferde biriken gazlarla birlikte dünya genelinde iklim değişikliğine yol açmaktadır. Sera gazı seviyesinin kontrolsüz bir şekilde arttığında küresel ısınma ve olağan dışı hava koşulları gibi ciddi problemlere yol açabilmektedir (Lyu ve diğ., 2021). Örneğin, küresel ısınma sonucunda karayolu ulaşımı üzerinde çeşitli iklim değişikliği etkileri gözlenmektedir. Artan sıcaklıklar, sıcak hava dalgaları, kuraklık, seller, buzulların erimesi ve deniz seviyesinin yükselmesi gibi olaylar daha sık ve daha şiddetli şekilde gerçekleşmektedir. Karayolu taşımacılığı kaynaklı salımların başlıca kaynağı, araçlarda kullanılan benzin ve dizel gibi fosil yakıtların araçlara güç sağlamak amacıyla yakılmasıdır. Bu yakıtlar yandığında atmosfere CO_2 ve CO_2, metan (CH_4) ve diazotoksit (N_2O) gibi sera gazları gazları yaymaktadır. Bu zararlı gazlar, ısıyı atmosferde hapsederek sıcaklıkların yükselmesine ve Dünya'nın ikliminde değişikliklere neden olmaktadır (Rouhany ve Montgomery, 2019). Bu gazların atmosferdeki miktarı arttıkça, daha fazla güneş ışınlarını tutarak yeryüzünün ısısını arttırmaktadır (Srivastav ve diğ., 2022). İklim değişikliğinin karayolu taşımacılığı üzerindeki etkileri dünya genelinde görülmektedir.

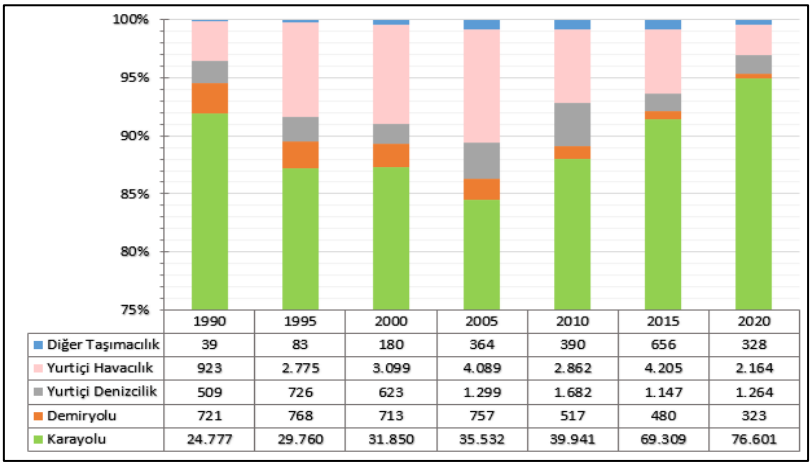
Kyoto Protokolü, dünya genelinde sera gazı salımlarının azaltılması için alınan önlemlerin temelini oluşturan bir anlaşma görevi taşımaktadır. Bu anlaşma, Tablo 1'de verildiği üzere CO_2 gazlarının yanı sıra diğer beş sera gaz türünü de (CH_4, N_2O, hidroflorokarbonlar (HFC_S), perflorokarbonlar (PFC_S) ve sülfür heksaflorür (SF_6)) dikkate almaktadır (Bekiroğlu, 2011; Chen ve Kong, 2023).

Tablo 1. Kyoto Protokolü'nde referans alınan sera gazı salımları (Bekiroğlu, 2011)

Sembol	İsim	CO_2 Eşdeğeri	Ana Kaynak
CO_2	Karbon dioksit	1	Fosil yakıtların yanması, orman yangınları, çimento üretimi
CH_4	Metan	21	Landfill sahalar, petrol ve doğal gazın üretim ve dağıtımı
N_2O	Diazot monooksit	310	Fosil yakıtların yanması, gübreler, naylon üretimi
HFC_S	Hidroflorokarbonlar	140–11.700	Buzdolabı gazları, alüminyum eritme, yarı iletken üretimi
PFC_S	Perflorokarbonlar	6.500–9.200	Alüminyum üretimi, yarı iletken üretimi
SF_6	Sülfür Heksaflorür	23.900	Elektrik iletim ve dağıtım sistemleri, magnezyum üretimi

CO_2 eşdeğeri: sera gazları arasında CO_2 dışındaki diğer gazların, aynı miktarda CO_2 ile karşılaştırıldığında ne kadar daha fazla ısı tutma kapasitesine sahip olduklarını ifade etmektedir. Bu ölçüm, tüm sera gazlarının salım hesaplamaları için ortak bir ölçüt sağlamakta ve tüm sera gazlarının karşılaştırılabilir hale getirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu sayede salım hesaplamaları anlaşılır hale getirilmektedir. Böylece, CO_2 eşdeğeri ölçümü, sera gazı salımlarının etkileri dahi iyi anlaşılmakta ve küresel iklim değişikliği ile mücadelede daha etkili politikalar geliştirilebilmektedir

Fosil yakıt tüketiminin neden olduğu CO_2 salımları sektörel olarak incelendiğinde, enerji sektörü %41 pay ile en yüksek orana sahip olmaktadır. Taşımacılık sektörü ise %24 pay ile enerji sektörünün hemen ardından gelmektedir ve yaklaşık olarak bu oranında %75'ini karayolu yük ve yolcu taşımacılığı oluşturmaktadır (Zhang ve diğ., 2019). Şekil 3' de görüldüğü üzere Türkiye'de, karayolu yük ve yolcu taşımacılığından kaynaklanan sera gazı salımları sürekli bir artış eğilimi gözlemlenmektedir. Karayolu taşımacılığı, diğer ulaşım türlerine kıyasla daha yüksek düzeylerde sera gazı salımına yol açmaktadır. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (CSB, 2022) tarafından yayınlanan bir raporda, 1990 ile 2020 yılları arasındaki dönemde, karayolu taşımacılığına bağlı sera gazı salımları yaklaşık olarak %92'den %95'e yükselmiştir. Bu dönem içinde, salım miktarında üç katından fazla bir artış görülmektedir.



	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Diğer Taşımacılık	39	83	180	364	390	656	328
Yurtiçi Havacılık	923	2.775	3.099	4.089	2.862	4.205	2.164
Yurtiçi Denizcilik	509	726	623	1.299	1.682	1.147	1.264
Demiryolu	721	768	713	757	517	480	323
Karayolu	24.777	29.760	31.850	35.532	39.941	69.309	76.601

Şekil 3. Türkiye'de ulaşım sistemlerinin neden olduğu sera gazı salımı (1990-2020)

Karayolu ulaşımı ağı genel olarak esnek üstyapılardan oluşmaktadır. Esnek üstyapı ısıl hassasiyeti yüksek olan bitümün bağlayıcı malzeme olarak belli boyutlara ve miktara sahip agregaların birleşiminden oluşmaktadır. Artan sıcaklıklar ve sıcak hava dalgaları, yollarda aşırı ısınma ve yüzeylerin bozulmasına yol açmaktadır. Yol yüzeyindeki bozulmalar, araçların güvenliği ve sürüş konforunu olumsuz etkilemektedir. Bunlar araç kullanımını zorlaştırırken, kaza riskini de artırmaktadır. Ayrıca, iklim değişikliği ile birlikte buzulların erimesi ve deniz seviyesinin yükselmesi gibi etkiler, kıyı bölgelerindeki karayolu altyapısını tehdit etmektedir (Hussain ve diğ., 2020). Küresel ısınma aynı zamanda aşırı yağış olaylarının da artmasına sebep olmaktadır. Sel olayları daha sık meydana gelmekte ve yollarda çeşitli hasarlara yol açabilmektedir. Önceden tahmin edilemeyen hava olayları, trafik sıkışıklığına ve kesintilerine neden olabilmektedir. Neticede bu durum ulaşımın verimliliğini ve konforunu olumsuz etkilemekte (Mohapatra ve diğ., 2023) ve sürdürülebilir ulaşım politikaları ve altyapı düzenlemeleri gerektiren önemli bir sorun olmaktadır (Ji ve diğ., 2022).

Hava Kalitesine ve Canlı Sağlığına Etkisi

Günümüzde, hava kirliliği giderek artan kaygı verici bir hale ulaşmıştır. Bu sorunun birden fazla nedeni olsa da en önemli nedenlerinden biri yaşamsal ihtiyaçların giderilmesi amacıyla yaşanan toplumsal hareket olarak görülmektedir. Karayolu ulaşımı, insanlar tarafından sıklıkla

kullanılan bir sistem olması nedeniyle hava kirliliğine olan etkisi oldukça yüksek olmaktadır (Almetwally ve diğ., 2020). Karayolu ulaşımının hava kalitesi üzerindeki etkisi, sera gazı salımları, parçacık madde yayılımı ve diğer zararlı gazların salımı yoluyla gerçekleşmektedir (Anjum ve diğ., 2021). Motorlu karayolu taşıtları içten yanmalı motorlara sahip olmasından dolayı fosil yakıt tüketimini zorunlu kılmaktadır. Karayolu ulaşımının sera gazı salımları atmosfere yayılan CO_2, CH_4, N_2O, HFC_S ve karbonmonoksit (CO) gibi gazların salımından hava kirliliğine neden olan maddelerdir (Albuquerque ve diğ., 2020).

Plansız kentleşme, yetersiz altyapı, düzensiz yapılaşma ve hızlı nüfus artışı gibi etkenler neticesinde artan karayolu ulaşımı parçacık madde yayılımına neden olmaktadır. Parçacıklar, atmosferdeki toz, toprak, duman, su buharı ve organik maddelerden oluşmaktadır. Bunlar, canlı sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturabilmekte ve Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) hava kirliliğinin insan sağlığı için ciddi bir tehdit unsuru olduğunu belirtmektedir ve insanda akciğer kanseri, astım ve diğer solunum yolu hastalıklarına neden olabileceğini rapor etmiştir (Mandal ve diğ., 2023). Özellikle çocuklar, yaşlılar ve astım gibi solunum yolu hastalıkları olan kişiler, hava kirliliğinin etkilerine daha hassas olmaktadır (Turner ve diğ., 2020).

Karayolu ulaşımının hava kalitesi üzerindeki etkisi, trafik yoğunluğu, yolculuk hızı, taşıtların motor gücü, lastiklerin aşınması ve frenlerin sürtünmesi gibi birçok etmene bağlıdır (Turner ve diğ., 2020). Yoğun trafikte, taşıtlar daha fazla zaman harcayarak daha fazla gaz salımına yol açmakta ve özellikle kesintili ve düzensiz akışa sahip trafikte, araçların kirletici egzoz gazı biriktirerek hava kalitesini daha fazla olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, daha eski araçlar genellikle daha fazla kirletici salımına neden olurken, daha yeni araçlarda tersine bir durum egemendir. Dizel araçlar, benzinli araçlara kıyasla daha yüksek miktarda kirletici madde yaydığı bilinmektedir. Araçların düzenli bakım düzeyi de hava kalitesi üzerinde olumlu etkiye sahip olmaktadır. Zira düzenli bakım yapılmayan araçların salım düzeyleri yüksek ve daha fazla kirletici madde salımına neden olmaktadır (Wang ve diğ., 2019).

Avrupa Birliği (AB) "2030 için İklim ve Enerji Politikaları Çerçevesi" raporlarında 2008 yılına kıyasla ulaşımdan kaynaklanan sera gazı salımlarının en az %20 oranında azaltılmasını önerilmektedir (Kouridis ve Vlachokostas, 2022). Bu bağlamda, hava kalitesini iyileştirmek için, toplu taşımanın, elektrikli araçların, bisikletlerin kullanımının ve yaya ulaşımının teşvik edilmesi ve altyapısının güçlendirilmesi gibi gereklilikler üzerinde durulmuştur. Aynı zamanda, yakıt kalitesinin iyileştirilmesi ve eski motorlu araçların yenilenmesi ile AB tarafından yürütülen programının başarıya ulaşmasına katkı sağlayacağı ifade edilmiştir. Bu tedbirlerin uygulanması ile nihai olarak karayolu ulaşımının hava kalitesi üzerindeki olumsuz etkisini azaltacak ve çevre sağlığının korunması sağlanmış olacaktır (Jonidi Jafari ve diğ., 2021).

Gürültü Kirliliğine Etkisi

Karayolu ulaşımı, yapısal ve fonksiyonel bakımdan birçok etmene bağlı olarak farklı düzeylerde gürültü oluşmasına sebep olmaktadır. Ulaşım kaynaklı trafik gürültüsü özellikle kentsel bölgelerde yaklaşık olarak toplam gürültü kirliliğinin %90'ını oluşturmaktadır (Wickramathilaka ve diğ., 2022). Motorlu karayolu taşıtlarının gürültü kirliliğine neden olan ve kirlilik seviyesini belirleyen motor gücü, egzoz sistemi, süspansiyon, tekerlekler, hava direnci, korna gibi birçok etmen bulunmaktadır (Ihemeje ve Onyelowe, 2021; Pecić ve Pravdić, 2019). Ayrıca trafik gürültüsü, kullanılan araçların cinsine ve hızına, yolun dolguda veya yarmada olmasına, eğim seviyelerine, yolun kaplamasına, yol boyunca bulunan bitki örtüsüne yol ile alıcı arasındaki uzaklığa ve trafik hacmine bağlı olarak değişim göstermektedir (Dülgeroğlu, 2002). Yeşil alanlar, gürültü azaltma noktasında büyük öneme sahip olup gürültüyü 5 dB ila 10

dB arasında azaltma potansiyeline sahiptir. Ağaçlar, gürültü seviyelerini emerek, yansıtarak ve kırarak gürültü kirliliğini azaltmada önemli bir alternatif uygulama olarak önerilmiştir. Bu şekilde, yeşil alanlar gürültü kirliliğini azaltmada etkili bir çözüm sunmaktadır (Wickramathilaka ve diğ., 2022). Karayolu ulaşımının neden olduğu gürültü kirliliğinin azaltılması için birçok yöntem önerilmiştir. Bunlar; düşük gürültü seviyeli lastiklerin kullanılması, yüksek bariyerlerin inşa edilmesi, yüksek gürültü seviyelerinin olduğu bölgelerde hız sınırlarının azaltılması ve daha sessiz araçların tercih edilmesi vb. gibi yöntemler sayılabilir (Ihemeje ve Onyelowe, 2021). Ayrıca karayolu ulaşımının çevreye verdiği gürültü kirliliği bağlamında olumsuz etkilerini azaltmak için toplu taşıma araçlarının kullanımı, bisiklet veya yürüyüş yolları ve elektrikli araçlar gibi çevre dostu araçlar gibi alternatif ulaşım seçenekleri ile karayolu ulaşımının neden olduğu gürültü kirliliğini bir nebze de olsa azaltacaktır (Rojas Rueda ve diğ., 2020).

Çevresel gürültü kirliliği, dünya üzerinde yaşayan tüm insanlar ve canlılar için önemli bir küresel sorun olarak görülmektedir (Iglesias-Merchan ve diğ., 2021). DSÖ'ye göre gürültü kirliliği, hava ve su kirliliğinden sonra toplum üzerinde en çok etkiye sahip üçüncü kirlilik türü olarak tanımlanmıştır (Wickramathilaka ve diğ., 2022). Gürültü kirliliği, insanın yaşam kalitesini olumsuz etkileyen işitme kaybı, kalp-damar hastalıkları, uyku bozuklukları, stres, kaygı ve mental gibi sağlık sorunlarına yol açabileceğini göstermektedir (Lan ve diğ., 2020). Ayrıca, karayolu ulaşımının neden olduğu gürültü kirliliği hayvanların üreme, beslenme ve iletişim davranışlarını etkileyerek doğal yaşam döngüsüne ve yaşam alanlarına olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, yüksek gürültü seviyelerinin bulunduğu alanlarda, doğal yaşam alanlarının korunması için önlemler alınması gerekmektedir (Daiber ve diğ., 2022).

Arazi Kullanımına ve Biyo-Çeşitliliğe Etkisi

Karayolu inşa, bakım ve onarım çalışmaları sırasında gerekli malzemelerin temin edilmesi ve taşınması ve işlenme noktasın şantiye merkezlerinin ve ulaşım yollarının yapılması gerekmektedir. Bu durumlar orman alanlarının, sulak alanların ve otlakların tahrip edilmesi gibi arazinin doğal durumunun bozulmasına neden olmaktadır. Karayolları, canlıların göç yollarını keserek doğal ekosistemleri parçalayan bariyerler halini almaktadır. Bu durum doğal yaşam ortamlarında yaşamakta olan canlı türlerinin hareket alanlarını sınırlayarak türlerin yaşam alanlarına erişimini engellemekte ve genetik çeşitliliği azalmasına sebep olmaktadır. Böylelikle, flora ve fauna arasındaki ekolojik ve biyolojik etkileşimlerin bozulmasına neden olmaktadır. Ekolojik sürekliliğinin engellenmesi ile canlıların yer değiştirmesi veya yok olması kaygı verici bir sorun olmaktadır (Liu ve diğ., 2019; Salehi ve diğ., 2021; Jones ve diğ., 2019).

Karayolu inşa edilirken, coğrafik ve jeolojik etmenlere bağlı olarak koruma altına alınan ve yaşamsal döngüde önemli yere sahip ormanlık alanlardan da yol doğrultusu geçebilir. Böyle durumlarda yol doğrultusunun geçtiği ormanlık alanların yok olması kaçınılmazdır. Bu durum orman alanlarının hızla azalmasına neden olmaktadır. Küresel karbon (C) döngüsünde önemli rol alan ağaçlar atmosferdeki CO_2 moleküllerini emip O_2 salımı yaparak doğaya fayda sağlamaktadır, ancak tahrip edilen ormandaki ağaç sayısındaki düşüş ilişkin alanın ekosistemini olumsuz etkilemektedir (Kumar ve Pooja, 2020; Alsarhan ve diğ., 2021).

Karayolu inşa ve işletme süreçlerinde ortaya çıkan sera gazı salımları küresel ısınmayı direkt etkileyebilmektedir. Bu etki sıcaklıkları artırarak, dolaylı olarak buzul alanların azalmasına ve erimesine neden olabilmektedir. Ding ve diğ., 2021 tarfından yapılan bir çalışmada, 1990'ların başından bu yana, ortalama deniz seviyesi yılda 3,1–3,3 mm/yıl oranında yükseldiğini göstermektedir. Ayrıca, 1990 yılından 2100 yılına kadar deniz seviyesinin 1,1 m'ye kadar

yükseleceği ön görülmektedir. Buzul alanların azalması bu bölgelerde yaşayan türlerin yaşam alanlarının kaybına ve nesillerinin tehlike altına girmesine yol açtığı ifade edilmiştir. Eriyen buzul tabakalar ve bununla birlikte yükselen deniz seviyeleri ile birlikte ada ülkeler ve kıyı bölgeler gibi düşük rakımlı alanlar yaşamsal etkinliklerin sürdürülmesi noktasında kıyı erozyonu ve tuzlu su baskınları gibi doğal afetlerin sıklığı ve şiddetinde artışa maruz kalarak daha fazla risk altında girmektedir. Bu durum milyonlarca insanın evlerini kaybetmesine, tarım alanlarının zarar görmesine ve içme suyu kaynaklarının yok olmasına varan ciddi sonuçlara neden olabilmektedir (Kaushal ve diğ., 2021). Aynı zamanda buzulların erimesi sonucunda okyanuslara karışan tatlı su, okyanus suyunun çözelti oranını ve PH değerini azaltmaktadır. Bu tatlı su, okyanustaki tuzu seyreltmekte ve bu durum onu daha az yoğun hale gelmesini sağlamaktadır. Okyanus ve denizlerde azalan su yoğunlukları, oksijen (O_2) de içermek üzere çözünmüş gazı daha az tutmaktadır. Azalan PH değeri ile birlikte balıklara ve deniz memelilerine besin sağlayan planktonların ve kabuklu deniz canlılarının kabuklarını oluşturmasını ve yenilemesini zorlaştırarak deniz ekosisteminde yıkıcı etkiye neden olmaktadır (Ibáñez ve diğ., 2023; Garcia-Soto ve diğ., 2021).

Sonuçlar

Karayolu ulaşım sistemi, çevre üzerinde yalnızca olumsuz değil aynı zamanda olumlu etkilere sahip olduğu aşikârdır. Sera gazı salımları ile küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olması, hava ve gürültü kirliliği oluşturması ve arazi kullanımının ve ekosistemin değişmesi gibi hususlar karayolu ulaşımının çevre üzerindeki olumsuz etkileri arasında göstermek mümkündür. Ancak, olumlu etkileri sürdürülebilir yaşamsal ihtiyaçların giderilmesi noktasında göz ardı edilmeyecek kadar önemli bir boyuttadır. Çalışma kapsamında incelenen çalışmalar ışığında yapılan çıkarımlar doğrultusunda karayolu ulaşım sisteminin çevresel etkisi ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlara yer verilebilir.

- Karayolu ulaşım sistemi yük ve yolcu taşımacılığında en yaygın ve etkin kullanılan ulaşım sistemidir ve toplumun iş, eğitim, sağlık ve diğer faaliyetlerine erişimini kolaylaştıran temel unsurdur.
- İnşaat sektörünün önemli yapılarından olan karayolları gerek inşa gerekse malzeme ve imalat aşaması ve hizmete açılması sürecine kadar sera gazı salımları meydana getiren ciddi bir sera gazı kaynağı olmaktadır.
- Karayolu ulaşım sistemleri, atmosfere salınan sera gazı salımlarının tüm kaynaklar arasındaki oranı yaklaşık olarak %18 'ine denk gelmektedir.
- Araçların egzoz gazı salımları, hava kirliliği, trafik gürültüsü, trafik kazaları ve fiziksel hareketsizlik gibi değişkenler, halk sağlığına ciddi zararlar verebilmektedir.
- Yol ağları geçtikleri doğal yaşam ortamları bölerek canlı türlerini tehdit etmektedir.
- Fosil yakıt kullanımı teknolojisine sahip motorlu karayolu taşıtlarının artan kullanım sayısına bağlı olarak sera gazı salım miktarında da sürekli olarak artış sağlayarak küresel ısınma ve iklim değişimine neden olmaktadır.
- CO_2, CH_4, N_2O gibi parçacık madde salımları, küresel iklim değişikliği ve hava kalitesi sorunlarına neden olmaktadır.
- Her ne kadar gelişen teknolojilerle düşük salımlı sera gazı ortaya çıkaran araçlar üretilse de araç kullanımı ve artan yolculuk talebinin artmasıyla belirgin bir azalış görülememektedir.

Öneriler

Bu bölümde, çalışma kapsamında değerlendirilen bilimsel çalışmalar doğrultusunda karayolu ulaşımının çevresel etkisini azaltabilecek çeşitli öneriler ele alınmıştır. Bunlar;

- Yol yapım tekniklerinde doğaya salınan CO_2 gazı seviyelerinin azaltılacak teknolojik gelişmelerin hayata geçirilmesine yer verilmelidir.
- Atmosferde sera gazı salım miktarını artıran fosil yakıtlı taşıtların yerine alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarını yakıt olarak kullanan taşıtların kullanımına geçilmelidir.
- Atmosferde bulunan CO_2 salım seviyesini dengeleyen, hava ve gürültü kirliliğini engelleyen ağaçların, kesimi ve kayıpları en aza indirilerek orman sayısı ve alanı artırılmalıdır.
- Yolculuklarda kişisel araç yerine ortak araba kullanmaya ve/veya alternatif toplu taşıma sistemlerine teşvik edilmeli ve bu hususta gerekli alt yapı oluşturulmalıdır.
- Şehir içi yolculuklarda yürüyüş yolu ve bisiklet kullanımına yönelik altyapı oluşturulmalıdır.
- Şehirleri ve toplulukları araba yolculuğu gereksinimini en aza indirecek şekilde yol altyapısı inşa edilmelidir.
- Akıllı ulaşım sistemlerinin uygulama alanları genişletilerek, trafik akışının daha verimli hale getirilmesi yönünde programlar yapılmalıdır.
- Karayolu üst ve altyapısı planlamasında doğal yaşam alanlarının korunması ve ekosistemlerin bozulmasının önlenmesine yönelik uygulamalara yer verilmelidir.

Kaynaklar

Albuquerque, F. D., Maraqa, M. A., Chowdhury, R., Mauga, T., and Alzard, M. (2020) Greenhouse Gas Emissions Associated with Road Transport Projects: Current Status, Benchmarking, and Assessment Tools. Transportation Research Procedia, 48, pp. 2018-2030.

Almetwally, A. A., Bin-Jumah, M., and Allam, A. A. (2020) Ambient Air Pollution and Its Influence on Human Health and Welfare: an Overview. Environmental Science and Pollution Research, 27, pp. 24815-24830.

Alsarhan, L. M., Alayyar, A. S., Alqahtani, N. B., and Khdary, N. H. (2021) Circular Carbon Economy (CCE): A Way to Invest CO2 and Protect the Environment, a Review. Sustainability, 13 (21), pp. 11625.

Anjum, M. S., Ali, S. M., Subhani, M. A., Anwar, M. N., Nizami, A.-S., Ashraf, U., and Khokhar, M. F. (2021) An Emerged Challenge of Air Pollution and Ever-Increasing Particulate Matter in Pakistan; A Critical Review. Journal of Hazardous Materials, 402, pp. 123943.

Asif, M., Ali, M., M'Begniga, A., Guoqing, Z., Yang, L., and Hashim, M. (2021) China-Pakistan Economic Corridor: Analytical overview on Socio-Cultural Romance between China and Pakistan. Randwick International of Social Science Journal, 2 (4), pp. 492-508.

Axsen, J., Plötz, P., and Wolinetz, M. (2020) Crafting Strong, Integrated Policy Mixes for Deep CO2 Mitigation in Road Transport. Nature Climate Change, 10 (9), pp. 809-818.

Bălă, G.-P., Râjnoveanu, R.-M., Tudorache, E., Motişan, R., and Oancea, C (2021) Air Pollution Exposure—the (in) Visible Risk Factor for Respiratory Diseases. Environmental Science and Pollution Research, 28, pp. 19615-19628.

Ballarano, D., Patella, S. M., and Asdrubali, F. (2022) Sustainable Transportation for Events: A Systematic Review. Sustainability, 14 (23), pp. 15815.

Barua, L., B. Zou and Y. Zhou (2020) Machine Learning for International Freight Transportation Management: A Comprehensive Review. Research in Transportation Business and Management, 34, pp. 100453.

Bekiroğlu, O. (2011) Sürdürülebilir Kalkınmanın Yeni Kuralı: Karbon Ayak İzi. II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi.

Castle, J. L., and Hendry, D. F. (2020) Climate Econometrics: An Overview. Foundations and Trends® in Econometrics, 10 (3-4), pp. 145-322.

Chen, R., and Kong, Y. (2023) A Comprehensive Review of Greenhouse Gas Based on Subject Categories. Science of The Total Environment, 866, pp. 161314.

CSB. (2022) Ulaştırma Türüne Göre Seragazı Emisyonu. Erişim Tarihi: 10.01.2023. https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ulastirma-turune-gore-seragazi-emisyonu-i-85790.

Daiber, A., Frenis, K., Kuntic, M., Li, H., Wolf, E., Kilgallen, A. B., Lecour, S., Van Laake, L. W., Schulz, R., and Hahad, O. (2022) Redox Regulatory Changes of Circadian Rhythm by the Environmental Risk Factors Traffic Noise and Air Pollution. Antioxidants and Redox Signaling, 37 (10-12), pp. 679-703.

de Abreu, V. H. S., Santos, A. S., and Monteiro, T. G. M. (2022) Climate Change Impacts on the Road Transport Infrastructure: A Systematic Review on Adaptation Measures. Sustainability, 14 (14), pp. 8864.

Demirtürk, D. (2021) Sürdürülebilir Ulaşımda Sera Gazı Etkisini Azaltmaya Yönelik Çalışmalar. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9 (4), pp. 1080-1092.

Ding, Y., Mu, C., Wu, T., Hu, G., Zou, D., Wang, D., Li, W., and Wu, X. (2021) Increasing Cryospheric Hazards in a Warming Climate. Earth-Science Reviews, 213, pp. 103500.

Dülgeroğlu, A. (2002) Trafik ve Çevre Etkisi. Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, Ankara.

Dündar, A. O., and Kolay, A. (2021) Karayolu Yük ve Yolcu Taşımacılığının Çevresel Sürdürülebilirlik Bakımından Değerlendirilmesi ve Konya İli Sera Gazı Emisyonunun Hesaplanması. Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 14 (1), pp. 317-334.

Euchi, J., and Kallel, A. (2021) Internalization of External Congestion and CO2 Emissions Costs Related to Road Transport: The Case of Tunisia. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 142, pp. 110858.

Garcia-Soto, C., Cheng, L., Caesar, L., Schmidtko, S., Jewett, E. B., Cheripka, A., Rigor, I., Caballero, A., Chiba, S., and Báez, J. C. (2021) An Overview of Ocean Climate Change Indicators: Sea Surface Temperature, Ocean Heat Content, Ocean Ph, Dissolved Oxygen Concentration, Arctic Sea Ice Extent, Thickness and Volume, Sea Level and Strength Of The Amoc (Atlantic Meridional overturning Circulation). Frontiers in Marine Science, 8, pp. 642372.

Hussain, M., Butt, A. R., Uzma, F., Ahmed, R., Irshad, S., Rehman, A., and Yousaf, B. (2020) A Comprehensive Review of Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation on Environmental and Natural Calamities in Pakistan. Environmental Monitoring and Assessment, 192, pp. 1-20.

Ibáñez, A., Garrido-Chamorro, S., & Barreiro, C. (2023). Microorganisms and Climate Change: A Not so Invisible Effect. Microbiology Research, 14 (3), pp. 918-947

Iglesias-Merchan, C., Laborda-Somolinos, R., Gonzalez-Avila, S., and Elena-Rossello, R. (2021) Spatio-Temporal Changes of Road Traffic Noise Pollution at Ecoregional Scale. Environmental Pollution, 286, pp. 117291.

Ihemeje, J., and Onyelowe, K. C. (2021) State-of-the-Art Review on the Assessment and Modelling of Traffic Noise Intensity on Roadside Dwellers: The Port Harcourt, Nigeria Case. Cleaner Engineering and Technology, 5, pp. 100328.

Ji, T., Yao, Y., Dou, Y., Deng, S., Yu, S., Zhu, Y., and Liao, H. (2022) The Impact of Climate Change on Urban Transportation Resilience to Compound Extreme Events. Sustainability, 14 (7), pp. 3880.

Jones, C., Borkin, K., and Smith, D. (2019) Roads and Wildlife: The Need for Evidence-Based Decisions; New Zealand Bats as a Case Study. New Zealand Journal of Ecology, 43 (2), pp. 3376.

Jonidi Jafari, A., Charkhloo, E., and Pasalari, H. (2021) Urban Air Pollution Control Policies and Strategies: A Systematic Review. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 19, pp. 1911-1940.

Kalair, A., Abas, N., Saleem, M. S., Kalair, A. R., and Khan, N. (2021) Role of Energy Storage Systems in Energy Transition from Fossil Fuels to Renewables. Energy Storage, 3 (1), pp. e135.

Kaushal, S. S., Likens, G. E., Pace, M. L., Reimer, J. E., Maas, C. M., Galella, J. G., Utz, R. M., Duan, S., Kryger, J. R., and Yaculak, A. M. (2021) Freshwater Salinization Syndrome: From Emerging Global Problem to Managing Risks. Biogeochemistry, 154, pp. 255-292.

Kılıç, M. Y., Dönmez, T., and Adalı, S. (2021) Karayolu Ulaşımında Yakıt Tüketimine Bağlı Karbon Ayak İzi Değişimi: Çanakkale Örneği. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11 (3), pp. 943-955.

Kouridis, C., and Vlachokostas, C. (2022) Towards Decarbonizing Road Transport: Environmental and Social Benefit of Vehicle Fleet Electrification in Urban Areas of Greece. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 153, pp. 111775.

Kumar, P. M., and Pooja, R. (2020) Global Warming, Impacts and Mitigation Measures: An Overview. Disaster Advances, 13 (5), pp. 82-96.

Lan, Y., Roberts, H., Kwan, M.-P., and Helbich, M. (2020) Transportation Noise Exposure and Anxiety: A Systematic Review and Meta-Analysis. Environmental Research, 191, pp. 110118.

Liu, J., Coomes, D. A., Gibson, L., Hu, G., Liu, J., Luo, Y., Wu, C., and Yu, M. (2019) Forest Fragmentation in China and its Effect on Biodiversity. Biological Reviews, 94 (5), pp. 1636-1657.

Lyu, P., Wang, P. S., Liu, Y., and Wang, Y. (2021) Review of the Studies on Emission Evaluation Approaches for Operating Vehicles. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 8 (4), pp. 493-509.

Ma, F., Sha, A., Lin, R., Huang, Y., and Wang, C. (2016) Greenhouse Gas Emissions from Asphalt Pavement Construction: A Case Study in China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 13 (3), pp. 351.

Malhi, G. S., Kaur, M., and Kaushik, P. (2021) Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review. Sustainability, 13 (3), pp. 1318.

Mandal, M., Popek, R., Przybysz, A., Roy, A., Das, S., and Sarkar, A. (2023) Breathing Fresh Air in the City: Implementing Avenue Trees as a Sustainable Solution to Reduce Particulate Pollution in Urban Agglomerations. Plants, 12 (7), pp. 1545.

Meral Akgül, C., and Gürsel Dino, İ. (2020) RCP4.5 ve RCP8.5 İklim Senaryolarına Göre Konutlarda İklim Değişikliği Etki Değerlendirmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35 (3), pp. 1665-1684.

Mohapatra, S., Mohanachandran, D., Dwivedi, G., Kesharvani, S., Harish, V., Verma, S., and Verma, P. (2023) A Comprehensive Study on the Sustainable Transportation System in India and Lessons to Be Learned from Other Developing Nations. Energies, 16 (4), pp. 1986.

Mouratidis, K., Peters, S., and van Wee, B. (2021) Transportation Technologies, Sharing Economy, and Teleactivities: Implications for Built Environment and Travel. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 92, pp. 102716.

Münzel, T., Sørensen, M., and Daiber, A. (2021) Transportation Noise Pollution and Cardiovascular Disease. Nature Reviews Cardiology, 18 (9), pp. 619-636.

Némethy, S. A., Ternell, A., Bornmalm, L., Lagerqvist, B., and Szemethy, L. (2022) Environmental Viability Analysis of Connected European Inland–Marine Waterways and Their Services in View of Climate Change. Atmosphere, 13 (6), pp. 951.

Nunes, L., Causer, T., and Ciolkosz, D. (2020) Biomass for Energy: A Review on Supply Chain Management Models. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 120, pp. 109658.

Pecić, L., and Pravdić, P. (2019) Road Traffic as a Source of Noise Pollution (Case Study: Trstenik Municipality). BizInfo (Blace) Journal of Economics, Management and Informatics, 10 (1), pp. 69-83.

Ritchie, H., Roser, M., and Rosado, P. (2020) CO_2 and Greenhouse Gas Emissions. Erişim Tarihi: 22.02.2023. https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions.

Rojas Rueda, D., Nieuwenhuijsen, M. J., Khreis, H., and Frumkin, H. (2020) Autonomous Vehicles and Public Health. Annual Review of Public Health, 41, pp. 329-345.

Rouhany, M., and Montgomery, H. (2019) Global Biodiesel Production: The State of the Art and Impact on Climate Change. Biodiesel: From Production to Combustion, 8, pp. 1-14.

Sacchi, R., Terlouw, T., Siala, K., Dirnaichner, A., Bauer, C., Cox, B., Mutel, C., Daioglou, V., and Luderer, G. (2022) Prospective Environmental Impact Assement (Premise): A Streamlined Approach to Producing Databases for Prospective Life Cycle Assessment Using Integrated Assessment Models. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 160, pp. 112311.

Salehi, S., Arashpour, M., Kodikara, J., and Guppy, R. (2021) Sustainable Pavement Construction: A Systematic Literature Review of Environmental and Economic Analysis of Recycled Materials. Journal of Cleaner Production, 313, pp. 127936.

Srivastav, A. L., Dutt, I., Sharma, S. R., Sharma, A., and Kanwar, V. S. (2022) Global Climate Change: A Culprit for the Deterioration of Nature and Human Life. AIP Conference Proceedings, 2451 (1), pp. 020001, ISBN: 0735442118, 7 Ekim 2022.

Turner, M. C., Andersen, Z. J., Baccarelli, A., Diver, W. R., Gapstur, S. M., Pope III, C. A., Prada, D., Samet, J., Thurston, G., and Cohen, A. (2020) Outdoor Air Pollution and Cancer: An Overview of the Current Evidence and Public Health Recommendations. CA: A Cancer Journal for Clinicians, 70 (6), pp. 460-479.

Türkeş, M. (2022) IPCC'nin Yeni Yayımlanan İklim Değişikliğinin Etkileri, Uyum ve Etkilenebilirlik Raporu Bize Neler Söylüyor? Resilience, 6 (1), pp. 197-207.

Wachs, E., and Engel, B. (2021) Land Use for United States Power Generation: A Critical Review of Existing Metrics with Suggestions for Going Forward. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 143, pp. 110911.

Wang, J., Wu, Q., Liu, J., Yang, H., Yin, M., Chen, S., Guo, P., Ren, J., Luo, X., and Linghu, W. (2019) Vehicle Emission and Atmospheric Pollution in China: Problems, Progress, and Prospects. PeerJ, 7, pp. e6932.

Wickramathilaka, N., Ujang, U., Azri, S., and Choon, T. L. (2022) Influence of Urban Green Spaces on Road Traffic Noise Levels:-A Review. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 48, pp. 195-201.

Zhang, L., Long, R., Chen, H., and Geng, J. (2019) A Review of China's Road Traffic Carbon Emissions. Journal of Cleaner Production, 207, pp. 569-581.

Zhao, Q., Yu, P., Mahendran, R., Huang, W., Gao, Y., Yang, Z., Ye, T., Wen, B., Wu, Y., and Li, S. (2022) Global Climate Change and Human Health: Pathways and Possible Solutions. Eco-Environment & Health, 1 (2), pp. 53-62.

Zou, L., Shen, J. H., Zhang, J., and Lee, C. C. (2022) What Is the Rationale Behind China's Infrastructure Investment under the Belt and Road Initiative. Journal of Economic Surveys, 36 (3), pp. 605-633.

Yakın Mesafeli Kavşaklarda Trafik Akımlarından Kaynaklı Çevresel Etkiler

Ruti R. Politi
İzmir Ekonomi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balçova, İZMİR
Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Buca, İZMİR
Tel: (0232) 488 51 63
E-Posta: ruti.politi@ieu.edu.tr

Serhan Tanyel
Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Buca, İZMİR
Tel: (0232) 301 70 18
E-Posta: serhan.tanyel@deu.edu.tr

Öz

Kent merkezlerinde görülen trafik tıkanıklıklarına bağlı gecikmeler genellikle kavşaklarda farklı yönlerdeki akımların kesişmesi sonucu meydana gelmektedir. Son yıllarda artan sinyalizasyon sistemleri dikkate alındığında yakıt tüketimi ve gecikmelerin en çok meydana geldiği yerlerden biri olarak ikili (yakın mesafeli) sinyalize kavşaklar gösterilebilir. Bu kavşakları birbirlerinden etkilenebilecek kadar yakın mesafede olan, aynı devre süresi içinde bir ofset zamandan yararlanarak tek bir sinyal kontrolü veya geniş bir sinyalizasyon koordinasyonu içerisinde farklı sinyal kontrolleri tarafından düzenlenmiş kavşaklar olarak tanımlamak mümkündür. Bu kavşaklardaki araç etkileşimlerinin fazla olması ile birlikte iki kavşak arasındaki mesafenin kısalığı ve hızın düşüklüğü gecikmelerin artmasına yol açmaktadır. Kavşaklardaki sık duraklamalar ve gecikmeler önemli miktarda yakıt tüketimine ve sera gazı emisyonlarının oluşmasına katkıda bulunmaktadır. İki trafik ışığı arasındaki uzaklık, sürücülerin ışıktan ayrılma karakteristikleri (hızlanma ivmesi, başlangıç tepki süresi, takip aralığı vb.) beraberinde farklı kuyruk dinamiklerini getirir. Bunun sonucu olarak, iki trafik ışığı arasındaki uzaklığın sadece kapasite ve başarım açısından değil; çevresel etkiler açısından da değerlendirilebileceği açıktır. Bu çalışmada, İzmir kent merkezinde yer alan Buca NATO ve Karabağlar Giriş kavşaklarından toplanan verilerle SIDRA Intersection programı kalibre edilerek farklı uzaklıklar için kavşakların gecikme gibi performans değerlerinin yanı sıra, kirletici sera gazı salım değerleri de hesaplanmıştır. Hesaplamalar farklı uzaklıkların kavşak performansı üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir. Karabağlar Giriş kavşağı için 150 m'den sonra çevresel etkiler bazında iyileşmelerin olduğu, bu mesafenin 200 m olması durumunda ise gecikme değerinin %61,19 oranında azaldığı, yakıt tüketiminin %19,50 ve CO_2 emisyonu %19,43 azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç beraberinde ortalama seyahat hızında %67,44'lük artış ile %35,71 oranında taşıtların toplam durma oranında azalma göstermiştir.

Anahtar sözcükler: ikili sinyalize kavşak, yakın mesafeli sinyalize kavşak, kapasite, çevresel etkiler.

Giriş

Trafik ışıkları, kavşaklardaki araç hareketlerini koordine etmek için önemli bir amaca hizmet ederken, özellikle optimum sinyal sürelerinin yapılmaması durumunda, sık sık durma ve gecikmelere neden olmaktadırlar. Kavşaklardaki sık duraklamalar ve gecikmeler, önemli miktarda yakıt tüketimine ve sera gazı emisyonlarının oluşmasına katkıda bulunur. Bu kapsamda özellikle kent merkezlerinde görülen trafik sıkışıklıkları ülke ekonomisine, yolcuların davranışlarına ve çevre kirliliğine olumsuz etkilerinden söz etmek mümkündür (Altun, 2003). Kent içinde trafik tıkanıklıklarından kaynaklı ortaya çıkan gecikmelerin çoğunluğu farklı yönlerdeki akımların kesişmesinden dolayı kavşaklarda görülmektedir (Özen ve Ünlü, 2017).

Sinyalizasyon sistemleri kontrol ettikleri kavşakların durumuna göre bağımsız ve eş güdümlü olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir. Bağımsız sinyalizasyon sistemlerinde kavşakların çevrelerindeki sinyalizasyon sistemleri ile hiçbir bağı bulunmamakta ve diğer sinyalize tesislerden etkilenmemektedir. Eş güdümlü sinyalizasyon sistemleri ise birbirine çok yakın iki veya daha fazla sayıdaki kavşaklarda fazla duruş kalkış hareketlerini ve gecikmeleri azaltmak ve birim zaman içerisinde mümkün olan en fazla sayıdaki taşıtın kavşaktan durmadan geçmesi sağlamak amacıyla düzenlenirler (Şentürk Berktaş, 2018). Hem sıklık hem de düzgünlük açısından kavşaklar arasındaki mesafe, kentsel yolların performansında önemli bir rol oynar. Bu nedenle, bir arter için kavşaklar arası mesafe kriterlerinin oluşturulması, temel erişim yönetim tekniklerinden biridir. Son yıllarda artan sinyalizasyon sistemleri dikkate alındığında yakıt tüketimi ve gecikmelerin en çok meydana geldiği yerlerden biri olarak ikili (yakın mesafeli, closely- spaced) sinyalize kavşaklar gösterilebilir. Bu kavşaklardaki araç etkileşimlerinin fazla olması ve iki kavşak arasındaki hızın düşüklüğü nedeniyle yakın mesafeli sinyalize kavşaklarda gecikmelerin yaşandığı görülmektedir (Altun, 2003). Birbirlerine çok yakın kavşaklarda biriken taşıt kuyruklarının kavşak alanlarına taşmamaları için de eş güdümlü sinyalizasyon sistemlerinin düzenlemesine ihtiyaç duyulmaktadır (Şentürk Berktaş, 2018). İkili (yakın mesafeli) sinyalize kavşakları; birbirlerinden etkilenebilecek kadar yakın mesafede olan, aynı devre süresi içinde bir ofset zamandan yararlanarak tek bir sinyal kontrolü veya geniş bir sinyalizasyon koordinasyonu içerisinde farklı sinyal kontrolleri tarafından düzenlenmiş kavşaklar olarak tanımlamak mümkündür. Bu tür kavşaklarda dikkate alınacak en önemli kavramların başında; iki kavşak arasında birikecek akımların oluşturacağı kuyrukların, yan yollardan gelen akımların geçişlerini engellememesi ve yan yollardan iki kavşak arasına giren akımların kavşağı tıkayarak, gelen ana akımları engellemesinin önüne geçilmesi gelmektedir. Bu nedenle ikili (yakın mesafeli) sinyalize kavşaklardaki kuyruk etkileri; kavşak hesap ve tasarımlarının ayrıntılı olarak analizini gerektirir (Altun, 2003).

İkili (yakın mesafeli) kavşaklar için literatürde kesin bir tanımlama olmamakla beraber yaklaşık 170 m'den daha az aralıklı bir trafik ışığı bulunduğu koşullar olarak tanımlanabilir (Fernandes, Coelhove diğ., 2017). İkili (yakın) mesafeli sinyalize kavşaklarda dikkat edilmesi gereken önemli konuların başında koordineli sinyalize edilmiş iki kavşak arasındaki kuyruk oluşumu gelmektedir. Bu nedenle kuyruk etkisi göz önünde alınarak sinyalizasyon hesabı yapılır (Gülgeç, 2019). Federal Highway Administration (FHWA), senkronize arterlerde 300 m'den daha kısa mesafelerin koordine edilmesinin zor olduğunu öne

sürmektedir. Kuzey Amerika ve Avrupa'da, çeşitli tasarım kılavuzları, sinyalize ve sinyalize olmayan kavşaklar için eşik aralık değerleri önermektedir. Örneğin, birbirinden yaklaşık 330 m aralıklarla yerleştirilmiş kavşaklar, 60 ila 70 s'lik devre uzunluklarında 50 km/s'ye kadar hız artışı sağlayabilir. Ayrıca, her 400 m aralık üzerindeki bir ek sinyalin seyahat süresini %7 oranında artırdığını öne sürülmektedir. Fransa'da ise minimum 250 m'lik bir mesafenin kabul edilebileceğini belirtilmektedir (Fernandes, Coelhove diğ., 2017). Buradan da görülebileceği gibi, ışıklı kavşaklar arasındaki uzaklığın etkisi hakkında tam olarak ortak kabul görmüş bir yaklaşım bulunmamaktadır. Bunlara ilave olarak, iki yakın mesafeli kavşağın etkileşimleri tam olarak ortaya konulamamıştır.

Trafik sıkışıklığı sebebiyle artan seyahat süreleri trafik kaynaklı sera gazı emisyonlarında artışı da beraberinde getirir (Tsanakas, 2019). Karayollarındaki araç sayısı sürekli artması ile bu sorun daha da önem kazanmakta ve karayolu taşımacılığını kirliliğe önemli bir katkıda bulunan unsur haline getirmektedir (Madziel, 2023). Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından trafik kaynaklı en temel çevre kirleticileri; karbon monoksit (CO), nitrojen dioksit (NO_x), kükürt dioksit (SO_x) ve partikül madde olarak ifade edilmiştir. Aynı zamanda insan kaynaklı küresel ısınmaya yol açan önemli bir sera gazı örneğin karbondioksit (CO_2) kaynağıdır. Bu nedenle ulaştırma sektörünün çevre bilincini artırmak için daha fazla çaba gösterilmesi gerektiğinin altı çizilerek ulaşım ile çevre arasındaki ilişkinin izlenmesinin yanı sıra sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Wang, Szetove diğ., 2018). Bu nedenle geliştirilmekte olan trafik emisyon modellerinin temel bileşenleri olan emisyon faktörleri, araç ve kilometre başına gram cinsinden tahmin edilir. Emisyon faktörleri, modelin türüne bağlı olarak, bir aracın belirli bir mesafe başına yaydığı kirletici miktarını ifade eder (Tsanakas, 2019). Karayolu sistemlerinde gecikmeleri ve dolayısıyla taşıtlardan kaynaklanan sera gazı salımının en yüksek oranda gözlemlenebildiği bölgeler bilindiği üzere kavşaklardır. Farklı kavşak türlerinin çevresel etkileri üzerine çeşitli çalışmalar yapılmakta olup, özellikle sinyalize kavşaklar üzerine çok sayıda çalışma literatürde yer almaktadır (Fernandes, Coelhove diğ., 2017, Zhu, Kimve diğ., 2020, AlKheder, 2021, Silva, Corderave diğ., 2022).

Bu çalışmada, yakın mesafeli kavşakların başarımları ve çevresel etkileri üzerine kısa bir tartışma yapılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, İzmir kent merkezinde yer alan iki farklı kavşak ağı olan Buca NATO ve Karabağlar Giriş kavşaklarından elde edilen verilerden yararlanarak SIDRA Intersection programı kalibre edilmiştir. Kalibrasyon değerleri kullanılarak farklı uzaklıklar için senaryolar oluşturulmuş ve kavşakların gecikme, kuyruk uzunluğu gibi başarım değerlerinin yanı sıra, kirletici sera gazı salım değerleri de hesaplanmıştır.

Gözlem Yapılan Kavşaklar ve Verilerin Elde Edilmesi

Çalışma kapsamında, İzmir'in önemli arterlerinden birisi olan Akçay Caddesi üzerinde yer alan iki yakın mesafeli kavşak sistemi bulunan birbirinden bağımsız iki farklı kavşak olan Buca NATO ve Karabağlar Giriş kavşaklarından veriler toplanmıştır. Kavşakların genel görünümleri Şekil 1 ve Şekil 2'de yer almaktadır. Veriler, video kamera yardımı ile sabah zirve saatinde açık ve kuru hava koşulları altında toplanmıştır. Ayrıca kavşak kollarındaki kuyruk uzunlukları bir gözlemci tarafından her devre için toplanmaya çalışılmıştır. Buna

bağlı olarak kavşaktan toplanan veriler aşağıdaki şekilde gruplanmıştır.

- Manevraya bağlı (sağa-sola dönüş ve doğru geçiş) trafik hacimleri
- Taşıt kompozisyonu
- Devre süreleri ve faz planları
- Gözlem yapılan yaklaşımlarda kuyruk uzunlukları

SIDRA Modelleri

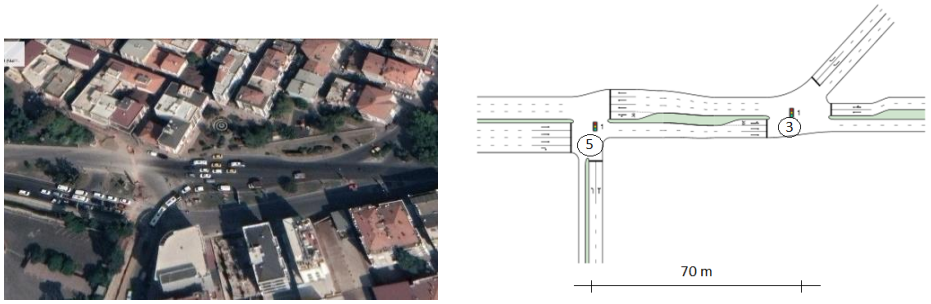
Oluşturulan İkili (Yakın Mesafeli) Kavşaklar Sistemi

Bu çalışmada, çeşitli senaryolar altında benzetim modellerinin oluşturulabilmesi için SIDRA Intersection 6.1 programı kullanılmıştır. SIDRA, trafik mühendisliğinde farklı kavşak tiplerinde şerit bazlı analizlerin yapılması ve değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılan bir mikro analitik yazılımdır. Kavşak başarım parametresi ölçütlerinden gecikme, kavşak performansının belirlenmesinde kullanılan bir ölçüttür. Gecikme, sinyalize kavşaklarda sinyalizasyon sistemleri, sistemdeki diğer taşıtlar ve kavşağın geometrik özellikleri nedeniyle kaybedilen zaman olarak tanımlanır (Çakıcı ve Murat, 2015). Kavşak kapasitesi, toplam gecikme, kuyruk uzunlukları ve emisyon seviyeleri gibi etkinlik ölçütlerinin (measures of effectiveness – MoE) tahminlerini sağlamak için iteratif bir yaklaşım yöntemiyle birleştirilmiş trafik modellerini kullanır (Ng, Susilawative diğ., 2016).

SIDRA Intersection programı kullanılarak modellenen kavşaklar birleştirilerek iki farklı kavşak sistemi oluşturulmuştur. Şekil 1b Buca NATO kavşağına ait SIDRA görüntüsünü vermektedir. İki yakın mesafeli kavşaktan oluşan Buca NATO kavşak sistemi içerisinde 3 ve 5 olarak numaralandırılmış iki sinyalize kavşak bulunmaktadır. Bu kavşaklar birlikte çalışan yakın mesafeli kavşaklar sistemi olarak modellenmiştir. Aynı şekilde Şekil 2b ile verilen Karabağlar Giriş kavşağı 3 sinyalize kavşak ile dur kontrollü dönel kavşaktan meydana gelmektedir. Bu kavşak sisteminde 4, 6 ve 10 numaralı kavşaklar sinyalize kavşak iken 9 numaralı kavşak ise dur kontrollü kavşağı göstermektedir. Bu kavşak sisteminde bulunan bütün kavşaklar arasındaki mesafe dikkate alındığında 4 ve 10 numaralı kavşaklar arasındaki mesafenin ikili (yakın mesafeli) kavşak tanımına girdiği kararına varılmıştır. Bu nedenle bu iki kavşak birbirine yakın ve birlikte çalışan yakın mesafeli kavşaklar sistemi olarak modellenmiştir. Böylelikle, oluşturulan senaryolar açısından Karabağlar Giriş koridorunda bulunan sadece 4 ve 10 numaralı kavşakların mesafeleri ayrı ayrı değiştirilmiştir. Amaç, iki farklı özellikteki farklı noktalarda bulunan kavşaklar için bu kavşakların 50-120 m arasında yakın mesafeli kavşak özelliği göstermeleri durumunda hem gecikme, seyahat hızı gibi performans parametrelerinin yanı sıra araç emisyonu bazında mesafenin etkisinin araştırılmasıdır.

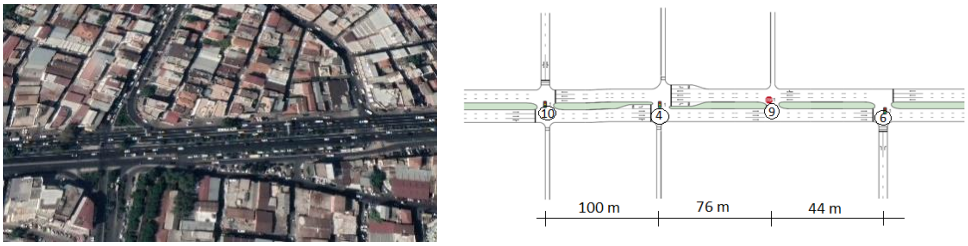
15 dakikalık veri grupları halinde toplanmış olan trafik hacimleri saatlik trafik akım değerlerine dönüştürülmüştür. Kavşakların SIDRA modelleri kurgulanarak yukarıda toplanan hacim verileri ve araç kompozisyonları sisteme girilmiştir. Bunun sonucunda oluşan kuyruk uzunlukları çekilerek gözlemlenen kuyruk uzunluğu verileri ile karşılaştırılmıştır. Mevcut durumda kavşaklar arası mesafe Buca NATO kavşağında 5 numaralı ve 3 numaralı kavşaklar arası mesafe 70 m şeklindedir. Çalışma kapsamında bu kavşak için oluşturulan

senaryolarda 70 m olan mesafe 50 m – 120 m arasında değiştirilerek 10 farklı senaryo sonucu irdelenmiştir. Aynı şekilde, Karabağlar Giriş kavşağında ise 10 numaralı ve 4 numaralı kavşakları arası mesafe 100 m, 4 numaralı ve 9 numaralı kavşaklar arası mesafe 76 m ve 9 numaralı ve 6 numaralı kavşaklar arası mesafe 44 m'dir. Sinyalize kavşaklar arası mesafelerin araştırılması sebebiyle 100 m olan 10 ve 4 numaralı kavşaklar arasındaki mesafe 50 m – 120 arasında değiştirilerek 10 farklı senaryo elde edilmiştir.



(a) (b)

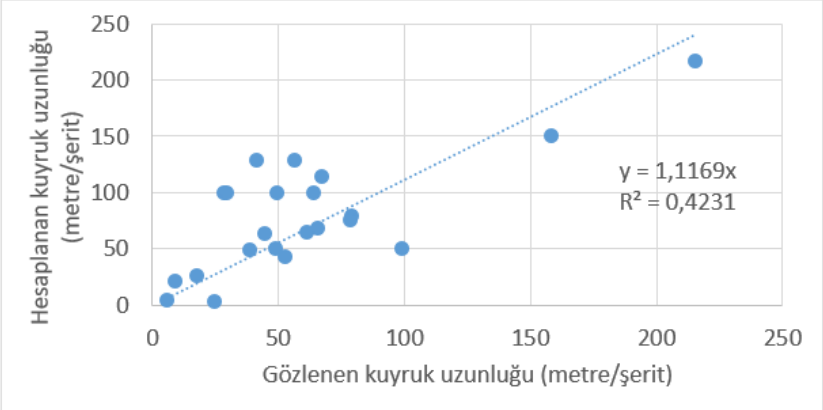
Şekil 1 Buca NATO kavşağı (a) Google Earth görüntüsü, (b) kavşağa ait SIDRA modeli



(a) (b)

Şekil 2 Karabağlar Giriş kavşağı (a) Google Earth görüntüsü, (b) kavşağa ait SIDRA modeli

SIDRA modellerinde, program içinde tanımlanan çevre faktörü (area type factor) parametresi üzerinde yapılan değişikliklerle kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. Buradaki çevre faktörü kavramı, çevresel etkileri değil; kavşağın içinde yer aldığı arazi kullanımı gibi unsurları ifade etmektedir (Simitçiu, 2015). Programda standart olarak "1" değeri önerilmiş ve ilk aşamada model bu değer değiştirilmeden çalıştırılmıştır. Daha sonra araziden gözlemlenmiş olan kuyruk uzunluğu değerlerine göre her bir yaklaşım kolu için bu değerler değiştirilerek kalibrasyon sağlanmıştır. Şekil 3, gözlemlenen ve hesaplanan kuyruk uzunluk değerlerinin karşılaştırmasını vermektedir. Benzetim programından elde edilen kuyruk uzunluğu değerleri ile gözlemlenen değerler birbirine yakındır. Böylelikle kavşaklar arası değiştirilen mesafelerin etkisinin hesaplanmasında bu modelin kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir.



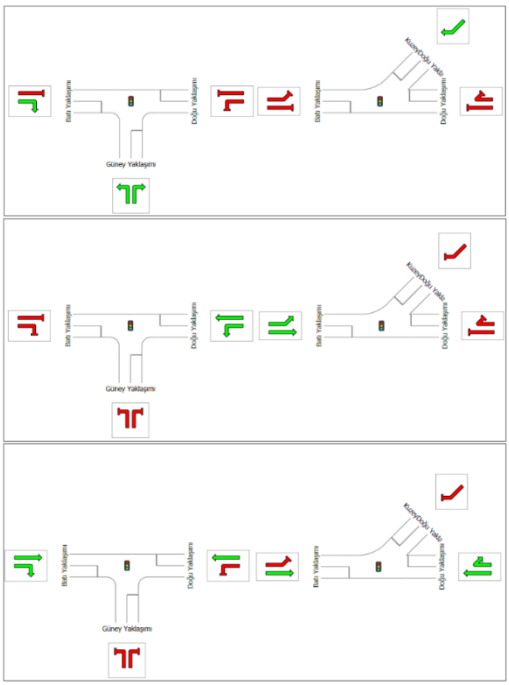
Şekil 3 SIDRA ile hesaplanan kuyruk uzunlukları ile gözlemlenmiş kuyruk uzunluklarının karşılaştırılması

Ara Uzaklıklara Bağlı Performans Göstergeleri

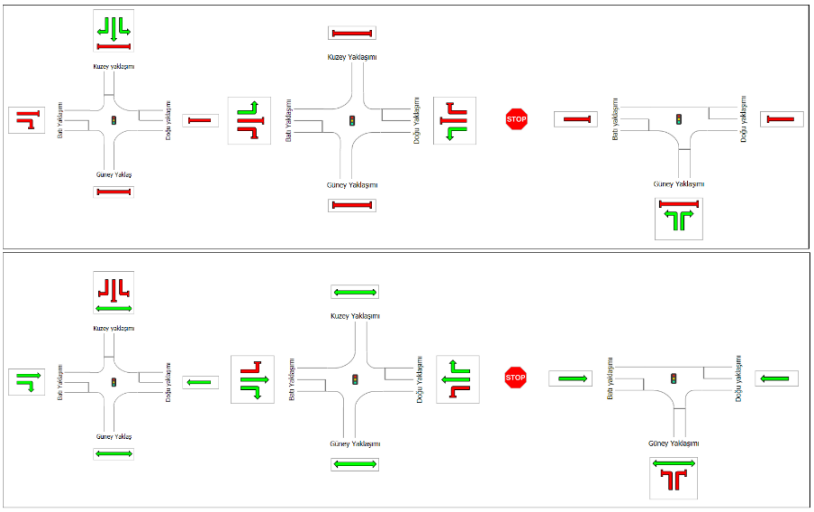
SIDRA ile her bir yakın mesafeli kavşak sistemi oluşturulurken ilk olarak her bir kavşağa ait kavşak geometrileri tanımlanmıştır. Bununla birlikte SIDRA'nın alt menüleri kullanılarak veri girişi yapılmıştır. Ayrıca şerit verileri, taşıt kompozisyonu, trafik hacimleri tek tek modelde işlenerek veri girişi tamamlanmıştır. Böylelikle ikili yakın mesafeli kavşak bir "kavşaklar sistemi (Network)" olarak tanımlanmıştır.

Trafik performansını iyileştirmek ve seçilen kavşaklara ait koridor boyunca araç emisyonlarını azaltmak için çeşitli senaryolar oluşturulmuştur. Buca NATO ve Karabağlar Giriş kavşak sistemleri için 10 farklı senaryo oluşturularak kavşaklar arası uzaklıklara bağlı performans parametrelerinden gecikme ve çevresel etki irdelenmiştir. Karabağlar Giriş kavşak sisteminde 10 numaralı ve 4 numaralı kavşaklar arasındaki mesafe değiştirilerek analiz yapılmıştır. İkili (yakın) mesafeli sinyalize kavşaklar trafik uyarmalı olarak kurgulanarak benzetim modeli oluşturulmuştur. Bu sistemin amacı anayollardaki trafik ışıklarının yeşil sürelerinin gereksiz yere kesilmesini engellemek ve değişen trafik koşullarına göre sinyalizasyon sistemlerinin anlık olarak çözüm üretmesini sağlamaktır (Pamuk, 2021). Sistemlerin devre süresi her iki kavşak için 100 saniye kabul edilmiş ve aradaki farklar buna göre belirlenmiştir. NATO kavşağı Şekil 4 ile gösterilmiş olup 3 fazlı olarak çalışmaktadır. Karabağlar Giriş kavşağı Şekil 5'te gösterildiği gibi 2 fazlı olarak çalışmaktadır.

Şekil 6a ve Şekil 6b sırası ile NATO kavşağı ve Karabağlar Giriş kavşağı için değişen uzaklıklara bağlı olarak gecikme değerlerinin nasıl değiştiğini göstermektedir. NATO kavşağı için iki kavşak arası 150 m'den sonra kavşakların yakın mesafeli kavşak çalışma prensibinden ayrılarak ayrı kavşak şeklinde çalışmaya başladığı görülmektedir. Değişiklikler hem değer hem de oransal olarak çok küçüktür. Karabağlar Giriş kavşağı için ise "10" ve "4" numaralı kavşaklar arasındaki uzaklığın 120 m'den büyük olması durumunda gecikmelerin azaldığı görülmektedir. Özellikle 120 m'den sonra taşıt hızlarında önemli bir artış, durma oranlarında ise önemli bir düşüş görülmektedir. Buna göre Karabağlar kavşağında uzaklık arttıkça birlikte çalışan (ikili) kavşak yaklaşımının artık uygun olmadığı; sistemin normal bir sinyalize (ışıklı) arter olarak çalıştığı söylenebilir.

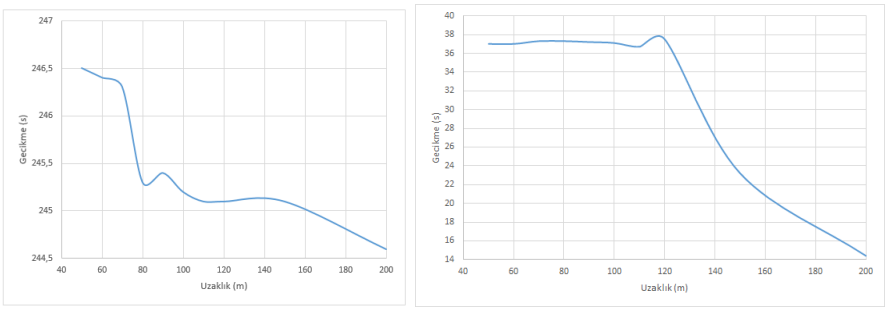


Şekil 4 Buca NATO Kavşağı Faz Planı



Şekil 5 Karabağlar Giriş Kavşağı Faz Planı

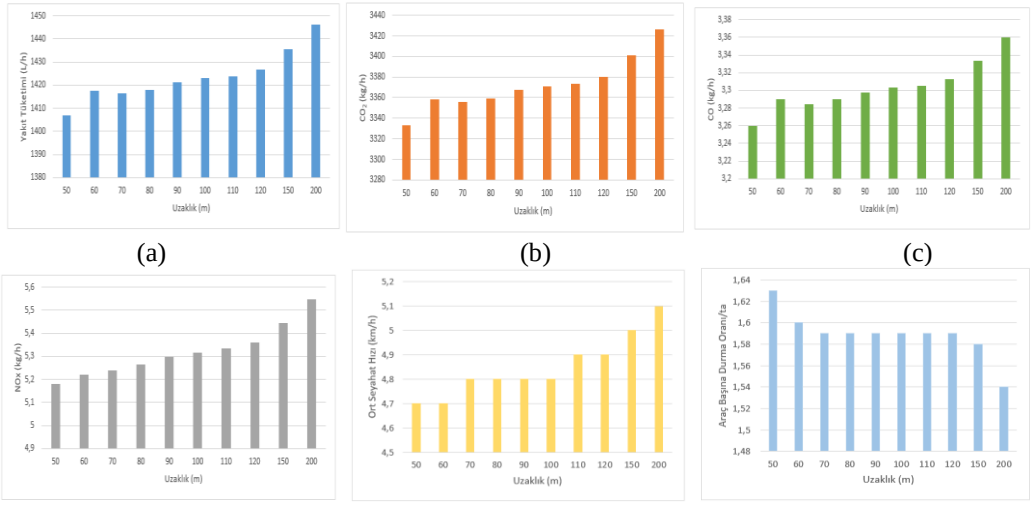
SIDRA modelinin kalibrasyonu işleminden sonra kavşakların gecikme ve çevresel etkileri bazında performanslarının belirlenmesi amacıyla oluşturulan modeller her bir senaryo için analiz edilirken taşıt kaynaklı kirletici emisyon değerleri ve taşıt başına harcanan yakıt miktarları da program tarafından dört modlu elemanter model (Simitçiu, 2015) kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu şekilde hızlanma (acceleration), yavaşlama (deceleration), rölanti (idle) ve seyir (cruise) hali boyunca aracın harcadığı yakıt miktarı (L/h) ve emisyon salım değerleri (kg/h) (CO_2, CO, HC ve NO_x için) verilir (Akçelik, Smitve diğ., 2012). Emisyon salınımındaki artış veya azalış başta taşıt hızı olmak üzere birçok parametreye bağlıdır (Madziel, 2023).



(a) (b)

Şekil 6 (a) NATO Kavşağı Değişen Uzaklıklara Göre Gecikme Değerleri (b) Karabağlar Giriş Kavşağı Değişen Uzaklıklara Göre Gecikme Değerleri

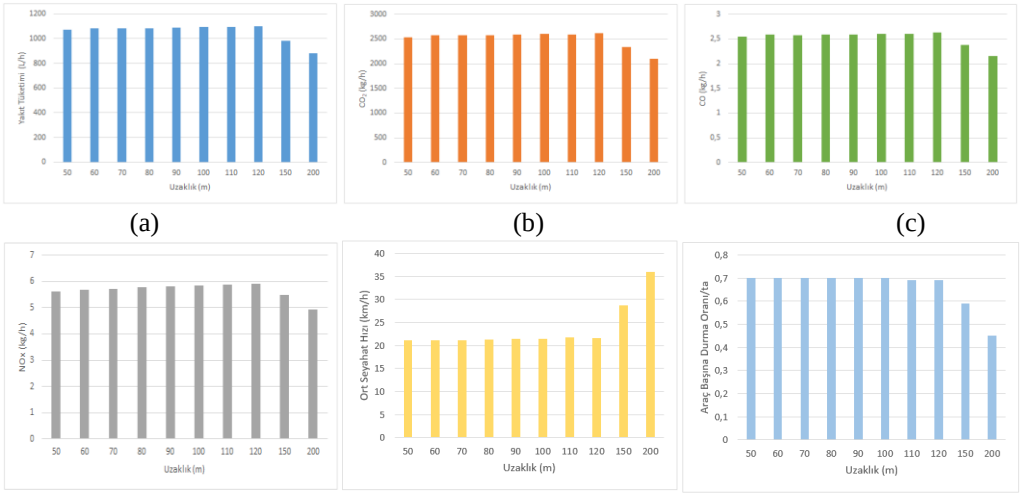
Mevcut durum ve oluşturulan senaryolar için yakıt tüketimi ve emisyon değerleri ile ortalama seyahat hızı ve araç başına durma oranları her bir kavşak sistemi için Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 7(a)-(d) NATO kavşağı çevresel etkileri incelendiğinde, iki kavşak arası mesafenin mevcut sistemde 70 m olduğu durumda en az emisyon değerine sahip olduğu görülmektedir. Uzaklık azaldıkça veya arttıkça yakıt tüketimi ve emisyon değerlerindeki artış, mevcut durumun çevresel açıdan kıyaslandığında yerinde bir karar olduğu söylenebilir. NATO kavşağında özellikle sola dönüş talepleri doğru geçişlere oranla oldukça fazla olması ve geometrik farklılıklar sebebiyle gecikme, emisyon değerleri ve de seyahat hızları içerisindeki değişim çok düşük kalmıştır. Bu da anlamlı bir farklılık gözlemlenmesini zorlaştırmaktadır. Karabağlar Giriş kavşağı için ise Şekil 8'de verildiği üzere 150 m'den sonra çevresel etkiler bazında iyileşmelerin gerçekleşmekte sonucu ortaya çıkmıştır. 200 m'de gecikme değerinin mevcut duruma göre %61,19 oranında azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte yakıt tüketimi %19,50 ve CO_2 emisyonu %19,43 oranında azalmıştır. Ortalama seyahat hızında görünen %67,44'lük artış ile %35,71 oranında taşıtların toplam durma oranında azalma gözlemlenmiştir. İki kavşaktan elde edilen sonuçların birbirinden farklılık gösterme sebebinin kavşak geometrilerinin büyük önem taşıdığı düşünülmektedir.



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

Şekil 7 NATO Kavşağı (a) Yakıt Tüketimi, (b) CO_2 Emisyon Değerleri, (c) CO Emisyon Değerleri, (d) NO_x Emisyon Değerleri, (e) Ortalama Seyahat Hızı ve (f) Araç Başına Durma Oranı



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

Şekil 8 Karabağlar Giriş Kavşağı (a) Yakıt Tüketimi, (b) CO_2 Emisyon Değerleri, (c) CO Emisyon Değerleri, (d) NO_x Emisyon Değerleri, (e) Ortalama Seyahat Hızı ve (f) Araç Başına Durma Oranı

Sonuçlar

Gözlemlenen kavşaklarda kavşak geometrileri değiştirilmeden, yakın mesafeli kavşaklar arası mesafeler değiştirilerek taşıt gecikmelerinin yanı sıra sera gazı salım değerlerinin de bu değişimlerden nasıl etkileneceği incelenmiştir. Bu kapsamda oluşturulan benzetim modelleri yardımı ile performans kriterleri çeşitli senaryolar aracılığı ile elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında sadece iki kavşak sistemi incelenmiş olup; kavşakların trafik talepleri ve birbirinden farklıdır. Burada özellikle sola dönüş talepleri; sola dönüş için sürücülerin kullanabilecekleri uzaklıklar ve buna bağlı olarak şerit değiştirmek için uygun uzaklık değeri; şerit sayıları ve şerit başına taşıt sayısı gibi birçok unsurun bulunduğu açıktır. Buna bağlı olarak, iki kavşak sisteminde farklı sonuçlar elde edilmesi beklenen bir durumdur.

Karabağlar Giriş kavşağında özellikle 120 m'den sonra taşıt hızlarında önemli bir artış, durma oranlarında ise önemli bir düşüş görülmektedir. Buna göre Karabağlar kavşağında uzaklık arttıkça birlikte çalışan (ikili) kavşak yaklaşımının artık uygun olmadığı; sistemin normal bir sinyalize (ışıklı) arter olarak çalıştığı söylenebilir. Diğer yandan NATO kavşağında değişiklikler hem değer hem de oransal olarak çok küçüktür. Her iki kavşak sisteminde de trafik talebi oldukça yüksek olmakla birlikte NATO kavşağında özellikle sola dönüş talepleri doğru geçişlere oranla oldukça fazladır. Geometrik farklılıklar sebebiyle de seyahat hızları sistem içerisinde çok düşüktür. Bu da anlamlı bir farklılık gözlemlenmesini zorlaştırmaktadır.

Çalışmada sadece iki kavşak sisteminden elde edilen veriler üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, beklenildiği gibi farklı geometrilerin ve trafik taleplerinin ne denli öneli olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma kapsamından elde edilen veriler ışığında öncelikle İzmir'de olmak üzere farklı geometrik özelliklere sahip alanlardan veri toplanması planlanmaktadır. Böylece yakın mesafeli (ikili) kavşak sistemlerinin başarımında

(performansında) etkili olan faktörlerin daha sağlıklı belirlenebileceği düşünülmektedir. Çalışma, konu ile ilgili ilk incelemeleri içermektedir Kavşaklar arasındaki en uygun uzaklığın belirlenmesinde devre ve faz süreleri; trafik talebi ve kompozisyonu gibi çok sayıda faktörün etkili olacağı açıktır. İlerideki çalışmalarda sürücüler ve trafik akımları arasındaki etkileşimler daha detaylı ele alınarak yeni bir model geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Kaynaklar

Akçelik, R., ve diğ. (2012). Calibrating Fuel Consumption and Emission Models for Modern Vehicles. IPENZ Transportation Group Conference. Rotorua, New Zealand.

AlKheder, S. (2021). "Promoting public transport as a strategy to reduce GHG emissions from private vehicles in Kuwait." Environmental Challenges 3: 100075.

Altun, İ. (2003). Sinyalize Kavşaklarda Trafik Akım Etkileşimleri. Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi.

Çakıcı, Z. ve Y. Ş. Murat (2015). Sinyalize Dönel Kavşakların Performanslarının Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi. 11. Ulaştırma Kongresi.

Fernandes, P., ve diğ. (2017). "Assessing the impact of closely-spaced intersections on traffic operations and pollutant emissions on a corridor level." Transportation Research Part D: Transport and Environment 54: 304-320.

Gülgeç, Y. N. (2019). Sinyalize Kavşaklarda Trafik Akım Etkileşimleri Ve Bulanık Mantık İle Değerlendirilmesi Balıkesir Örneği. Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi.

Madziel, M. (2023). "Vehicle Emission Models and Traffic Simulators: A Review." Energies 16: 1-31.

Ng, C., ve diğ. (2016). Piecewise Linear Regression: A Statistical Method for the Analysis of the Relationship between Traffic Signal Parameters and Air Pollutant Emissions. Australasian Transport Research Forum 2016 Proceedings, Melbourne, Australia.

Özen, H. ve E. N. Ünlü (2017). Sinyal Faz Diyagramının Kavşak Performansı Üzerindeki Üzerindeki Etkinisin İncelenmesi Antalya Örneği. 12. Ulaştırma Kongresi (Ulaştırma Politikaları)**:** 309-318.

Pamuk, N. (2021). "Trafik Sinyalizasyon Sisteminde Akıllı Kavşak Kontrolü." Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı 28: 312-319.

Silva, O., ve diğ. (2022). "Environmental impacts of autonomous vehicles: A review of the scientific literature." Sci Total Environ 830: 154615.

Simitçiu, R. (2015). Türkiye'deki Dönel Kavşakların Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir Üniversitesi.

Şentürk Berktaş, E. (2018). Birbirleriyle İletişimli Çevresel Ortamlardaki Trafik Akım Karakteristiklerinin Modellenmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi

Tsanakas, N. (2019). Emission estimation based on traffic models and measurements. Lisans Tezi, Linköping University.

Wang, Y., ve diğ. (2018). "Dynamic traffic assignment: A review of the methodological advances for environmentally sustainable road transportation applications." Transportation Research Part B: Methodological 111: 370-394.

Zhu, S., ve diğ. (2020). "High-resolution simulation-based analysis of leading vehicle acceleration profiles at signalized intersections for emission modeling." International Journal of Sustainable Transportation 15(5): 375-385.

Kent İçi Minibüs Hatlarının Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri Kullanılarak Çevre Bakış Açısıyla Değerlendirilmesi: Erzurum İli Örneği

Ahmet ÇAVUŞOĞLU
Erzurum Büyükşehir Belediyesi
Palandöken Yatırım A.Ş.
Proje ve Teknik Hizmetler Müdürlüğü
25100 Yakutiye/ ERZURUM
e-posta: cavusogluahmet20@gmail.com

Ahmet ATALAY
Atatürk Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
25100 Yakutiye/ ERZURUM
e-posta: ahatalay@atauni.edu.tr

Öz

Nüfusun ve kentleşmenin hızla artması çevre kirliliğine, araç sahipliğinin artmasına, trafik sıkışıklığına, alt yapı ve enerji ihtiyacına sebep olmakta ve artan araç sayısı ise egzoz gazı salımlarının çevreye verdiği zararın artmasını ve sera gazı oluşumunu arttırmaktadır. Egzoz gazı salımınının içerisinde bulunan zararlı bileşenler insan yaşamı ve çevreyi olumsuz etkilemekte, gün geçtikçe artan egzoz gazı salımlarını azaltabilmek için ise toplu taşıma hizmet kalitesinin ve performansının arttırılması ile daha çevreci ve sürdürülebilir bir ulaşım ile birlikte şehirler elde etmek mümkün olacaktır.

Bu çalışmanın amacı toplu taşıma sistemlerinde çevre bakış açısı dikkate alınarak toplu taşıma hatlarının performansını belirlemek ve daha sürdürülebilir bir toplu taşıma sistemi oluşturup, toplu taşıma hatlarının performanslarının arttırılmasıdır. Çalışmada toplu taşıma hatlarının performansını belirlemek için Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemlerinden olan ve ikili karşılaştırma temeline dayanan AHP (Analitical Hierarchy Process) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada Erzurum ilinde hizmet veren minibüs hatlarına ait veriler kullanılmıştır. Toplu taşıma hatlarının performansını etkileyen on farklı ölçüt belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda, toplu taşıma sistemlerinde çevre bakış açısına göre hatların performansı değerlendirilmiş olup, çalışmada kullanılan on farklı ölçütten en önemli ölçütün egzoz salım değeri olduğu belirlenmiştir. Toplu taşıma minibüs sistemlerinde çevre bakış açısına göre toplu taşıma performans değerleri ve sıralamaları belirlenmiştir. Toplu taşıma sistemlerinin performanslarının arttırılması için çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar sözcükler: Analitik hiyerarşi süreci, çok ölçütlü karar verme yöntemleri, kent içi toplu taşıma, toplu taşıma performansı.

Giriş

Günümüzde hızla büyüyen nüfus ve gelişen şehirler beraberinde çeşitli problemleri (ulaşım, çevre, enerji ihtiyacı vb.) ortaya çıkarmıştır. Bu problemlerden hareketle kent içi ulaşımın problemlerini çözebilmek için toplu taşımanın optimal performans göstermesi gerekmektedir. Kent içi ulaşım sistemlerinin performansı, toplu taşıma sistemlerinin performanslarıyla ilgilenen kullanıcı, işletmeci, çevre, düzenleyici ve yatırımcı bakış açılarını etkileyen önemli bir olgudur.

Kent içi toplu taşıma sistemleri, şehirde bulunan birçok kesimi etkilemektedir. Kent içi ulaşım probleminin çözümünde en etkili yöntem toplu taşıma sistemlerinin etkili ve sürdürülebilir olmasıdır. Toplu taşıma sistemi için kentleşme ve çevresel duyarlılık her geçen gün önemini arttırmaktadır (Atalay, Bircik, 2022; Güner, 2017).

Ulaşım sosyal yaşamın en önemli unsurlarından biridir. Ulaşım hem canlı hem de cansız varlıkların bir noktadan bir noktaya yer değiştirme ihtiyacının güvenli, ekonomik, konforlu bir şekilde sağlanmasıdır. Kent içi ulaşım ise cansız varlıklardan ziyade daha çok yolculuk ihtiyacına sahip olan bireylerin ulaşım ihtiyaçlarının karşılanmasıdır (Çavuşoğlu, 2023).

Ulaşım hizmetlerinde, çoğunlukla trafik kaynaklı kirliliğin ve diğer çevresel etkilerin azaltılmasında rol oynanmalıdır. Çevresel etkiler toplumun ve çevrenin her kesimini etkilemektedir. Toplu taşıma araçlarının kirlilik kontrol düzeylerini belirlemek için, mevcut yıl için egzoz salım oranları araçların ortalamasıyla karşılaştırılabilir. Alınabilecek önlemler kirletici türüne göre takip edilebilir. (TCRPG-6, 2002).

Toplu taşıma sistemlerinin çevre üzerinde birçok olumlu ve olumsuz etkileri bulunmaktadır. Olumlu etkileri bireysel araç kullanım oranının azaltarak çevreye daha düşük oranda sera gazı salımına sebep olmakta ve trafik yükünü azaltarak trafik sıkışıklığını azaltmaktadır. Olumsuz etkileri ise ulaşım sistemlerinin tesis inşası arazi kullanımını olumsuz etkilemekte, özellikle raylı sistemler gibi ulaşım sistemlerinin gürültü kirliliğini arttırdığı bilinmektedir.

Bu çalışmada Erzurum ilinin iki büyük merkez ilçesine hizmet eden 6 adet kent içi minibüs hatları incelenmiştir. Çalışmada minibüs hatlarının çevre bakış açısına göre performansları incelenmiş olup yöntem olarak ise çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır. Çalışma verileri Erzurum Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Daire Başkanlığı ve Erzurum Esnaf ve Sanatkârlar Odası Minibüsçüler ve Dolmuşçular Odasından elde edilen veriler kullanılarak hazırlanmıştır. Bu çalışmanın amacı toplu taşıma performansını çevre bakış açısına göre değerlendirerek daha sürdürülebilir ve daha çevreci bir toplu taşıma sistemini oluşturmaktır.

Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri

Çok ölçütlü karar verme, sürekli değişim ve gelişim gösteren dünya düzeni ile beraber insanoğlu tarafından yapılan karar vermede sunulan seçeneklerin en iyisini sınıflandırma, sıralama ve seçim problemlerine yardımcı olabilmek için geliştirilmiş matematiksel yöntemler topluluğudur.

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ölçme ve karar verme için kullanılan bir yöntemdir. AHP yönteminin ilk aşaması problemin belirlenmesidir. İkinci aşaması, problemin amacını etkileyen tüm ölçütler belirlenir ve varsa eğer o ölçütlere ait alt ölçütler belirlenerek hiyerarşik model oluşturulur. Ölçütler ve alt ölçütler belirlendikten sonra kendi aralarında önem derecelerine göre ikili karşılaştırma matrisi yapılarak karşılaştırma yapılır.

Aşağıda belirtilen ikili karşılaştırma matrisinde a_{11} ve a_{nn} değerleri 1 değerini alırken, a_{1n} değeri $1/a_{n1}$ değerini alır. a_{1n} birinci satır ve n'inci sütunu ifade etmektedir ve birinci

satırda yer alan ölçüt ile n'inci sütunda yer alan ölçütün değerlendirme puanını göstermektedir. Yani birinci ölçütün n'inci ölçüte göre ne oranda tercih edileceğini belirtir (Saaty, 1980).

$$\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

İkili karşılaştırma yapılırken birçok karşılaştırma ölçeği kullanılabilir fakat Saaty tarafından tavsiye edilen 1'den 9'a kadar ölçeklendirilen ikili karşılaştırma ölçeği yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yapılan ikili karşılaştırmalar sonucunda ikili karşılaştırma matrislerinin normalize edilmesi gerekmektedir. Normalize edilirken her bir eleman kendi sütun toplamına bölünerek normalizasyonu yapılır.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \quad (2)$$

Normalize matrisine ait her bir sütun toplamı 1'dir. Normalize matrisinden elde edilen veriler yardımıyla aşağıdaki denklem 3'ün uygulanması sonucunda ölçüt ağırlıkları elde edilmiş olur.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^{n} a'_{ij} \qquad \text{i,j=1,2,3,….,n} \quad (3)$$

AHP yönteminde karar birimleri olan kişilerin tecrübe, yetenek, bilgi ve birikimleri gibi olgularının sonucunda yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlılık oranı hesaplanarak ikili karşılaştırma değerlendirmelerinin tutarlı olup olmadıkları incelenir. Aşağıdaki bağıntıda TO tutarlılık oranını, TI tutarlılık göstergesini ve RI ise rassal gösterge değerini gösterir. Rassal gösterge değeri ölçüt sayısına bağlı bir değer olmaktadır. Örneğin Tablo 1'de görüldüğü gibi ölçüt sayışımın 10 olması durumunda RI değeri 1,49 olarak tablodan belirlenir.

Tablo 1. Ölçüt Sayısına Göre Rassal Göstergeleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

$$TO=\frac{TI}{RI} \quad (4)$$

Tutarlılık göstergesi olan TI değeri ise aşağıdaki bağıntı yardımıyla belirlenebilir.

$$TI=\frac{\lambda_{max}-n}{n-1} \quad (5)$$

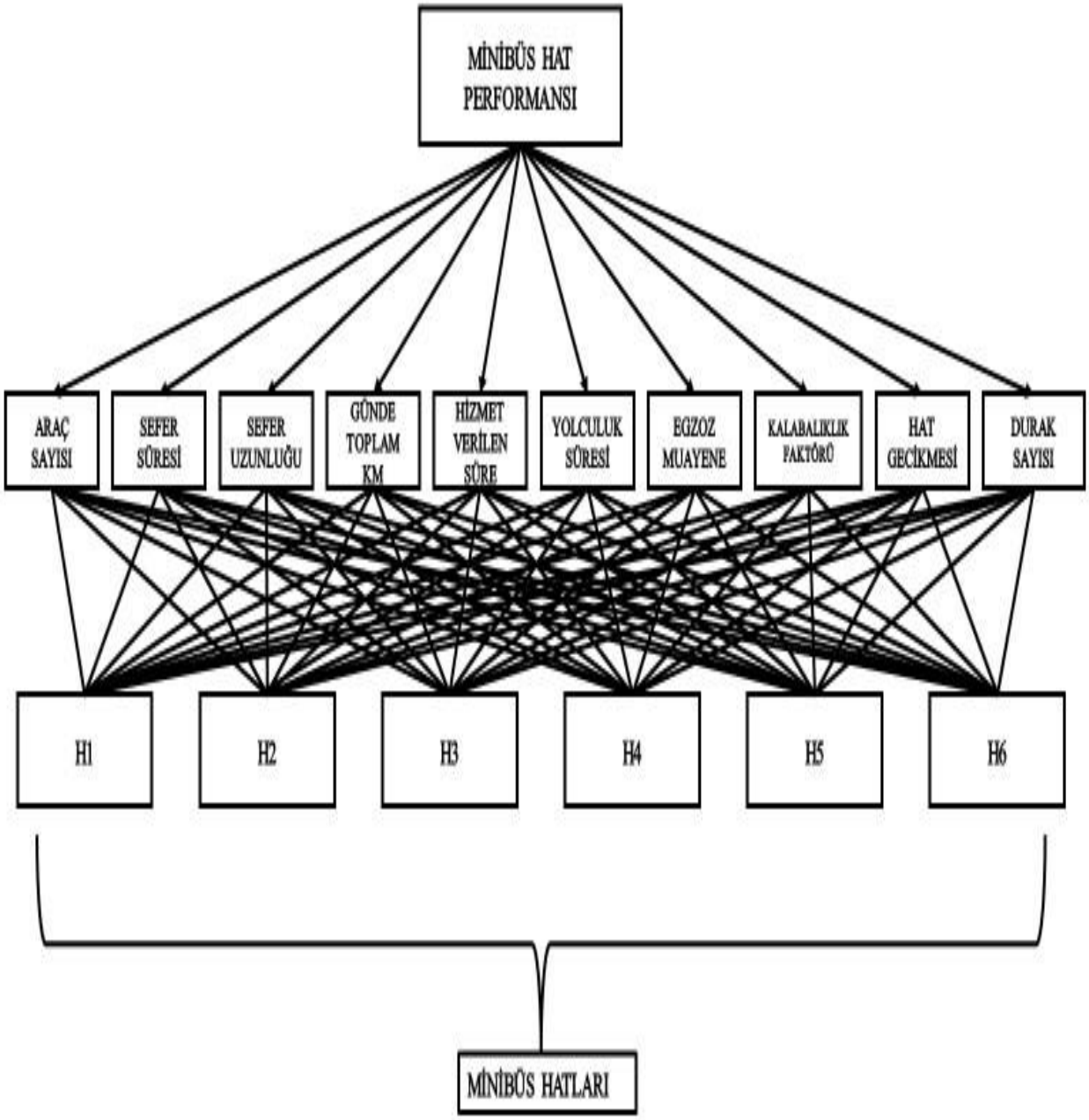
Ölçüt ağırlıklarının bulunması için kullanılan bu adımlar seçeneklerin değerlendirilmesi için de kullanılır. Ölçüt ağırlık puanları ile seçeneklerin önem ağırlık puanları birlikte değerlendirilerek seçeneklerin son sıralaması yapılır. En büyük değere sahip olan seçenek, en iyi seçenek denir (Özbek, 2017).

Analiz ve Uygulama

Erzurum ilinde hizmet veren 6 farklı minibüs hattının çevre bakış açısıyla performans analizi yapılmıştır. Çalışma verileri 10 farklı ölçüt kullanılarak ve çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan AHP yöntemi uygulanarak yapılmıştır. AHP yönteminin karar verme aşamasında belediye personeli ve akademisyenlerden oluşan 5 kişilik uzman kadro görüşlerinden faydalanarak ikili karşılaştırma süreci uygulanmıştır.

Çalışmada belirlenen ölçütler; hatlarda çalışan araç sayıları, hatta bulunan araçlar için ayrılan sefer süreleri, hatların bir sefer uzunluklarının kilometre cinsinden değeri, günde toplam kilometre olan bir aracın bir günde yaptığı kilometre değeri, hattaki araçların kullanıcılarına sundukları hizmet süresi olan hizmet süresi ölçütü, hattı kullanan kullanıcılara ait yolculuk süresi, hatta bulunan araçların egzoz muayene raporlarından elde edilen egzoz gazı salım değer ölçütü, kalabalıklık faktörü ölçütü olan bir aracın sefer anında taşıdığı yolcu sayısının aracın kapasitesine oranı, hatta bulunan araçların yapmış oldukları sefer süresinde olan hat gecikmeleri ölçütü ve hatta bulunan durak sayısı ölçütleri kullanılmıştır(Şekil 1).

Çalışmada çevre bakış açısıyla değerlendirme yapılırken toplu taşıma araçlarını sıklıkla kullanmayan ve kent içi minibüs hatlarından kaynaklanan hava kirliliği, trafik yoğunluğu, ulaşım ihtiyacına sahip kullanıcıların talebini karşılama gibi çeşitli durumlar sonucundaki etkiler göz önünde bulundurularak çevre bakış açısı oluşturulmuştur.



Şekil 1: Araştırmada Kullanılan Ölçütler ve Seçenekler

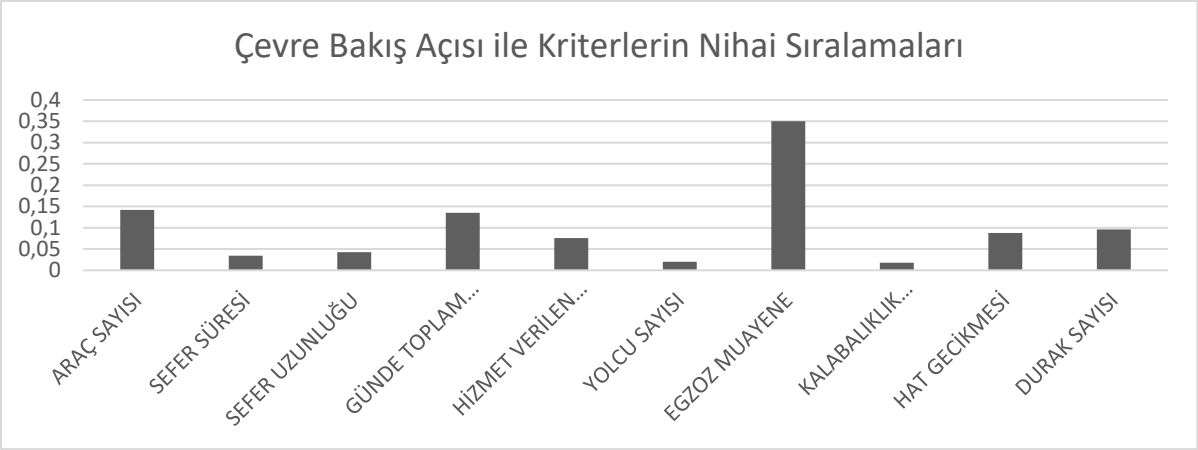
Tablo 2'de çevre bakış açısıyla ölçütlerin ikili karşılaştırmaları yapılmıştır. Ölçütlerin ikili karşılaştırmaları yapıldıktan sonra her bir ölçüt için seçenek olan hatların ikili karşılaştırmaları yapılıp normalize matrisler oluşturulmuştur. Yapılan karşılaştırmalar

sonucunda ölçütlerin normalize matrisinden elde edilen ölçüt ağırlığı ile ele alınan ölçüt için normalize matrisindeki ölçüt ağırlığı çarpılarak seçeneğin ölçüt puan değerleri belirlenmiştir.

Tablo 2: Çevre Bakış Açısı ile Ölçütlerin İkili Karşılaştırması

ÇEVRE BAKIŞ AÇISIYLA ÖLÇÜTLERİN İKİLİ KARŞILAŞTIRILMASI										
	ARAÇ SAYISI	SEFER SÜRESİ	SEFER UZUNLUĞU	GÜNDE TOPLAM KM	HİZMET VERİLEN SÜRE	YOLCU SAYISI	EGZOZ MUAYENE (Kort)	KALABALIKLIK FAKTÖRÜ	HAT GECİKMESİ	DURAK SAYISI
ARAÇ SAYISI	1,00	3,00	5,00	0,20	3,00	7,00	0,20	7,00	3,00	3,00
SEFER SÜRESİ	0,33	1,00	0,33	0,20	0,20	3,00	0,11	3,00	0,33	0,33
SEFER UZUNLUĞU	0,20	3,00	1,00	0,20	0,20	3,00	0,11	3,00	0,33	0,33
GÜNDE TOPLAM KM	5,00	5,00	5,00	1,00	1,00	5,00	0,20	5,00	1,00	1,00
HİZMET VERİLEN SÜRE	0,33	5,00	5,00	1,00	1,00	3,00	0,14	3,00	0,33	0,33
YOLCU SAYISI	0,14	0,33	0,33	0,20	0,33	1,00	0,11	1,00	0,20	0,20
EGZOZ MUAYENE	5,00	9,00	9,00	5,00	7,00	9,00	1,00	9,00	5,00	5,00
KALABALIKLIK FAKTÖRÜ	0,14	0,33	0,33	0,20	0,33	0,11	0,11	1,00	0,20	0,20
HAT GECİKMESİ	0,33	0,33	3,00	1,00	3,00	5,00	0,20	5,00	1,00	1,00
DURAK SAYISI	0,33	3,00	3,00	1,00	3,00	5,00	0,20	5,00	1,00	1,00

Analiz ve hesaplamalar sonucunda kullanılan ölçütlerin çevre bakış açısı yönünden ölçütlerin önem ağırlıkları aşağıdaki şekil 2'de belirlendiği gibi bulunmuştur. Uzman görüşlerin çevre bakış açısına göre puanlandırdığı ölçütlerde en önemli ölçütün egzoz muayene sonuç değeri olan egzoz gazı salımı olduğu görülmüştür.



Şekil 2: Ölçütlerin Son Sıralamaları

Tablo 3'te seçeneklerin ölçüt puan toplamları, seçeneğin son skorunu göstermektedir. Tablo 3'te görüldüğü gibi H3 hattı en iyi seçenek olup bu seçeneğe ait egzoz muayene değeri, hatta bulunan araç sayısı ve günde yapılan kilometre değeri uzman görüşlerine göre hattın performansı için belirleyici rol oynamıştır.

Tablo 3: Hatların Performanslarının Son Sıralamaları

MİNİBÜS HATLARININ SON SIRALAMASI												
HAT ADI	ARAÇ SAYISI	SEFER SÜRESİ	SEFER UZUNLUĞU	GÜNDE TOPLAM KM	HİZMET VERİLEN SÜRE	YOLCULUK SAYISI	EGZOZ MUAYENE	KALABALIKLIK FAKTÖRÜ	HAT GECİKMESİ	DURAK SAYISI	TOPLAM	SIRALAMA
H1	0,05	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,01	0,01	0,15	**3**
H2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,01	0,02	0,00	0,10	**5**
H3	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,14	0,00	0,04	0,05	0,27	**1**
H4	0,05	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,13	**4**
H5	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,09	**6**
H6	0,03	0,00	0,02	0,06	0,00	0,00	0,11	0,00	0,02	0,00	0,25	**2**

Sonuç

Çevre bakış açısına göre en performanslı hattın H3 hattı olduğu belirlenmiştir. Çevre bakış açısına göre toplumun ihtiyaç halinde hattı kullanabilmesi, çevreye daha az zarar veren ve daha sürdürülebilir hattın belirlenmesi amaçlanmıştır. Çevre bakış açısına göre en performanslı hattın belirlenmesinde egzoz gazı salım değeri ile orantılı olduğunu bu çalışma göstermiştir.

Sürdürülebilir bir ulaşım çerçevesinde yapılan hava ve gürültü kirliliğinin neden olduğu çevreye verilen zararların azaltılması ve kent içi ulaşım sistemlerine olan rehabilitasyonun arttırılması gerekmektedir. Bu bağlamda çevreci kent içi toplu taşıma araçlarının kullanımı, teşvik edilmesi ve çeşitli toplu taşıma planlamaları sürdürülebilir bir çevre için oldukça önemli etmenler arasında yer almaktadır.

Teşekkür

Çalışmaya konu verilerin temini ve derlenmesi noktasında ilgi ve desteklerinden dolayı Erzurum Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Daire Başkanlığı ile Erzurum Esnaf ve Sanatkârlar Odası Minibüsçüler ve Dolmuşçular Esnaf Odası çalışanlarına en içten teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

Atalay, A. and Bircik, Ö. F. (2022) Determining the Effectiveness of the Bus Lines in Urban Transportation Using Data Envelopment Analysis. Journal of Transportation and Logistics. 7(1), pp. 37-54.

Çavusoğlu, A. (2023) Kent İçi Minibüs Hatlarının Performanslarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Belirlenmesi: Erzurum İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Güner, S. (2017) Operational Efficiency and Service Quality Analysis in Public Transportation Systems. Journal of Transportation and Logistics, 2(2), pp. 33-47.

Saaty, T, L., 1980. The Analytic Hierarchy Process, New York.

Özbek, A., 2017. Analitik Hiyerarşi Süreci. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü, Aşır Özbek. Seçkin Akademi ve Mesleki Yayınlar, Ankara, pp. 81-116.

TCRPG-6. (2002) A Guide Book for Developing a Transit Performance Measurement System. INTERIM REPORT (TRB).

Türkiye'de meydana gelen trafik kazalarının genel analizi ve trafik-iş kazaları için bir model önerisi

Dr. Suat SARI

İBB- İstanbul Büyükşehir Belediyesi Fatih- İstanbul

e-mail: suat.sari @ibb.gov.tr;

Özet

Türkiye ölümlü trafik kazalarında Avrupa'da birinci sıradadır. (Euronews-2022) Yıllardır süregelen bu trajediyi önlemek için, trafikte iş güvenliği ve sağlık sistemlerinin kurulması gerekmektedir. İş sağlığı ve güvenliği sistemi içindeki eğitim, denetim, uzmanlık ve ceza uygulamaları, kader haline gelmiş bu problemin çözümüne yönelik proaktif sistem kurulumlarını getirecektir.

Yıllardır uygulanan sürücü belgelerinin veriliş sisteminin yanlışlığı, Türkiye'de her yıl trafik kazalarında ölen yaklaşık 5 bin kişiden anlaşılmaktadır. Yeni yolların yapımına rağmen, artan taşıt sayısının da etkisiyle her geçen yıl ölümlü ve yaralanmalı kaza sayısı artmaktadır.

Türkiye'de sürücü belgesi vermeye yönelik yüzlerce sürücü kursu bulunmaktadır. Bu kurslardaki yöneticilerin trafik kültür ve deneyim birikimlerinin yetersizliği, denetimler ile eğitimin uluslararası normlarda olmayışı, trafik kazalarını tetikleyen ve trafikte iş güvenliğini etkileyen önemli bir problem olarak önümüze çıkmaktadır.

Netice olarak, trafik kazalarının önlenmesi ve trafik güvenliğinin sağlanması için, Türkiye'de başlangıçta tüm ticari araç sürücülerine, bilahare bireysel araç süren profesyonel sürücü belgeli tüm sürücülerin kurulacak trafik akademilerinde teorik ve pratik eğitimlerden geçerek yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir.

Anahtar sözcükler: Trafik kazaları, sürücü belgesi, iş güvenliği, trafik akademileri, sürücü kursu.

Suat SARI. İBB-İstanbul Büyükşehir belediyesi Ulaşım ve Trafik komisyonu üyesi

Tel. 0212 455 14 85 E mail adresi: suatç.sari@ibb.gov.tr

1. Giriş

Dünya Sağlık Örgütü(DSÖ) verilerine göre her yıl dünyada 1 milyon 240 binden fazla insanın ölümü ve 50 milyon insanın yaralanmasına neden olan trafik güvenliği sorunu, küresel bir halk sağlığı problemi haline gelmiştir. (DSÖ-2014)

Yol, sürücü, yolcu, yaya güvenliğiyle ilgili ülkeler tarafından yapılan uygulamalar toplumların sosyal yaşamları ve genel kültürleriyle çok yakından ilgilidir. Ülkeyi yönetenlerin trafik güvenliği hakkındaki öncelikleri ve halk sağlığını tehdit eden bu durumu önemseme dereceleri, trafik kazalarının önlenmesinde o derece etkili olabilmektedir. Toplumunda, sivil toplum kuruluşları vasıtasıyla süregelen bu kazaları engelleyecek sistemleri kurmaya doğru bir gelişim içinde olmaları gerekmektedir.

Trafik kazalarını önlemek ve trafikte iş güvenliğini tesis etmek için, Türkiye'de sürücü eğitiminin ve sürücü belgesi veriliş şeklinin niteliğini değerlendirmek ve anılan işlemin bu konuda proaktif yaptırımlar yapan, AB (Avrupa Birliği) ülkeleriyle kıyaslanarak incelenmesi ve Türkiye'ye özgü bir model oluşturulmasına yönelik çalışmaların yapılması ivedi bir hâl almıştır.

Yolcular ve sürücülerin ulaşım esnasında kazaya karışmama ve zarar görmeme konusunda garantileri yoktur. Kazalar sadece ulaşım sorunu olmayıp halk sağlığının ana problemlerindendir. Söz konusu kazalar her yıl binlerce insanımızın ölümüne, sakat kalmasına ve yüz binlercesinin de yaralanmasına neden olmaktadır. Trafik kazalarının sadece kazaya karışanların sağlık ve yaşamını olumsuz yönde etkilemediği, yaralı ve ölü yakınlarının da sağlıkları ve yaşamlarına maddi , manevi büyük zararlar verdiği kuşkusuzdur.

İş güvenliği açısından sürücülere verilecek günümüz araç teknolojilerine uygun pist eğitimleri, davranış ve sakınma benzeri psikoteknik eğitimlerin, kazaların azalmasında çok etkili olacağı bu bildiri kapsamında ayrıntıları ile sunulacaktır.

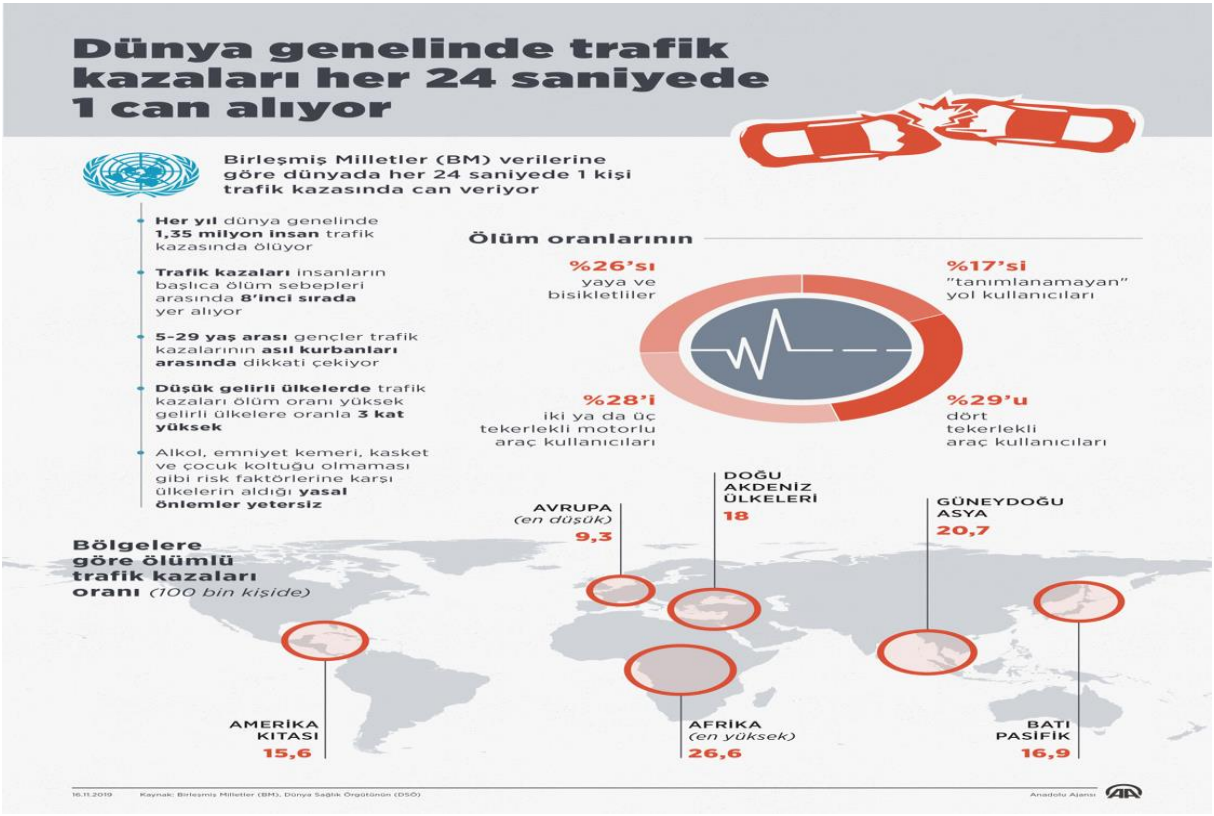
2. Amaç

Dünya Sağlık Örgütü'nün yayınladığı dünyadaki ölüm oranlarında trafik kazalarından her 24 saniyede 1 kişinin ölümü, trafik kazalarının azaltılmasının hem dünya için hem de Türkiye için önemini açıklamaktadır.(BM-DSÖ,2019). Şekil 1 'de verilen bu istatistiki bilgiler her yıl artan trafik kazaları hakkında daha proaktif kararlar alınmasını gerektirmektedir. AB üyesi ülkelerde trafik kazaları ülke parlamentolarında sorgulanan en önemli konulardan biri olduğundan, AB'ye giriş aşamasındaki Türkiye'de de trafik kazalarının önlenmesi ve halk sağlığının korunması için birçok önlem alınmasının zamanı gelmiş ve geçmektedir.

Türkiye'de trafik kazalarında ölen ve yaralanan kişilerin aileler üzerinde bıraktığı manevi etki boyutu ve gerek aileler gerekse ülke millî gelirini etkileyen maddi kayıplarının boyutu, bu gidişe bir son vermeyi gerektirmektedir. İş kazalarına nazaran trafik kazalarındaki ölüm oranının fazlalığı, eğer önlem alınmaz ise gelecek yıllarda bu kazaların daha da artacağını bildirmektedir.

OECD ülkeleri bazında yapılan araştırmalara göre trafik kazası neticesinde ölen bir kişinin tahmini sosyo-ekonomik maliyeti 0,7 milyon Euro ile 3 milyon Euro arasında değişmektedir. (OECD, 2017) .Bu ekonomik maliyeti ülkemize uyarladığımızda, 2023 döviz kurları bazında (1 Euro- 30 TL) 2 milyon Euro karşılığı, ortalama 60 milyon TL/Kişi trafik kazası ölüm maliyeti çıkmaktadır.

Trafik kazaları iş güvenliği kapsamında değerlendirildiğinde öncelikle ticari araçların karıştığı kazaları kapsamakta olup, bu ise taksi, kamyonet, kamyon, minibüs, midibüs, otobüs, ticari motosiklet, traktör türü araçların karıştığı ve ticari amaçlı çalışan araçları kapsamaktadır. Bu kazalar halk sağlığı yönünden tüm araç sürücülerini, aileleri, yayaları ve yolcuları da kapsamaktadır. Trafik kazaları bireysel olarak değerlendirildiğinde ise konuya otomobillerin, motosikletlerin karıştığı kazalar olarak bakılması gerekiyor.



Şekil -1- Birleşmiş Milletler(BM), Dünya Sağlık Örgütü(DSÖ) dünyada trafik kazası verileri Kaynak:BM-DSÖ-2019

Bugüne kadar devlet tarafından yapılan denetim ve Millî Eğitim Bakanlığı mevzuatı çerçevesinde sürücü kursları tarafından yapılan sürücü eğitimi, devlet erkinin bu konuda yeterli olmayan personel sayısı ile trafik kazalarının önlenmesinde yeterli başarıya ulaşamadığını göstermektedir.. Bu tespitin argümanı ise, batı ülkelerindeki kaza sayıları sonucu oluşan ölü ve yaralı sayılarının, Türkiye'de gerçekleşenler ile oranının mukayese edilemeyecek oranda Türkiye aleyhine olan farkıdır.

.

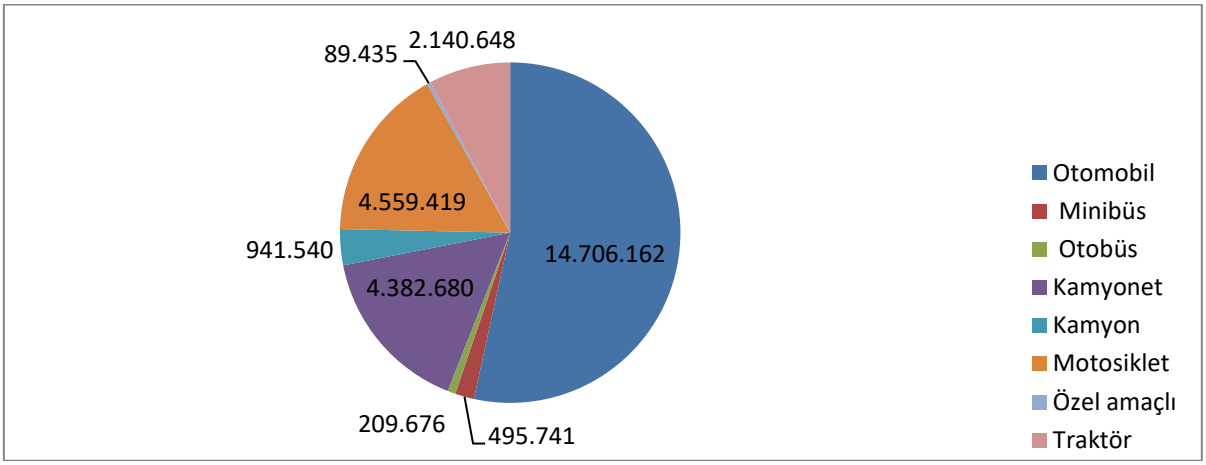
3. Kapsam

Tabo 1 ve Grafik 1 'den de görüleceği üzere Türkiye karayollarındaki toplam 27 milyon 525 bin motorlu taşıt aracının, 14 milyon 706 bin adedi otomobil, 12 milyon 819 bin adedi ise çeşitli ticari araçlardan oluşmaktadır.
(TÜİK- Haziran 2023)

Tablo-1- Trafiğe Kayıtlı Araçların Dağılımı

Toplam	Otomobil	Minibüs	Otobüs	Kamyonet	Kamyon	Motosiklet	Özel amaçlı	Traktör
27 525 301	14 706 162	495 741	209 676	4 382 680	941 540	4 559 419	89 435	2 140 648

Kaynak: TÜİK-Haziran 2023



Grafik-1- Türkiye Trafiğe Kayıtlı Araçların Tür Dağılımı

Kaynak: (TÜİK-Haziran 2023)

Trafikde yer alan bu 12 milyon 819 bin ticari araç, bir iş karşılığı hizmet görmektedir. Bu araçları kullanan sürücüler, mesleki olarak bu işi yapmakta olup, ticari .araç sürücüsü olarak adlandırılmaktadırlar.. Türkiye karayollarında meydana gelen kazalar ile ilgili TÜİK tarafından 2023 Mayıs ayında yayınlanan 2022 yılı verilerine göre; 1 milyon 232 bin 957 adet trafik kazası meydana geldi. Tablo 2 ‘de belirtilen bu kazaların, 1 milyon 35 bin 696 adedi maddi hasarlı, 197 bin 261 adedi ise ölümlü yaralanmalı trafik kazası olarak gerçekleşti. 2022 yılında meydana gelen trafik kazalarında ; kaza yerinde 2.282 kişinin, kaza sonrası ağır yaralanarak hastaneye kaldırılan ve 3 ay içinde vefat eden 2947 kişinin bu sayıya katılması ile toplam ölü sayısının 5.229 kişiye çıktığı görülmektedir. (TÜİK-Mayıs 2023)

Tablo-2- Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri

Yıllar	Toplam kaza sayısı	Ölümlü yaralanmalı kaza sayısı	Ölü sayısı			Yaralı sayısı
			Toplam	Kaza yerinde	Kaza sonrası	
2013	**1 207 354**	161 306	**3 685**	3 685	**-**	274 829
2014	**1 199 010**	168 512	**3 524**	3 524	**-**	285 059
2015	**1 313 359**	183 011	**7 530**	3 831	3 699	304 421
2016	**1 182 491**	185 128	**7 300**	3 493	3 807	303 812
2017	**1 202 716**	182 669	**7 427**	3 534	3 893	300 383
2018	**1 229 364**	186 532	**6 675**	3 368	3 307	307 071
2019	**1 168 144**	174 896	**5 473**	2 524	2 949	283 234
2020	**983 808**	150 275	**4 866**	2 197	2 669	226 266
2021	**1 186 353**	187 963	**5 362**	2 421	2 941	274 615
2022	**1 232 957**	197 261	**5 229**	2 282	2 947	288 696

Kaynak: TÜİK Mayıs 2023

Türkiye ILO International Labour Organization-(Uluslararası Çalışma Örgütü) sözleşmesini imzalamış bir ülkedir.

İLO'nun 1981 yılında kabul ettiği 155 sayılı sözleşme (ILO-1981), iş güvenliğine üye ülkelerin izleyecekleri ana politikaları belirlemektedir. Sözleşmeye göre üye ülkeler işin yürütümü esnasında ölen ve yararlanan kişi sayısını en aza indirmekle mükelleftirler. Üye ülkeler (İLO sözleşmelerini imzalayan) her türlü çalışma ortamındaki güvenlik ve iş sağlığını mevzuatın içeriğindeki şartlar çerçevesinde uygulama ve izlemekle mükelleftirler. Yine bu kapsamda işverenlere birçok sorumluluk yüklenerek her türlü tedbiri almaları tavsiye edilmektedir.

Türkiye'de sürücü eğitimi ve sürücü belgesi verilme işlemleri, özel sürücü kursları vasıtasıyla yapılmaktadır. Almanya'da ise, TÜV -Technischer Überwachungs Verein (Teknik Denetim Kurumu) ve DEKRA Deutscher Kraftfahrzeug-Überwachungs-Verein (Alman Motorlu Taşıtlar İzleme Derneği) adlı özel kuruluşlar tarafından özel pistlerde yapılmaktadır. Bunların hangisinin daha verimli ve rasyonel olduğu yine bu bildirim kapsamında tartışılmaktadır. Bu tartışma ile Türkiye'deki trafik kazalarının genel bir analizi ve trafikte sürücü, yolcu, yaya güvenliği ve ulaşımda halk sağlığı için Türkiye'ye trafik-iş kazalarının önlenmesi için bir model önerisi getirilmektedir.

4. Yöntem

Bu bildiri kapsamında Türkiye'de Millî Eğitim Bakanlığı Motorlu Taşıt Sürücüleri kursu mevzuatı yönetmeliği ile verilen eğitimin kalitesi değerlendirilmiş, tartışma bölümünde bu sistem ile alınan eğitimin, trafik kazalarının önlenmesi adına sürücü güvenliğine etkileri ve bugünkü durumunun olumlu ve olumsuz yönleri ele alınmıştır.

Trafik kazalarına iş güvenliği açısından baktığımızda, konunun ilk muhatabı ticari araç sürücüleri olmaktadır. Ticari araç kategorisindeki taksi, kamyon, kamyonet, TIR, otobüs,

minibüs, midibüs, ticari motosikletler, traktör ve benzeri araçlar, ticari faaliyette bulunduklarından dolayı yapılan bu işin kapsamında ulaşım, taşımacılık, yük ve benzeri bir faaliyetleri yürütmektedirler. Bu nevi araçlardaki başta sürücüler ve sonra yaya ve yolcular risk grubunun merkezi olmaktadır. İş ve meslek kazalarını irdelediğimizde de inşaat, maden, makina kazalarının değerlendirilmeleri ve ne şekilde önlemler alınacağına dair birçok yönetmelik ve uygulamalar var iken, sürücülerin bu tarzda bir iş denetimi yoktur.

Bu bağlamda, sürücülerin ve onların işverenlerinin iş güvenliği ve sağlığı çerçevesinde değerlendirilmesi ve denetlenmeleri gerekmektedir. 6331 sayılı İş sağlığı ve güvenliği kanunu çerçevesinde, sürücülere, her türlü ileri sürüş eğitimleri ve psikoteknik kontrolllerin, belirli periyotlarda işverenler tarafından aldırılmaları gerekmektedir.6331 sayılı kanun, "kaza sonucu olacak her türlü sorumluluk ve tazminatlar işveren yükümlülüğündedir.".demektedir. (İSG-6331) Trafik kazalarında can veren insan sayısının Tablo 3' den de görüleceği üzere, iş sağlığı ve güvenliği kapsamında değerlendirilen diğer işlere göre, 3 kat daha fazla olması, iş kazalarında trafik kazalarının ne derece yüksek olduğunu göstermektedir..

Tablo-3: Son 5 Yıl İş ve Trafik Kazası İstatistikleri

Yıllar	İş kazası ve meslek hastalığı sonucu ölüm sayısı	Trafik kazası sonucu ölüm sayısı
2018	1.541	6.675
2019	1.147	5.473
2020	2.427	4.866
2021	1382	5362
2022	1843	5229

Kaynak: SGK-2022

5. Türkiye'de Trafik Kazalarına Genel Bakış

Türkiye'de trafik kazalarında en büyük hatalar sürücü kusurlarından kaynaklanmaktadır. . Bu kusurların ayrıntısı tablo 4'de verilmektedir. Kuşkusuz trafik kültürünün eksikliği, yol standardı, yatay ve düşey işaretlemelerin yetersizliği ile araç kullanım kusurları sınıfına giren uyku apnesi, alkollü araç kullanımı, yorgunluk, kazaların başlıca nedenlerindendir. Ancak yıllardır eğitim almamış ve kullandığı aracın teknolojisini iyice öğrenmemiş sürücülerin Türkiye'deki kazalardaki kusur oranları Tablo 5 'de de belirtildiği gibi %88'dir. Kuşkusuz sürücü dışında yaya ve yolcu kusurları da olmasına rağmen ,yol kusurları oranındaki düşüklüğün gerçeği yansıttığına dair bilimsel bir veri sunulamamaktadır.Zira yol kusurları konusunda rapor yazan yetkililerin bu konudaki bilgi birikimi ve tecrübelerinin tekrar ölçülmesinde ve bu konuda görev alacak kişilerin uzmanlar tarafından eğitim almasında fayda görülmektedir. Gelişmiş ülkelerde yol kusurlarından kaynaklanan kusurlar daha yüksek iken Türkiye'de trafik kazalarında yol kusurlarının bu düzeyde olması yeniden sorgulanması gereken bir konudur. İngiltere'de bu oran % 5,7 'dir.. (TÜİK 2022) ve (Road Safety statistics in EU))

TABLO-4: Trafik kazalarında Sürücü kusurları

SÜRÜCÜ KUSURLARI-2022	Adet
Alkollü araç kullanmak	**1. 802**
Araç hızını yol, hava ve trafiğin gerektirdiği şartlara uydurmamak	**75. 287**
Arkadan çarpmak	**14. 108**
Aşırı hızla araç kullanmak	**1 .806**
Doğrultu değiştirme (dönüş) kurallarına uymamak	**14. 177**
Geçme yasağı olan yerlerden geçmek	**1. 491**
Kavşaklarda geçiş önceliğine uymamak	**26 .737**
Kırmızı ışık veya görevlinin dur işaretine uymamak	**5 .223**
Kurallara uygun olarak park etmiş araçlara çarpmak	**2. 962**
Manevraları düzenleyen genel şartlara uymamak	**17. 072**
Diğer kusurlar	**43. 558**
TOPLAM KUSURLAR	**204.223**

Kaynak:TÜİK 2022 Sürücü kusur oranları

TABLO-5: Trafik kazalarında Sürücü, yolcu, yaya,yol kusur oranları son 10 yıl

Yıl	Sürücü kusuru		Yolcu kusuru		Yaya kusuru		Yol kusuru		Taşıt kusuru	
Year	Sayı	(%)	Sayı	(%)	Sayı	(%)	Sayı	(%)	Sayı	(%)
2013	162 327	88,7	774	0,4	16 458	9,0	1 913	1,0	1 558	0,9
2014	171 236	88,6	901	0,5	18 115	9,4	1 841	1,0	1 122	0,6
2015	187 980	89,3	915	0,4	18 522	8,8	1 916	0,9	1 165	0,6
2016	190 954	89,6	869	0,4	18 612	8,7	1 717	0,8	997	0,5
2017	191 717	89,9	782	0,4	18 095	8,5	1 619	0,7	1 112	0,5
2018	194 928	89,5	1 916	0,9	18 394	8,4	1 300	0,6	1 360	0,6
2019	180 042	88,0	2 572	1,3	16 726	8,2	1 045	0,5	4 153	2,0
2020	157 128	88,3	2 577	1,4	12 520	7,0	897	0,5	4 745	2,7
2021	195 382	87,1	3 941	1,8	18 398	8,2	936	0,4	5 761	2,6
2022	204 233	86,8	2 753	1,2	22 234	9,5	902	0,4	5 054	2,1

Kaynak:TÜİK 2022 Kaza Kusur oranları

Trafik kazalarının önlenmesi ve yol güvenliğinin sağlanması için en önemli argüman sürücülerdir Yapılacak ilk proaktif eylem, sürücülerin eğitim ve yeterliliklerinin geliştirilmesidir.. Sürücülerin Trafik kazalarında kusur oranlarında en önemlileri; yol şartlarına göre araç hızını trafiğin gerektirdiği şartlara uydurmamak arkadan çarpmak, kavşaklarda geçiş önceliğine uymamak, manevraları düzenleyen genel şartlara uymamak ve kavşak geçiş önceliğine riyatet edilmemesi gelmektedir. (TÜİK 2022)

5. 1. Türkiye'de İş Kazaları ve Trafik Kazaları

Gerek işverenler gerekse Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın aldığı tüm tedbirlere rağmen, iş kazalarının artan sayıları önlenememektedir.

Trafik kazaları sayısında ve kazalar sonucundaki ölü ve yaralı sayısında Avrupa'da 1. sırada olan Türkiye'de (Euronews-2022) trafik kazaları gerek iş güvenliği ve gerekse yaya, yolcu ve sürücü açısından halk sağlığını tehdit eder hâle gelmiştir.

Üzerinde önemle durulması gereken bir durum da, kazalardan etkilenen sürücüler kadar, araç içindeki yolcular ve yol üzerindeki yayalar da ölü ve yaralı sayıları arasındadır. Burada, kaza sonucu ölen sürücü sayısı kadar, yolcular da hayatını kaybetmektedir. Gelecek adına kaygı duyulan en önemli husus, araç sayısı arttıkça her yıl kaza sayısı ve ölü, yaralı sayısı da artmaktadır. Buradan çıkan sonuç, kazaların önlenmesi yönünde yapılan girişim ve alınan tedbirlerin yeterli olmadığıdır.2013 yılında araç sayısı 17.9 milyon adet kaza sayısı 1.2 milyon adet..2022 'de araç sayısı 26,4 milyonn adet, kaza sayıısı 1.23 milyon adet. (TÜİK 2023 Haziran) . Bu gidişe reformist bir yaklaşım getirilmediği sürece, kazaların artarak devam edeceği, Tablo 2'deki yıllara göre kaza sayılarının artışından da anlaşılmaktadır.

5. 2. Sürücü Belgesi Sayısı ve Araç Sayısı

Ülkemizde 14 milyon otomobil ve 32 milyon sürücü belgesi bulunmaktadır. .(İçişleri Bakanlığı -2021) Ülke genelindeki 85 milyon nüfusa oranlandığında, her 6 kişiye 1 otomobil, İstanbul'da 16 milyon nüfusa karşılık , kullanılan 3,5 milyon otomobil (TÜİK 2023) nüfusa oranlandığında 4,5 kişiye bir otomobil düşmektedir. Avrupa Birliği'ne bağlı ülkelerde ortalama 2 kişiye bir otomobil düşmektedir.(Euronews-2022).

Yıllar önce ehliyet almış olan sürücülerin günümüz araç teknolojisi ve sürüş teknikleri hakkında bilgi sahibi olmaması, trafik kazalarında tablo 5'te görülen kusur oranlarının giderek artmasına neden olmaktadır.

5. 3. Trafik kültürü ve yatay –düşey işaretleme eksikliği

Trafik bilinci gelişmemiş ve yeteri kadar sürüş eğitimi almamış toplumlarda görülen en önemli eksiklik trafik kültürüdür. Bunun için süratle bir "Trafik Kültürü" oluşturulması, ilköğretimde trafik derslerinin zorunlu ders olarak okutulması, toplum bilincinin başlaması yönünden olumlu girişimler olacaktır.

Okul dönemindeki çocukların eğitimi, trafik kazalarının önlenmesinde ailelerin topyekûn bilinçlendirilmesinde çok önemli bir yer tutmaktadır. Yıl 1980'de Almanya'da ADAC'ın (Alman Birleşik Otomobilciler Kulübü) katkılarıyla aileleri hedef alan bir bilgilendirme programı başlatılmıştır. Özellikle anaokulu temaslarıyla her yıl yaklaşık 200.000 aile ile irtibat kurulmuştur. Bu programın hedefi günlük hayat ortamında ailelerin, çocukların maruz kaldığı trafikdeki potansiyel tehlikeler konusunda bilgilendirilmesi ve bu sayede çocuklara oyun zamanlarında daha güvenli alanların sağlanması hedeflenmiştir.

Yine diğer bir önemli konu, yollarımızda yeteri kadar düşey ve yatay işaretleme bulunmaması sebebi ile kazalara davetiye çıkarılmaktadır. Yollarımızdaki trafik işaret ve levhalarının da yerel yönetimler ve karayolları genel müdürlüğünce süratle tamamlanması gerekmektedir

6. Tartışma

Türkiye'deki yol ve sürücü güvenliği kapsamında yolcu ve yayaların güvenliğini tesis etmek için, bu konuda başarılı uygulamaları incelediğimizde, mevcut araç sayılarına göre en

az trafik kazasının yaşandığı ülke Almanya'dır. Tablo 5'de bu durum açıkça görülmektedir. AB standartları çerçevesinde trafik eğitiminde en başarılı ülke olan Almanya'da sürücü belgesi sınavları yalnızca TÜV veya DEKRA isimli özel kuruluşlar tarafından yapılmaktadır. Devlet sürücü belgesi verme işlemini özel sektöre devrederek denetleyen ve sorgulayan bir yapının içinde olmayı tercih etmiştir. Bu bildiri kapsamında bu özel kuruluşların çeşitli kentlerde tesis ettiği trafik akademileri değerlendirilecek, Türkiye'deki uygulamalar, aralarındaki farklar ve yararları incelenecektir.

Tablo-6: Almanya –(www.Traffic and accident data summary statistics –Germany)
Türkiye- Nüfus, Trafik Verileri ve Kaza Karşılaştırması

Ülke	Yaralı Sayısı	Ölü Sayısı	Araç Sayısı (x1000)	Nüfus Sayısı (x1000)	1000 Kişiye düşen araç sayısı	100. 000 Araca Düşen Ölü Sayısı
ALMANYA	**188. 297**	**2.776**	**48.760**	**83.294**	**585**	**6**
TÜRKİYE	**288.696**	**5.229**	**25.920**	**84.340**	**307**	**20**

Kaynak: TÜİK 2022 ve Statistica research department in Germany 2022

Tablo 6'dan da görüleceği üzere her iki ülke nüfus sayıları aynı ve araç sayıları Almanya lehine iki kat daha fazla olmasına rağmen trafik kazalarında her iki ülkedeki trafik kazası sonucu oluşan ölü sayıları çok farklıdır.. Burada ülkeler arasındaki en önemli kriter 100 bin araca düşen ölü sayısı olup, bu ise Türkiye aleyhinde üç kat daha fazladır.

Bilindiği üzere 2008 yılında Türkiye'de TÜV-SÜD-DOĞUŞ ortak girişimi ile araç muayene istasyonlarının özelleştirilmesi yapıldı. Uygulama TÜVTÜRK adını alan şirket tarafından başlatılmış ve halen çok başarılı bir girişim olarak faaliyetine devam etmektedir. Bu muayene istasyonlarında araç muayenesi; egzoz emisyon muayenesi, yola elverişlilik muayenesi, tadilat sonrası muayene gibi hizmetler verilmektedir. İstasyonlarda sunulan hizmetler uluslararası ISO 17020 standartları çerçevesinde yapılmaktadır.

Hizmetin başlamasından itibaren periyodik muayeneden kalma oranının %38 olması trafikte muayenesi yeterli olmayan ve her an teknik bir arıza ile kazalara davetiye çıkaran bir olgunun göstergesi olmaktadır. Muayeneden geçemeyen araçların başta fren lastik, yürüyen aksamlar ve aydınlatma eksikliği ve sorunları olması, konunun ne derece kötü durumda olduğunu göstermektedir. Toplam olarak bu fotoğrafı değerlendirdiğimizde trafikteki yaklaşık 26 milyon aracın 9.7 milyon adedinin teknik eksiklikleri olduğu anlaşılmaktadır.(TÜVTÜRK,2008)

Geçmiş yıllarda Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü uhdesinde işletilen araç muayene istasyonları, yetersiz cihaz ve yeterli sayıda uzman bulunduramadığı için muayene dönemi gelen her türlü taşıt aracının muayeneleri standartlar çerçevesinde yapılamamaktaydı. Bu seviyede yapılan araç muayeneleri adeta trafik kazalarına davetiye çıkaran bir durumda idi. Türkiye için önerilen TÜV ve DEKRA benzeri yapılanmaların ve sürücü sınav merkezlerinin, muayene istasyonları benzeri yenilenerek kurulmasının bir an evvel gündeme gelmesi gerekmektedir.

TÜVTÜRK yetkililerinin hizmete başlamalarının yedinci yılında verdikleri beyanatlardan, işlemlere başladıkları yıldan itibaren geçen 7 yıllık sürede teknik sebepler ile kaza yapan araç oranın da %15 azalma olduğu ifade edilmektedir.

Bu kazaların azalması için bir diğer önemli husus ise araç muayene kuruluşlarında, özellikle ticari araçların AB normunda muayene ve son kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Trafik kazaları sonrası ölen, sakat kalan yetişmiş insan gücü, hurdaya ayrılan araçlar veya hasar sonucu onarılan araçlara ödenen onarım bedelleri, konunun ekonomik boyutunu da gözler önüne sermektedir. OSD (Otomotiv Sanayicileri Derneği) 2020 verilerine göre pazardaki araçların%60'ı ithaldir.(OSD,2020). Kazalar sonucu, pert olan bu araçların yeniden satınalınması için, ithal araç alımlarının arttığı ve bu sebeple ülkeden daha çok dövizin yurtdışına çıktığı gerçeğinin göz ardı edilmemesi gerekiyor..

6. Kurulması Önerilen Trafik Akademileri

6. 1 .Trafik Akademilerinde Amaçlanan Hedefler

- Trafik kazalarını azaltmak,
- AB normlarında sürücü sertifikalandırması yapmak,
- Ticari araç kullanan sürücülere ait her türlü istatistiki bilgiyi toplayabilecek bir düzen oluşturarak bireysel ve ticari araç kullanıcı istatistiklerini oluşturmak (bu sayı Türkiye'de halen resmi merciler tarafından bilinmemektedir).

Akademinin başlangıçtaki hedef kitlesi; okul ve personel servis sürücüleri, taksi sürücüleri, dolmuş ve minibüs sürücüleri, halk otobüsleri sürücüleri, kamuya ait araçla yolcu taşıyan sürücüler, şehirlerarası yolcu taşıyan sürücüler, turizm sektöründe hizmet veren, sürücülüğü meslek olarak yapan sürücüler olarak sıralanabilmektedir.

TÜRKİYE; EHLİYET DİREKSİYON TEST ALANLARI



Şekil-1:- İstanbul Sürücü sınavı yapılan yollar

ALMANYA KÖLN DEKRA EĞİTİM PİSTİ



Şekil-2: Almanya-Köln DEKRA-Sürücü sınav merkezi

Şekil 1 ve Şekil 2 'de Türkiye ve Almanya'da sürücü sınavının yapıldığı yerler görülmektedir. Türkiye'de deneyimsiz sürücüler trafik içinde araç sürererek riskler alınırken, Almanya'da özel pistlerde bu sınavlar yapılmaktadır.

6. 2. Akademinin Çevresel ve Ekonomik Faydaları

Günümüzde çevre kirliliğine en çok yol açan argümanlardan olan, otomobil benzeri lastik tekerlekli araçların meydana getirdiği karbon gazı salımlarının azaltılması ve gittikçe tükenen (yeraltı kaynaklarından üretilen) yakıtın daha tasarruflu kullanılması amacıyla, gelişmiş ülkelerde önümüzdeki yıllarda ECO-Driving-Ekonomik Sürüş Teknikleri- ile tüm ülke sürücülerinin tekraren testten geçirilmesi gündemdedir. Ekonomik sürüşün en önemli ögeleri; periyodik bakım, klima kullanım, lastik basınçlarının teorik değerlerde olmaması, araç sürüş tekniği, bagajda bulunan gereksiz yükler, egzoz performansı olarak sıralayabiliriz.

Yukarda sıralanan bilgiler trafik akademisinin salt sürücü belgesi vermekten ziyade, araç sürüşlerinden kaynaklanan yakıt ve yedek parça israf etkisine de son vereceği görünmektedir.

7. İlkyardım

Herhangi bir yolda trafik kazası gerçekleştiğinde, doğru ve zamanında yapılmayan müdahaleler sonucu özellikle ağır yaralanmalı vakalarda ölüm oranları çok yüksektir. Alınacak profesyonel ilkyardım eğitimi ile ağır yaralanmalı kazalarda ölüm oranını azaltmak mümkündür. Genellikle ölümlü kazaların %10-15'i ilk kısmı ilk 5-10 dakika periyodunda, %50-60'lık kısmı ise ilk 25-30 dakika periyodunda gerçekleşmektedir. İlkyardımda en önemli müdahale konu hakkında eğitim almış kişiler tarafından suni teneffüs ve kalbe yapılan masaj hareketleridir.

Bu uygulamanın Sağlık Bakanlığı-akademiler koordinasyonunda tüm sürücülere eğitiminin verilmesi, kazalarda birçok ölümün, sakatlığın önüne geçeceği toplum sağlığı uzmanlarınca ifade edilmektedir. Şekil 3'de ilkyardım için görev almış olan teknik ve sağlık elemanlarının yardımcı ekipmanları ve nasıl bir ekip ile olaya müdahale ettikleri görülmektedir.



Şekil-3:İngiltere de Trafik kazası sonrası ilkyardım müdahale

8. Trafik Psikolojisi

Almanya'da sürücülere uygulanan trafik psikolojik testi, Idiotentest (MPU) diye bilinen, zekâ testinden farklı bir uygulama olarak öne çıkıyor. Özel eğitimli bir psikolog ile 4 saat süren bir görüşme yapılıyor. Bu kursun sonunda yine yarım saatlik bir araç kullanma testi öngörülüyor. Bu testlerden geçmeyen aday asla ehliyet alamıyor. Almanya'da trafik psikologluğu bir meslektir. Bu meslek sahipleri birçok büyük kent belediyesinde istihdam

edilmektedir. Sürüş esnasında sürücülerin refleks ve farkındalıkları çok önemsenmektedir. Kişinin psikolojik hâl, tutum ve davranışları kaza yapma riski için çok önemsenmektedir.

9. Sonuç ve Öneriler

Birleşmiş Milletler 2030 itibariyle trafik kazalarına ait eldeki verilerin ikiye katlanacağını, bir hastalık gibi salgınlaşan bu küresel ölüm/yaralanmalara karşı, 2030'a dek trafikte ölümleri dünya çapında stabilize etmek ve azaltmak amacıyla "Yol Güvenliği için On Yıllık Eylem Planı'nı (Decade of Action for Road Safety/2011-2030) başlatmıştır. (BM,2011) Uzmanlar bu hedefin gerçekleştirilmesiyle 5 milyon kadar hayatın kurtarılacağına, 50 milyon ağır yaralanmanın önüne geçileceğine inanılmaktadır.[1]

Diğer yandan , Ulaştırma Bakanlığı nezdinde bir "Trafik Genel Müdürlüğü" kurulması, var olan uzmanların burada görev alması, reform hareketinin en önemli girişimi olacaktır. (S.SARI,2014)

Yanısıra 40- 50 yıl önce sürücü belgesi almış bireyler; sürüş kabiliyetleri, refleksleri, yol farkındalıkları, yeni araç teknolojileri hakkında bilgileri, uyku apnesi, göz katarakt, uzağı görememe, ilaç alışkanlığı gibi hususlarda tıbbi testlerden geçirilmeli ve yukarıdaki özellikleri taşımayan sürücüler önce eğitim almalı ve eğitimden geçemeyenlerin sürücü belgeleri geri alınmalıdır.

Ticari araç sürücülerinin çalıştığı şirketler veya kendi aracı ile hizmet verdiği şirketlerde kasko ve zorunlu trafik sigortası yapılırken, bunlardan kazaya karışmış olanlar ve alkol alma, kurallara uymama gibi cezalar almış olanlar şirketler tarafından sorgulanması kural haline getirilmelidir. Kazaya karışmış veya ceza puanı yüksek sürücülerin kullandığı, şirket araçlarına uygulanacak poliçelerin, sigorta primlerinin yüksek olması sebebiyle bu nevi sürücülere istihdam zorluğu yaratılmalı ve bu uygulama kurallara uymama konusunda caydırıcılık yaratabilmelidir.

Trafikte yol ve sürücü güvenliğinin sağlanmasında başlıca tedbir alınması gereken unsurları sıraladığımızda en önemli konuları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür. Bu unsurların verimli olması için başta hükümet ve ilgili bakanlıkların yatırımlar ve eğitim için müzakere edilmiş bütçeler ayırmaları gerekmektedir.

Kazaları önlemek için yapılması gereken temel unsurlar: (KGM,2022)

- Şehirlerarası Trafik Güvenliği (Altyapı)
- Şehir İçi Trafik Güvenliği (Altyapı)
- Okullarda Yol Güvenliği Eğitimi
- Sürücü Eğitimi
- İleri Derece Sürücü Eğitimi
- Yol Güvenlik Bilgisi
- Güvenlik Kuralları Yaptırımı (Hız, Alkol, Emniyet Kemeri)
- Yaralanması Mümkün Yol Kullanıcılarının Güvenliği. (Çocuklar, Yaşlılar, Yayalar ve İki tekerlekli Araç Kullananlar)
- Profesyonel Sürücüler İçin Yol Güvenliği
- Firmalarda Yol Güvenliği
- Acil Servisler, İlkyardım Hizmetleri

Güvenliğin sağlanması için kurallara uyumu sağlamanın önemli bir unsuru eğitimdir. Eğitilmiş insan, toplum kurallarına uyan insandır. Trafik eğitiminde sürücülerde beklenilen yönde değer tutum ve davranış değişikliğinin sağlanması ve sürücülere yeni bir bakış, anlayış ve uygun ahlaki değerler kazandırılması için programların da yenilenmesi kaçınılmazdır. Trafik sorununa çözüm getirilmesi demek, insan unsuruna yatırım yapılması demektir. Tüm

sürücüler çok kapsamlı yazılı-sözlü ve uygulamalı trafik sınavından geçirilerek yetersiz görülenlerin sürücü belgelerinin geri alınarak kendilerinin yeniden sürücü kursuna başlayarak, sınavlara girmeleri ve bunun bir toplumsal hareket olarak başlatılması sağlanmalıdır.

Kazaların azaltılabilmesi için, yerel yönetimlere de çok büyük bir sorumluluk düşmektedir. Yine yakıt firmaları ve otomotiv firmalarının da trafik kültürü ve güvenliği hususlarında halkı bilinçlendirecek sponsorluk girişimlerinde bulunmaları gerekiyor.

Tüm önerilerin hayata geçmesiyle doğal olarak yapılan reformların ölçülmesi gerekmektedir. "Yapılacak reformların verimlilik takip tablosu" uygulamanın başladığı yıldaki mevcut değerler ile her yıl gerçekleşen değerlerin mukayeseleri sonucu verimlilik ve değişen durumları ölçme takibi yapılabilecektir. Tablonun değerlendirilmesi yıllar arasındaki araç sahipliliği, yeni imal edilen yollar, araç sayısı, ehliyetli sürücü sayısı, yeni kavşak, köprülü kavşak, viyadük benzeri ulaşımı kolaylaştıran yatırımları da göz önüne alarak ve önceki yıl ile oranlanarak değerlendirilmelidir.

Halkın can ve mal güvenliğini tehdit eden bu önlenemez facianın ülke ekonomilerinde de "israf ekonomisi" olarak yer bulduğu İTÜ-İstanbul Teknik Üniversitesi, UYG-AR (Uygulama ve Araştırma Merkezi)(İTÜ,2005) ve TBMM araştırma komisyonları raporlarında da ifade edilmektedir. TBMM,2005)

Yakın bir zamanda iş sağlığı ve güvenliği alanında oluşan ILO sözleşmeleri paralelinde, trafikte yol ve sürücü güvenliğine yönelik sözleşmelerin de hazırlanması gündemdedir. Türkiye'nin toplum, sivil toplum kuruluşları ve parlamento ile birlikte bu girişimlere öncülük etmesi, trafik- iş kazalarındaki yıllardır süren bu olumsuz tabloyu düzeltecek en önemli işbirliği olacaktır.

Kaynaklar

Euronews-2022-https://tr.euronews.com/2022/01/08/turkiye-nin-2021-trafik-kaza raporu

DSÖ-2014-https://www.who.int/publications/i/item/world-report-on-road-traffic-injury-prevention

BM-2022-https://www.aa.com.tr/tr/dunya/dunya-genelinde-trafik-kazalari-her-24-saniyede-1-can-aliyor/1647217

OECD-2017 -https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/analysis-road-crash-costs-eu-countries.pdf

TÜİK Haziran- 2023- https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Road-Motor-Vehicles-June-2023-49427

TÜİK-Mayıs 2023 - https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza- Istatistikleri-2022-49513

ILO-1981 - www. ilo. org/public/turkish/region/eurpro/ankara/. . . /ilo_anayasa

İSG -6331 - https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6331.pdf

SGK-2022 https://www.sgk.gov.tr/Istatistik/Yillik/fcd5e59b-6af9-4d90-a451- ee7500eb1cb4/

Road Safety Statistics
https://www.google.com/search?q=road+defect+rates+imn+traffic+accidents+in+europeq

TÜİK-2022 - https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza Istatistikleri-2022-49513

İÇİŞLERİ -2021 https://icisleri.gov.tr/ehliyet-ozellikli-kimlik-karti-sahibi-sayisi

Euronews-2022 https://tr.euronews.com/2022/08/05/avrupada-kisi-basina-kac-arac

Almanya Traffic and accident data summary statistics –Germany

Statistica research department in Germany 2022

https://www.statista.com/statistics/1331134/road-traffic-fatalities-germany/

Türkiye- TÜVTÜRK,2008 - https://www.otomobil.com.tr/tuvturk-genel-muduru-kemal-oren-arac-muayene-kaza-istatistikleri/https://www.bast.de/EN/Publications/Media/Traffic-and-Accident-Data.pdf?__blob=publicationFile&v=8

OSD,2020 OSD/Otomotiv Sanayicileri Derneği/ Türkiye otomotiv ticaret meclisi sektör raporu – TOBB www. tobb. org. tr/Documents/. . . /20140127-Otomobil Sektörü Raporu

Handbook driving licence;

https://handbookgermany.de/en/driving-licence

https://www.german-way.com/for-expats/living-in-germany/german-drivers-license-reciprocity/getting-a-german-drivers-license/

https://www.tuev-hessen.de/en/25/service/driving-test/

BM,2011 Birleşmiş Milletler 10 Yıllık Eylem Planı, Decade of Action for Road Safety/2011-2030

S.SARI, 2014 Transist 7. Uluslararası Ulaşım sempozyumu ve sergisi Fuarı-Bireysel ve Toplumsal sağlığın korunması çerçevesinde Trafik kazalarının önlenmesine yönelik bir model önerisi-Bildiri kitapı sh 1/Suat SARI

KGM,2022 https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TrafikveUlasimBilgileri.aspx

İTÜ,2005 İTÜ Ulaştırma Uyg-Ar merkezince hazırlanan, Merkezi Karayolu güvenliği sonuç raporu 2005

TBMM,2005 Trafik Araştırma Komisyonu Raporu,2005 sh.7, 122. www. tbmm.gov.tr Bildirimi.pdf.

Elmas, G. ve Yıldızhan B. (1999). Türkiye'de Ulaşım Politikaları Ve Trafik Kazalarının Ekonomik Analizi, II. Ulaşım ve Trafik Kongresi, 08.02.2017, http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/11174.pdf

Orta Ölçekli Anadolu Kentlerinde Tramvay ve Troleybüs Tercihinin İncelenmesi:

Malatya Trambüs Örneği

Y. Şehir Plancısı İbrahim KILIÇ

TCDD Teknik Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., Kadıköy, İstanbul

Tel: (536) 636 95 38 E-Posta: ibrahimkilicytu@gmail.com

Doç. Dr. Murat ERGÜN

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Ayazağa, İstanbul

Tel: (532) 602 70 77 E-Posta: ergunmur@itu.edu.tr

Özet

Ülkemizde Raylı sistem yatırımları özelinde 2000'li yıllardan itibaren Anadolu'nun birçok ilinde önemli proje bütçeleri ile raylı sistem yatırımları hazırlanmıştır. Bu projeler hazırlanırken ise ana planlarda uygulanan dört aşamalı talep tahmin modelinin sonuçları ile belirlenen hatlarda sağlanan raylı sistem yolculuklarına referans verilmiştir.

Toplu taşıma hatlarından Tramvay ve Troleybüs sistemlerinin incelendiği ilk bölümde ise ülkemizdeki raylı sistem ve troleybüs geçmişine atıfta bulunularak, günümüzdeki durumları göz önüne serilmiştir. Ayrıca sistemlerin kapasitelerine ilişkin değerlendirmeler de araç kapasitesi ve frekans bazlı formüllerin yanı sıra On Birinci Kalkınma planları ve DLH (AYGM)'nin yeni yayınlanan standartları ile incelenmiştir.

Sonra ikinci bölümünde, Raylı sistemlerin yolculuk taleplerini belirlemeye yarayan temel yöntem olan dört aşamalı talep tahmin modelinden elde edilen yolculuk değerleri 2020, 2035 ve 2050 yılı için hesaplanmıştır. Toplu taşıma atamasından çıkan sonuçlar ile mevcutta hizmet veren yüksek kapasiteli bir troleybüs hattı olan Malatya Troleybüs (Trambüs)'ün Tramvay yatırım seviyesine ulaşabileceği yıl belirlenmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ise, Tramvay ve Troleybüs yolculuklarının yatırım ve işletme maliyetlerine dayanan değerlendirme ile finansal karşılaştırma; zaman değerinden temellenen hesaplama ile ekonomik değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu değerlendirmede yatırım maliyeti olarak altyapı ve araç maliyetleri de hesaba katılmıştır. İşletme maliyetinde ise enerji maliyeti, personel maliyeti ve bakım onarım maliyetleri, ulusal ve uluslararası örneklerden yola çıkarak değerlendirilmiştir.

Sonuç bölümünde ise birçok Anadolu Büyükşehrindeki mevcut durumda çalışan verimsiz ve yüksek maliyetli kentsel raylı sistem uygulamalarının taşıdığı günlük yolculuk verileri ışığında, toplu taşıma türlerine ilişkin yeni bir hiyerarşi kurulması gerekliliği öngörülmüştür. Bu hiyerarşi uyarınca raylı sistem hatları ile troleybüs hatlarının benzer kapasitede olduğu durumlarda, Troleybüs alternatifinin seçilmesi; Tramvay ihtiyacı bulunan hatlarda ise, Tramvay sisteminin kullanılması belirtilmektedir.

Anahtar sözcükler: *Tramvay, Troleybüs, Raylı Sistem Tercihi, İşletme ve Yapım Maliyeti*

1 Yöntem

Çalışmada yöntem olarak talep tahmin modeli yaklaşımı incelenmiştir. Günümüzde kullanılan "Aktivite Bazlı Model" ve "Dört Aşamalı Talep Tahmin Modeli" yöntemlerinden, Malatya Ulaşım Ana Planı'nda kullanılan dört aşamalı talep tahmin modeli sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Ayrıca toplu taşıma sistemlerinin kapasite hesaplarının yapılması için de gerek araç kapasitesi ve frekans fonksiyonuyla elde edilen teorik kapasiteler gerekse kalkınma planları ve AYGM tarafından belirlenen standartlar ele alınmıştır.

1.1 Dört Aşamalı Talep Tahmin Modeli

Dört aşamalı talep tahmin modeli Malatya ili için kurulurken farklı yerleşme tipleri için Farklı yöntemler kullanılmıştır.

Çizelge 1.1 Model aşamaları ve kullanılan yöntemler

Model Adımı	Kentsel Nitelikli Yerleşmelerde Kullanılan Yöntem	Kırsal Nitelikli Yerleşmelerde Kullanılan Yöntem
Yolculuk Üretim – Çekim Modeli	Lineer Regresyon	Lineer Regresyon
Yolculuk Dağıtım Modeli	Gravity Model	Büyütme Katsayısı
Türel Ayrım Modeli	Multinomial Logit Model	Büyütme Katsayısı
Yolculuk Atama Modeli		
-Yaya Ataması	Shortest Path	Shortest Path
-Özel Araç ve Servis Ataması	Kapasite kısıtlı En Düşük Maliyet	Kapasite kısıtlı En Düşük Maliyet
-Toplu Taşıma Yolcu Ataması	En Düşük Maliyet	En Düşük Maliyet

1.2 Toplu Taşıma Türlerinin İncelenmesi

Toplu taşıma türleri incelenirken, çalışmanın ana konusu olan tramvay ve troleybüs üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

1.2.1 Tramvay

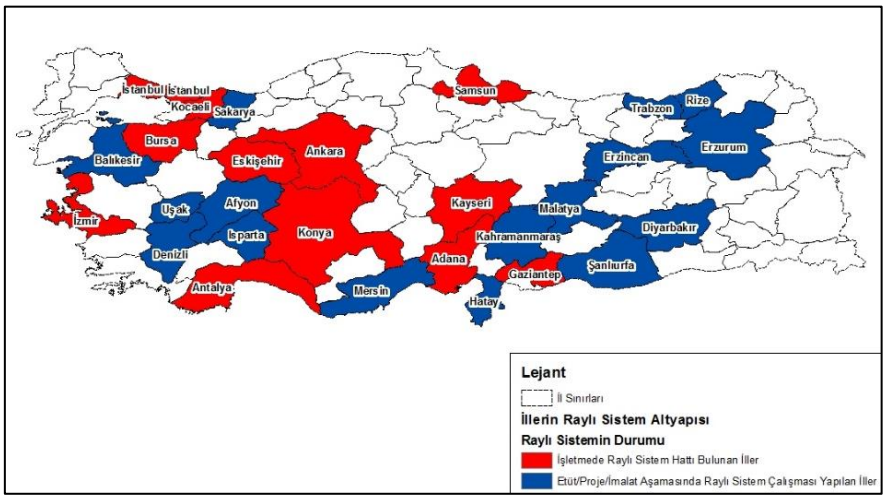
Tramvay; yollara döşenen raylar üzerinde hareket eden ve kent içi toplu taşımada kullanılan araçtır. TDK tanımında "şehirlerde yol üzerinde döşenmiş özel raylarda hareket eden yolcu taşıtı" olarak geçmektedir("TDK,").

İstanbul, Ankara ve İzmir işletme ve proje aşamasındaki raylı sistemlerin yoğunlaştığı illerin başında gelmektedir. Bu illerin yanı sıra Bursa, Eskişehir, Kocaeli, Konya, Samsun, Gaziantep, Kayseri, Adana ve Antalya illerinde tramvay, hafif raylı sistem ya da metro sisteminden oluşan hatlar hizmet vermektedir.

Bu illerin yanı sıra Şekil 1.1'de görüldüğü gibi birçok büyükşehir ve şehirde de raylı sistem projeleri etüt, projelendirme ya da imalat aşamasındadır. Bu iller Balıkesir, Mersin, Uşak, Afyon, Sakarya, Trabzon, Rize, Denizli, Isparta, Kahramanmaraş, Şanlıurfa, Diyarbakır, Erzurum, Erzincan ve Malatya olarak sıralanmaktadır.

Ülkemizde raylı sistem hizmeti verilen sekiz ildeki yolculuk verileri incelendiğinde nüfusa göre en yüksek raylı sistem yolculuğu %13,57 ile Eskişehir'de hesaplanmıştır. Bursa ve Kayseri'de ise bu değerin %7'nin üstündedir. Hat başına zirve saat kesit tek yön yolcu sayısı değerlerinde Türkiye ortalaması ise 3.854'tür.

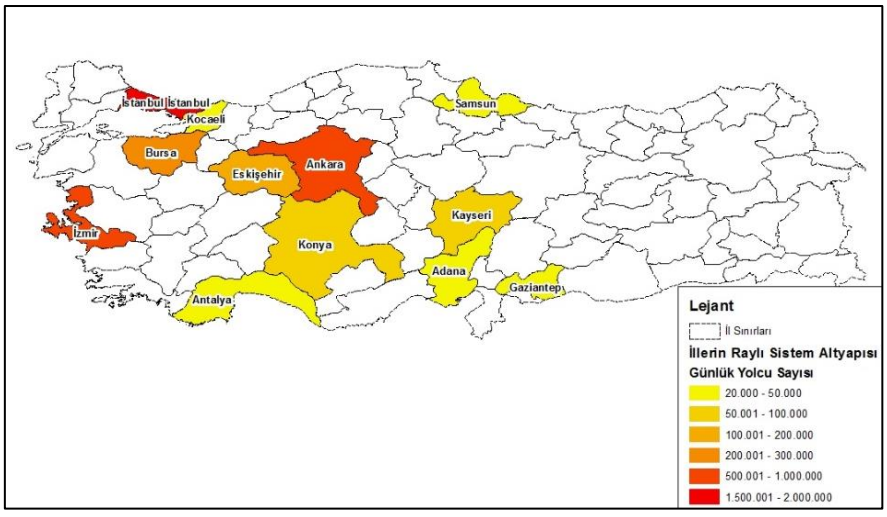
Çizelge 1.2 ve Şekil 1.2 günlük yolculuk sayıları, zirve saat tek yön yolculuk değerleri ve günlük yolculuk sayılarının il nüfusuna oranları görülmektedir.



Şekil 1.1 : Raylı Sistem Hattı ya da Projesi Bulunan İller

Çizelge 1.2 : Raylı Sistem Bulunan Kentlerdeki Nüfus ve Yolculuk Değerleri

Şehir	Nüfus (Bin)	Günlük Yolcu (Bin)	Raylı Sistem Yolculuklarının Nüfusa Oranı	Zirve Saat Yolcu Sayısı (%13,5)	Raylı Sistem Hat Sayısı	Hat Başına Düşen Zirve Saat Yolcu	Hat Başına Düşen Zirve Saat Tek Yön Yolcu (2/3)	Hat Başına Düşen Zirve Saat Tek Yön Kesit Yolcu (%70)
Eskişehir	840	114	13,57%	15.390	1	15.390	10.260	7.182
Bursa	2.900	219	7,55%	29.565	2	14.783	9.855	6.899
Kayseri	1.360	99	7,28%	13.365	2	6.683	4.455	3.119
Samsun	1.300	49	3,77%	6.615	1	6.615	4.410	3.087
Konya	2.160	71	3,29%	9.585	1	9.585	6.390	4.473
Gaziantep	1.970	35	1,78%	4.725	1	4.725	3.150	2.205
Antalya	2.330	37	1,59%	4.995	1	4.995	3.330	2.331
Kocaeli	1.880	24	1,28%	3.240	1	3.240	2.160	1.512
Adana	2.200	25	1,14%	3.375	1	3.375	2.250	1.575
Türkiye Ortalaması	**16.940**	**673**	**3,97%**	**90.855**	**11**	**8.260**	**5.506**	**3.854**



Şekil 1.2 : İllerin Günlük Raylı Sistem Yolcu Sayısı

1.2.2 Troleybüs

TDK'ya göre troleybüs; şehir içi yollarda, bir hava hattından elektrik akımı alarak çalışan otobüs, telli otobüs, boynuzlu olarak tanımlanmıştır.

1.2.2.1 Troleybüsün tramvay ve otobüse göre avantaj ve dezavantajları

Troleybüs sistemlerinin, tramvay ve otobüs sistemleri ile ortak ve ayrı özelliklerinin olması bu türler arasında avantajlı ya da dezavantajlı olduğu durumları ortaya çıkarmıştır.

Troleybüs Sistemlerinin Tramvay Sistemleri ile Karşılaştırması

Elektrik gücü ile çalışan iki sistem olan troleybüs ve tramvay sistemleri birbirlerine karşı üstünlük sağladığı durumlar bulunmaktadır. Bu durumlar aşağıdaki maddelerde sıralanmıştır.

Avantajları	Dezavantajları
Altyapı maliyetinin ucuz olması,	Direksiyon kontrolü gerekliliği
Yokuş tırmanma kabiliyeti,	Yüksek sürtünme direnci
Arıza durumunda trafiğin daha kolay açılabilmesi,	Verimsiz enkesit kullanımı
Daha sessiz çalışması,	İstasyon ve duraklarda yolcu binişlerinin zorluğu,
Kolay test edilebilmesi	

Troleybüs sistemlerinin otobüs sistemleri ile karşılaştırması

Troleybüs ve otobüs sistemlerinin birbirleri karşısında avantajlı ya da dezavantajlı oldukları durumlar aşağıda sıralanmıştır.

Avantajları	Dezavantajları
Yokuş tırmanma kabiliyeti,	Güzergahların değiştirilememesi,
Çevre dostu olması,	Kent estetiği
Düşük gürültü kirliliği,	Havai hattan çıkma
Kapalı kesitlerde kullanılabilirliği,	Geçiş imkanının kısıtlı olması,
Motor ömrü ve bakımı	Yatırım maliyetinin yüksek olması,
	Sürücü eğitimi,
	Havai hatların oluşturduğu kısıtlama

1.3 Toplu Taşıma Türlerinin Standartları ve Kapasiteleri

Toplu taşıma sistemlerinin kapasiteleri araç kapasitesi, araç dizisi ve frekans gibi bileşenlerden oluşan fonksiyonlar sonucu belirlenebilmektedir. (Vukan R. Vuchic, 2005)

Kent içi toplu taşıma türlerinin kapasite hesabı değerlendirilirken akademik kaynaklar ve ülkemizde raylı sistem yatırımları üzerinde yetki sahibi olan AYGM ve Devlet Planlama Teşkilatı'nın değerleri ele alınmıştır.

Vukan R. Vuchic'e göre toplu taşıma türleri için araç kapasiteleri ve frekans üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Troleybüs için ise ülkemizdeki örnek Malatya Trambüs Hattı'nın mevcut durumu ve geliştirilebilir durumu göz önünde bulundurulmuştur. Mevcutta 90 saniyede bir sefer yapan sistem yanyolda kesit devamlılığı sağlandığı takdirde frekans 60 saniyeye düşürülebilecek durumdadır. 220 yolcu kapasiteli araçların çalıştığı bu sistemde 13.200 yolculuk teorik kapasite sağlanabilmektedir. Troleybüs sistemi BRT gibi çalıştırıldığında ise saatlik kapasitesi tek yönde 39.600'e kadar ulaşmaktadır(Çizelge 1.3).

Çizelge 1.3 : Toplu Taşıma Türlerine Göre Teorik Kapasite Hesabı

Araç Türü	Frekans (sn)	Araç Kapasitesi	Dizi Sayısı	Dizi Kapasitesi	Sefer Sayısı	Zirve Saat Yolcu Kapasitesi
Metrobüs (BRT)	20	200	-	200	180	36.000
Tramvay	60	150	2	300	60	18.000
HRS	60	150	4	600	60	36.000
Metro ve Banliyö Hattı	120	200	10	2.000	30	60.000

On Birinci Kalkınma Planı'nda belirtilen açılış yıl, AYGM standartlarında belirtilen hedef yıl değerleri ile teorik kapasite değerleri Çizelge 1.4 te belirtilmiştir.

Çizelge 1.4 : Teorik Kapasite Hesabı, On Birimnci Kalkınma Planı ve AYGM Standartlarına göre Toplu Taşıma Türlerinin Kapasiteleri

Araç Türü	On Birinci Kalkınma Planı	DLH (AYGM)		Teorik Kapasite
	Açılış Yılı Yolcu Sayısı	En Düşük Kapasite	En Yüksek Kapasite	
Tramvay	7.000	10.000	15.000	18.000
HRS	10.000	15.000	35.000	36.000
Metro	15.000	30.000	70.000	60.000
Troleybüs				13.200
Troleybüs (BRT				39.600

2 MALATYA TRAMBÜS ÖRNEĞİNİN İNCELENMESİ

Malatya İlinde bulunan Trambüs hattı 2015 yılında hizmete girmiş bir yüksek kapasiteli troleybüs hattıdır. D-300 Karayolu ve yanyollarından geçen hat ilin merkez ilçeleri olan Battalgazi ve Yeşilyurt İlçelerinden yer almaktadır.

Hattın toplam uzunluğu 19,04 Km olup kentin –Doğu – Batı yönündeki en önemli aksı kullanarak iki ucunda İnönü Üniversitesi ve Tıp Fakültesi Hastanesi ile MAŞTİ'ye (Malatya Şehirlerarası Otobüs Terminali) hizmet vermektedir.

Kentin en önemli karayolu güzergahını kullanan bu sistem Anadolu kentlerinde, özellikle de büyükşehirlerinde ilk kez kullanılması sistemin değerlendirilmesi açısından Malatya ilini Türkiye şartlarında tek örnek olmasını sağlamıştır.

2.1.1 Trambüs hattının yolcu sayıları

Trambüs hattının yolculuk değerleri İnönü Üniversitesi'nin açık olduğu dönemler ile doğrudan ilişkili bir yapıdadır. Çizelge 2.1'den görüleceği gibi İnönü Üniversitesi'nin açık olduğu aylarda günlük 24.000-30.000 arasında değişen yolcu sayıları üniversitenin akademik tatilde olduğu dönemlerde günlük 10.000 yolcuya kadar düşmektedir. Kalibrasyonda elde edilen değerlerin ekim ve kasım aylarında iş günü yapılan anketlere dayandığı düşünüldüğünde 30.000 yolcu/gün değeri kalibrasyon ile uyumludur.

2.1.2 Model Atama Sonuçları

2016 yılı toplu taşıma atamasına göre yolculukların toplu taşıma türlerine göre dağılımı incelendiğinde 5.024 Km uzunluğundaki hatlarda günde toplam 344.721 yolculuk yapıldığı ulaşım modeline göre hesaplanmıştır. 2050 yılı toplu taşıma atamasına göre yolculukların toplu taşıma modlarına göre dağılımı incelendiğinde 5.024,40 Km uzunluğundaki hatlarda günde toplam 832.562 yolculuk yapılacağı hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 2.2'de görülmektedir.

Çizelge 2.1 : 2017-18 Yıllarında Trambüs Hattının Aylara göre Aylık ve Günlük Yolcu Sayıları

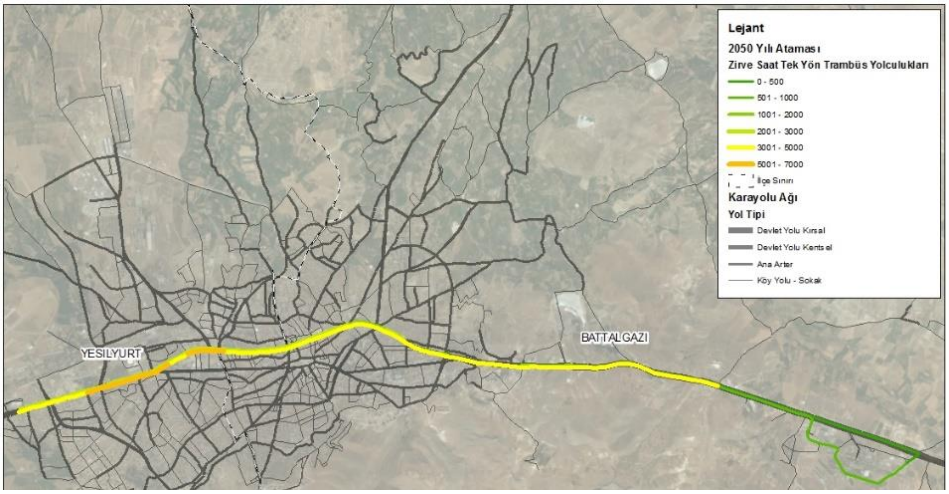
Ay	2017		2018	
	Aylık	Günlük	Aylık	Günlük
Ocak	616.739	19.895	658.463	21.241
Şubat	537.414	19.193	680.968	24.320
Mart	816.134	26.327	862.665	27.828
Nisan	737.953	24.598	808.433	26.948
Mayıs	774.237	24.975	754.099	24.326
Haziran	428.722	14.291	305.654	10.188
Temmuz	380.846	12.285	413.323	13.333
Ağustos	362.859	11.705	365.688	11.796
Eylül	547.794	18.260	528.283	17.609

Ay	2017		2018	
	Aylık	Günlük	Aylık	Günlük
Ekim	880.919	28.417	943.537	30.437
Kasım	853.904	28.463	924.967	30.832
Aralık	767.334	24.753	800.000	25.806
Yıllık	7.704.855	21.109	8.046.080	22.044

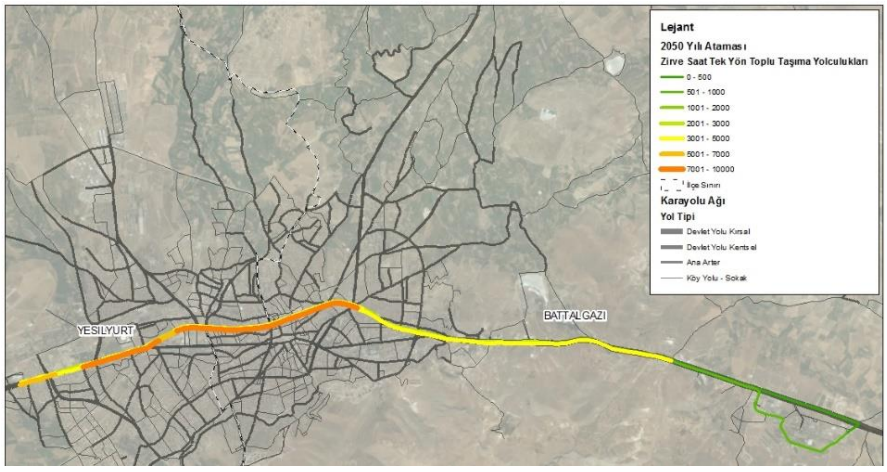
Çizelge 2.2 : 2016 ve 2050 yılları Toplu Taşıma Yolculukları Performans Değerleri

Mod	Toplam Hat Uzunluğu (Gidiş Dönüş Km)	2016			2050		
		Yolcu	Yolcu*Km	Yolcu*Saat	Yolcu	Yolcu*Km	Yolcu*Saat
Trambüs	38,08	39.067	222.691,25	4.919,12	191.396	792.254,21	21.412,51
TOPLAM	5.024,40	344.721	1.479.978,62	37.481,14	832.562	3.101.101,99	86.136,83

2050 yılı atamasında en yüksek yolculuk hacmi ise 5.201 yolcu/saat tek yön ile Sanayi Kavşağı çevresindedir(Şekil 2.1). Trambüs güzergahındaki tüm modların toplu taşıma yolculukları incelendiğinde ise en yüksek kesit değeri 9.080 olarak hesaplanmıştır(Şekil 2.2).



Şekil 2.1 : 2050 yılı Trambüs Hattında Link Üzerinden Geçen Zirve Saat Tek Yön Kesit Trambüs Yolculuğu değerleri



Şekil 2.2 : 2050 yılı Trambüs Hattında Link Üzerinden Geçen Zirve Saat Tek Yön Kesit Toplu Taşıma Yolculuğu değerleri

3 2050 YILI İÇİN TRAMBÜS VE TRAMVAY MALİYETLERİ İLE SAĞLANACAK GELİRLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışmanın bu bölümünde aynı güzergahta tramvay ve trambüs hatlarının yatırım ve işletme maliyetleri ile 2050 yılı gelirleri üzerinden kârlılık analizi yapılmaktadır. Her ne kadar Malatya'da mevcut trambüs hattı işletilmekte olsa da yeni yapıldığı takdirde hattın maliyetleri de incelenecek olup benzer yolcu hacimlerine sahip yerleşmeler için örnek teşkil edecektir.

3.1 Tramvay ve Trambüs Sistemlerinin Finansal Karşılaştırması

Çalışmanın bu bölümünde sistemlerin kurulum ve işletme aşamasındaki maliyetleri tezin ilgili bölümlerindeki hesaplamalar doğrultusunda tür bazında karşılaştırılacaktır.

3.1.1 Sistemlerin yatırım maliyetlerinin değerlendirilmesi

Malatya'daki mevcut trambüs hattının işlediği güzergahta tramvay ve trambüs için yapılan yatırım maliyeti analizlerinde trambüs yaklaşık olarak eşit yolcu taşıyacağı sistem ile çok daha az maliyetli bir altyapı olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1 Troleybüs ve Tramvay Sistemlerinin Birim Maliyetleri

Yatırım Maliyetleri	Troleybüs	Tramvay
Hat İşletme Uzunluğu (Gidiş-Dönüş)	38,08	
Güzergah Uzunluğu	19,04	
Ticari Hız	37	30
Süre	71 Dk	86 dk
Sefer Sıklığı	1 dk	90 sn
Araç Sayısı	82	63
Birim Araç Fiyatı	600.000,00 €	1.500.000,00 €
Km Yapım Maliyeti (İstasyon Dahil)	700.000,00 €	3.500.000,00 €

Çizelge 3.2'deki değerlere göre; araç maliyetleri arasında %92,07'lik bir fark hesaplanırken sabit tesis maliyetleri için fark ise %400 seviyesindedir. Finansman giderleri ile toplam yatırım maliyeti ise tramvay sistemi için %151,71 oranında daha yüksek maliyetli olup, toplam yatırım maliyetleri arasındaki fark 138.299.594,24 € olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.2 : Trambüs ve Tramvay Sistemlerinin Yatırım Maliyetleri(2016)

Yatırım Maliyeti Kalemi	**Trambüs**	**Tramvay**	**% Fark**
Araç Maliyetleri	49.200.000,00 €	94.500.000,00 €	92,07%
Sabit Tesis Maliyetleri	13.328.000,00 €	66.640.000,00 €	400,00%
Finansman Gideri	25.165.151,22 €	64.852.745,46 €	157,71%
Toplam Yatırım Maliyeti	**87.693.151,22 €**	**225.992.745,46 €**	**157,71%**

3.1.2 Sistemlerin işletme maliyetlerinin değerlendirilmesi

Çalışmanın konusu olan trambüs hattındaki mevcut trambüs işletmesi ve öngörülen tramvay işletmelerinin yıllık maliyetleri incelendiğinde trambüsün işletme maliyetinin uygulama açısından daha kârlı olduğu belirlenmiştir. Yıllık enerji giderlerinden %78,57 daha yüksek maliyetle çalışan tramvay sistemi, bakım onarım ve ekipman giderlerinde de %146,92 daha yüksek maliyetlere neden olmaktadır.

Çizelge 3.3 Enerji Maliyet Kalemleri

Enerji Maliyet Kalemleri	**Troleybüs**	**Tramvay**
Hat İşletme Uzunluğu (Gidiş-Dönüş)		38,08
Günlük Tur Sayısı		500
Km Başına Enerji Sarfiyatı (Araç-Km)	0,2044	0,3650
Yıllık Enerji Maliyeti (€)	1.420.498,24	2.536.604,00

Çizelge 3.4 Personel Maliyetleri

	Troleybüs	**Tramvay**
Personel	**Personel Sayısı**	**Personel Sayısı**
Sürücü	165	125
Mekanik	82	63
Elektrik	40	32
Katener	19	19
Temizlik	82	63
Güvenlik	76	76
İdari	20	16
Toplam	**484**	**394**
Aylık Maaş Toplamı	**328.390,00 €**	**267.010,00 €**
Yıllık Maaş Toplamı	**3.940.680,00 €**	**3.204.120,00 €**

Raylı sistemler ve troleybüs hatlarında araçların işletme ömrü 40 sene, sabit tesislerin ise 50 sene olarak değerlendirme yapılmaktadır. Bu nedenle bakım onarım için yatırım maliyetinin Çizelge 4.17'deki değerlere göre; araçlarda %2,5 sabit tesislerde ise %2'i yıllık bakım onarım maliyeti olarak kabulü yapılmıştır.

Çizelge 3.5 : Trambüs ve Tramvay Sistemlerinin İşletme Giderleri(2016)

İşletme Maliyeti Kalemi	**Trambüs**	**Tramvay**	**% Fark**
Yıllık Enerji Maliyeti	1.420.498,24 €	2.536.604,00 €	78,57
Yıllık Bakım Onarım Ekipman Maliyeti	1.496.560,00 €	3.695.300,00 €	146,92
Yıllık Personel Maliyeti	3.940.680,00 €	3.204.120,00 €	-18,69
Toplam Yıllık İşletme Maliyeti	6.857.738,24 €	9.436.024,00 €	37,60

Tramvay sisteminin trambüs sisteminden daha az maliyetli olduğu tek kalem personel giderleri olup, %18,69 daha düşük bir maliyetle personel çalıştırılabilmektedir. Çizelge 3.5'ten görüleceği gibi toplam yıllık işletme maliyeti farkı 2.578.285,76 € olup, tramvayın işletme maliyetleri trambüse oranla % 37,60 daha yüksektir. Bu fark **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'den görülebilmektedir.

3.1.3 Sistemlerin toplam maliyetlerinin değerlendirmesi

Sistemlerin toplam maliyeti değerlendirilirken yatırım maliyeti bir kerelik, işletme maliyeti ise 15 senelik dönem için ele alınmıştır. Toplam yatırım maliyeti trambüs sistemi için 87.693.151,22 € olarak hesaplanırken tramvay hattı için %157,71 oranında daha yüksek bir maliyetle 173.695.723,52 € olarak belirlenmiştir.

15 senelik işletme maliyeti için ise trambüs sisteminde 102.866.073,60 €, tramvay sisteminde ise 225.992.745,46 € olarak hesaplanmıştır. Tramvay sisteminin işletmesi %37, 60 oranında daha yüksek maliyetlidir.

Çizelge 3.6'ten görüleceği gibi 15 yıllık toplam maliyet göz önünde bulundurulduğunda ise trambüs sistemi 176.973.880,64 € daha düşük bir maliyetle hizmet verebilmekte olup, toplam maliyet farkı %92,87 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.6 : Trambüs ve Tramvay Sistemlerinin 15 Yıllık Toplam Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Maliyeti Kalemi	**Trambüs**	**Tramvay**	**% Fark**
Toplam Yatırım Maliyeti	87.693.151,22 €	225.992.745,46 €	157,71%
Toplam 15 Yıllık İşletme Maliyeti	102.866.073,60 €	141.540.360,00 €	37,60%
Toplam Yıllık İşletme Maliyeti	**190.559.224,82 €**	**367.533.105,46 €**	**92,87%**

3.1.4 Beklenen gelirler

Günlük bilet geliri hesabı yapılırken MOTAŞ verilerine göre ortalama bilet geliri olarak hesaplanan 1,07 TL 6,50 €/TL kuruna bölünerek ortalama bilet geliri 0,16 € olarak hesaplanmıştır. Euro cinsinden bu değer her yıl için sabit bilet fiyatı olarak kabul edilmiştir.

Bu hesaba göre günlük 151.092 yolcu taşıması beklenen sistem, günde 24.872,07 € bilet geliri elde edecektir. Bu gelirin 365 gün ile çarpılması sonucunda 2050 yılı için 9.078.304,71 € bilet geliri beklenmektedir. 2050 yılından itibaren yolcu sayısının yıllık %7,75 artacağı ve Çizelge 3.7'teki tabloya göre, 15 senelik süreçte toplam 241.752.318,87 € gelir toplanması beklenmektedir.

Çizelge 3.7 : Sistemin Günlük, Yıllık ve 15 Yıllık Bilet Gelirleri

2050 Yılı Günlük Yolcu Sayısı	151.092
Ortalama Bilet Fiyatı	0,16 €
Günlük Bilet Geliri	24.872,07 €
Yıllık Bilet Geliri	9.078.304,71 €
15 Yıllık Bilet Geliri	241.752.318,87 €

3.1.5 Tramvay ve trambüs sistemlerinin ekonomik karşılaştırması

Bu bölümde zaman maliyeti ile var olan altyapı konularına değinilerek sistemlerin maliyetleri tahlil edilecektir.

Zaman maliyeti hesaplanırken öncelikli olarak iki sistemin hızları değerlendirilmiştir. Çizelge 3.8'e göre 2050 yılı trambüs Yolcu*Km değerlerinin trambüs Yolcu*Saat değerine bölünmesi ile 37 Km/saatlik yolculuk hızı hesaplanmıştır.

Çizelge 3.8 : 2050 yılı Toplu Taşıma Ataması Yolcu*Ssaat, Yolcu*Km ve Ortalama Hız Değerleri

Mod	**Yolcu*Km**	**Yolcu*Saat**	**Ortalama Hız (Km/Saat)**
Trambüs	792.254,21	21.412,51	37,00
Otobüs	1.372.000,33	39.179,60	35,02
Minibüs	378.741,52	12.234,56	30,96
İlçe ve Eski Belde Minibüsleri	558.105,94	13.310,16	41,93
TOPLAM	3.101.101,99	86.136,83	36,00

Model verilerinin hız verilerine göre değerlendirilmesi ile belirlenecek zaman maliyetinden kazanç hesaplaması iki sistemin birbirleri arasındaki geçişin oluşturacağı farkı öngörmek amaçlıdır. Çizelge 3.9'daki tabloya göre trambüsün ticari hızı 37 Km/saat ve tramvayın ise 30 Km/saat alındığında tramvayın günlük 4.996,25 saat daha fazla yolculuk yapılmasına neden olacağı tahmin edilmektedir.

Çizelge 3.9 : Tramvay ve Trambüs Sistemlerinin Yolcu*Saat Değerlerinin Karşılaştırması

Mod	Toplam Hat Uzunluğu (Gidiş Dönüş Km)	Yolcu	Yolcu*Km	Yolcu*Saat	Ortalama Hız
Trambüs	38,08	191.396	792.254,21	21.412,51	37,00
Tramvay	38,08	191.396	792.254,21	26.408,76	30,00
Fark	-	-	-	4.996,25	-7,00

Zaman maliyetinin değişkenleri Çizelge 3.10'de sıralanmaktadır. Malatya Ulaşım Ana Planı Hanehalkı anketlerinde kişi başı saatlik zaman maliyeti 9,94 TL ya da 1,53 € olarak belirlenmiştir. Tramvay sisteminde harcanan zamanın trambüs sistemine göre günlük 4.996,25 saat olacağı hesaplandığından tramvayın zaman maliyeti nedeniyle kent ekonomisine yaşatacağı günlük zarar 7.641,00 € olarak hesaplanmıştır. Bu değer bir yıl için 2.788.963,37 € olup 15 yıllık değerlendirmede ise 41.834.450,61 € değerinde zaman maliyetine neden olacaktır.

Çizelge 3.10 : Tramvay Sistemi Zaman Maliyeti Hesaplaması

2016 Yılı Ortalama Hanehalkı Geliri	1.610,00 TL
2050 Ortalama Hanehalkı Geliri	6.441,60 TL
Ortalama Hanehalkı Büyüklüğü	3,6
Kişi Başı Aylık Gelir	1.789,33 TL
Kişi Başı Saatlik Zaman Maliyeti	9,94 TL
	1,53 €
Tramvay Sisteminin Oluşturduğu Günlük Zaman Maliyeti	7.641,00 €
Tramvay Sisteminin Oluşturduğu Yıllık Zaman Maliyeti	2.788.963,37 €
Tramvay Sisteminin Oluşturduğu 15 Yıllık Zaman Maliyeti	41.834.450,61 €

Yapılan ekonomik maliyet değerlendirmesi ile 15 yıllık toplam maliyet farkı 218.808.331,25 € olup tramvay sistemi %114,82 oranında daha maliyetli bir sistem durumundadır (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.11 : Trambüs ve Tramvay Hatlarının Ekonomik Değerlendirmesi

Ekonomik Maliyet Kalemi	Trambüs	Tramvay	% Fark
Toplam Yatırım Maliyeti	87.693.151,22 €	225.992.745,46 €	157,71%
Toplam 15 Yıllık İşletme Maliyeti	102.866.073,60 €	141.540.360,00 €	37,60%
Toplam 15 Yıllık Zaman Maliyeti	0,00 €	41.834.450,61 €	-
Toplam Yıllık Toplam Ekonomik Maliyet	190.559.224,82 €	409.367.556,07 €	114,82%

4 SONUÇ

Yapılan çalışmalar doğrultusunda raylı sistem ve yüksek kapasiteli troleybüs hatlarının verimliliği konusunda kapasite çalışmaları hatların yolculuk kırılımlarının farklı miktardaki yolculuk taleplerine göre belirlenmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Maliyetler nedeni ile raylı sistemlere oldukça temkinli yaklaşılması ve doğru bir biçimde fizibilitesinin yapılması gereklidir. Maliyet karşılaştırması yapılan bölümde, Malatya örneği üzerinden yapılan değerlendirme sonucunda tramvay ve HRS önerilerinin ikinci planda olduğu bir şema belirlenmiştir.

Raylı sistemlerin varlığı kentlere Metropol özelliği katan çok önemli ulaşım parametrelerinden biri olarak sayılsa da ülkemizdeki örnekleri incelediğimizde bu sistemlerin uygulamasında, teoride ya da fizibilitelerinde öngörülen yolculuk sayılarına yaklaşılamadığı sonucuna varılmıştır. Saatlik tek yönde 30.000 yolcu taşıması, fizibilitesinde ise en az 15.000 yolcunun sağlanması gereken Adana Metrosu'nun günde toplam 25.000 yolcu taşıdığı görülmüştür. Bu

da göstermektedir ki otobüs ile taşımacılık yapılabilecek bir güzergah için çok yüksek maliyeti olan metro altyapısı kurulmuştur.

Benzer bir durum saatte tek yönde 10.000 ile 35.000 yolcu taşıyabilecek bir biçimde imal edilen Samsun Hafif Raylı Sistemi de günde toplam 49.000 yolcu taşımasıdır. Rekabet ettiği lastik tekerlekli toplu taşıma hatlarının fazlalığı nedeni ile tek yönde 10.000 yolcu/saat değerine ulaşamamaktadır.

Zirve saat tek yönde 7.000 ile 15.000 yolcu taşıması gereken Gaziantep Tramvayı'nda da yolculuk değeri günlük toplam 35.000 seviyesindedir. Günlük toplam yolculuk değeri iki saatlik tek yön kapasitesinden bile düşük durumdadır. Antalya Tramvay Hattı da günlük 37.000 yolcu seviyesindeki yolcu hacmi ile Gaziantep'e benzer sorunları yaşamaktadır.

İstanbul, Ankara ve İzmir gibi ülkemizin üç büyük şehrinin yanı sıra Bursa ve Eskişehir gibi kentlerde ise tramvay hatları oldukça verimli çalışmaktadır. Konya ve Kayseri gibi kentlerde ise toplu taşıma yolculuklarının tramvay ile yapılmasını destekleyecek önlemler ile tek yön zirve saat için 7.000 yolcu seviyesine ulaşılabilmesi mümkündür.

Değindiğimiz bu Anadolu kentlerinde yaşanan, yolcu sayısına ilişkin problemler yüksek yatırım ve işletme maliyetleri ile birleşince önce yerel yönetimler, sonra da ülke ekonomisi için önemli bir finansal sorun haline gelmektedir. Her ne kadar ana prensipte toplu taşıma hizmeti kâr amacı gütmeyen bir hizmet olsa dahi olması gerekenden daha düşük maliyetlerle çözülebilecek sorunların yüksek maliyetlerle yeni sorunlara yol açması kısa, orta ve uzun vadede ülke ekonomisini olumsuz etkilemektedir.

Belirtilen bu durumlar da göz önünde bulundurulduğunda toplu taşıma hiyerarşisinin yeniden kurgulanması belki de en önemli yöntem olacaktır. Dokuzuncu Kalkınma Planı'da tüm raylı sistem yatırımları için zirve saat tek yön kesit değeri 15.000, Onuncu Kalkınma Planı'ndan itibaren ise 7.000, 10.000 ve 15.000 olarak belirlenmesine karşın kalkınma planlarında sözü geçen hatların hiçbiri gerekli yolcu hacmine ulaşamamıştır.

Metro harici raylı sistem yatırımlarının, özel durumlar hariç yüksek kapasiteli troleybüslere göre ekonomik açıdan verimli olmadığı bu tez sürecinde belirlenmiştir. Yayalaştırma gereken çok önemli bir kentsel alan, tarihi bir kent dokusu ya da turistik bir özelliği olan bir bölgede kurgulanmadığı takdirde tramvay yatırımlarının getirisi troleybüs sistemlerine göre verimsiz yatırım olarak nitelendirilebilecek seviyede düşüktür. Hafif raylı sistemlerde ise yatırım ve işletme maliyetlerinin tramvaya göre daha yüksek olmasının yanı sıra BRT gibi çalışan troleybüslere yakın yolcu kapasitesinin hesaplanması da HRS kullanımını genellikle gerekli göstermemektedir. Ancak kent mekânında yeterli yer olmadığı takdirde karayolunun teorik hacmini etkilememek için sanat yapıları ile kurgulanan HRS'ler yerine göre kabul edilebilir olmaktadır. Böyle bir durum olmadığı takdirde ise BRT mantığı ile çalışan troleybüs sistemleri ekonomik açıdan daha verimlidir. Raylı sistem yatırımları için, gerekli yolcu sayısına (40.000+ yolcu/saat/yön) ulaşıldığı takdirde tartışmasız olarak uygulanması gereken sistem ise her ne kadar maliyeti tüm alternatiflerden yüksek olsa da metro altyapısı olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

AYGM. *Hafif Raylı Sistem Tasarım Kriterleri*.

AYGM. *Metro Tasarım Kriterleri*.

AYGM. *Tramvay Tasarım Kriterleri*.

Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy, 15*(2), 73–80. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005

Carrilero, I. ve diğ, (2018). Redesigning European Public Transport : Impact of New Battery Technologies in the Design of Electric Bus Fleets. *Transportation Research Procedia*. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.10.092

Dudkin, E. P. ve diğ, (2017). Method of Tram Track Structures Feasibility Study. *Procedia Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.133

Glotz-Richter, M., Koch, H. (2016). Electrification of Public Transport in Cities (Horizon 2020 ELIPTIC Project). *Transportation Research Procedia*. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.416

İETT Genel Müdürlüğü. Retrieved July 11, 2019, from www.iett.istanbul

İstanbul Büyükşehir Belediyesi. (2011). *İstanbul Kentsel Ulaşım Ana Planı*.

Li, W. ve diğ, (2016). Research on Selection of New Public Transit System Based on Low Carbon Economy Perspective. *Procedia Engineering*.

Malatya Büyükşehir Belediyesi. (2017a). *Malatya İl Çevre Düzeni Raporu*.

Malatya Büyükşehir Belediyesi. (2017b). *Malatya Ulaşım Ana Planı*.

Metro İstanbul Genel Müdürlüğü. Retrieved July 11, 2019, from www.metro.istanbul

Ortúzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2006). *Modelling Transport*.

Pektaş İ. (2017). *Raylı Ulaşım Ssistemleri Sektör Analizi 2017*.

Perrotta, D. ve diğ, (2014). Route Planning for Electric Buses : A Case Study in Oporto. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.135

T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2019). *On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)*.

TCDD Genel Müdürlüğü. (2019). *Marmaray Yolcu İstatistikleri*.

Vukan R. Vuchic. (2005). Urban Transıt : Operatıons, Plannıng, and Economıcs. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53).

Wilson, N. (2010). *PUBLIC TRANSPORT 4 . Operating Costs Question : Given a pie-shaped sector corridor serving*. 1–18.

Winter, K., Cats, O., Correia, G., & van Arem, B. (2018). Performance analysis and fleet requirements of automated demand-responsive transport systems as an urban public transport service. *International Journal of Transportation Science and Technology*.

İstanbul Raylı Sistemleri ile Minibüs Güzergahlarının Etkileşiminin Mekansal Bilgi Sistemi Kullanılarak Değerlendirilmesi ve Entegrasyon Önerileri

Doç. Dr. Murat Ergün
İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Ayazağa, İstanbul
Tel: (532) 602 70 77 E-Posta: ergunmur@itu.edu.tr
Arş. Gör. Yük. Şehir Plancı İsmail Adalıoğlu
Yalova Üniversitesi, Ulaştırma Mühendisliği Bölümü, Merkez, Yalova
Tel: (542) 362 80 22 E-Posta: ismail.adalioglu@yalova.edu.tr
Yük. Ulaştırma Müh. Mustafa Bektaş
İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Ayazağa, İstanbul
Tel: (535) 445 85 59 E-Posta: bektasm18@itu.edu.tr

Öz

İstanbul metropolünün dinamik yapısı, zaman içerisinde toplu taşıma sistemlerinde de evrilmelere yol açmaktadır. Günümüzde raylı sistemler bu evrim sürecinde öne çıkan bir bileşen olup, kapsama alanları ve hizmet uzunlukları sürekli olarak genişlemektedir. Günlük olarak ifade edilen kullanım oranları, 2018 yılında 1.8 milyon olan değerinden 2022 yılında 2.5 milyon seviyesine ulaşmıştır. Bu durum, raylı sistemlerin toplu taşıma içerisindeki rolünün de arttığını göstermektedir. Nitekim, toplu taşıma yolculuklarında raylı sistemlerin payı, %25 olan değerinden %34'lük bir seviyeye yükselmiştir. Özellikle İstanbul kent merkezi raylı sistem hattı güzergahları, minibüs hatları güzergahları ile kesişmekte ve hem minibüs hem de raylı sistem yolculuk taleplerini düşürmektedir. Bu durum toplu taşıma hizmetinin sürdürülebilirliği, verimliliği ve kentsel hareketliliğin düzenlenmesi için, özellikle raylı sistem hatlarının güzergahından etkilenen minibüs hatlarının güzergalarının incelenmesi ve gerekli önerileri hazırlanarak bu hizmetlerden maksimum fayda sağlamak için toplu taşıma sisteminin entegrasyonunun yapılması gereklidir.

Bu çalışmanın ana amacı, raylı sistemler ile minibüs hatlarının etkileşiminin bilimsel yöntemler kullanılarak ortaya koymak ve bu bilgiler doğrultusunda toplu taşıma entegrasyonu için sağlanacak faydalar arttırılabilir. Mekansal bilgi sistemi yöntemi kullanılarak raylı sistemler güzergahları ile minibüs hatlarının kesişme analizleri gerçekleştirilerek, hangi raylı sistemin hangi hattı ne kadar etkilediği oluşturulacak puanlama sistemi ile analiz edilecektir. Bu aşamada, raylı sistemin hizmet vereceği alan, kesişim dereceleri kullanılarak, etki alanları (buffer zones) hesaplanacaktır. Böylece, hatların kesişimleri beş ölçek üzerinden derecelendirilerek, bu hatların birbiri ile rakip olması yerine birbirleri ile entegre ve besleyici şekilde çalışması veya minibüs hattının kaldırılması hususunda yeni bir yöntem önerilecektir. Çalışma sonucu, olarak yeni önerilen yöntemin sonuçlarına göre, özellikle şehir merkezi alanındaki raylı sistemler ile minibüs hatlarının entegrasyonu için yapılması gerekenler belirtilerek, toplu taşıma sisteminde iyileştirme önerileri yapılacaktır.

Anahtar sözcükler: Raylı Sistem, Minibüs, Paratransit, Toplu Taşıma Rehabilitasyonu, Entegresyon

Giriş

Toplu taşıma, bir kentteki hareketliliği ve yaşam kalitesini doğrudan etkileyen önemli bir unsurdur. İstanbul gibi büyük ve sürekli büyüyen bir metropolde, etkin bir toplu taşıma sistemi oluşturmak özellikle hayati önem taşır. Zaman içinde İstanbul'da hem kentsel nüfusun hızla artması hem de kentleşme sürecinin hız kazanması nedeniyle, toplu taşıma ağının genişletilmesi ve iyileştirilmesi için çeşitli girişimlerde bulunulmuştur. Bu bağlamda, raylı sistemler önemli bir rol oynamıştır.

Raylı sistemler hem yolcu kapasitelerinin büyüklüğü hem de enerji verimliliği açısından, büyük kentlerin toplu taşıma gereksinimlerini karşılamada önemli bir çözüm sunmaktadır. İstanbul'da raylı sistemlerin güzergahları ve uzunlukları, günden güne artmış ve kullanımı (yolculuk sayısı) 2018 yılında günlük 1.8 milyondan 2022 yılında 2.5 milyona yükselmiştir. Bu artış, toplu taşıma yolculuklarındaki payın da %25'ten %34'e çıkmasını sağlamıştır.

Bununla birlikte, İstanbul'daki toplu taşıma ağının bir diğer önemli parçası da minibüs hizmetleridir. Minibüs hizmetleri, özellikle merkezi olmayan alanlarda ve raylı sistemlerin ulaşamadığı bölgelerde, önemli bir ulaşım hizmeti sağlar. Ancak son yıllarda, enerji fiyatlarının artışı ve raylı sistemlerin yaygınlaşması nedeniyle, minibüs hizmetlerinin kullanımı azalmış ve dolayısıyla bu hizmetleri sunan minibüslerin sistemden çekilmesi veya hizmet vermekte zorlandığı gözlemlenmiştir. Bu durum, raylı sistemler ve minibüs hizmetleri arasında daha iyi bir entegrasyon gerektiğini göstermektedir. Toplu taşıma hizmetinin sürdürülebilirliği ve kentsel hareketliliğin arttırılması için, minibüs hattı güzergahlarının iptali, yeniden düzenlenmesi veya araç dönüşümünün gerçekleştirilmesi gibi çözümler gündeme gelmiştir.

Bu çalışma, İstanbul'daki raylı sistemler ve minibüs taşımacılığı hizmetleri arasındaki etkileşimi ve olası entegrasyon yollarını bilimsel yöntemlerle incelemeyi amaçlamaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yöntemi, bu süreçte önemli bir analitik araç olarak kullanılacaktır. Raylı sistemlerin ve minibüs hatlarının kesişim analizleri, ArcGIS Pro 3.1 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, hangi raylı sistemin hangi minibüs hattını ne kadar etkilediğini belirlemeye yardımcı olacak bir puanlama sistemi ile desteklenmiştir. Bu aşamada, raylı sistemin hizmet vereceği güzergah ve duraklar (varsa) kullanılarak etki alanları (buffer zones) hesaplanmıştır.

Bu entegrasyon süreci, hatların birbirleri ile rakip olmaktan ziyade birbirlerini tamamlayıcı ve besleyici şekilde çalışabileceği bir toplu taşıma sistemi oluşturmayı hedeflemektedir. Bu bağlamda, çalışmanın sonucunda minibüs hatlarının kaldırılması veya yeniden düzenlenmesi konusunda bilimsel temelli öneriler sunulacaktır.

Toplu taşımanın etkin ve verimli işleyişi, kentsel yaşam kalitesini ve sürdürülebilir kalkınmayı doğrudan etkileyen bir faktördür. Bu nedenle, bu çalışma, İstanbul'un toplu taşıma ağına bilimsel bir perspektiften bakmayı ve bu alandaki iyileştirme ve entegrasyon imkanlarını araştırmayı hedeflemektedir. Toplu taşımanın sürdürülebilirliği ve kentsel hareketliliğin artırılması adına, bu çalışma kentsel planlama ve toplu taşıma politikalarının geliştirilmesine önemli bir katkı sağlayabilecektir.

Literatür Taraması

Toplu taşıma sistemlerinin etkinliği ve entegrasyonu, birçok araştırmacının odak noktasını oluşturmuştur. Cervero ve Guerra (2011) çalışmalarında, paratransit hizmetlerinin gelişmiş toplu taşıma sistemleri ile nasıl entegre olabileceğini irdelerken, raylı sistemlerin toplu taşıma sistemleri içerisindeki yerini ve önemini Vuchic (2007) ve Basso ve Silva (2014) gibi araştırmacılar incelemiştir. Paratransit olarak bahsedilen ancak konumuz olan İstanbul'daki minibüsleri tam olarak kapsamayan minibüs hizmetlerinin gelişmiş toplu taşıma sistemleri ile entegrasyonunu Cervero ve Guerra (2011) kentsel yerleşim alanlarının fiziksel özelliklerine ve demografik karakteristiklerine bağlı olarak değişebileceğini belirtmişlerdir. Ancak, enerji fiyatlarındaki yükselme ve minibüs hizmetlerinin maliyet artışları konusunda ciddi bir problem olarak belirmiştir. Bu alanda, raylı sistemlerin toplu taşıma sistemleri içerisindeki rolü üzerine yapılan araştırmalar, raylı sistemlerin hem yolcu kapasitesi hem de enerji verimliliği açısından büyük avantajlar sağladığını göstermiştir (Vuchic, 2007; Basso ve Silva, 2014). Ancak, raylı sistemlerin genişlemesi ve minibüs hizmetlerinin maliyetlerinin artması, özellikle bu hizmetleri sunan işletmecilerin karşılaştığı zorlukları arttırmıştır.

Bu zorluklar, minibüs hizmetlerinin işletme maliyetlerinin artması, hizmet kalitesinin düşmesi ve nihayetinde kullanıcıların bu hizmetlerden kaçınmasına yol açmıştır. Bu durum, minibüs hizmetlerinin sürdürülebilirliği ve toplu taşıma sisteminin genel etkinliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmuştur (Cervero ve Guerra, 2011). Bu kapsamda, raylı sistemler ve minibüs hizmetler arasında daha iyi bir entegrasyonun, hem bu hizmetlerin sürdürülebilirliğini artırabileceği hem de toplu taşıma sistemlerinin genel etkinliğini ve verimliliğini iyileştirebileceği belirtilmiştir. Bu entegrasyonun nasıl gerçekleştirileceği ve hangi ölçütlerin dikkate alınacağı konusunda ise daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

CBS 'nin toplu taşıma sistemlerinin analizinde önemli bir rol oynadığı kullanım alanı bazında açıktır. Bu, Raylı sistemlerin ve minibüs hizmetlerinin kesişimlerinin analiz edilmesinde ve bu etkileşimlerin toplu taşıma sistemine olan etkilerinin daha iyi anlaşılmasında önemli bir araç olarak görülmektedir. Bu analizler, toplu taşıma sistemlerinin etkinliğini ve verimliliğini artırmak için yeni stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olabilecektir. Ancak, bu araştırma alanında daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Özellikle, İstanbul gibi büyük metropollerde raylı sistemler ve minibüs hizmetleri arasındaki etkileşimin nasıl yönetileceği ve bu etkileşimin toplu taşıma sistemlerinin genel performansı üzerinde nasıl bir etkisi olacağı konusunda daha fazla bilgiye ihtiyaç vardır. Bu çalışma, bu bilgi boşluğunu doldurmayı ve toplu taşıma sistemlerinin etkinliğini ve verimliliğini artırmak için potansiyel stratejiler geliştirmek için bu iki toplu taşıma türünün birbiri ile olan etkileşimini incelemek ve gerekli önerilen aksiyonları incelemeyi amaçlamaktadır.

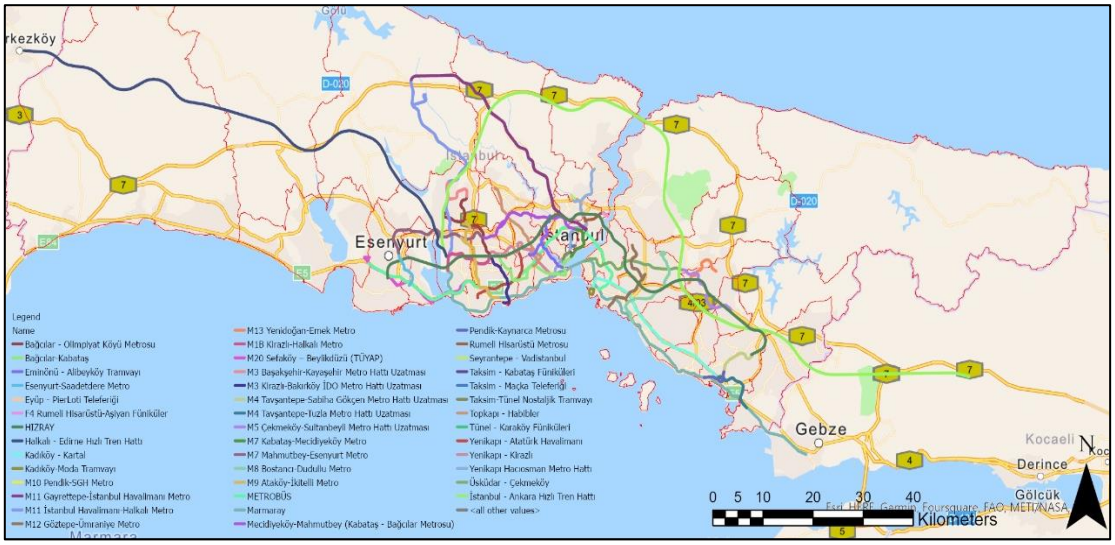
İstanbul'da Raylı Sistemlerin ve Minibüs Hizmetlerin Durumu

İstanbul'da toplu taşıma sistemi hem raylı sistemler hem de minibüs hizmetleri içermektedir. Raylı sistemler; metro, tramvay ve banliyö trenlerini içerirken, paratransit hizmetler daha çok minibüs ve dolmuş şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Ancak yerel minibüs işletmesi paratransit kavramına tam olarak karşılık gelmemekte ve kendine özgü bir ulaşım sınıfı gibi düşünülebilmektedir.

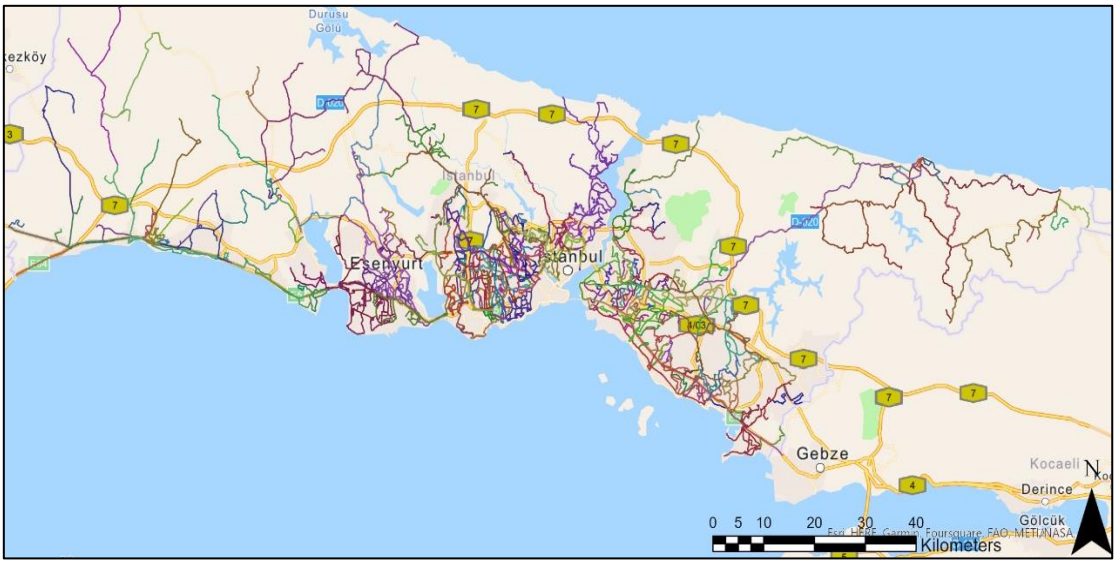
İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin verilerine göre, 2022 itibarıyla İstanbul'daki raylı sistemlerin toplam uzunluğu 303,42 km'ye ulaşmıştır ve günlük ortalama 2.5 milyon

yolcu taşınmaktadır (İBB, 2022). Bu, 2018 yılında 1.8 milyon olan günlük yolcu sayısında önemli bir artışı temsil eder ve toplu taşıma yolculuklarının toplamında raylı sistemlerin payının %34'e çıktığını göstermektedir. Öte yandan, minibüs hizmetleri, İstanbul'un çeşitli semtlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, yükselen enerji fiyatları nedeniyle, bu hizmetlerin maliyeti artmış ve bu hizmetlere olan talepte düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum, İstanbul'da toplu taşıma sistemlerinin daha fazla entegrasyonunun ve konvansiyonel toplu taşıma hizmetlerinin kademeli olarak raylı sistemlerle yer değiştirmesinin veya entegrasyonunun önemini ortaya koymaktadır. Bu entegrasyon, kentsel hareketliliği artırarak toplu taşıma hizmetlerinin sürdürülebilirliğini sağlayabilecektir.

Şekil 1'de İstanbul ilinin mevcut raylı sistem ağının analizi gösterilmiştir. Aynı zamanda Şekil 2'de ise minibüs sistemlerinin mevcut ulaşım ağı analizi verilmiştir. Burada, mevcut minibüs sistemlerinin çok daha fazla noktaya ulaşım hizmeti götürdüğü ve neredeyse İstanbul'un tüm bölgelerinde yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir.



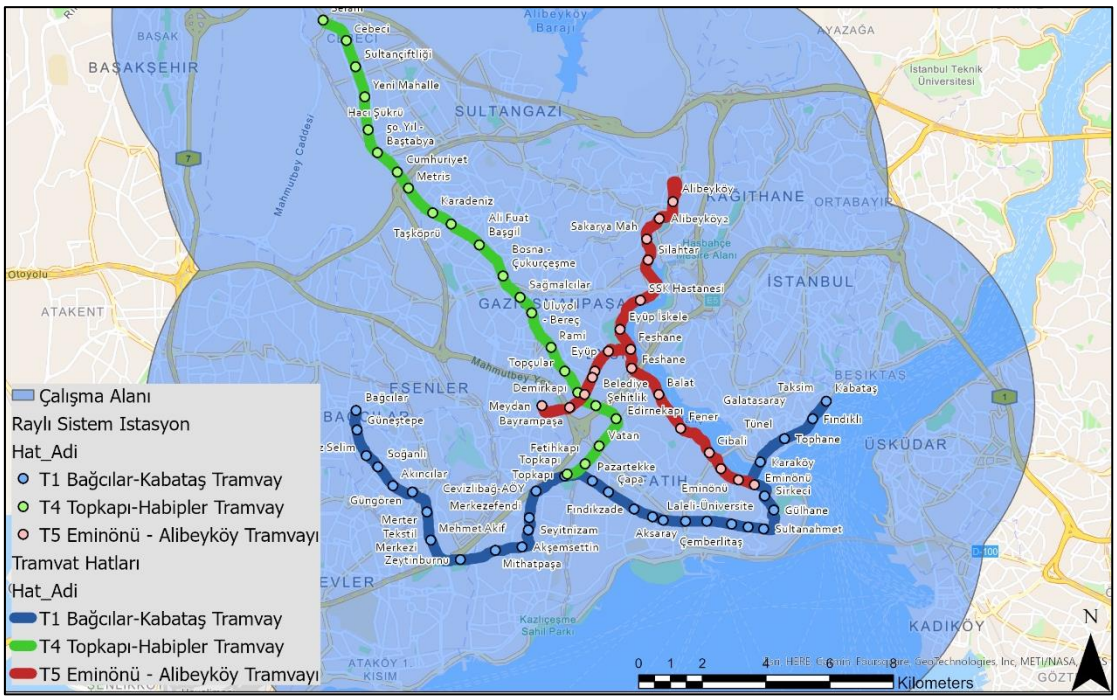
Şekil 1. İstanbul Mevcut Raylı Sistemler Ağı



Şekil 2. İstanbul Mevcut Minibüs Ağı

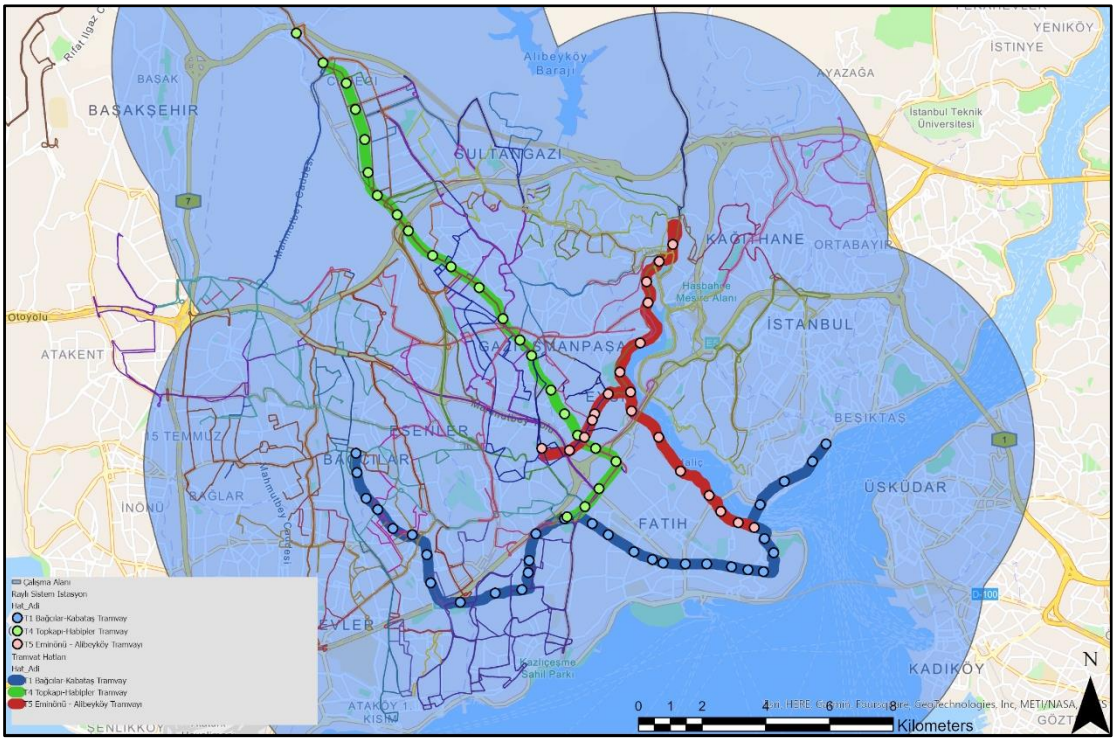
Yöntem ve Analiz

Bu çalışmanın ana hedefi, İstanbul'un Avrupa Yakası'nda belirlenen tramvay hatları (T1, T4 ve T5 hatları) ve bu hatlarla kesişim gösteren minibüs güzergahları arasındaki etkileşimin mekansal analizini yapmak ve toplu taşıma entegrasyonuna yönelik çözüm önerileri sunmaktır. Bu amaca ulaşabilmek adına, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve kantitatif analiz teknikleri kullanılmıştır. Çalışmanın temel odak noktasını oluşturan T1, T4 ve T5 tramvay hatları, etkileşimde oldukları minibüs hatları ve bu durumun entegrasyon çözümlerine potansiyel katkısı nedeniyle seçilmiştir (Şekil 3). Tramvay hatlarının metroya kıyasla daha fazla yüzeyde hareket etmesi ve dolayısıyla daha fazla minibüs hattıyla kesişme olasılığı, bu seçimin arkasındaki temel nedenlerdendir. Ayrıca, tramvay hatlarının durak yapısının, entegrasyon süreçlerine daha uygun olduğu öngörülmüştür (Vuchic, 2007).



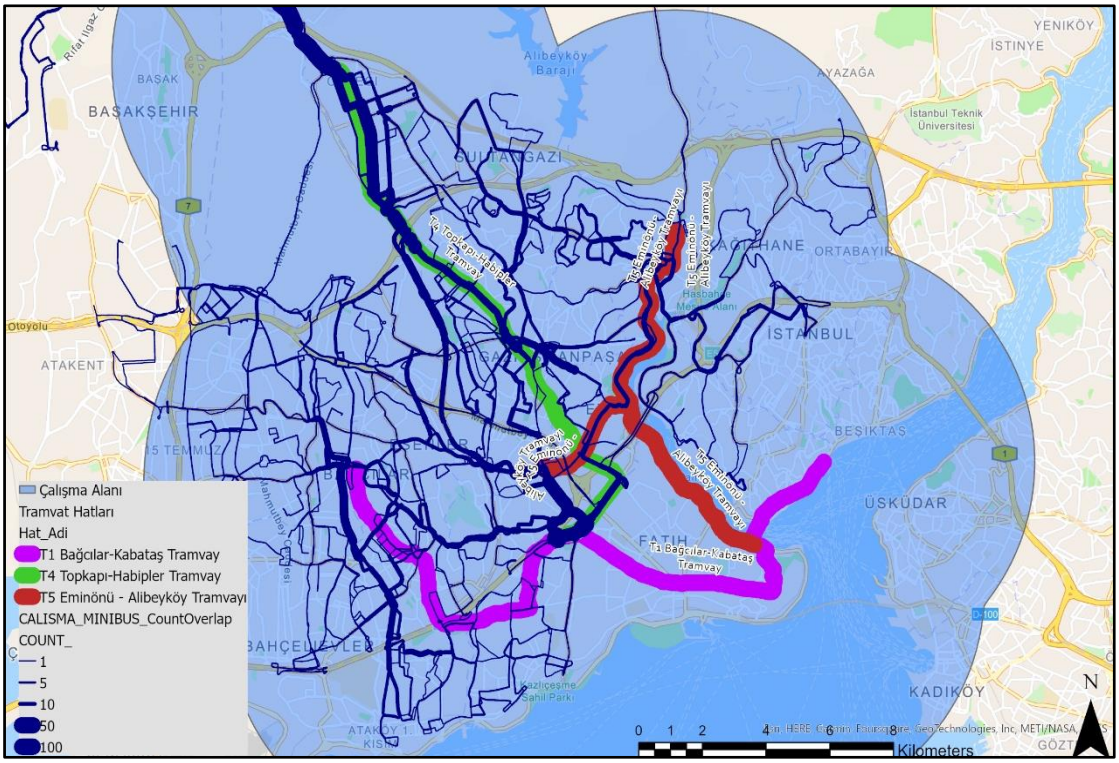
Şekil 3. Seçilen Tramvay Hatları Etki Alanı, Güzergahı ve Durak Bilgisi

Mevcut tramvay hatları üzerinden 1 km erişim mesafesinde yer alan tüm minibüs hatları seçilerek çalışma kapsamına dahil edilmiştir (Şekil 4). Daha sonra, CBS teknikleri, mekansal veri setlerinin işlenmesinde ve analizinde kullanılmıştır, bu sayede belirlenen tramvay ve minibüs hatlarının kesişim yoğunluğu ortaya çıkarılmıştır (Chen et al., 2011). Güzergahlar arasındaki kesişim, %0, %0-25, %25-50, %50-75 ve %75 ve üzeri oranları temsil eden beş kategoride değerlendirilmiştir. Bu derecelendirme süreci, CBS ve kantitatif analiz tekniklerinin yardımıyla yürütülmüştür. Bu çalışmada, ArcGIS'in gelişmiş analitik yeteneklerinden biri olan "Count Overlap" analizi kullanılmış ve bu analiz, bir bölge içindeki özelliklerin kesişme sayısını hesaplanmasına ve bu bilgiyi özelliklerin birleşimini oluşturan bir katman şeklinde sunmasına imkan sağlamıştır.



Şekil 4. Seçilen Minibüs Hatları Güzergahları

İlk olarak, analiz edilecek minibüs hatlarından oluşan bir katman oluşturulmuştur. Bu hatlar, çeşitli kaynaklardan toplanan ve belirli bir zaman diliminde minibüs hatlarının yerini ve güzergahını temsil eden verilere dayanmaktadır. Bu hatlar, bazıları farklı zamanlarda değişim gösteren, çeşitli hatları içermektedir. Sonrasında, ArcGIS'ın Count Overlap aracını kullanarak, minibüs hatlarının birleştirilmesi ve kesişme analizinin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Bu analiz sonucunda, her bir minibüs hattının, seçilen tramvay hatları ile hangi ölçekte kesiştiği belirlenmiştir. Kesişimler, bir skala üzerinde (%0, %0-25, %25-50, %50-75, %75 ve üzeri) sınıflandırılmış ve bu kesişimlerin ölçeği, analizin sonuçları üzerinde bir katman olarak incelenmiştir (Şekil 5). Bu analiz, minibüs hatlarının, tramvay hatları ile etkileşimlerini ve bu etkileşimin derecesini belirlemek için etkili bir yol sunmaktadır. Bu bilgi, toplu taşıma sistemlerinin etkin bir şekilde entegrasyonu ve iyileştirilmesi için önerilerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamıştır.

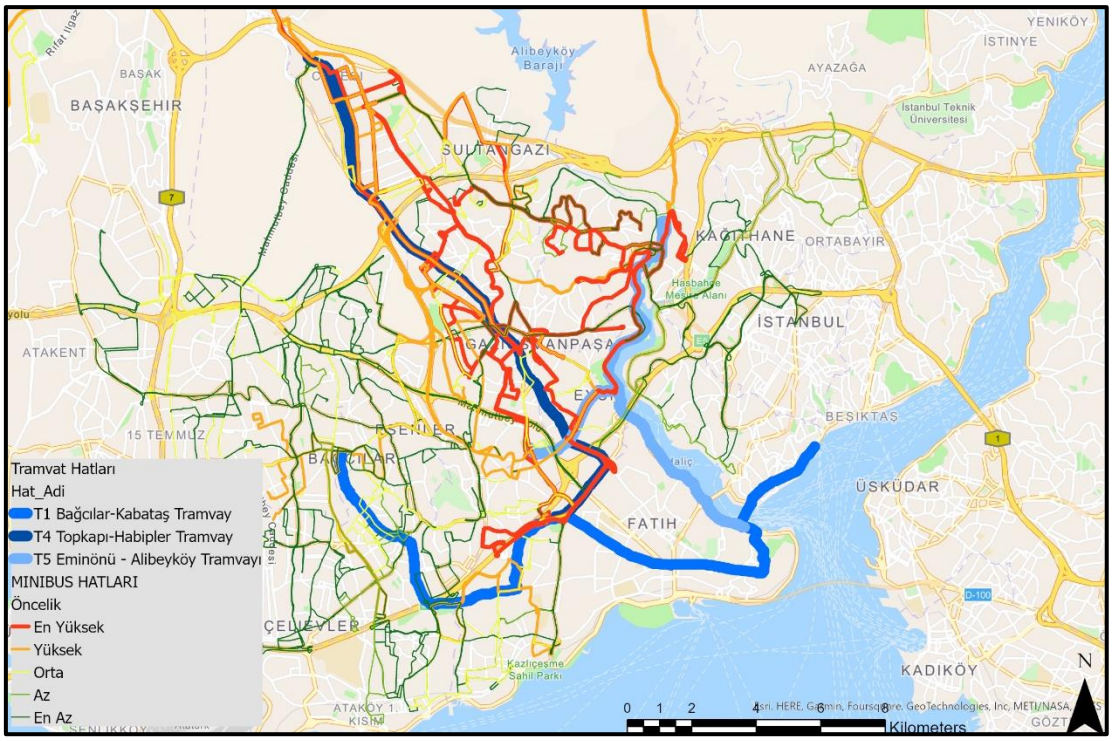


Şekil 5. Minibüs Güzergah Verisi Toplulaştırma Analizi

Bulgular, raylı sistem ve minibüs hatlarının entegrasyonunu geliştirecek ve daha etkili bir toplu taşıma sistemine olanak sağlayacak önerilere ve bilgilere olanak sağlamıştır. Bu öneriler hem kullanıcıların taşıma seçeneklerini zenginleştirmeyi hem de minibüs hizmetlerinin sürdürülebilirliğini artırmayı hedeflemektedir.

Sonuç ve Öneriler

Bulunan kesişim derecelerine göre, birkaç farklı düzenleme önerisi geliştirilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi, seçilen alanda yer alan minibüs hatları 5 farklı derecelendirmeye göre sınıflandırılarak verilmiştir. Bu analize göre sonuçlar bölümünde öneriler geliştirilmiş ve sunulmuştur.



Şekil 6. Minibüs Güzergahlarının Etkileşim Analizi

%75 ve üzeri kesişim: Bu durumda, raylı sistemle yüksek düzeyde kesişen minibüs hatlarının gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bu hatlar, raylı sistemin güzergahını tamamlayacak veya servis alanını genişletecek şekilde yeniden düzenlenebilir. Bu, kullanıcıların toplu taşıma sistemi içinde daha rahat bir geçiş yapabilmesini sağlar ve aynı zamanda raylı sistemle aynı hizmeti sağlamaktan kaynaklanan gereksiz maliyet ve kaynak kullanımını azaltır. Gerekli koşullar sağlanması durumunda bu hatların iptal edilmesi de verimlilik açısından uygun olacaktır.

%50-75 kesişim: Bu seviyedeki kesişimlerde, minibüs hatlarının raylı sistemin belirli bölgelerine servis sağlaması düşünülmektedir. Bu durumda, minibüsler, raylı sistem istasyonlarına 'feeder' (besleyici) hizmeti sağlar ve böylece daha geniş bir kullanıcı kitlesinin raylı sisteme erişimini kolaylaştırır. Bu kesişim derecesinde, hatların tekrar düzenlenmesi veya hattın gerekliliğinin yeniden incelenmesi faydalı olacaktır.

%25-50 kesişim: Bu düzeydeki kesişimlerde, minibüs hizmetlerinin yeniden düzenlenmesi ve belirli bölgelere daha spesifik hizmet sağlama ihtimallerinin değerlendirilmesi önerilmektedir. Örneğin, minibüsler, raylı sistem istasyonlarından uzak, ancak yoğunluklu konut veya ticaret bölgelerine servis sağlama rolü üstlenebilir. Böylece küçük değişimler ile genel toplu taşıma verimliliği arttırılabilecektir.

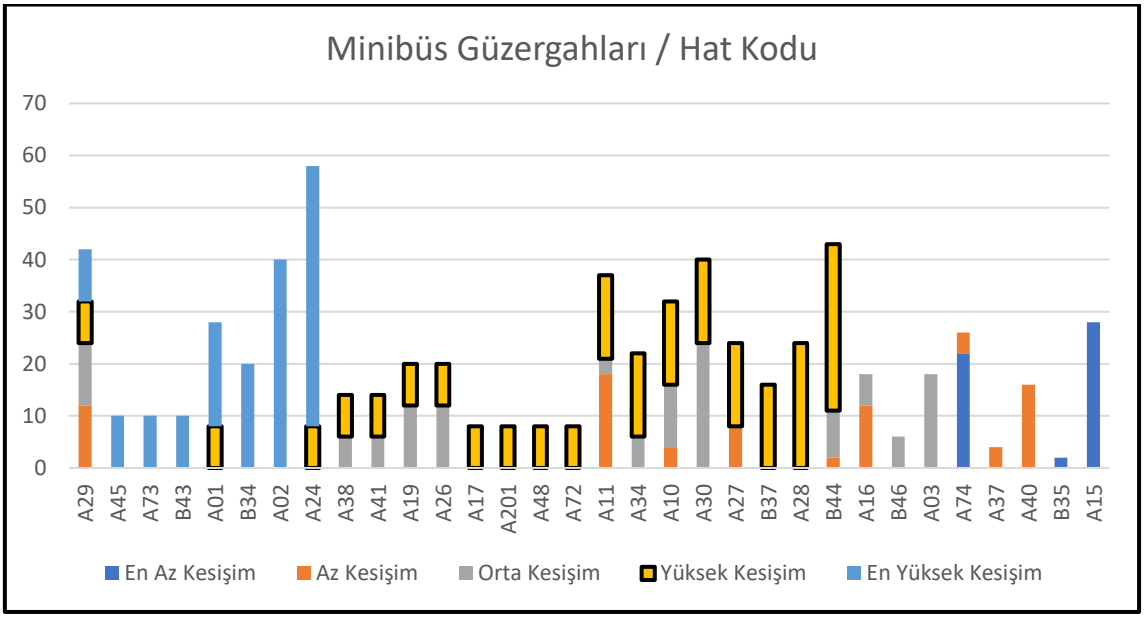
%0-25 kesişim ve %0 kesişim: Bu düzeydeki kesişimlerde, Minibüs hatlarının mevcut haliyle devam etmesi veya belki de kendi içinde daha etkin bir hizmet sağlamak için yeniden düzenlenmesi düşünülebilir. Bu hatlar, raylı sistemle az veya hiç kesişmediği için, kendi hizmet bölgelerine daha odaklı hizmet sağlama potansiyeli taşır.

Önemli olan, bu önerilerin her birinin minibüs hizmetlerinin kullanıcıları, işletmecileri ve daha geniş toplu taşıma ekosistemi üzerindeki etkilerini dikkatlice değerlendirmektir. Bu

önerilerin uygulanması, genellikle çeşitli paydaşların (kullanıcılar, işletmeciler, şehir yönetimi vb.) dahil olduğu bir süreç gerektirdiği de göz önüne alınmalıdır.

Yapılan çalışma neticesinde, beş farklı ölçeğe göre minibüs hatlarının numaraları ve kesişim değişkenleri Tablo 1'de de verilmiştir. Böylece gerekli önlemler değişimlerin hangi hatlarda yapılabileceğinin analizi yapılmıştır.

Tablo 1. Minibüs Güzergah ve Kesişime Göre Değişim Öncelik



Bu kısımda aynı koda sahip minibüs güzergahların birden çok güzergahı bulunmaktadır. Bu güzergahlar farklı zamanlarda çalışmakta ve her bir hattın kendi içinde farklı güzergahları, gidiş-dönüş değişiklikleri mevcuttur. Ancak aynı hat kodlu minibüs güzergahlarının ana hatları hemen hemen aynı olmakta ancak bazı durumlarda değişiklikler gözlemlenebilmektedir. Bu kapsamda tek bir güzergah yerine tüm güzergahlar incelenerek daha doğru bir sonuç vermesi hedeflenmiştir.

Bu çalışma, İstanbul'un raylı sistemleri ile minibüs hatları arasındaki kesişimleri Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) kullanarak değerlendirmekte ve toplu taşıma entegrasyonu için öneriler sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, tramvay ve minibüs hatları arasında belirgin bir etkileşim olduğunu ve özellikle yüksek kesişme oranına sahip hatların entegrasyonu veya revizyonu gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Bu, toplu taşıma kullanıcılarının deneyimlerini iyileştirirken, minibüs operatörlerinin sürdürülebilirliğini ve karlılığını artırabilir. Ayrıca, bu analiz, toplu taşıma hizmetlerinin daha bilinçli ve stratejik bir şekilde planlanmasını sağlar. Bununla birlikte, entegrasyonun başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için ilgili tüm taraflar arasında geniş kapsamlı bir iş birliği ve diyalog gerekmektedir. Genel olarak, bu çalışma, İstanbul'da toplu taşıma sisteminin daha etkin bir şekilde yönetilmesi ve sürdürülebilir bir şekilde geliştirilmesi için kritik öneme sahip bilimsel bir temel sunmaktadır.

Kaynakça

Basso, L. J., & Silva, H. E. (2014). Efficiency and substitutability of transit service in the United States: Evidence from cost functions. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 69, 454-469.

Cervero, R., & Guerra, E. (2011). Urban Densities and Transit: A Multi-dimensional Perspective. Institute of Urban and Regional Development, University of California, Berkeley.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB). (2023). İstanbul Raylı Sistem Ağı İstatistikleri. İstanbul Büyükşehir Belediyesi web sitesi.

Nielsen, G. (2005). HiTrans Best Practice Guide 2: Public Transport - Planning the Networks. HiTrans.

Nisan, U., & Tzur, M. (2013). The Synchronized and Maximal Covering Location Problem. Computers & Operations Research, 40(1), 235-243.

Vuchic, V. (2007). Urban Transit Systems and Technology. John Wiley & Sons.

Higgs, G., & White, S. (1997. Journal of Rural Studies, 13(4), 441-450.

Kuby, M., Barranda, A., & Upchurch, C. (2004). Factors influencing light-rail station boardings in the United States. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 38(3), 223-247.

Bağlayıcı Sayısındaki Değişimlerin Kentiçi Toplu Taşıma Ağlarının Tasarım Süreci Üzerindeki Etkileri

Tayfun Özcan
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Yatağan Meslek Yüksek Okulu,
İnşaat Teknolojisi Programı, Muğla
Tel: (252) 211 58 42
E-Posta: tayfunozcan@mu.edu.tr

Hüseyin Ceylan
Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli
Tel: (258) 296 33 86
E-Posta: hceylan@pau.edu.tr

Öz

Nüfus artışı ve göçler nedeniyle şehirlerin kontrolsüz şekilde büyümeleri, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin başlıca problemlerinden biri durumundadır. Kentleşen nüfus ile birlikte bireysel araç sahipliğindeki artışın yarattığı yoğun yolculuk talebi, ulaşım altyapılarının talebe paralel olarak geliştirilememesi nedeniyle trafik sıkışıklığını beraberinde getirmiş ve uzun yolculuk süreleri kent hayatının birincil problemlerinden biri durumuna gelmiştir. Trafik sıkışıklığı tabanlı problemlerin önüne geçebilmek için özel araç kullanımının azaltılarak, toplu taşıma sistemlerinin kentiçi ulaşımdaki paylarının arttırılması gerektiği değerlendirilebilir. Bunun için de özel araçlarla hız, konfor, güvenilirlik gibi birçok ölçütte rekabet edebilecek etkinlikte toplu taşıma sistemleri organize edilmelidir. Bu çalışmada, bağlayıcı sayısındaki değişimlerin, kentiçi otobüs ağlarının tasarım süreçlerine olan etkileri incelenmektedir. Söz konusu etkileri ölçmek için kullanılan ve toplu taşıma ağ tasarımı amacıyla geliştirilen modelde kullanıcı ve işletmeci faydaları bir arada değerlendirilmekte olup; kullanıcı faydası toplam yolculuk süresiyle ilişkilendirilirken, işletmeci faydası öngörülen işletme koşulları için ihtiyaç duyulan asgari filo büyüklüğü olarak ele alınmaktadır. Geliştirilen model bir test ağının çeşitli varyasyonları üzerinde sınanmıştır ve sonuçlar bağlayıcı sayındaki değişimlerin toplu taşıma ağlarının tasarım süreçleri üzerinde etkileri olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar sözcükler: Toplu taşıma ağ tasarımı, toplu taşıma ataması, kentsel toplu ulaşım, otobüs taşımacılığı, sezgisel optimizasyon.

Giriş

Kentsel alanlarda ulaşım hizmetlerinin sürdürülebilirliği için vazgeçilmez durumda bulunan toplu taşıma sistemleri, ekonomik ve sosyal hareketliliğin arttırılması, trafik sıkışıklığı ve hava kirliliğinin azaltılması gibi avantajlar sunarlarken, sosyal eşitlik noktasında da kilit role sahiptirler. Bahsi geçen faydalar nedeniyle dünya genelinde yerel ve merkezi yönetimler kentlerde yaşam kalitesinin yükseltilmesi amacıyla toplu taşıma sistemlerine giderek artan yatırımlar yapmaktadır. Tüm çabalara karşın son

yıllarda küresel olarak yaşanan sosyoekonomik büyüme, artan bireysel hareketlilik ve kentsel yayılma gibi faktörler günlük ulaşımda özel araç tercihinin yükselişine ve toplu taşıma sistemlerinin paylarının düşmesine neden olmuştur (TRB 2001; Pucher ve diğ. 2007). Trafik sıkışıklığının önüne geçebilmek için özel araç kullanımının azaltılarak, toplu taşıma sistemlerinin kentiçi ulaşımda paylarının arttırılması gerekmektedir. Dolayısıyla bu sistemlerin özel araçlar ile konfor, hız, ekonomi ve güvenilirlik gibi birden fazla ölçütte rekabet edebilecek şekilde geliştirilmesi gerektiğini değerlendirmek mümkündür (Sinha 2003; Vuchic 2004). Bu noktada hizmet verilen hat sayısının arttırılması, mevcut hatlarda da sefer aralıklarının daraltılması sonucunda bekleme sürelerinin azaltılması ve taşıt içi dolulukların düşürülmesi bir çözüm olarak durmaktadır. Ancak bu durumun işletme giderlerini ve öngörülen işletme koşulları için ihtiyaç duyulan filo büyüklüğünü arttırabileceği dikkate alınmalıdır. Toplu taşıma kullanıcıları için aldıkları hizmetin kalitesi kadar sürekliliği de önem arz etmektedir; bu da ancak işletmecilerin zarar etmeden ya da öngörülebilir bir karlılık ile çalışmaları ile mümkündür.

Toplu taşıma sistemlerinin özel araçlar karşısında rekabet güçleri arttırılırken, işletme giderlerinin de öngörülen limitler dahilinde tutulabilmesi için etkin bir planlama yapılması ve öngörülen plana uygun şekilde işletilmesi gerektiğini değerlendirmek mümkündür. Bu nedenle ulaştırma alanında çalışan araştırmacılar, uzun yıllardan beri bu sistemlerin verimlerini arttırmaya yönelik çalışmalar yapmakta ve stratejiler geliştirmektedir. Söz konusu çalışmaların özellikle yoğunlaştığı konuların başında toplu taşıma ağ tasarımı gelmektedir. Ağ tasarımı sırası ile toplu taşıma hatlarının tasarlanması, hatlara ait zaman çizelgelerinin oluşturulması ve taşıt tahsisi adımlarını içermektedir (Guihaire ve Hao, 2008). Kentiçi toplu taşıma sistemlerinde ağ tasarımı probleminin çözümü için geliştirilmiş çeşitli yaklaşımlar ve hesaplama yöntemleri bulunmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar, genel olarak kullanıcı ve işletmeci faydalarını bir arada değerlendirilmekte; ağdaki yolculuk süresi, toplam aktarma sayısı, ulaşım ağına erişilebilirlik, servis-km değeri, filo büyüklüğü ve bütçe giderleri konularına yoğunlaşmaktadır. Literatürdeki ilk çalışmalardan biri durumunda olan ve Lampkin ve Saalmans (1967) tarafından önerilen süreç ile kapasite kullanımın oranında artışın yanında ağdaki toplam yolculuk süresinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Marwah ve diğ. (1984), önerdikleri sezgisel yöntemler ve doğrusal programlama tekniklerini bir arada kullanan hibrit yöntem ile işletme ve kullanıcı maliyetlerini aynı anda eniyilemeyi amaçlamıştır. Ngamchai ve Lovell (2003) tarafından önerilen modelde, toplu taşıma hatlarında gerçekleştirilecek rota optimizasyonu ile aktarma duraklarının koordine edilmesi ve hem kullanıcı hem de işletmeci maliyetlerinin aynı anda eniyilemesi amaçlamıştır. Bagloee ve Ceder (2011), sabit talep ve bütçe kısıtları altında konfor seviyesinin yükseltilmesi amacıyla kentiçi toplu taşıma ağ tasarımı gerçekleştiren popülasyon tabanlı bir meta sezgisel yaklaşım geliştirmiştir. Cipriani ve diğ. (2020), kullanıcı faydasını temsil eden kısıtlar altında işletmeci maliyetlerini düşürmek için kentiçi toplu taşıma ağ tasarımı gerçekleştiren parçacık sürü optimizasyon temelli bir model önermiştir. Kentiçi toplu taşıma sistemlerinde ağ tasarımı ve sefer sıklığı optimizasyonunu konu alan çalışmalarda kullanıcı ve işletmeci faydalarının yanında, toplu taşıma sistemlerinin ekolojik etkilerini ele alan çalışmaların da literatürde giderek daha sık yer aldığı dikkat çekmektedir (Duran ve diğ. 2019; Duran ve diğ. 2020; Zhang ve diğ. 2020).

Bu çalışmada, kentiçi otobüs hatlarına ait güzergahları ve sefer sıklıklarını, kullanıcı ve işletmeci faydalarını bir arada değerlendirerek optimize eden bir model yardımı ile

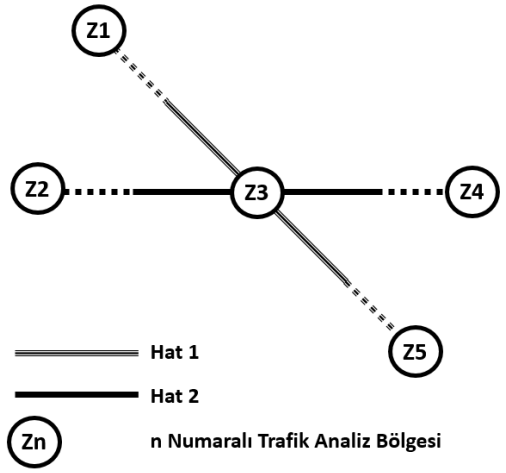
bağlayıcı sayısındaki değişimlerin, kentiçi toplu taşıma ağlarının tasarım süreci üzerindeki etkileri incelenmektedir. Değerlendirme sürecinde kullanılan modelde kullanıcı faydası toplam yolculuk süresi, toplu taşıma taşıtları içerisindeki en yüksek doluluk ve aktarma sayısı olarak ele alınırken, işletmeci faydası ele alınan işletme koşulları için ihtiyaç duyulan asgari filo büyüklüğü olarak değerlendirilmektedir. Tasarım süreci problemin yapısına uygun olarak geliştirilen bir sezgisel yaklaşım tarafından kontrol edilmektedir. Sıklık paylaşımı yöntemi problemin yapısına uygun olarak geliştirilmekte ve yolcuların hatlar arasında dağılımını temsil eden toplu taşıma ataması probleminin çözümü için kullanılmaktadır. Modelin, bu çalışma için geliştirilen bir test ağı üzerindeki çıktıları, bağlayıcı sayısındaki değişimlerin çözüm süreci ve ağa ait performans verileri üzerinde etkileri olduğunu göstermektedir.

Trafik Analiz Bölgeleri ve Bağlayıcılar

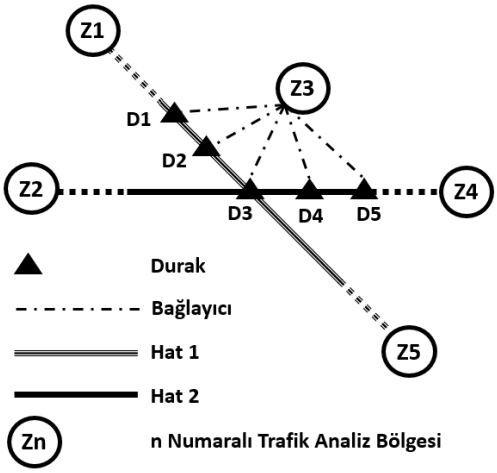
Günlük hayatta bir toplu taşıma ağına yansıyan talep ev-iş, ev-okul, iş-iş gibi farklı amaçlar gösterebilmektedir. Trafik analiz bölgelerini, benzer karakterdeki yolculukların üretildiği ve çekildiği alanlar olarak ifade etmek mümkündür. Arazi kullanım yapısına bağlı olarak büyüklük ve karakteristikleri değişebilen trafik analiz bölgelerinde, yolculukların bölge içinde tek bir noktadan başladığı ve yine tek bir noktada sonladığı kabul edilmektedir. Bağlayıcılar, trafik analiz bölgeleri ile duraklar arasındaki bağlantı elemanları olup, trafik analiz bölgelerinde üretilen yolculuklar toplu taşıma ağına bağlayıcılar ile aktarılmaktadır. Bağlayıcılar, toplu taşıma kullanıcılarının duraklara erişim için yürüdükleri mesafenin modellerdeki karşılığı olarak da değerlendirilebilir. Duraklara erişim sağlayan toplu taşıma kullanıcıları, belli bir başlangıç ve belli bir bitiş durağı arasında belli bir güzergahı takip ederek hizmet veren ve planlanmış bir çalışma çizelgesine sahip olan toplu taşıma hatlarına tahsis edilmiş taşıtlar ile yolculuklarını gerçekleştirirler. İki durak arasında gerçekleşen söz konusu yolculuk aktarmasız şekilde gerçekleşebileceği gibi birden fazla hattın bir arada kullanılması ile aktarmalı şekilde de gerçekleşebilir. Bu noktada iki durak arasında mümkün aktarmalı ya da aktarmasız yolculuklarda kullanılabilecek her bir hat ve her bir aktarma durağı ile oluşturulabilecek tüm yolculuk alternatifleri birer bağlantı olarak değerlendirilirler.

Toplu taşıma ağ tasarımı alanında gerçekleştirilmiş çalışmalar incelendiğinde yolculuk üretim ve çekim merkezleri olan trafik analiz bölgelerinin yoğun olarak duraklar üzerinde değerlendirildiği dikkat çekmektedir. Bu yaklaşım nedeniyle üretilen ve çekilen tüm yolculukların duraklar üzerinde başlayıp duraklar üzerinde sonladığı kabul edilerek, her bir trafik analiz bölgesinin tek bir durak ile ilişkilendirildiği görülmektedir. Toplu taşıma sistemlerinin tasarımlarına ilişkin çalışmalarda sıklıkla kullanılan ve Mandl (1980) tarafından önerilen test ağı, bu yaklaşım esas alınarak geliştirilirmiştir. Yolcuların hatlar arası dağılımını temsil eden toplu taşıma ataması probleminin çözümü için tercih edilen yöntemlerin başında gelen sıklık paylaşımı yöntemi bahsi geçen ağ yapısı üzerinde kurgulanmıştır (Baaj ve Mahmassani 1991). Temelleri duraklar ve trafik analiz bölgelerinin bir arada değerlendirildiği söz konusu ağ yaklaşımına dayanan her iki yöntemin de güncel çalışmalarda halen kullanıldığı ve araştırmacıların bu çalışmalara yoğun ilgi gösterdikleri görülmektedir (Nikolic ve Teodorovic, 2014). Ancak günlük hayatta kullanıcılar, boş koltuk bulabilmek, yürüme mesafelerini, aktarma sayılarını, aktarma beklemelerini ve taşıt içi yolculuk sürelerini azaltabilmek için aynı başlangıç varış noktaları arasında farklı ilk, son ve aktarma durağı tercihlerde bulunabilmektedir. Dolayısı ile trafik analiz bölgelerinin bağlayıcılar ile birçok durağa

bağlandığı modellerin saha koşulları ile daha fazla benzeştiği ve bu modellerin çıktılarının toplu taşıma ait performansı daha iyi yansıtacağını değerlendirmek mümkündür. Yapılan çalışmalar, toplu taşıma sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik eylemlerin sisteme ait bazı parametrelerde gelişime sebep olsa da göz ardı edilen parametrelerde performans kaybına sebep olabildiğini göstermektedir. Bu nedenle toplu taşıma ağ tasarımı amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda mümkün tüm potansiyel etki ve bileşenleri değerlendirme kapsamına alan tasarım süreçlerinin izlenmesi gerektiği değerlendirilmektedir (Ceder ve Wilson, 1986). Yaygın olarak kullanılan toplu taşıma ağ yapısı ve bağlayıcılara sahip sistemler arasında temel bazı farklar Şekil 1, Şekil 2 ve Tablo 1 incelenerek daha kolay değerlendirilebilir.



Şekil 1 – Yaygın ağ yapısı



Şekil 2 – Bağlayıcılı ağ yapısı

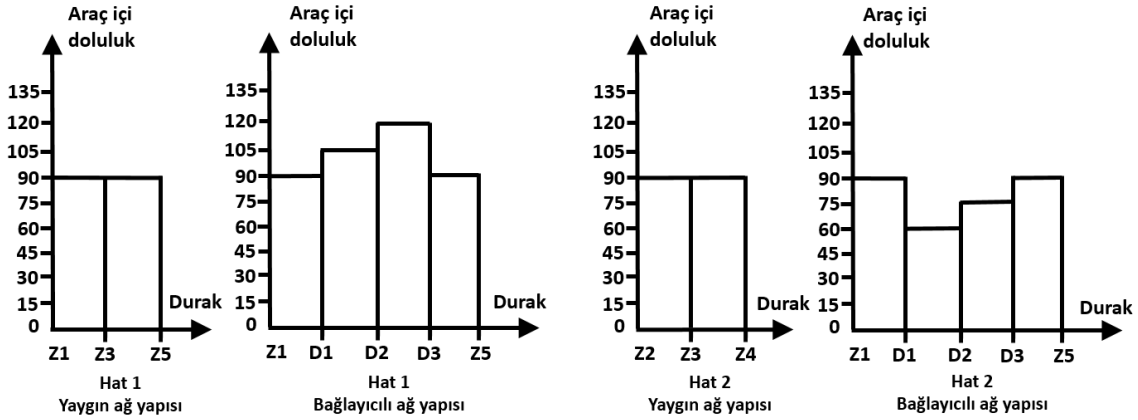
Tablo 1: Örnek toplu taşıma ağına ait talep matrisi

	1	**2**	**3**	**4**	**5**
1	-	-	-	45	45
2	-	-	-	45	45
3	-	-	-	45	45
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-

Şekil 1 ve Şekil 2 ile aynı toplu taşıma ağına ait farklı model yapıları verilmekte olup Tablo 1 söz konusu toplu taşıma ağına ait yolculuk talebini ifade etmektedir. Buna göre 1, 2 ve 3 numaralı trafik analiz bölgelerinden 4 ve 5 numaralı trafik analiz bölgelerinin her birine 45'er kişilik yolculuk talebinin olduğu görülmektedir. Kullanıcıların mümkün olan başlangıç, aktarma ve varış durakları arasında eşit şekilde dağıldığının kabulü ile toplu taşıma sisteminin konfor parametrelerinden biri olan taşıt içi doluluğun değişimi şu şekilde gerçekleşmektedir.

Şekil 1 ve Şekil 2 incelendiğinde, 1 numaralı otobüs hattının 1-3-5 numaralı trafik analiz bölgeleri arasında hizmet verdiği, 2 numaralı otobüs hattının da 2-3-4 numaralı analiz bölgeleri arasındaki yolculuklar için kullanılabilir durumda olduğu görülmektedir. Her iki otobüs hattı da 3 numaralı trafik analiz bölgesine ait durakları ortak olarak kullanmaktadır. Tablo 1 ile verilen ve örnek toplu taşıma ağına ait yolculuk talep matrisi incelendiğinde, 1 ve 2 numaralı analiz bölgelerinde oluşan yolculuk talebinin bir kısmının aktarmasız yolculuk imkanının bulunmadığı ve yolculuklarını 1 aktarma ile tamamlayacakları görülmektedir.

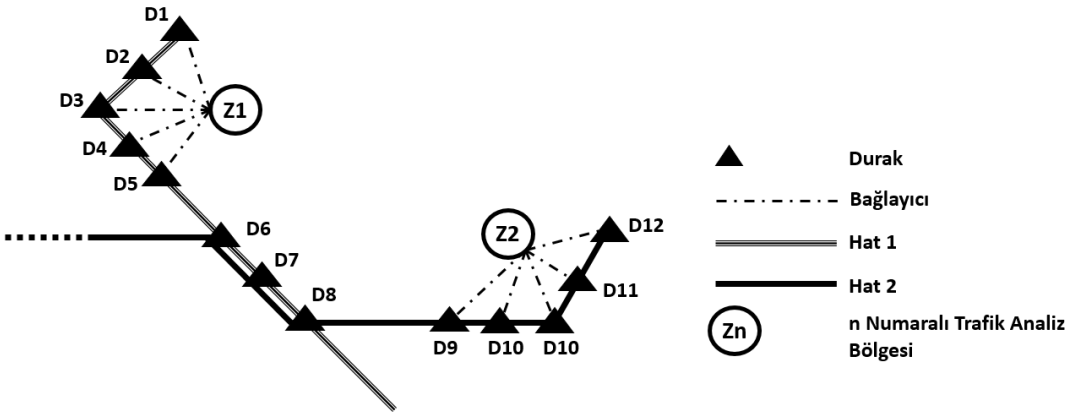
Buna göre 1 numaralı trafik analiz bölgesinde oluşan yolculuk talebinin tamamı yolculuklarına 1 numaralı otobüs hattı ile başlayacak, 4 numaralı analiz bölgesine ulaşmak isteyen kullanıcılar, 3 numaralı analiz bölgesine ait durakta 2 numaralı hata aktarma yapacaktır. Yine 3 numaralı analiz bölgesinden 5 numaralı analiz bölgesine ulaşmak isteyen 45 yolcu için tek seçenek 1 numaralı otobüs hattı ile yolculuklarını tamamlamaktır. Söz konusu yolculuk talebi için Şekil 1 ile verilen yaygın olarak kullanılan ağ yapısı dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında, 1 numaralı otobüs hattı ile yolculuklarına başlayan kullanıcıların 45 kişilik bölümü, 3 numaralı trafik analiz bölgesini temsil eden durakta aktarma yapacaklar, 3 numaralı analiz bölgesinden 5 numaralı analiz bölgesine yolculuk etmek isteyen 45 kişinin katılımı ile otobüs başlangıç ve varış arasında aynı doluluk ile seferini tamamlayacaktır.



Şekil 3 – Taşıt içi doluluklar

Söz konusu durum bağlayıcılı ağ yapısı üzerinde değerlendirildiğinde, 3 numaralı analiz bölgesi üzerinden 3 ayrı durak ile 1 numaralı otobüs hattına erişilebileceği, 1 ve 2 numaralı hatlar arasındaki tek aktarma durağının D3 olduğu görülmektedir. Buna göre 90 kişi ile yolculuğuna başlayan 1 numaralı hat, D1 ve D2 duraklarında 3 ve 5 numaralı analiz bölgeleri arasındaki talebin 2/3'lük kısmını karşılayacak ve otobüs D3 durağına 120 kişilik bir doluluk ile ulaşacaktır. D3 durağında 2 numaralı otobüs hattına aktarma yapacak 45 kişinin inişi ve 3 ve 5 bölgeleri arasındaki talebin kalan 1/3'lük kısmının binişi ile otobüs yolculuğuna 90 kişi ile devam edecektir. Otobüs içerindeki doluluklarla ilgili benzer bir değişim 2 numaralı otobüs hattı içinde de söz konusu olup, ilgili değişimler Şekil 3 incelenerek daha kolay değerlendirilebilir.

Bahsedilenler ışığında yaygın olarak kullanılan ağ yapısı, ağdaki hareketin tespiti noktasında yetersiz kalabilmekte ve taşıt içi dolulukların kesin olarak tespit edilememesine neden olabilmektedir. Oysa kentsel toplu taşıma sistemlerinin performanslarının ele alındığı bir çok çalışmada, bu sistemlere mal edilen problemlerin birçoğunun temelinde zirve saatlerdeki kapasite yetersizliği gösterilmektedir (Pucher ve diğ., 2004; Mashiri ve diğ., 1999; Finn ve Mulley, 2011). Yine bu durum iniş binişler nedeniyle duraklarda kaybedilen zamanın da tam olarak hesap edilmesinin önüne geçmekte ve yolculuk sürelerinin kesin olarak hesaplanamamasına sebep olmaktadır.



Şekil 4 – Örnek toplu taşıma ağı

Bir toplu taşıma ağında bağlayıcı sayısındaki artış listelenmesi gereken kullanılabilir bağlantı sayısını arttırmaktadır. Şekil 4 ile verilen örnek taşıma ağında 1 numaralı trafik analiz bölgesinden 2 numaralı trafik analiz bölgesine yolculuk etmek isteyen kullanıcıların aktarmasız yolculuk imkanlarının bulunmadığı görülmektedir. Buna göre yolculuklarına başlamak için 5 farklı başlangıç durağını tercih edebilecek olan kullanıcılar, 3 ayrı durakta aktarma şansına sahiptirler. Varış noktasında da kullanılabilecek 5 durak olduğu göz önüne alınarak bu iki trafik analiz bölgesi arasında gerçekleşecek yolculuklar için listelenmesi gereken 75 adet (5x3x5) bağlantı seçeneği olduğu değerlendirilebilir. Özellikle 2 ve üzeri aktarmaya sahip yolculuklar için listelenmesi gereken kullanılabilir bağlantı sayısı, aktarmasız ve 1 aktarmalı yolculuklara kısayla çok yüksek sayılara ulaşabilmekte ve bu durum problemin çözüm süresini olumsuz olarak etkileyebilmektedir.

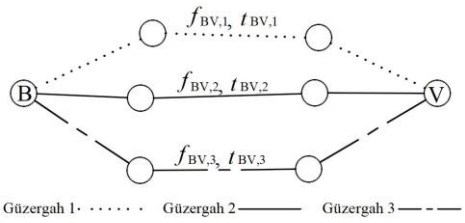
Problemin Tanımlanması

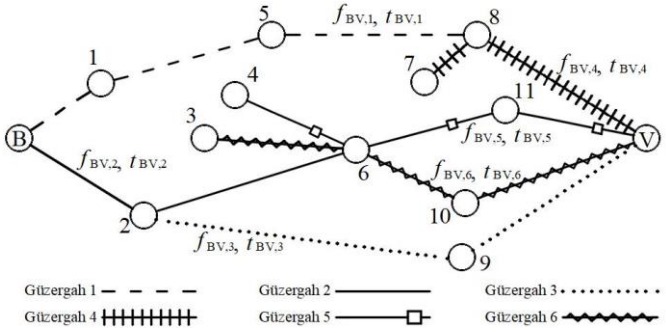
Alt Seviye Problemi: Toplu Taşıma Ataması

Geliştirilen modelde, yaygın ağ yapısına sahip toplu taşıma sistemleri için önerilen ve kullanıcıların toplu taşıma hatları arasında dağılımlarını temsil eden toplu taşıma ataması için kullanılan sıklık paylaşımı yöntemi, problemin yapısına uyacak şekilde yeniden düzenlenerek kullanılmıştır. Toplu taşıma kullanıcılarının yolculuklarını tamamlamak için her zaman en düşük aktarma sayısına sahip bağlantıları seçtikleri kabulüne dayanan söz konusu yöntem (Shih ve Mahmasani, 1994; Shih ve diğ. 1997), ağdaki talebin yönü ve yoğunluğu hakkında fikir verme konusunda başarılı olarak değerlendirilebilir.

Söz konusu atama yaklaşımı dahilinde herhangi bir Başlangıç-Varış (B-V) çifti arasındaki yolculuk talebinin toplu taşıma hatları arası dağılımını belirlemek için öncelikli olarak aktarmasız yolculuk imkanı olup olmadığı değerlendirilmektedir. Kullanıcıların değerlendirebileceği aktarmasız yolculuk olanağının var olması halinde talep aktarmasız yolculuğa izin veren hatlar arasında, hatların sıklıkları ile doğru orantılı olarak paylaştırılmaktadır. Aktarmasız yolculuk olanağı bulunmaması durumunda sırası ile 1 ve 2 aktarmalı yolculuk seçenekleri değerlendirilmektedir. Aktarmalı yolculuklarda, kullanıcıların aktarma durakları arasında, bir sonraki biniş için kullanılabilir toplu taşıma hattı sayısı ile doğru orantılı olarak dağıldığı kabulü yapılmaktadır. B-V çifti arasında aynı sayıda aktarmaya sahip bağlantılar arasından

hangilerinin tercih edileceği noktasında temel kıyas parametresi toplam yolculuk süresidir. Atama yaklaşımında ait temel kabuller Şekil 5 ve Şekil 6 incelenerek daha kolay değerlendirilebilir.





Şekil 5 – Aktarmasız yolculuk şeması Şekil 6 – Aktarmalı yolculuk şeması

Şekil 5 incelendiğinde B ve V noktaları arasında aktarmasız şekilde yolculuk imkanı sunan üç adet otobüs hattı görülmektedir. $f_{BV,i}$, her bir otobüs hattına ait sefer sıklığını ifade ederken, $t_{BV,i}$, ilgili hatta ait B-V çifti arasındaki yolculuk süresini temsil etmektedir. Herhangi bir B-V çifti arasında aynı aktarma sayısına sahip birden fazla hat söz konusu olsa da kullanıcılar yolculuk sürelerini kısaltma eğilimleri nedeniyle B-V çiftleri arasındaki her bağlantıyı kullanılabilir olarak değerlendirilmeyebilir. Hangi bağlantının potansiyel bağlantı seçenekleri kümesine (G_{BV}) dahil edileceği, ilgili bağlantıya ait yolculuk süresinin, B-V çifti arasında mümkün olan en küçük yolculuk süresine ($t_{BV,min}$) kıyası ile belirlenmektedir. Bir B-V çifti arasındaki en düşük yolculuk süresinin belirlenmesi için Denklem (1) kullanılmaktadır. Bağıntıdaki $L_{BV,}$ B-V çifti arasında ulaşımı mümkün kılan bağlantılar kümesini ifade etmektedir.

$$t_{BV,min} = \min_{l \in L_{BV}} \left\{ t_{BV,l} \right\} \tag{1}$$

Kullanılabilir bağlantıların belirlenme sürecini ifade eden Denklem (2)'de g, değerlendirmeye alınan hattı, $t_{AB,g}$, g hattına ait yolculuk süresini, c_t ise çözüm kümesinin oluşturulması için kullanılan yolculuk süresi üst limitini belirleyen katsayıdır.

$$G_{BV,a} = \left\{ g \middle| g \in G_{BV}; t_{AB,g} \le c_t t_{BV,min} \right\} \tag{2}$$

Kullanılabilir bağlantılar kümesinin oluşturulmasının ardından her bir hattı tercih edecek yolcu sayısı, Denklem (3) yardımı ile ilgili hattın sıklığı kullanılarak belirlenir. q_{BV}, ilgili B-V çiftleri arasındaki yolculuk talebini, $h_{BV,i}$ ise B-V noktaları arasında i hattını kullanacak yolcu sayısını ifade etmektedir.

$$h_{BV,i} = \frac{f_{BV,i}}{\sum_{g \in G_{AB,t}} f_{BV,i}} q_{BV} \tag{3}$$

Aktarmalı yolculukları temsil eden Şekil 6 incelendiğinde, B-V noktaları arasında erişim sağlamak isteyen kullanıcıların aktarmasız yolculuk şanslarının bulunmadığı ve yolculuklarını aktarmalı şekilde tamamlamak zorunda oldukları görülmektedir. Yolculuklarına Hat 1 ile başlayan kullanıcıların tek bir durakta aktarma olanakları

olduğu ve aktarma sonrası yolculuklarını 4 numaralı hat ile tamamladıkları görülmektedir. B noktasından Hat 2 ile ayrılan kullanıcılar için iki aktarma durağının kullanılabilir durumda olduğu, 3 numaralı durakta aktarma yapan kullanıcıların yolculuklarını Hat 3 ile tamamladıkları, aktarma için 6 numaralı durağı seçen kullanıcıların yolculuklarının kalanı için iki farklı hattı seçebilecekleri görülmektedir. Söz konusu bağlantı seçeneklerinden hangilerinin kullanıcılar tarafından değerlendirileceği, aktarmasız yolculuklar arasındaki eleme sürecine benzer şekilde, her bağlantının yolculuk süresinin, tüm kullanılabilir bağlantı seçenekleri arasında mümkün olan en küçük yolculuk süresine kıyası ile belirlenmektedir. Eleme süreci sonrası başlangıç durağından yolcuların hatlar arasındaki dağılımı Denklem (4) ile görüleceği gibi sıklıklarla doğru orantılı olarak gerçekleşmektedir.

$$h_{BV,1} = \frac{f_{BV,1}}{f_{BV,1} + f_{BV,2}} q_{BV}, \quad h_{BV,2} = \frac{f_{BV,2}}{f_{BV,1} + f_{BV,2}} q_{BV} \tag{4}$$

Yaklaşımda yolcuların kullanacakları aktarma duraklarını, bağıntı (5) yardımı ile her bir duraktan erişebilecekleri kullanılabilir bağlantı sayısı ile doğru orantılı olarak tercih ettikleri kabul edilmektedir. Aktarma için tercih edilen durakta birden fazla kullanılabilir toplu taşıma hattı olması durumunda, hatlar arası dağılım, yolculuk başlangıcında olduğu gibi her bir hattın sıklığı ile doğru orantılı olarak gerçekleşmektedir.

$$h_{BV,2,B3} = h_{BV,2,B5} = h_{BV,2,B6} = \frac{h_{BV,2}}{3} \tag{5}$$

Toplu taşıma atama mantığı yukarıda detaylı olarak anlatılan sıklık paylaşımı yöntemi, çalışmanın konusu olan problemin yapısına uygun olarak yeniden yapılandırılarak geliştirilen model kapsamında kullanılmıştır. Yapılandırma çerçevesinde kullanıcıların her zaman en kısa yürüyüş süresine sahip bağlayıcıları ve en az aktarma sayısına sahip bağlantıları kullanacakları öngörülmüştür. Buna göre bağlayıcı uzunlukları için 200, 300, 400 ve 500 metrelik sınır değerler belirlenmiştir. Herhangi bir B-V çifti arasındaki yolculuk talebinin dağılımı için her iki trafik analiz bölgesinde öncelikle 200 metreden daha kısa bağlayıcılar ile kurulabilecek bağlantılar değerlendirilmektedir. Bu sınır değerler içinde herhangi bir bağlantı kurulamaması halinde izin veriliyor ise bağlayıcılar için kısıt uzunluğu bir üst sınır değere çıkartılarak arama yapılmaktadır.

Üst Seviye Problemi: Güzergah ve Sefer Sıklığı Optimizasyonu

Çalışma kapsamında kullanılacak modelde kullanıcı ve işletmeci faydası bir arada değerlendirilmektedir. Kullanıcı faydası toplam yolculuk süresi, aktarma sayısı, taşıt içindeki en büyük doluluk olarak ele alınırken, işletmeci faydası öngörülen işletme koşulları için ihtiyaç duyulan filo büyüklüğü ile ilişkilendirilmektedir. Üst seviye problemi temsil eden amaç fonksiyonu Denklem (6) ile verilmektedir.

$$min\, Z = \sum_{i=1}^{B}\sum_{j=1}^{V}\sum_{k=1}^{c_{ij}}\left(TGZ_k^{ij} + AGZ_k^{ij}\right) + 5\sum_{i=1}^{B}\sum_{j=1}^{V}\left(TS^{ij}\right) + w\sum_{i=1}^{B}\sum_{j=1}^{V}\left(UNS^{ij}\right) + y\left(F\left(\sum_{i=1}^{G}(filo, f_i)\right)\right) \tag{6}$$

Denklem (6) ile verilen bağıntıda, B adet başlangıç ve V adet varış bölgesinde c^{ij}, *i-j* B-V çifti arasındaki bağlantı sayısını ifade etmektedir. TGZ_k^{ij}, *i-j* B-V çifti arasındaki *k* bağlantısında taşıt içinde geçen zamanı (dk) temsil ederken, AGZ_k^{ij}, biniş ve aktarma duraklarında yaşanan bekleme zamanını (dk) göstermektedir. TS^{ij}, B-V noktaları arasında gerçekleşen aktarma sayısını temsil ederken, kullanıcıların yapmış olduğu her bir aktarma 5 dakika ile cezalandırılmaktadır. UNS^{ij}, kullanıcıların üç ve daha fazla aktarma yapmak zorunda kalmaları ya da B-V noktalarından herhangi birine toplu taşıma taşıtlarının erişiminin bulunmaması durumunda karşılanamayan talebi temsil ederken, karşılanamayan talep için uygulanacak ceza değerinin duyarlılığı *w* ağırlık katsayısı ile kontrol edilmektedir. Bağıntıda toplu taşıma ağındaki otobüs hatları kümesi *G* ile ifade edilirken, f_i i hattında öngörülen işletme koşulları için ihtiyaç duyulan otobüs sayısını, *filo,* işletmenin sahip olduğu otobüs sayısını, *F* ceza fonksiyonunu, *y* ise ceza değerinin duyarlılığını kontrol eden ağılık katsayısını ifade etmektedir. Ceza fonksiyonu Denklem (7) ile verilmiştir.

$$F = \begin{cases} \left(\sum f \text{ - } filo\right) & \text{eğer } \sum f > filo \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \tag{7}$$

Optimizasyon Tekniği ve Model Yapısı

Geem ve diğ. (2001) tarafından geliştirilen Armoni Araştırması modifiye edilerek kentiçi toplu taşıma sistemlerinde ağ tasarımı ve sıklık optimizasyonu probleminin yapısına uygun hale getirilmiş ve çalışma kapsamında kullanılmıştır. Sezgisel yaklaşımın çalışma mantığını oluşturan beş temel adımın şu şekilde özetlenebilir;

Adım 1: Problemin kurulması ve algoritma parametrelerinin tanımlanması: Sezgisel yaklaşımın birinci adımında probleme ait amaç fonksiyonu, karar değişkenleri, karar değişkenleri için kullanılan çözüm uzayı ve algoritmanın çalışma parametreleri tanımlanmaktadır. Aynı zamanda algoritmanın çözüm sürecini kontrol eden 3 farklı parametre bu adımda belirlenmektedir. Söz konusu parametreler sırası ile algoritmanın çözüm vektörü sayısını ifade eden Çözüm Kümesi Kapasitesi (CKK), çözüm kümesinden yapılacak değişkenlerin seçim oranını temsil eden Çözüm Kümesini Dikkate alma Oranı (CKDO) ve Güzergah Düzeltme Oranıdır (GDO).

Adım 2: Çözüm kümesinin oluşturulması: Optimizasyon sürecinde toplu taşıma ağına ait otobüs hatları, takip ettikleri durak sıralaması ile oluşturulan güzergahlar olarak değerlendirilmektedir. Güzergah kümelerinden oluşan çözüm vektörlerinin kalitesi amaç fonksiyonu değerleri yardımı ile değerlendirilmekte olup, çözüm vektörleri ve ilgili vektörlere ait amaç fonksiyonu değerleri çözüm kümesinde saklanmaktadır. Bu adımda rastgele üretilen her bir çözüm vektörü için belirlenmiş rastgele sıklıklar kullanılarak gerçekleştirilen toplu taşıma ataması neticesinde taşıt içi doluluklar hesaplanmakta ve söz konusu doluluklar için uygulanması gereken en küçük sıklıklar belirlenmektedir. Toplu taşıma ataması için kullanılan sıklık değerleri ile hatlardaki en büyük doluluklar yardımı ile hesaplanan sıklıklar birbirinden farklı ise toplu taşıma ataması için kullanılan sıklıklar, en büyük doluluk değerlerinden elde edilen sıklıklarla yer değiştirmekte ve yeni bir toplu taşıma ataması gerçekleşmektedir. Her bir çözüm

vektörü için bu süreç başlangıç ve sonuç sıklıkları birbirine eşit oluncaya kadar devam etmekte ve CKK sayıda çözüm vektörü üretilerek çözüm kümesi doldurulmaktadır.

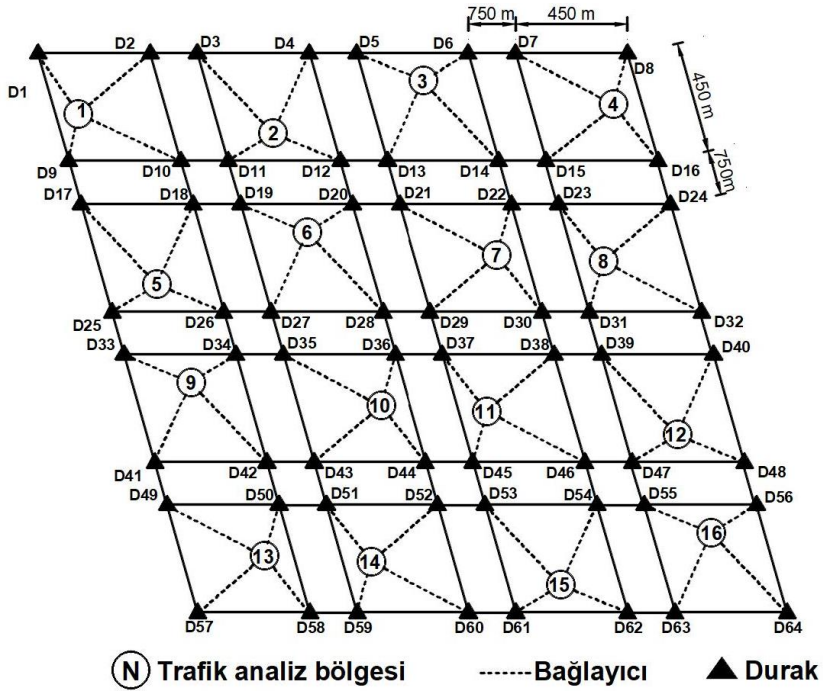
Adım 3: Yeni çözüm vektörünün oluşturulması: Optimizasyon sürecinin üçüncü adımında yeni çözüm vektörü, çözüm kümesinden seçim yoluyla ya da çözüm uzayından tamamen rastgele olarak üretilmektedir. Değişkenlerin çözüm kümesinden mi seçileceği yoksa çözüm uzayından rastgele mi üretileceği, değeri 0 ile 1 arasında değişen *CKDO* oranına göre belirlenmektedir. *CKDO* bir karar değişkeninin mevcut çözüm kümesinden rastgele olarak seçilme olasılığını gösterirken, (1-*CKDO*) yeni çözüm vektörüne ait karar değişkeninin, ilgili değişkenin alabileceği değerler içerisinden rastgele olarak üretilme olasılığını ifade etmektedir. Karar değişkeninin küme içesinden seçilmesi haline güzergah düzeltme işleminin gerekli olup olmadığının kararı yine 0 ile 1 arasında değişen bir oran olan *GDO* kullanılarak verilmektedir. Düzeltme işleminin gerçekleşmesi halinde %50 ihtimalle bellekten seçilen güzergahın bitiş ya da başlangıç duraklarından bir tanesi yine eşit olasılıkla seçilmekte, yine eşit olasılıkla seçilen durağa komşu duraklardan biri güzergaha eklenmekte ya da seçilen durak yok edilerek güzergahın temsil ettiği hattın uzunluğu kısaltılmaktadır. Güzergah düzeltme işlemi, ancak çözüm kümesinden bir değer seçilmesi durumunda gerçekleştirilmektedir. Yeni çözüm vektörünün üretiminin ardından toplu taşıma ataması gerçekleştirilmekte ve atama için kullanılan sıklıklar ile güzergahların temsil ettikleri hatlardaki en büyük doluluklar üzerinden hesaplanan sıklıklar karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırılan değerler birbirine eşit değilse doluluklar üzerinden elde edilen sıklıklar kullanılarak yeni bir toplu taşıma ataması gerçekleştirilmekte ve bu işlem karşılaştırılan değerler birbirine eşit oluncaya kadar devam etmektedir.

Adım 4: Çözüm kümesinin güncellenmesi: Bu adımda, çözüm kümesi içindeki en kötü amaç fonksiyonuna sahip vektör, yeni üretilen çözüm vektörü ile karşılaştırılır. Eğer yeni vektör, küme içindeki en kötü vektörden daha iyi bir amaç fonksiyonu değerine sahipse, bu iki vektör yer değiştirerek çözüm kümesinin kalitesi yükseltilir.

Adım 5: Durma koşulunun kontrolü: Bu adımda, ilk adımda tanımlanan durma koşulunun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Koşulun sağlanmaması durumunda, algoritma Adım 3 ile 5 arasındaki işlemler istenen koşul sağlanıncaya çalışmaya devam eder.

Sayısal Uygulama

Bağlayıcı sayısındaki değişimlerin, toplu taşıma ağlarının tasarım süreçleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilebilmesi amacıyla bir önceki başlık altında detayları verilen optimizasyon tekniği, problem için hazırlanmış ve Şekil 7 ile gösterilen test ağı üzerinde çalıştırılmıştır. Tablo 2 ile karşılamak zorunda olduğu yolculuk talebi verilen ağ, 16 trafik analiz bölgesine, 64 durağa ve 224 bağa sahiptir. 20 taşıtlık bir filo büyüklüğünün öngörüldüğü optimizasyon sürecinde, toplu taşıma taşıtları için ortalama hız 25 km/saat olarak ele alınmış olup, otobüslerin 70 yolcu kapasiteli oldukları kabul edilmiştir. Algoritma aynı durakları takip eden karşılıklı gidiş dönüş seferlerine sahip 5 otobüs hattı üretecek şekilde kalibre edilmiştir. Hatlarda uygulanabilecek en düşük sıklık 2, en yüksek sıklık 12 olarak belirlenmiştir. Optimizasyon sürecinde çözüm kümesi kapasitesi 100 olarak belirlenmiş, algoritmanın çalışma parametreleri CKDO=0.85 ve GDO=0.30 olarak alınmıştır (Özcan ve Ceylan, 2019). Algoritma en az 100000, en çok 200000 iterasyon yapacak ve sonuçsuz 50000 iterasyon gerçekleşmesi durumunda optimizasyon sürecini sonlandıracak durma koşulları altında çalıştırılmıştır.



Şekil 7 – Test ağı

Tablo 2 – Talep matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0	50	20	0	0	90	20	30	50	10	0	30	20	50	20
2	0	0	0	50	0	0	0	20	30	50	20	10	10	0	0	30
3	30	0	0	0	20	0	0	0	20	10	0	20	0	0	0	20
4	10	50	0	0	0	30	0	0	10	0	20	0	20	10	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	30	0	0	10	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	30	20	50	10
7	10	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	20	20	0	10
8	0	10	0	0	20	0	0	0	0	70	0	0	20	10	30	0
9	10	20	20	10	0	0	30	20	0	0	0	20	0	0	0	0
10	60	30	0	30	0	0	0	150	0	0	0	10	0	0	0	10
11	10	30	20	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	20	10	30	0	0	50	0	0	20	50	0	0	30	10	0	0
13	30	50	20	10	0	20	0	20	0	0	0	10	0	0	0	0
14	30	10	10	30	0	20	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
15	50	10	30	20	10	0	20	20	10	0	0	0	0	0	0	0
16	20	50	10	10	0	10	20	20	10	10	0	0	10	0	0	0

Optimizasyon sürecinde bağlayıcı sayısı, bağlayıcı uzunluklarına bağlı olarak değerlendirmeye alınmıştır. Bağlayıcılar için sırası ile 200, 300, 400 ve 500 metrelik sınır değerler belirlenmiştir. İki trafik analiz bölgesini temsil eden herhangi bir B-V çifti arasındaki yolculuk talebinin dağılımı için öncelikle en alt sınır değer için bağlantı araması yapılmış, mümkün bağlantı bulunamaması halinde izin veriliyor ise bağlayıcılar için kabul edilir uzunluk bir üst sınır değere çıkartılmıştır. Her bir trafik analiz bölgesi için belirlenen sınır değerler neticesinde erişilebilir duraklar Tablo 3 ile listelenmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken her bir bağlayıcının sadece bir toplu taşıma durağı ile ilişkili olması nedeniyle erişilebilir durak sayısının aynı zamanda ilgili trafik analiz bölgesi için kullanılabilir bağlayıcı sayısını verdiğidir.

Analizler sonunda elde edilen en iyi amaç fonksiyonu değerine sahip hat kümelerine ait durak sıralaması Tablo 4 ile verilmiştir. Her bir hat ve kullanılabilir durak kombinasyonu seti için elde edilen yolculuk verileri Tablo 5'te, zaman verileri ise Tablo 6'da listelenmiştir. Optimizasyon sürecinde bir toplu taşıma ataması için ihtiyaç duyulan çözüm süresinin, bağlayıcı sayısındaki artışa bağlı olarak alt ve üst limitler arasında %25'lik bir artış gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 4 incelendiğinde her bir çözüm için filo kısıtının sağlandığı görülmektedir. Yine tüm çözümlerde hatlar için hesaplanan sıklıkların belirlenen alt ve üst sınırlar içerisinde kaldığı dikkat çekmektedir.

Tablo 3 – Sınır değerlere bağlı olarak trafik analiz bölgeleri için kullanılabilir duraklar

Trafik Analiz Bölesi	Kullanılabilir Duraklar (Bağlayıcı uzunluğu<200m)	Kullanılabilir Duraklar (Bağlayıcı uzunluğu<300m)	Kullanılabilir Duraklar (Bağlayıcı uzunluğu<400m)	Kullanılabilir Duraklar (Bağlayıcı uzunluğu<500m)
1	9	1-9	1-2-9	1-2-9-10
2	11	11-12	4-11-12	3-4-11-12
3	6	5-6	5-6-13	5-6-13-14
4	8	8-16	8-15-16	7-8-15-16
5	25	25-26	18-25-26	17-18-25-26
6	20	19-20	19-20-27	19-20-27-28
7	22	22-30	22-29-30	21-22-29-30
8	31	23-31	23-24-31	23-24-31-32
9	34	33-34	33-34-41	33-34-41-42
10	36	36-44	36-43-44	35-36-43-44
11	45	37-45	37-38-45	37-38-45-46
12	47	47-48	40-47-48	39-40-47-48
13	50	50-58	50-57-58	49-50-57-58
14	59	51-59	51-52-59	51-52-59-60
15	61	61-62	54-61-62	53-54-61-62
16	56	55-56	55-56-63	55-56-63-64

Tablo 4: Optimizasyon süreci sonunda elde edilen Hatlar ve sıklıklar

Bağlayıcı Uzunluğu	Hatlar Ait Durak Sıralaması	Sıklık (sefer/saat)	Filo (otobüs)
<200m	25-26-34-35-36-44-45-46-47-56	2	20
	50-51-59-60-61-53-45-37-29-30-31-23-22-21-20-19-18-17-25-33-34	8	
	25-26-34-35-36-28-20-21-22-23-31-39-47-55-56	6	
	56-48-40-32-24-16-8-7-6-14-13-12-11-19-20	2	
	9-10-11-12-13-14-6-7-8-16-24-23-31-39-47	9	
<300m	16-24-32-31-30-29-37-45-44-43-42-50	5	16
	9-17-18-19-27-35-43-51-52-53-54-55-47	5	
	10-11-12-13-21-22-23-31-39-47-48-56	5	
	18-19-20-28-36-37-38-46-54	2	
	15-14-13-12-11-19-27-26-34	2	
<400m	9-17-25-33-41-49-57-58-59-60-61-62-63-55-47;9-17-25-33-41-49-57-58-59-60-61-62-63-55-47	2	14
	61-60-59-58-50-42-34-35-36-28-20-21-22-23-31-39-40-48-56	8	
	9-10-18-26-34-42-50-51-52-44-45-46-47-48-40-32-24-16	4	
	9-10-11-12-13-21-29-37-38-39-47-55	5	
	16-15-14-13-12-11-19-27-35-43-44-45-46-47	2	
<500m	16-24-32-31-30-29-37-45-44-43-42-50-51	4	12
	9-17-18-19-27-35-43-51-52-53-54-55-47	4	
	10-11-12-13-21-22-23-31-39-47-48-56	4	
	10-11-19-20-28-36-37-38-46-54-55	2	
	15-14-13-12-11-10-18-26-34-35-38-28	4	

Tablo 5 incelendiğinde kullanılabilir bağlayıcı sayısının artması ile kullanıcıların aktarma sayılarını azaltma şansı buldukları ve aktarmasız yolculukların tüm seyahatler içindeki paylarının yükseldiği görülmektedir. Her bağlayıcı seti için ayrı ayrı yürütülen optimizasyon süreçleri sonunda tüm talebin en fazla 1 aktarma ile taşındığı ve karşılanamayan talebin bulunmadığı dikkat çekmektedir.

Tablo 5 – Yolculuk verileri

Bağlayıcı uzunluğu (m)	Aktarmasız Yolculuk Sayısı	1 Aktarmalı Yolculuk Sayısı	2 Aktarmalı Yolculuk Sayısı	Karşılanamayan Talep
<200	1470	1210	0	0
<300	1590	1090	0	0
<400	2090	590	0	0
<500	2190	490	0	0

Tablo 6 –Zaman verileri

Bağlayıcı uzunluğu (m)	Toplam Yolculuk Süresi (saat)	Toplam Yürüme Süresi (saat)	Duraklarda Bekleme Süresi (saat)	Taşıt içi Yolculuk Süresi (saat)	Aktarma Cezası (saat)
<200	1335,43	281,50	266,75	686,33	100,83
<300	1275,65	311,11	348,88	524,81	90,83
<400	1226,93	336,44	319,81	521,51	49,16
<500	1255,86	417,87	352,20	444,94	40,83

Tablo 6 ile listelenen zaman verileri incelendiğinde bağlayıcı sayısındaki artışın aktarmasız yolculuklara olan etkisine bağlı olarak taşıt içi yolculuk sürelerinin azaldığı, ancak duraklarda yaşanan beklemelerin ve duraklara erişim için harcanan zamanın arttığı dikkat çekmektedir. Yine azalan aktarmalı seyahat sayısına bağlı olarak aktarma cezasının da azaldığı görülmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada bağlayıcı sayısındaki değişimlerin, kentiçi toplu taşıma ağlarının tasarım süreçlerine olan etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile kentsel toplu taşıma sistemlerinin planlanması ve işletilmesinden sorumlu olan planlamacılar ve karar vericilerin ağa yapacakları müdahalelerin olası sonuçları hakkında fikir sahibi olmaları hedeflenmektedir. Erişilebilirlik çalışmalarının konusu dahilinde bulunan bağlayıcı uzunluğunun toplu taşıma sisteminin işleyişine ve kullanıcı tercihlerine olan etkisinin ortaya konulması amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında kentiçi toplu taşıma ağlarının tasarımı amacıyla geliştirilmiş bir modelden faydalanılmış, kullanıcıların otobüs hatları arasında dağılımını temsil eden toplu taşıma ataması probleminin çözümü için sıklık paylaşımı yöntemi, problemin yapısına uyacak şekilde modifiye edilerek kullanılmıştır. Modelin uygulaması bir test ağının farklı bağlayıcı sayısına sahip varyasyonları üzerinde gerçekleşmiştir. Optimizasyon süreci sonunda elde edilen veriler incelendiğinde, bağlayıcı sayısındaki artışa paralel olarak, iniş ve biniş için kullanılabilecek durak sayısının arttığı, bu durumun listelenmesi gereken bağlantı sayısını arttırdığı ve her bir iterasyon için ihtiyaç duyulan çözüm süresinin artmasına neden olduğu ortaya koyulmuştur. Ağdaki bağlayıcı varlığının, kullanıcıların kullanılabilir bağlantı arama davranışını yansıtma noktasında yaygın olarak kullanılan ağ yapısına göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Yine bağlayıcı sayısındaki artışın, öngörülen işletme koşulları için ihtiyaç duyulan filo büyüklüğüne olumlu katkı sağlayabileceği bulunmuştur. Otobüslerin iniş ve binişler nedeniyle duraklarda yaşadıkları zaman kaybı bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır. Gelecek çalışmalarda modelin bu etkiyi de değerlendirmeye alacak şekilde geliştirilmesi ve orta/büyük ölçekli toplu taşıma ağlarına uyarlaması hedeflenmektedir.

Kaynaklar

Baaj, M. H. and Mahmassani, H. S. (1991) An AI-based approach for transit route system planning and design. Journal of advanced transportation, 25(2), pp. 187-209.

Bagloee, S. A., Ceder, A. A. (2011) Transit-network design methodology for actual-size road networks. Transportation Research Part B: Methodological, 45(10), 1787-1804.

Ceder, A. and Wilson, N. H. (1986) Bus network design. Transportation Research Part B: Methodological, 20(4), 331-344.

Cipriani, E., Fusco, G., Patella, S. M., Petrelli, M. (2020) A Particle Swarm Optimization Algorithm for the Solution of the Transit Network Design Problem. Smart Cities, 3(2), 541-554.

Duran, J., Pradenas, L., Parada, V. (2019) Transit network design with pollution minimization. Public Transport, 11(1), 189-210.

Duran, J., Vermeir, E., Vansteenwegen, P. (2020) Considering emissions in the transit network design and frequency setting problem with a heterogeneous fleet. European Journal of Operational Research, 282(2), 580-592.

Finn, B. and Mulley, C. (2011) Urban Bus Services in Developing Countries and Countries in Transition: A Framework For Regulatory and Institutional Developments. Journal of Public Transportation, 14(4), pp. 89-107.

Geem, Z. W., Kim, J. H., Loganathan, G. V. (2001) A new heuristic optimization algorithm: harmony search. Simulation, 76(2), 60-68.

Guihaire, V., Hao, J. K. (2008) Transit network design and scheduling: A global review. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 42(10), 1251-1273.

Lampkin, W. and Saalmans, P. D. (1967) The design of routes, service frequencies and schedules for a municipal bus undertaking: A case study. Journal of the Operational Research Society, 18, pp. 375–397.

Mandl, C. E. (1979) Evaluation and Optimization of The Urban Public Transportation Networks. European Journal of the Operational Research, 5(6), pp. 396-404.

Marwah, B. R., Farokh, S., Umrigar, S. and Patnaik, S. B. (1984) Optimal design of bus routes and frequencies for Ahmedabad. Transportation Research Record, 994, pp. 41–47.

Mashiri, M. A. M., Moeketsi, P. N. and Baloyi, V. (1999) Increasing public transport market share in South Africa: The options. International Conference Series on Competition and Ownership in Land Passenger Transport, Cape Town, South Africa.

Ngamchai, S., Lovell, D. J. (2003) Optimal time transfer in bus transit route network design using a genetic algorithm. Journal of Transportation Engineering, 129(5), 510-521.

Nikolić, M. and Teodorović, D. (2014). A simultaneous transit network design and frequency setting: Computing with bees. Expert Systems with Applications, *41*(16), pp. 7200-7209.

Özcan T., Ceylan H. (2019) Toplu Taşıma Ağ Tasarımı ve Sefer Sıklığı Problemlerinin Çözümü: Sezgisel Bir Yaklaşım. 13. Ulaştırma Kongresi.

Pucher, J. and Korattyswaroopam, N. (2004) The Crisis of Public Transport in India: Overwhelming Needs but Limited Resources. Journal of Public Transportation, 7(4), pp. 1-20.

Pucher, J., Peng, Z. R., Mittal, N., Zhu, Y. and Korattyswaroopam, N. (2007) Urban Transport Trends and Policies in China and India: Impacts of Rapid Economic Growth. Transport Reviews, 27(4), 379-410.

Shih, M.C. and Mahmassani, H.S. (1994) A design methodology for bus transit networks with coordinated operations. Research report SWUTC/94/60016-1, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin.

Shih, M.C., Mahmassani, H. and Baaj, H. (1997) Planning and design model for transit route networks with coordinated operations. Transportation Research Record, 1623, pp.16–23.

Sinha, K. C. (2003) Sustainability and Urban Public Transportation. Journal of Transportation Engineering, 129(4), 331-341.

Transport Research Board "Making transit work." (2001) Special Rep.257, National Academy, Washington, D.C.

Vuchic, V. R. (2004) Urban Transit: Operations planning and economics. Hoboken.

Zhang, T., Ren, G., Yang, Y. (2020) Transit route network design for low-mobility individuals using a hybrid metaheuristic approach. Journal of Advanced Transportation.

Kavşakların Geometrik ve Fonksiyonel Alan Özelliklerinin Kazalara Etkisinin İncelenmesi

Ahmet ATALAY
Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ERZURUM
0 533 818 50 16
ahatalay@atauni.edu.tr
Serdar KISAOĞLU
Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü ERZURUM
0 505 913 22 49
serdarkisaoglu@hotmail.com

Özet

Bu çalışmanın amacı kentsel alanda bulunan sinyalize kavşakların geometrik ve fonksiyonel alan özelliklerinin şiddetli (ölümlü-yaralanmalı) kazalara etkisini incelemektir. Çalışmada, 2008-2017 yılları arasında Erzurum ili kentsel alanda bulunan 14 sinyalize kavşakta, meydana gelen şiddetli kazaların verileri kullanıldı.
Kavşakların geometrik ve fonksiyonel alan özelliklerinin kaza sıklığına etkisini belirlemek için istatistiksel model oluşturuldu. Oluşturulan bu modelde kaza sıklığı bağımlı değişken, yıllık ortalama günlük trafik, kavşağa giriş yapan şerit sayısı, en yakın kavşağa uzaklık, kavşak fonksiyonel alanında bulunan tesis bağlantısı sayısı, kavşağın kolları arasındaki yatay açı ile kavşağın kollarındaki boyuna eğim bağımsız değişken olarak seçildi. Çalışmada istatistiksel yöntem olarak genelleştirilmiş doğrusal modellerden poisson regresyon yöntemi kullanıldı. Bu çalışmada kazalara etki eden değişkenler için kaza değişim faktörleri araştırıldı.
Çalışma sonunda şiddetli kaza- yıllık ortalama günlük trafik arasındaki ilişkiyi ifade eden bir eşitlik oluşturuldu. Sinyalize kavşak kollarında anayoldan gelen trafik miktarı ile tali yoldan gelen trafik miktarı arasındaki farkın artması, şiddetli kaza sıklığında artış oluşturduğu tespit edildi. Kentsel yol ağında bulunan sinyalize kavşaklarda, kavşak fonksiyonel alanında tesis bağlantısı sayısı, kavşak kollarındaki maksimum boyuna eğim, kavşak kolları arasındaki minimum yatay açı, kavşağa giriş yapan şerit sayısı ve en yakın kavşağa uzaklık değişkenlerinin şiddetli kaza sıklığı üzerinde önemli etkiye sahip olduğu belirlendi. Çalışmada bağımsız değişkenlerin şiddetli kaza sıklığına olan etki miktarları da kaza değişim faktörü olarak hesaplandı.

Anahtar Kelime: Kaza, Kaza Değişim Faktörü, Poisson Regresyon Analizi.

Giriş

Kavşaklar ulaşım ağının küçük bir bölümünü oluşturmasına karşın, araçların dönüş ve geçiş manevralarından kaynaklı çatışma nedeniyle kazaların yoğunlaştığı yol kısımlarıdır. Kavşaklarda çatışmaları azaltmak ve güvenliğin artırılması amacı ile sinyalizasyon sistemleri kurulabilmektedir. Bu sistemlerin kurulması kavşaklarda güvenliğin artırılmasında her zaman arzu edilen katkı sağlamamaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı sinyalize kavşaklarda güvenliğin artırılması ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Antonucci ve diğ., (2004) çalışmalarında sinyalize kavşaklarda meydan gelen kazaların azaltılması için yapılması gereken stratejileri sıralamışlardır. Bu tavsiyelerden ikisi, kavşaklar içerisinde görüş mesafesini artırmak ve kavşak geometrilerinde iyileştirme yapılması olarak belirtmişlerdir.

Sinyalize kavşaklarda yapılmış olan kaza analiz çalışmalarında kazalara etki eden çok farklı değişkenlerin etkileri literatürde incelenmiştir. Özen, (2020) kavşaklarda orta refüj, hız sınırı, birincil ve ikincil kavşak kollarındaki trafik miktarı, kavşağa yaklaşan şerit sayısı, sinyalizasyon ve diğer değişkenlerin kaza sıklığına etkisini belirlemiştir. Islam ve diğ., (2020) kavşak yakınında bulunan tesislerin, kaza oluşumunda etkisinin olduğu belirtmişlerdir. Xu ve diğ., (2014) köşe açıklığı uzunluğu, trafik hacmi, arazi kullanım türü, ana caddeler için sola dönüş şeritlerinin sayısı, ana caddelerdeki şerit sayısı, hız sınırı ve kavşak kol eğimi ile kazalar arasında anlamlı ilişkiler olduğunu tespit etmişlerdir. Dong ve diğ., (2016) çalışmalarında değişken olarak YOGT (Yıllık Ortalama Günlük Trafik), ağır taşıt %, şerit genişlikleri, banket genişlikleri, sola dönüş şeritleri, hız sınırları ve kavşak kollarının kesişme açısını incelemişlerdir. Kumara ve Chin (2005), çalışmalarında birçok değişkenle birlikte, kavşağa yaklaşan şerit sayısı, kavşak kollarının boyuna eğimi, değişken olarak seçmişlerdir. Nightingale ve diğ., (2017) çalışmalarının sonucunda, 90 derecelik bir kavşaktan her 10 derece azalması durumunda, üç kollu kavşaklarda %3, dört kollu kavşaklarda ise %4 daha fazla kaza meydana geldiği belirlemişlerdir. Kumfer ve diğ., (2019) kavşak açısının kavşak güvenlik performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Al-Marafi ve diğ., (2021), kavşaklarda meydana gelen kazaları tahmin etme ve kazaları etkileyen değişkenlerin etki miktarlarını belirlemek için KDF (Kaza Değişim Faktörü) hesaplamışlardır. Ingle ve diğ., (2023) kavşak kolları arasındaki yatay açının, kazalara etkisini araştırmışlardır. Davis (2014), KDF'lerin, kaza sıklığını tahmin etme kabiliyetini ele almıştır. Wu ve Lord (2017), çalışmalarında KDF'lerin hangi durumlarda yanlış sonuçlar vereceği değerlendirmişlerdir. Wang ve diğ., (2017) kavşaklarda KDF güvenirliğini incelemişlerdir. Noland ve Adediji, (2018) KDF lerin kazaları tahmin etme kabiliyetini tartışmışlardır.

Bu çalışmada sinyalize kavşaklarda meydana gelen şiddetli kaza sıklığına, etkisi olan kavşağın geometrik ve konum özellikleri incelenmiştir.

Veri

Bu çalışmada veri olarak 2008-2017 yılları arasında Erzurum kentsel alanda belirlenen 14 adet sinyalize kavşağın fonksiyonel alanlarında, meydana gelen şiddetli kazaların verileri kullanılmıştır. Kavşaklar şehrin kentsel alanını kapsayacak şekilde rastgele seçilmiştir.



a) Erzurum Şehir Merkezi Çalışma Alanı Sınırları



b) Örnek Kavşakların Uydu Görüntüsü

Şekil 1 Çalışma Alanı Uydu Görüntüsü

Kavşakların şiddetli kaza sıklığı bağımlı değişken olarak seçilmiştir. Bağımsız değişkenler Tablo 1 de belirtilmiştir.

Tablo 1 Çalışmada Kullanılan Değişkenler.

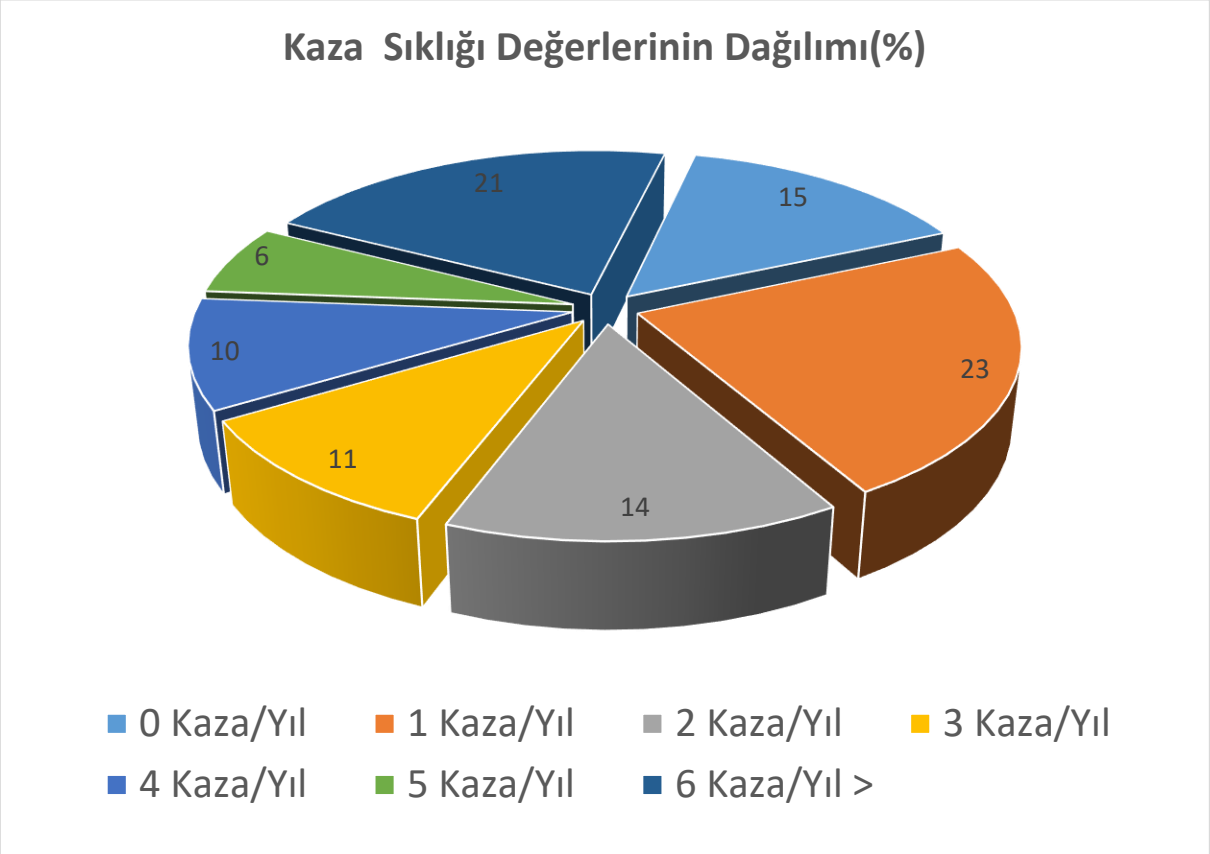
DEĞİŞKENLER	BİRİM	DEĞİŞKENİN TÜRÜ	AÇIKLAMA
Y(Şiddetli Kaza Sıklığı)	Kaza/yıl	Bağımlı Değişken	Bir yıl içerisinde meydana gelen ölümlü, yaralanmalı kazaların sayısı
X_1 (YOGT Anayol)	Birim otomobil /gün	Bağımsız Değişken	Bir günde ana yoldan kavşağa giriş yapan toplam birim oto cinsinden taşıt sayısı
X_2 (YOGT Taliyol)	Birim otomobil /gün	Bağımsız Değişken	Bir günde ana yoldan kavşağa giriş yapan toplam birim oto cinsinden taşıt sayısı
X_3 (Kavşak Kollarındaki Maksimum Eğim)	%	Bağımsız Değişken	Kavşak kollarına ait boyuna eğimlerin en büyüğü
X_4(Kavşak Kolları Arasındaki Minimum Yatay Açı)	Derece	Bağımsız Değişken	Kavşağın yatay geometrisinde kollar arasında oluşan açının en küçüğü
X_5(Önceki-Sonraki Kavşağa En Yakın Uzaklık)	M	Bağımsız Değişken	En yakın komşu kavşağa olan uzaklık
X_6 (Kavşağa Giriş Yapan Şerit Sayısı)	Adet	Bağımsız Değişken	Kavşağa giriş yapan şeritlerin toplam sayısı
X_7 (Diğer Etkenler)	Binaların/Tesislerin Toplam Sayısı	Bağımsız Değişken	Kavşağın fonksiyonel alanı içerisinde tesis bulunması

Çalışmada kullanılan değişkenlerin minimum ve maksimum değerleri Tablo 2 de belirtilmiştir.

Tablo 2 Değişkenlere Ait Frekans Tablosu.

DEĞİŞKENLER	N	Minimum	Maximum	Ortalama	Varyans
Y (Şiddetli Kaza Sıklığı)	140	0	19	4,78	15,880
X_1 (YOGT Anayol)	140	6.527	80.121	30.626	444.526.266
X_2 (YOGT Taliyol)	140	3.244	42.796	15.578	114.095.562

X_3 (Kavşak Kollarındaki Maksimum Eğim)	140	0,0198	0,1275	0,044	0,000
X_4 (Kavşak Kolları Arasındaki Minimum Yatay Açı)	140	30	90	66,98	426.82
X_5 (Önceki-Sonraki Kavşağa En Yakın Uzaklık)	140	80	510	259,16	13928
X_6 (Kavşağa Giriş Yapan Şerit Sayısı)	140	7	14	11,07	3,354
X_7 (Diğer Etkenler)	140	0	3	1,95	0,792



Şekil 2 Kaza Sıklığı Değerlerinin Dağılımı (%).

Şekil 2'de görüldüğü üzere 0 kaza/yıl kaza sıklığına sahip kazalar, toplam kaza verilerinin %15'ini oluştururken, 6 kaza/yıl üzeri veriler ise toplam kaza verilerinin % 21'ini oluşturmaktadır.

Yöntem

Poisson Regresyon Analizi Yöntemi

Bu çalışmada bağımsız değişkenler kullanılarak bağımlı değişkeni tahmin edebilen bir kaza tahmin model oluşturulmuştur. Bu model kullanılarak bağımsız değişkenlerin kazalara etki miktarı hesaplanmıştır.

Kaza tahmin modelleri, kaza sıklığını trafik akımının ve diğer yol karakteristiklerinin bir eşitliği olarak ifade eden matematiksel eşitliklerdir. Fakat kaza tahmin modellerinin katsayıları, geleneksel normal en küçük kareler veya ağırlıklı en küçük kareler regresyonu ile tahmin edilemezler. Çünkü kaza tahmin modelleri kabulleri, ayrık, negatif olmayan kaza veri değerleri ile trafik akımının artmasıyla kaza sayılarının da artmasının gerçekliliği tarafından ihlal edilmektedir. Bunun için, kaza tahmin modellerinin katsayıları yaygın olarak genelleştirilmiş doğrusal modellerden yararlanılarak ayarlanan maksimum olabilirlik yöntemi ile tahmin edilmektedir (Lord ve Persaud, 2000).

Poisson regresyon modeli ayrık değişkenlere uygulanan en temel modeldir. Poisson dağılımı aralıklı, negatif olmayan, rasgele ve ayrık olaylar olan kazaların ifade edilmesi için uygun bir metottur (Hadayeghi ve diğ., 2002).

Her bir bölgedeki kaza sayısını belirten Y_i bağımlı değişkeni, X_{i1}, X_{i2},…, X_{iq} bağımsız değişkenleri arasındaki ilişki poisson en çok olabilirlik kestirim yöntemiyle aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$P(Y_i = y_i|X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}) = \frac{e^{-\mu(i)}.\mu(i)^{-y(i)}}{\mathrm{y(i)!}} \quad i = 1,2,\dots \qquad (1)$$

Burada;

P(Y= y | X_{i1}, X_{i2}, …, X_{iq}) = Verilen bölgedeki Y kazalarının olma olasılığı

yi = Bir zaman periyodu boyunca i. kesimde oluşan kaza sayısı

μi = Bir zaman periyodu boyunca beklenen kaza sayısı

Ortalama μi değerinin logaritması, bağımsız değişkenlerin doğrusal bir eşitliği olarak kabul edilir.

Yani,

$$\ln(\mu_i) = b_0 + b_1 * X_{i1} + b_2 * X_{i2} + \cdots + b_n * X_{in} \qquad (2)$$

μ, bağımsız değişkenlerin üstel eşitliği olarak, 3 nolu eşitlikte belirtildi.

$$\mu_i = \exp(b_0 + b_1 * X_{i1} + b_2 * X_{i2} + \cdots + b_n * X_{in}) \qquad (3)$$

Model katsayıları olan, b_0, b_1, b_2,…,b_q değerleri maksimum olabilirlik yöntemiyle tahmin edilir (Yıldız, 2005).

Olabilirlik eşitliği;

$$\mathrm{L}(\mu_i) = \prod_i^n \frac{e^{-\mu(i)}\mu(i)^{y(i)}}{\mathrm{y(i)!}} \qquad (4)$$

Poisson regresyon analizinde verilerde aşırı yayılım olması veya kümelenme olması durumunda modelin açıklayıcı gücünün zayıf olmasına neden olabilir. Bu durum

nedeniyle araştırmacılar negatif binom modeli kullanarak daha iyi sonuç elde edebilirler. Kaza verilerinde çok sayıda sıfır veri olduğunda ise yukarıda bahsedilen iki model uygun bir kaza tahmin modeli veya analizi yapmaya imkân veremeyebilir. Bu durumda araştırmacılar poisson log normal model, sıfır şişirilmiş negatif binom model veya empirical bayes model gibi yaklaşımları tercih etmektedirler(Lord ve Mannering, 2010).

Çalışma alanın küçük olması ve kaza verilerinin normal dağılıma yakın olması nedeniyle, bu çalışmada poisson regresyon analizi ile anlamlı sonuçlara ulaşılabilmiştir.

KDF

KDF, belirlenen bir sahada, belirli bir yöntem uygulandıktan sonra beklenen kaza sayısını hesaplamak için kullanılan çarpımsal bir katsayıdır. 1,0 dan büyük bir KDF kazalarda artışı, 1,0 dan küçük KDF kazalarda azalışı ifade eder. FHWA (Federal Highway Administration) katkıları ile 2010 yılında nitelikli KDF hazırlama rehberi hazırlanmıştır (Gross ve diğ., 2010). Bu rehberde KDF değerinin hesaplama yöntemleri detaylı olarak anlatılmıştır. Bu çalışmada kesitsel tasarım (Cross-Sectional) yöntemi kullanılarak KDF elde edilmiştir.

Bu yöntem bir zaman periyodu altında, sahada meydana gelen kazalardan elde edilen verilerden hesaplanır. Kesitsel yöntem, bir karşı önlemin uygulanamadığı dar alanlarda KDF hesaplamakta kullanılır.

Bu yöntemi bir örnek yardımı ile anlatmak gerekirse; banket genişliği değişkenini ele alalım. Bir örnek alanda banket genişliğinin 1 m den 2 m ye çıkarılmasının kazalar üzerinde etkisi araştırma konusu olsun. Sahada 1 m den 2 m ye çıkarılmış çok az yol kesimi olabilir veya hiç olmayabilir. Bu durumda kaza sayılarını karşılaştırma imkânı olmayacağı için, öncesi sonrası yöntemi ile KDF hesaplamak mümkün olmayacaktır. Bu durumda sahada birçok yerde 1 m ve 2 m banket genişliğine sahip olan yerlerde meydana gelen kaza sıklıkları modellenerek KDF araştırması yapılabilir (Gross ve diğ., 2010).

Bu çalışma alanında bir karşı önlemin uygulanamayacağı nedeni ile, kesitsel tasarım (Cross-Sectional) yöntemi ile KDF hesaplanması tercih edilmiştir.

Bu çalışmada araştırılan bağımsız değişkenin poisson regresyon analizinde bulunan anlamlı ilişkisi kullanılarak KDF 'ler elde edilmiştir. Bulunan bu KDF 'ler sahadaki güvenlik sınırları içerisinde % 95 güven aralığında kazaları tahmin etme kabiliyetine sahip olacaktır.

Bulgular

Bu çalışmada 2008-2017 yılları arasında meydana gelen şiddetli kazalara ait veriler ile örnek kavşaklara ait diğer veriler poisson regresyon metodu yardımı ile analiz edildi. Poisson regresyon analizi sonuçları yukarıda sunulan eşitlik 3 kullanılarak hesaplandı. Analiz SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) paket programı kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 4'de verilen sonuçlar ışığında bu kavşaklar için %95 güven aralığında uzun dönem kaza sıklığı eşitlik 5'de ifade edilmiştir.

$$Y = e^{(-1{,}238+0{,}00005159.x1-0{,}00009774.X2+1{,}974.x3-0{,}003.x4+0{,}001.x5+0{,}151.X6+0{,}372.x7)} \quad (5)$$

Burada;

Y= Şiddetli kaza sıklığı (şiddetli kaza/yıl)
X_1= Anayol YOGT (birim otomobil/gün)
X_2= Taliyol YOGT (birim otomobil/gün)
X_3=Kavşak kollarının maksimum eğimi (%)
X_4= Kavşak kolları arasındaki minimum yatay açı (derece)
X_5=Önceki-sonraki kavşağa en yakın uzaklık(m)
X_6= Kavşağa giriş yapan şerit sayısı (Adet)
X_7==Diğer Etkenler (adet)

Tablo 3 Omnibus Testi

Ki kare olasılık oranı	Serbestlik derecesi	P değeri
3968,376	7	0.000

Modelde 7 bağımsız değişken için ki kare olasılık oranı 3968,376 olup, p değeri 0,000 dır. Modelin bağımsız değişkenleri, bağımlı değişken üzerinde anlamlı etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 4 Poisson Regresyon Analizi Sonuçları

Değişkenler	**Katsayılar (B)**	**Standart Sapma**	**Wald İstatistiği %95 Güven Aralığı**		**Hipotez Testi**		P Değeri
			En Düşük	**En Yüksek**	**Wald Ki Kare**	**df**	
Sabit	-1,238	0,2572	-1,742	-0,734	23,156	1	0,000
X_1	$5{,}159.10^{-5}$	2,6328E-06	4,643E-05	5,675E-05	383,999	1	0,000
X_2	$-9{,}774.10^{-5}$	4,6622E-06	0,000	-8,860E-05	439,510	1	0,000
X_3	1,974	0,9080	0,194	3,753	4,724	1	0,030
X_4	-0,003	0,0014	-0,006	0,000	4,256	1	0,039
X_5	0,001	0,0001	0,001	0,001	51,887	1	0,000
X_6	0,151	0,0159	0,120	0,182	90,132	1	0,000
X_7	0,372	0,0229	0,327	0,417	264,569	1	0,000

Şiddetli Kaza Sıklığı ve YOGT

Şiddetli kazalar ile YOGT arasındaki temel ilişkiyi hesaplamak için, diğer bağımsız değişkenlerin en düşük kazayı hesaplayan seviyeleri ile 5 nolu eşitlik kullanılarak Tablo 5 oluşturulmuştur.

Tablo 5 Şiddetli Kaza – YOGT.

Kavşak No	Şiddetli Kaza Sıklığı	YOGT Anayol	YOGT Tali Yol	AÇIKLAMA
	Kaza / Yıl	Birim/oto	Birim/oto	
1	0,83	23.973	11.208	Diğer Etkenler=0, Kavşak Kollarındaki Maksimum Eğim=%1,98, Kavşak Kolları Arasındaki Minimum Yatay Açı =90,Şerit Sayısı=7, En Yakın Kavşağa Uzaklık=80 m dir.
2	0,87	16.810	6.868	
3	0,95	17.338	6.281	
4	1,09	18.267	5.378	
5	0,38	21.153	17.667	
6	1,01	22.584	8.485	
7	0,65	8.754	5.651	
8	0,41	11.428	11.863	
9	1,21	64.363	28.654	
10	0,30	12.263	15.659	
11	0,42	54.595	34.356	
12	0,75	9.095	4.349	
13	1,40	25.267	6.553	
14	0,94	23.461	9.582	

Şiddetli kaza sıklığının bağımlı değişken olduğu, YOGT anayol ve YOGT tali yol değişkenlerinin bağımsız değişken atanarak yapılan parametre tahmini sonucu eşitlik 6 elde edilmiştir. Bu eşitlik diğer bağımsız değişkenlerin, şiddetli kaza sıklığına etkilerinin en temel durumunun göstergesidir. Bu denklem GPE (Güvenlik Performans Eşitliği) olarak tanımlanır.

Tablo 6. Şiddetli Kazalar- YOGT Parametre Tahmini.

			% 95 Güven Aralığı		Wald Ki Kare	df	P Değeri
	B	Standart Hata	Düşük	Yüksek			
Sabit	-0,143	0,2085	-0,551	0,266	0,468	1	0,494
YOGT Anayol	0,699	0,0302	0,640	0,758	536,661	1	0,000

YOGT Taliyol	-0,648	0,0280	-0,703	-0,593	534,198	1	0,000
	0,020[a]	0,0024	0,016	0,026			

$$Y=-0,143+0,699Ln(X_1)-0,648Ln(X_2) \quad (6)$$

Burada;
Y=Şiddetli Kaza Sıklığı (Kaza/Yıl)
X1= YOGT Anayol (Birim oto/Gün)
X2= YOGT Taliyol (Birim oto/Gün)

Tablo 6 da görüldüğü üzere % 95 güven aralığında YOGT(Ana), YOGT(Tali) ile şiddetli kaza sıklığı arasındaki ilişki eşitlik 6'da belirtildiği şekilde bulunmuştur.

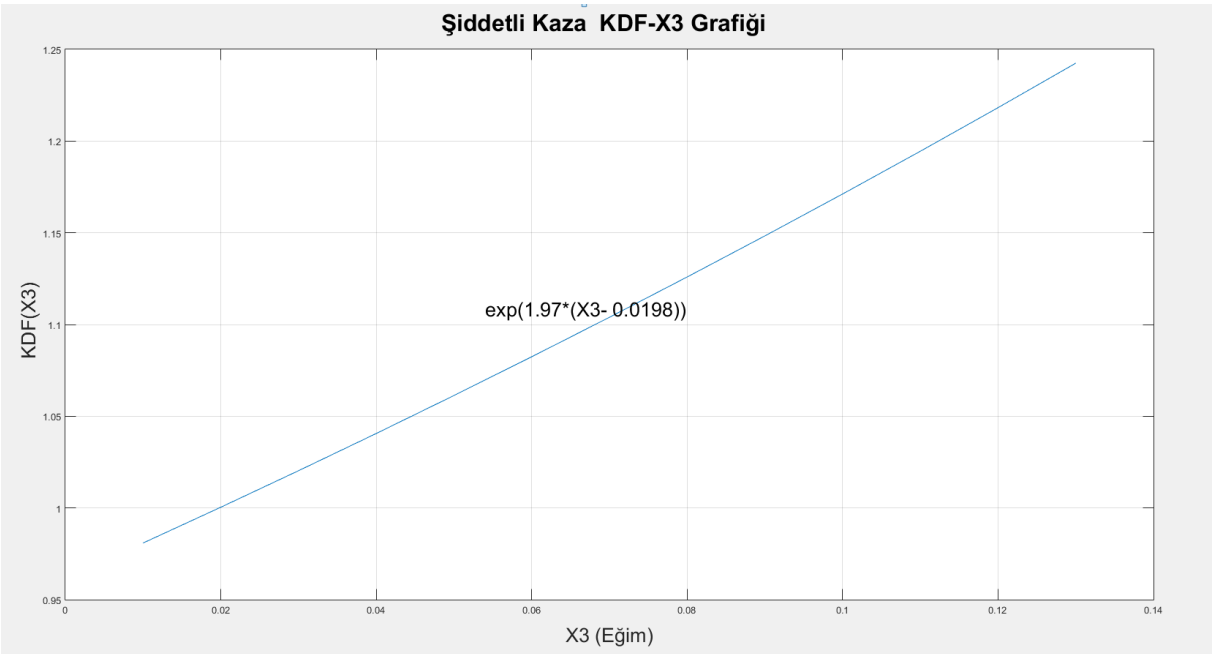
KDF

Bu çalışmada hazırlanan KDF değerleri, değişkenlerin Tablo 2'de belirtilen maksimum ve minimum değerleri güvenlik sınır kabul edilerek, KDF değerleri aşağıdaki grafiklerde bu güvenlik sınırlar arasında hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değerler üzerinden kaza verilerindeki değişim incelenmiştir.

Kavşak Kollarının Maksimum Eğimi (X_3)

X_3 değişkeni 5 nolu eşitlikte kazalar üzerindeki etkisi $e^{1,974(X3)}$ dir. Burada X_3 değişken değeridir. Değişkenin %1,98 lik kısmının kazalara etkisi GPE içinde olduğundan bu değer çıkarılır. KDF_{X3}, KDF denklemi eşitlik 7 de belirtilmiştir.

$$KDF_{X3}= e^{1,974(X3-0.0198)} \quad (7)$$



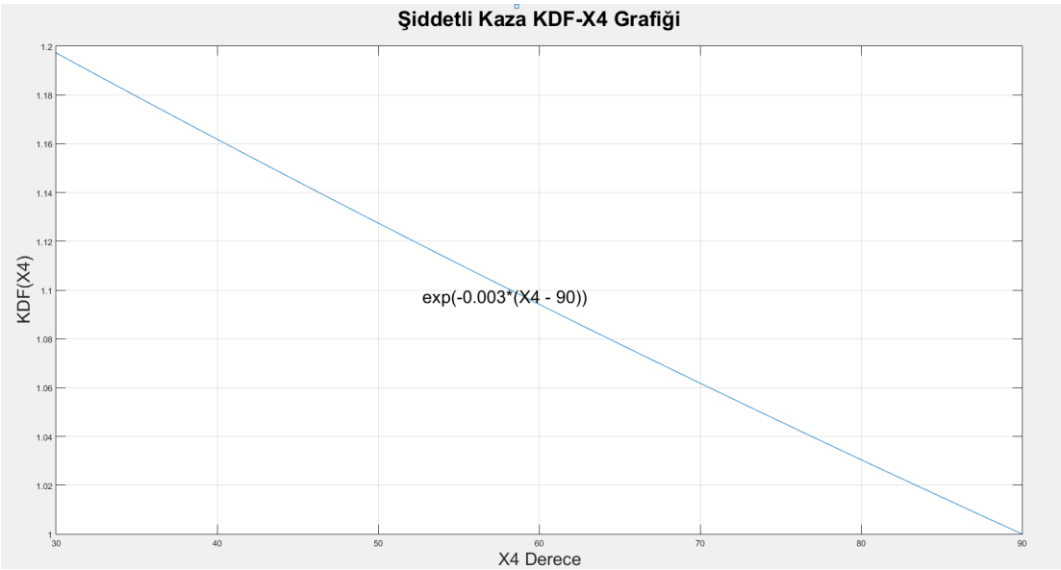
Şekil 3 X_3 –KDF_{X3}.

Kavşak kollarında bulunan maksimum boyuna eğimin % 2 den, % 12 ye çıkması durumunda şiddetli kazalar 1,20 kat artmaktadır (Şekil 3).

Kavşak Kolları Arasındaki Minimum Yatay Açı (X_4)

X_4 değişkeni 5 nolu eşitlikte kazalar üzerindeki etkisi $e^{-0,003(X4)}$dir. Burada X_4 değişken değeridir. Değişkenin 90º lik kısmının kazalara etkisi GPE içinde olduğundan bu değer çıkarılır. KDF_{x4} denklemi eşitlik 8 de belirtilmiştir.

$$KDF_{X4}=e^{-0,003(X4-90)} \quad (8)$$



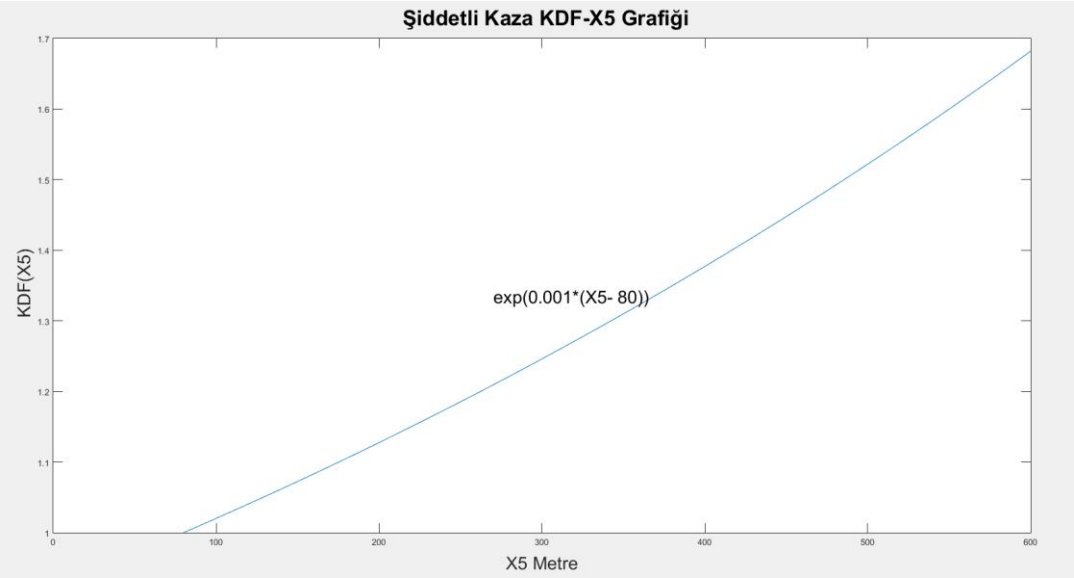
Şekil 4 X_4 –KDF_{X4}.

Kavşak kolları arasındaki minimum açı 90º den 30º ye düştüğünde şiddetli kaza sıklığı 1,2 kat artmaktadır (Şekil 4).

Şiddetli Kazalar Önceki Sonraki Kavşağa En Yakın Uzaklık (X_5)

X_5 değişkeni 5 nolu eşitlikte kazalar üzerindeki etkisi $e^{0,001(X5)}$dir. Burada X_5 değişken değeridir. Değişkenin 80 m lik kısmının kazalara etkisi GPE içinde olduğundan çıkarılır. KDF_{X5} denklemi eşitlik 9 da belirtilmiştir.

$$KDF_{X5}= e^{0,001(X5-80)} \quad (9)$$



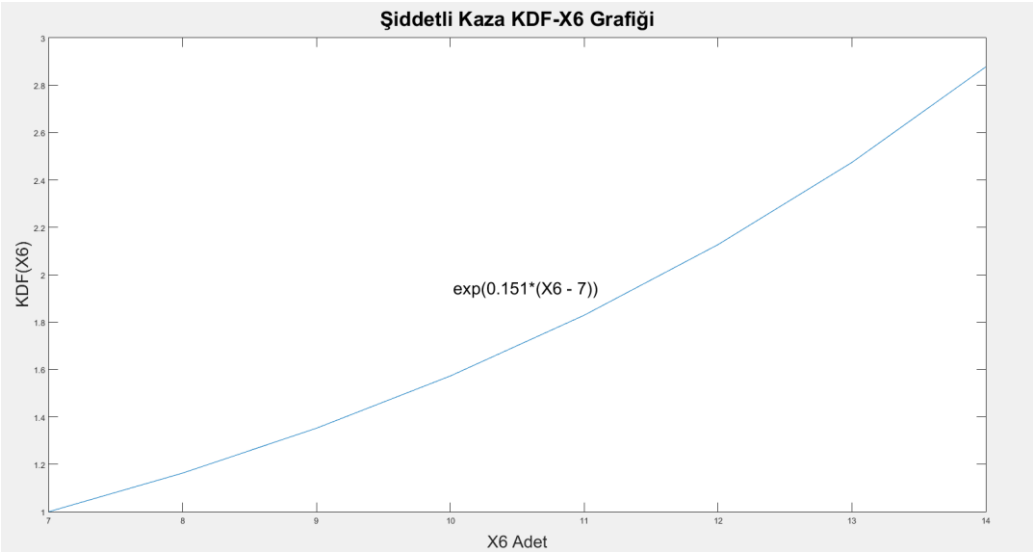
Şekil 5 X_5-KDF.

Kentsel alanda bulunan sinyalize kavşakların öncesinde ve sonrasında bulunan en yakın kavşak uzaklığı azaldıkça kavşaklarda kazaların azaldığı tespiti yapılmıştır. Bu uzaklığın 80 m den 510 m'ye çıkması durumunda şiddetli kazaların yaklaşık 1,5 kat artığı görülmüştür.(Şekil 5).

Kavşağa Giriş Yapan Şerit Sayısı (X_6)

X_6 değişkeni 5 nolu eşitlikte kazalar üzerindeki etkisi $e^{0,151(X6)}$ dır. Burada X_6 değişken değeridir. Değişkenin 7 adetlik kısmının kazalara etkisi GPE içinde olduğundan çıkarılır. KDF_{X6} denklemi eşitlik 10 da belirtilmiştir.

$$KDF_{X6} = e^{0,151(X6-7)} \quad (10)$$



Şekil 6 X_6-KDF.

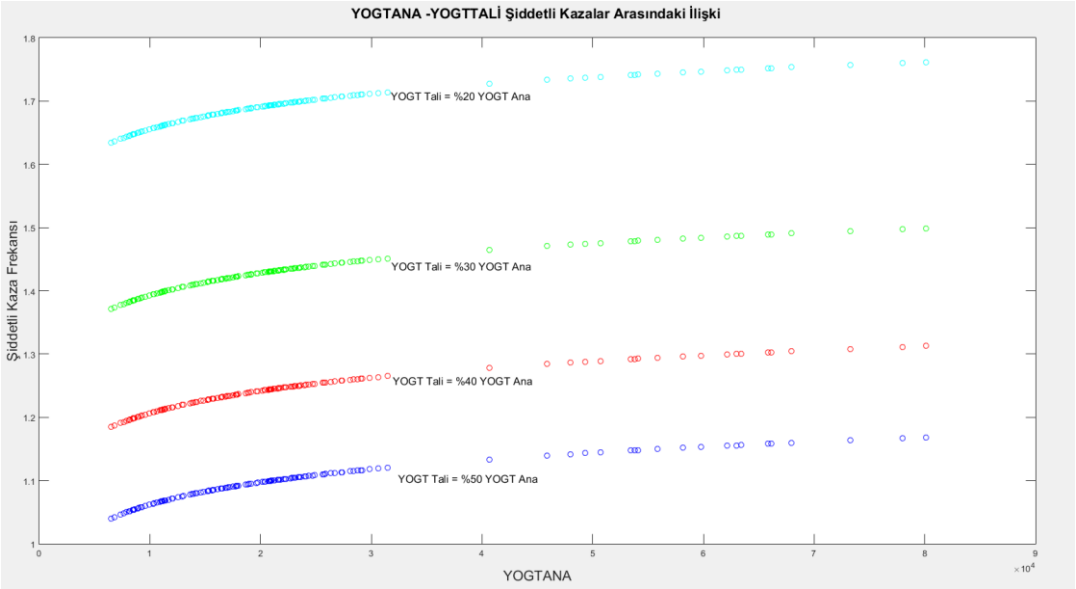
Kavşağa giriş yapan şerit sayısı 7 adetten 14 âdete çıktığı zaman kazalar, 2,8 kat artığı belirlenmiştir (Şekil 6).

Diğer Etkenler (X_7)

Diğer etkenler değişkeninin 5 nolu eşitlikte kazalar üzerindeki etkisi $e^{0,372(X7)}$ dir. Burada X_7 değişken değeridir. Diğer etkenler değeri bir olduğunda KDF_{X7}=1,45, iki olduğunda KDF_{X7} =2,10, üç olduğunda KDF_{X7} =3,05 olur.

Ana Yol ve Tali Yol YOGT leri Arasındaki Farkın Kazalar İle İlişkisi

Bu çalışmada şiddetli kazaların YOGT ana, YOGT tali arasındaki fark miktarı ile şiddetli kaza sıklığı arasında anlamlı ilişkiler bulundu. Anayol trafiği ile tali yol trafiği arasındaki fark açıldıkça şiddetli kaza sayısı artmaktadır. Bu durum Şekil 7' de belirtildi.



Şekil 7 Şiddetli kazalar -YOGT ana-YOGT tali.

Buna göre ana yol YOGT ile tali yol YOGT değerleri arasında fark artıkça şiddetli kaza sıklığı artmaktadır (Şekil 7).

Sonuçlar

Bu çalışmada kentsel alanda bulunan sinyalize kavşakların konum ve geometrik özelliklerinin şiddetli kazalar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şiddetli kazaları en fazla artıran değişken, diğer etkenler değişkenidir. Bir kavşağın fonksiyonel alanında 1 adet bağlantı olması durumunda kazalar 1,45 kat, 2 adet olması durumunda 2,10 kat ve 3 adet olması durumunda ise 3,05 kat artacağı hesaplanmıştır.

Bu çalışmada kavşağa giriş yapan şerit sayılarının azalması ve önceki ve sonraki kavşaklar arası mesafenin yakınlaşması güvenliğe olumlu katkı sağladığı tespit edilmiştir. Bunun muhtemel nedeni, trafik akım hızının azalmasına bağlı olarak, yoğunluğun artması nedeniyle kavşak güvenliğine olumlu etki yapmış olabilir.

Kavşak fonksiyonel alanındaki tesis bağlantılarının önemli bir güvenlik riski olması nedeniyle, bu tur bağlantıların yapılmasına izin verilmemesi önerilir.

Çalışma sonuçlarına göre kavşak tasarımlarında, kavşak kollarının düşey geometrilerinde boyuna eğimlerin azaltılması ve kavşak kolları arasındaki yatay açıların dik ve dike yakın olması durumunda kaza risklerinin azalmasına neden olacaktır.

Teşekkür

Erzurum Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Daire Başkanlığı ve Erzurum İl Emniyet Müdürlüğü'ne bu çalışmada yapmış oldukları yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Al-Marafi, M. N., Somasundaraswaran, K., & Bullen, F. (2021). Development of crash modification factors for intersections in Toowoomba city. *International Journal of Urban Sciences*, *25*(1), 104–123. https://doi.org/10.1080/12265934.2020.1743739

Antonucci, N. D., Hard, K. K., Slack, K. L., Pfefer, R., & Neuman, T. R. (2004). Guidance for Implementation of the Aashto Strategic Highway Safety Plan. Volume 7: a Guide for Reducing Collisions Signalized Intersections. Içinde *NCHRP Report* (C. 12, Sayı 500). http://www.national-academies.org/trb/bookstore

Davis, G. A. (2014). Crash reconstruction and crash modification factors. *Accident Analysis and Prevention*, *62*, 294–302. https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.09.027

Gross, F., Persaud, B., & Lyon, C. (2010). *A Guide to Developing Quality Crash Modification Factors*. http://www.cmfclearinghouse.org/collateral/cmf_guide.pdf

Hadayeghi, A., Shalaby, A. S., & Persaud, B. N. (2002). Macrolevel Accident Prediction Models for Evaluating Safety of Urban Transportation Systems. *Transportation Research Record*, *03–4151*(03), 87–95.

Ingle, A., & Gates, T. J. (2023). Crash Modification Functions for Rural Skewed Intersections. *Transportation Research Record*, *2677*(1), 1604–1617. https://doi.org/10.1177/03611981221105272

Islam, M. R., Barua, S., Akter, S., Hadiuzzaman, M., & Haque, N. (2020). Impacts of nongeometric attributes on crash prediction at urban signalized intersections of developing countries. *Journal of Transportation Safety and Security*, *12*(5), 671–696. https://doi.org/10.1080/19439962.2018.1526840

Kumara, S. S. P., & Chin, H. C. (2005). Application of Poisson Underreporting Model to Examine Crash Frequencies at Signalized Three-Legged Intersections. *Transportation Research Record*, *46*, 46–50.

Kumfer, W., Harkey, D., Lan, B., Srinivasan, R., Carter, D., Patel Nujjetty, A., Eigen, A. M., & Tan, C. (2019). Identification of Critical Intersection Angle through Crash Modification Functions. *Transportation Research Record*, *2673*(2), 531–543. https://doi.org/10.1177/0361198119828682

Lord, D., & Mannering, F. (2010). The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *44*(5), 291–305. https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.02.001

Lord, D., & Persaud, B. N. (2000). *Accident Prediction Models With and Without Trend: Application of the Generalized Estimating Equations (GEE) Procedure*.

Nightingale, E., Parvin, N., Seiberlich, C., Savolainen, P. T., & Pawlovich, M. (2017). Investigation of skew angle and other factors influencing crash frequency at high-speed rural intersections. *Transportation Research Record*, *2636*(1), 9–14. https://doi.org/10.3141/2636-02

Noland, R. B., & Adediji, Y. (2018). Are estimates of crash modification factors mis-specified? *Accident Analysis and Prevention*, *118*, 29–37. https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.05.017

Özen, M. (2020). Investigation of the factors affecting the crash frequency at four-legged signalized urban intersections. *Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish*

Chamber of Civil Engineers, *31*(3), 10033–10053. https://doi.org/10.18400/TEKDERG.509128

Wang, J. H., Abdel-Aty, M., & Wang, L. (2017). Examination of the reliability of the crash modification factors using empirical Bayes method with resampling technique. *Accident Analysis and Prevention*, *104*, 96–105. https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.04.022

Wu, L., & Lord, D. (2017). Examining the influence of link function misspecification in conventional regression models for developing crash modification factors. *Accident Analysis and Prevention*, *102*, 123–135. https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.012

Xu, X., Teng, H., Kwigizile, V., & Mulokozi, E. (2014). *Modeling Signalized-lntersection Safety with Corner Clearance*. https://doi.org/10.106l/(ASCE)TE.1943-5436.0000636

Yıldız, Ö. (2005). Poisson regresyon analizi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *4*(7), 59–72.

Üniversite Öğrencilerinin Trafik İşaret Levhaları Tanıma Düzeylerinin Araştırılması: Yalova Üniversitesi Örneği

Ayşe Polat[1]
Yalova Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği
e-posta: ayse.polat@yalova.edu.tr

Gürcan Sarısoy[2]
Yalova Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği
e-posta: gurcan.sarisoy@yalova.edu.tr

Hüseyin Onur Tezcan[3]
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
e-posta: tezcanhu@itu.edu.tr

Öz

Dünyada motorlu taşıt kullanımındaki artışla beraber trafik güvenliği sorunları da artmaktadır. Trafikte güvenliği sağlamak amacıyla, geçmişten günümüze kadar gelen çeşitli düzenleme araçları bulunmaktadır. Bu araçlardan biri de trafik işaret levhalarıdır. Trafik işaret levhaları sürücülere yol durumu, hız limitleri, yönler ve özel uyarılar hakkında bilgi veren sembol, renk ve yazılardan oluşan araçlardır. Trafik işaret levhalarının hem sürücüler hem de yayalar tarafından bilinip dikkate alınması; olası kazaların önüne geçerek, trafik güvenliğini artırmaktadır. Bu nedenle, trafik işaret levhalarının bilinirliği trafik güvenliği açısından önemli bir konudur. Öte yandan, ülkemizde trafik işaret levhaları bilinirliğinde eksikliklerin olduğu literatürde görülmektedir. Bu çalışmada, üniversite öğrencilerinin trafik işaret levhaları tanıma düzeyleri araştırılmıştır. İlk olarak trafik işaret levhalarının tasarımı dikkate alınarak levhalar kolay ve zor anlaşılır şekilde iki gruba ayrılmış ve her gruptan dört adet levha belirlenmiştir. Çalışmada, Yalova Üniversitesi öğrencileri ile çevrim içi olarak 221 anket yapılmıştır. Anket çalışmasında, öğrencilerin bireysel özellikleri ve trafik işaret levha görsellerine ait sorular yer almaktadır. Anket sorularına verilen yanıtlardan yararlanılarak trafik işaret levhaları tanıma düzeyi üzerine etki eden unsurlar ikili lojit model ile incelenmiştir. Modelden elde edilen sonuçlara göre; anlaşılması kolay levhaları tanıma düzeyinde kadın olma, kayıtlı eğitim disiplini sayısal olma ve ehliyet sahibi olma değişkenleri istatistiksel olarak anlamlıyken anlaşılması zor levhaları tanıma düzeyinde büyükşehirde lise eğitimi alma ve ehliyet sahibi olma değişkenleri anlamlıdır. Anlamlı bulunan levha gruplarına göre kadınların, kayıtlı eğitim disiplini sayısal olmayanların ve büyükşehirde lise eğitimi alanların levha tanıma düzeyinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bununla birlikte her iki levha grubunda da ehliyeti olan bireylerde levha tanıma düzeyinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Trafik işaret levhası, levha tanıma düzeyi, levha bilinirliği, ikili lojit model, trafik güvenliği, düşey işaretleme.

Giriş

Ülkemizde 2021 yılı boyunca 1.186.353 trafik kazası meydana gelmiş ve bu kazaların sonucunda 5.362 kişi hayatını kaybetmiştir. 2021 yılı TÜİK verilerine göre, trafik kazalarına neden olan unsurlar incelendiğinde, %87,1'ini sürücü kusurları oluştururken %8,20'sini ise yaya kusurları oluşturmaktadır (URL-1). Gerçekte trafik kazalarına neden olan unsurlar, ayrı ve ayrıntılı bir araştırma konusu olmalıdır. İlgili unsurlar içerisinde sürücü kusurlarının fazla çıkmasının nedenleri arasında kaza tespit tutanaklarının, bu konuda uzman olmayan görevliler tarafından hazırlanmış olması da yer almaktadır. Bu durum, diğer unsurları ve özellikle yol kusurlarını geri planda bırakmaktadır. Ancak kazaların önemli bir kısmının insan kaynaklı etmenlerden ortaya çıkması, trafikte bireylerin davranışlarının araştırılmasının önemli olduğunu göstermektedir.

Trafik işaret levhaları trafikte güvenliği sağlamak için yaygın olarak kullanılan araçlardan biridir. Karayolları Trafik İşaretleme Standartları'nda trafik işaret levhaları, 'Sabit veya taşınabilir bir mesnet üzerine yerleştirilmiş ve üzerindeki sembol, renk ve yazı ile özel bir talimatın aktarılmasını sağlayan tertibattır.' şeklinde tanımlanmıştır (KGM, 2020). Aktarılan talimatların bireyler tarafından kolay anlaşılabilir olması, insan kaynaklı hataları ve bu hatalardan kaynaklanabilecek kazaları engelleyebilmektedir. Bu nedenle, trafik işaret levhalarının kolay anlaşılabilir bir şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında, trafik işaret levhaları, tasarımları dikkate alınarak anlaşılması kolay ve zor olarak iki gruba ayrılmıştır. Yapılan anket çalışması ile üniversite öğrencilerine her iki gruptan dört ve toplamda sekiz adet trafik işaret levhası çoktan seçmeli soru olarak yönlendirilmiştir. Belirlenen trafik işaret levhalarının tanınma düzeyi ile üniversite öğrencilerinin bireysel özellikleri arasındaki ilişkiler ikili lojit model kullanılarak araştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Literatürde Yer Alan Çalışmalar

Ülkemizde Karayolları Trafik Kanunu'nun 7. maddesi ile trafik işaret levhalarının yerleştirilmesi ve kontrolünden Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) sorumludur. Karayollarında güvenliği artırmak ve uluslararası düzeyde belirli bir standart oluşturmak için 8 Kasım 1968 yılında Viyana'da içerisinde Türkiye'nin de yer aldığı Avrupa Ekonomik Konseyi'ne üye ülkeler tarafından, "Karayolu İşaretleri ve Sinyalleri Sözleşmesi" isimli antlaşma imzalanmıştır (URL-2). Trafikte güvenliği sağlamak için trafik işaret levhalarının standart olması kadar, sürücüler tarafından anlaşılabilir olması da önem arz etmektedir.

Türkiye'de trafik işaret levha eğitimi temel düzeyde ilköğretimde verilmeye başlanmaktadır. Bununla birlikte, sürücü ehliyeti almak için verilen kurslardaki dersler ile trafiğe çıkacak yeni sürücü adaylarının trafik işaret levhalarını öğrenmeleri sağlanmaktadır. Buna karşın, literatürde trafik işaret levhalarının ülkemizde yeterince bilinmediği belirtilmiştir (Kırmızıoğlu ve Tüydeş-Yaman, 2012; Murat ve Çakıcı, 2017; Mutlu ve Yakar, 2022).

Kırmızıoğlu ve Tüydeş-Yaman (2012) tarafından 1.478 sürücüye yapılan anket çalışmasında, 39 trafik işaret levhasından yalnızca 12 tanesi katılımcıların %70'i tarafından doğru bilinmiştir. Murat ve Çakıcı (2017)'nın yaptığı çalışmada ise 500 katılımcının cevapladığı 27 trafik işaret levhasının 17'si çok yüksek veya yüksek düzeyde bilinirliğe sahip olarak bulunmuştur. Mutlu ve Yakar (2022) tarafından yapılan çalışmada, sürücü ehliyetine sahip 350 katılımcıya

yönlendirilen açık uçlu 30 trafik işaret levhası sorusunun doğru bilinirlik oranının %53,17 olduğu görülmüştür.

Literatürde, trafik işaret levhalarının bilinirliği ile birey ve çevre özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırıldığı birçok çalışma yer almaktadır. Hong Kong'da yapılan bir araştırmada, trafik işaret levhalarının bilinirliği ve sürücü ehliyeti olan 109 bireyin özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çalışma sonucunda, ehliyet sahipliği süresi ve eğitim düzeyleri ile trafik işaret levhalarının bilinirliği arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuş ve ehliyet sahipliği süresi ile trafik işaret levha bilinirliği ters orantılı çıkmıştır. Buna karşılık; yaş, faal taşıt kullanma yılı, yıllık taşıt kullanma süresi, şehir dışında taşıt kullanma deneyimi ve taşıt kullanma sıklığı ile trafik işaret levhalarının bilinirliği arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler saptanamamıştır (Ng ve Chan, 2008). Bahreyn, Kuveyt, Umman, Katar ve Birleşik Arap Emirlikleri'nde yaşayan toplam 4.774 kişinin katılımıyla yapılan bir araştırmada, katılımcıların bireysel özellikleri ile trafik işaret levhalarının bilinirliği arasındaki ilişki incelenmiştir. Katılımcılar levhaların ortalama %56'sını doğru bir şekilde bilmiştir. Çalışmada, trafik işaret levhalarının bilinirliği ile eğitim, aylık gelir ve uyruk arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki bulunmuştur. Buna karşın yaş, medeni durum, ehliyet sahipliği yılı ve ehliyet sahipliği yılı başına kaza oranları ile levha bilinirliği arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler belirlenememiştir (Al-Madani ve Al-Janahi, 2002).

Yöntem

Yöntem bölümü; anket açıklaması, analizlerde kullanılan yöntem ve akış diyagramından oluşan üç alt başlıkta ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

Anket Açıklaması

Yalova Üniversitesi'nde 2023 yılı itibariyle eğitim alan toplam öğrenci sayısı 15.119 kişidir. Türkiye'de yapılan bir çalışmada sürücü belgesi olan ya da olmayan tüm katılımcılarda ortalama levha bilinirlik oranı %64 olarak hesaplanmıştır (Kurt, 2020). Başka bir çalışmada ise sürücü belgesi olan ve önlisans/lisans eğitim düzeyine sahip bireylerde ortalama levha bilinirlik oranı %84 bulunmuştur (Yakut, 2006). Bu bağlamda, sunulan veriler ve bu çalışmanın odağının üniversite öğrencileri olduğu dikkate alınarak levha bilinirlik oranı %75 olarak kabul edilmiştir. Bu bilgilere göre, örneklem sayısının saptanmasında kullanılan formül Denklem 1'de verilmiştir (Cochran, 1963). Denklemde yer alan kısaltmalar; öngörülen levha bilinirlik oranı (p=0,75), öngörülen levha bilinmeme oranı (q=0,25), z değeri (%10 anlamlılık düzeyi için 1,645), hata payı (e=0,05) değerleri için örneklem sayısı 200 olarak belirlenmiştir. Belirlenen örneklem sayısına uygun olarak anket çalışmasına 221 kişi katılım göstermiştir. Bununla birlikte örneklem sayısının toplam öğrenci sayısına oranı %2'dir.

$$n = \frac{Nz^2pq}{e^2(N-1) + z^2pq} \quad (1)$$

n: Örneklem sayısı, N: Evrendeki birey sayısı, p: Evrende incelenen bir olayın öngörülen gerçekleşme oranı, q: Evrende incelenen bir olayın öngörülen gerçekleşmeme oranı, z: Seçilen anlamlılık düzeyinde z değeri, e: Hata payı.

Hazırlanan çevrim içi anket, Yalova Üniversitesi'nde öğrenim gören öğrencilere ders grupları üzerinden, öğretim üyeleri tarafından dağıtılmıştır. Sanal ortamda hazırlanan çevrim içi anket

iki ayrı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, katılımcılara cinsiyet, yaş, kayıtlı eğitim disiplini, lise eğitiminin alındığı şehir, ehliyet durumu ve hane otomobil sahipliği gibi bireysel özellikleri ile ilgili sorular yönlendirilmiştir. Bazı sorular çoktan seçmeli, bazıları ise açık uçludur. Bireysel özellikler ile ilgili sorular, seçenek sayısı ve seçim sayısı Tablo 1'de verilmiştir. Lise eğitiminin alındığı şehir bilgisi, bireylerin şehir büyüklüğüne göre levha aşinalığını; hane otomobil sahipliği bilgisi ise araç yolculuğu yapmanın levha bilinirliği üzerine etkisini ölçmek amacıyla ankette yer almaktadır.

Tablo 1 Anket Çalışmasında Yer Alan Bireysel Özellikler ile İlgili Sorular.

Anket Sorusu	Seçenek Sayısı	Seçim Sayısı
Cinsiyet, lise eğitiminin alındığı şehir, ehliyet durumu, hane otomobil sahipliği	Çoklu seçenek	Tek seçim
Yaş, kayıtlı eğitim disiplini	Seçenek yok	Açık uçlu

Bu çalışmada, katılımcılara sorulan trafik işaret levhaları iki grupta değerlendirilmiştir. Buna göre, anlaşılması kolay levhalar; levha üzerinde iyi tasarlanmış şekilde levhanın görevini tanımlayıcı nitelikte şekil, figür, yazı ve renk bulunduran levhalar olarak tanımlanmıştır. Anlaşılması zor levhalar ise; levha üzerinde iyi tasarlanmış şekilde levhanın görevini tanımlayıcı nitelikte bilgi bulundurmayan levhalardır.

Anketin ikinci bölümünde, seçilen trafik işaret levhalarının bilinirliği ile ilgili sorular yer almaktadır. Bu sorular çoktan seçmeli olarak verilmiş ve katılımcıların seçenekler arasından seçim yapmaları istenmiştir. Katılımcılara yönlendirilen trafik işaret levhaları soruları Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2 Anket Çalışmasında Yer Alan Trafik İşaret Levhaları Soruları.

Anlaşılması Kolay Levhalar		**Anlaşılması Zor Levhalar**	
Levha Gösterimi	**Seçenekler**	**Levha Gösterimi**	**Seçenekler**
	a. Okul geçidi b. Yürüyüş başlangıcı c. Mecburi yaya yolu **d. Yaya geçidi**		**a. Yol ver** b. Dur c. Dikkat d. Taşıt trafiğine kapalı yol
	**a. Tehlikeli eğim (çıkış)** b. Kasisli yol c. Düşük banket d. Kaygan yol		a. Bütün yasaklama ve kısıtlamaların sonu **b. Park etmek yasaktır** c. Geçme yasağı sonu d. Taşıt trafiğine kapalı yol
	a. Mecburi asgari hız **b. Azami hız sınırlaması** c. Hız sınırlaması sonu d. Okul bölgesi azami hız sınırı		a. Girişi olmayan yol b. Taşıt trafiğine kapalı yol **c. Bütün yasaklama ve kısıtlamaların sonu** d. Geçme yasağı sonu
	a. Taşıt trafiğine kapalı yol b. Motorlu taşıt yolu sonu **c. Otoyol sonu** d. Anayol sonu		a. Taşıt trafiğine kapalı yol b. Karşıdan gelene yol ver c. Park etmek yasaktır **d. Kontrolsüz kavşak**

Not: Koyu olarak yazılan seçenek doğru cevabı göstermektedir.

Analizlerde Kullanılan Yöntem

Çalışmada katılımcıların trafik işaret levhalarını tanıma düzeyleri, ikili lojit model kullanılarak incelenmiştir. İkili lojit model yaklaşımında, bireyler iki seçenek arasından, faydası en yüksek olan seçeneği en büyük olasılıkla seçmektedir. Seçeneklerin faydası (U_i) ise Denklem 1'de genel hali verilen fayda fonksiyonu ile belirlenmektedir (McFadden, 1974).

$$U_i = v_i + \varepsilon_i \tag{1}$$

v_i **:** Deterministik (Gözlemlenebilen fayda)
ε_i**:** Rassal (Gözlemlenemeyen fayda)

Seçim konusunda hesaplama yapmak için, Denklem 2'de verilen ve bir seçim kümesinde (*C*), *i* ve *j* olan iki seçenek arasından *i*'nin seçilme olasılığını (P_i) gösteren denklem kullanılmaktadır (Ortúzar ve Willumsen, 2001).

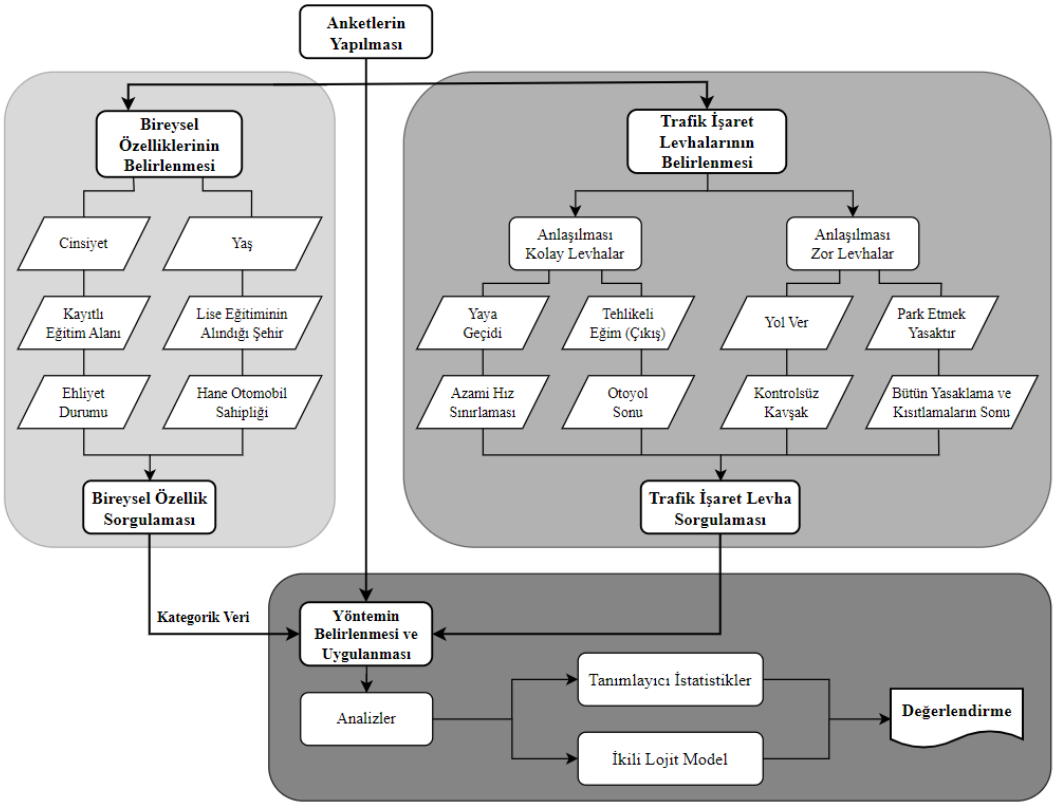
$$P_i = Pr(v_i + \varepsilon_i \geq v_j + \varepsilon_j, i \in C, j \in C, i \neq j) = Pr(v_i - v_j \geq \varepsilon_j - \varepsilon_i) \tag{2}$$

Denklem 2'de yer alan gözlemlenemeyen faydaların (rassal) farkının lojistik dağılıma uyduğu kabul edilirse, *i* ve *j* olan iki seçenekten *i* seçeneğinin seçilme olasılığını Denklem 3 vermektedir (McFadden, 1974).

$$P_i = \frac{e^{v_i}}{e^{v_i} + e^{v_j}}, i \in C, j \in C, i \neq j \tag{3}$$

Akış Diyagramı

Bu çalışmada izlenen veri toplama ve analiz süreçleri Şekil 1'de verilen akış diyagramında gösterilmiştir. Analiz sürecinde verilere ait tanımlayıcı istatistikler oluşturulmuş, trafik işaret levhaları tanıma düzeyi ile bireysel özellikler arasındaki ilişki ikili lojit yöntemi ile modellenmiş ve analiz çıktıları yorumlanmıştır.



Şekil 1 Akış diyagramı.

Bulgular

Üniversite öğrencilerindeki trafik işaret levhaları tanıma düzeyleri ile bireysel özellikler arasındaki ilişkilerin irdelendiği analiz süreci, akış diyagramına uygun olarak tanımlayıcı istatistiklerin ve ikili lojit modelin incelenmesi şeklinde iki başlık altında anlatılmıştır.

Tanımlayıcı İstatistiklerin İncelenmesi

Analizlerde Mayıs 2023 tarihinde çevrim içi anket ile elde edilen veriler kullanılmıştır. Veriler Yalova Üniversitesi'nde öğrenim gören 221 katılımcıya aittir. Katılımcıların tanımlayıcı istatistik verileri Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre; katılımcılarda erkek olan (%62), 20 ve altı yaşta olan (%53), kayıtlı eğitim disiplini sayısal olmayan (%55), büyükşehirde lise eğitimi alan (%69), ehliyet sahibi olan (%52) ve hanesinde otomobil bulunan (%62) bireylerin sayısı daha fazladır.

Tablo 3 Katılımcılara Ait Tanımlayıcı İstatistikler.

Gruplar	**Değişkenler**	**Sayı**	**%**
Cinsiyet	Erkek	136	62
	Kadın	85	38
Yaş	18-19	56	26
	20	60	27
	21	38	17
	21+	67	30
Kayıtlı Eğitim Disiplini	Sayısal olan	100	45
	Sayısal olmayan	121	55
Lise Eğitiminin Alındığı Şehir	Büyükşehir	152	69
	Büyükşehir dışı	69	31
Ehliyet Durumu	Ehliyet var	116	52
	Ehliyet yok	105	48
Hane Otomobil Sahipliği	Evet	137	62
	Hayır	84	38

Anlaşılması kolay ve zor olarak gruplandırılan trafik işaret levhalarının bilinirlik durumlarına ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4'te verilmiştir.

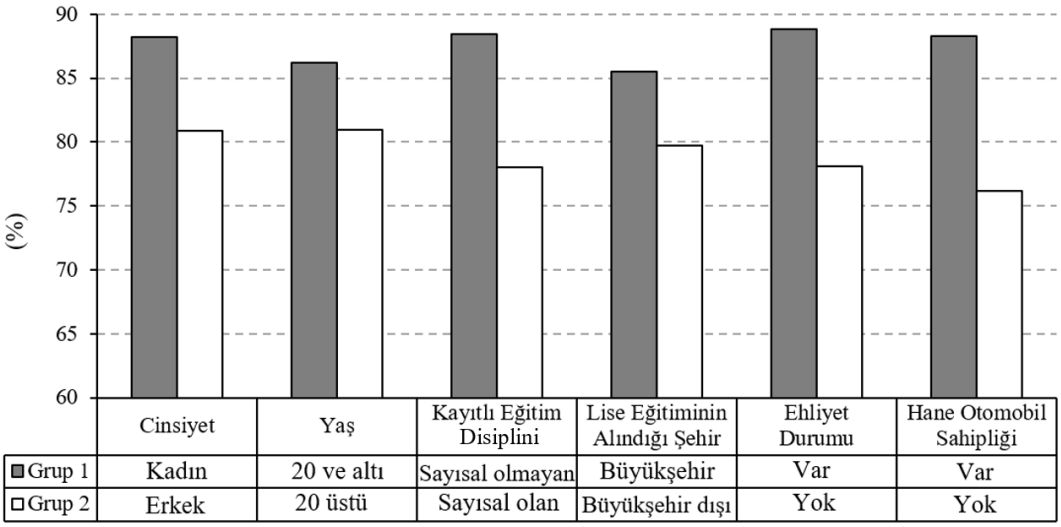
Tablo 4 Trafik İşaret Levhaları Bilinirliğine Ait Tanımlayıcı İstatistikler.

Anlaşılması Kolay Levhalar	Doğru		Yanlış		Anlaşılması Zor Levhalar	Doğru		Yanlış	
	Sayı	%	Sayı	%		Sayı	%	Sayı	%
	190	86	31	14		150	68	71	32
	194	88	27	12		145	66	76	34
	180	81	41	19		120	54	101	46
	176	80	45	20		102	46	119	54
Ort.	185	84	36	16	**Ort.**	129	58	92	42

Tablo 4'e göre; seçilen tüm trafik işaret levhaları için ortalama bilinirlik oranı %71'dir. Anlaşılması kolay levhaların ortalama bilinirlik oranı %84 olmasına karşın, anlaşılması zor levhaların ortalama bilinirlik oranı %58'dir. Anlaşılması zor olarak belirlenen levhaların diğer gruba göre bilinirlik oranının göreceli olarak düşük çıkması beklenen bir sonuçtur. Anlaşılması kolay levhalar arasında bilinirliği en yüksek, %88 oranla 'Tehlikeli Eğim (Çıkış)', en düşük ise %80 oranla 'Otoyol Sonu' levhalarıdır. Anlaşılması zor levhalar arasında ise bilinirliği en yüksek %68 ile 'Yol Ver', en düşük %46 ile 'Kontrolsüz Kavşak' olmuştur.

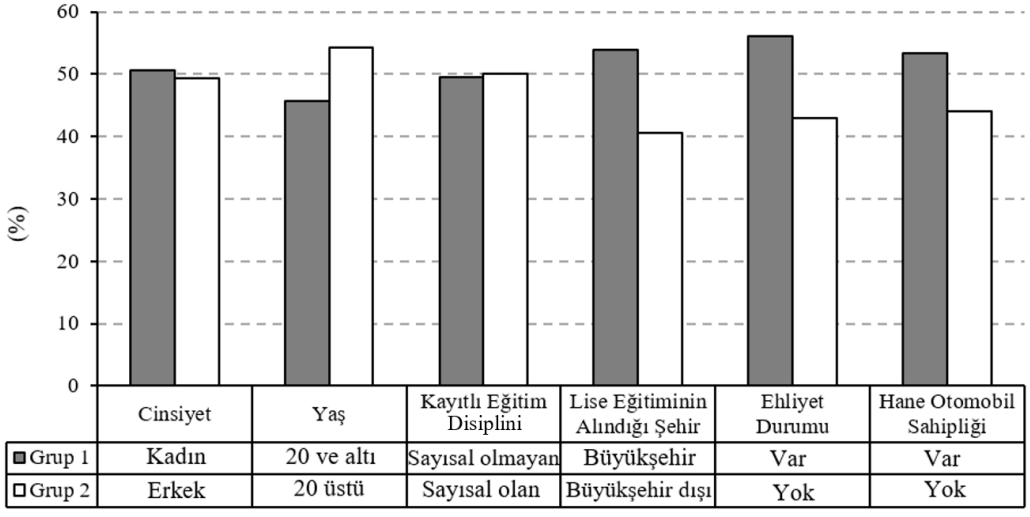
Ayrıntılı bir inceleme için levha tasarım anlaşılabilirliği ve katılımcıların levha tanıma düzeyleri gruplandırılarak değerlendirilmiştir. Anlaşılması kolay ve zor trafik işareti levha gruplarının her birinde önceden belirlenmiş dört adet levha yer almaktadır. Katılımcıların levhaları tanıma düzeylerini genel olarak değerlendirirken anlaşılması kolay ve zor levhalar ayrı düşünülmüştür. Ayrıca katılımcıların levha tanıma düzeyi yüksek ve düşük olarak ikiye bölünmüştür. Yüksek düzey, katılımcılar tarafından her bir grupta yer alan dört levhadan en az üçünün bilinmesi olarak kabul edilmiştir. Böylece, anlaşılması kolay ve zor levhalar için levha tanıma düzeyinin bireysel özelliklerine göre değişimi ayrıntılı olarak irdelenebilmiştir.

Anlaşılması kolay levhaların yüksek düzeyde tanınmasının bireysel özelliklere göre dağılımı Şekil 2'de gösterilmiştir. Kadın olan (%88), 20 ve altı yaşta olan (%86), kayıtlı eğitim disiplini sayısal olmayan (%88), büyükşehirde lise eğitimi alan (%86), ehliyet sahibi olan (%89) ve hanesinde otomobil bulunan (%88) bireylerde levha tanıma düzeyinin daha fazla olduğu görülmektedir. Özellikle, ehliyet durumu ve hane otomobil sahipliğinin, yüksek düzeyde levha tanınmasındaki oransal değişim (sırasıyla %11 ve %12) üzerine etkisi fazladır.



Şekil 2 Anlaşılması kolay levhaların yüksek düzeyde tanınma oranları.

Anlaşılması zor levhaların yüksek düzeyde tanınmasının bireysel özelliklere göre dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu levhalarda; yüksek düzeyde tanınmanın cinsiyet (kadın %51, erkek %49) ve kayıtlı eğitim disiplini (sayısal olan ve olmayan %50) parametreleri için birbirine yakın olduğu görülmektedir. Anlaşılması kolay levhalarda olduğu gibi bu levhalarda da büyükşehirde lise eğitimi alan (%54), ehliyet sahibi olan (%56) ve hanesinde otomobil bulunan (%53) bireylerde levha tanıma düzeyinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak, anlaşılması zor levhalarda 20 yaş üstü (%54) bireylerde levha tanıma düzeyinin daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu levhalarda özellikle, lise eğitiminin alındığı şehir ve ehliyet durumunun, yüksek düzeyde levha tanınmasındaki oransal değişim (%13) üzerine etkisi fazladır.



Şekil 3 Anlaşılması zor levhaların yüksek düzeyde tanınma oranları.

İkili Lojit Modelin İncelenmesi

Çalışmada, trafik işaret levhaları tanıma düzeyi bağımlı değişkeni, yüksek ve düşük düzeyde olarak iki gruptur. Daha önceden de ifade edildiği üzere, yüksek düzey katılımcıların her bir grupta yer alan dört levhadan en az üçünü bilmesi durumudur. İkili lojit modelde, bağımsız değişkenler olarak kadın olma, kayıtlı eğitim disiplini sayısal olma, büyükşehirde lise eğitimi alma, ehliyet sahibi olma ve hanesinde otomobil bulunma kullanılmıştır. Çalışma üniversite

öğrencilerine yapıldığından, yaş dağılımı dar bir aralıkta değişmekte olup, bu nedenle yaş değişkeni modele dahil edilmemiştir. Anlaşılması kolay ve zor levhalar için geliştirilen modellerde aynı bağımsız değişkenler kullanılmıştır. Fayda fonksiyonu için referans olarak levha tanıma düzeyi düşük belirlenmiş ve model için bir fayda fonksiyonu üretilmiştir. Modellerde tahmin edilen katsayılar, bunların t-istatistikleri ve modellerin log olabilirlik LL(β) değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6 İkili Lojit Modeli Sonuçları.

Değişkenler	**Anlaşılması Kolay Levhalar**		**Anlaşılması Zor Levhalar**	
	Katsayı	**t-istatistiği**	**Katsayı**	**t-istatistiği**
Yüksek Düzey				
Kadın olma	**0,74**	**1,71***	0,19	0,65
Kayıtlı eğitim disiplini sayısal olma	**-0,92**	**-2,28****	0,01	0,03
Büyükşehirde lise eğitimi alma	0,14	0,34	**0,51**	**1,70***
Ehliyet sahibi olma	**0,98**	**2,21****	**0,52**	**1,67***
Hanesinde otomobil bulunması	0,59	1,45	0,17	0,55
Sabit Terim	**0,99**	**2,12****	**-0,82**	**-2,21****
Gözlem Sayısı	221		221	
LL(β)	-89,48		-149,26	

* %90 güven aralığında anlamlı (1,645)
** %95 güven aralığında anlamlı (1,960)

Geliştirilen ikili lojit modellerde, hanesinde otomobil bulunma değişkeni istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte, modellerde anlamlı bulunan sonuçlara göre:

Sabit katsayılar: Sabit katsayı, geliştirilen modellerde anlaşılması kolay levhalarda pozitif işaretliyken, anlaşılması zor levhalarda negatif işaretlidir. Sabit terimin, ölçülebilen ve ancak modelde yer verilmeyen tüm değişkenlerin ortalama etkisini ifade etmektedir. Bu açıdan bakıldığında, anlaşılması kolay levhaların genel olarak avantajlı olduğu görülmektedir. Buradan hareketle, genel olarak, anlaşılması kolay levhaların, zor levhalara göre tanınma düzeylerinin yüksek olduğu söylenebilmektedir. Bu durum, model kurgulanırken, trafik işaret levhalarının tasarım açısından anlaşılabilir olma durumuna göre doğru gruplandırıldığını göstermektedir.

Kadın olma değişkeni: Anlaşılması kolay levhaları tanıma düzeyi ile kadın olma değişkeni arasındaki ilişki %90 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı ve katsayı pozitif işaretlidir. Kadınların bu grup levhaları tanıma düzeylerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın aksine Ghadban ve diğ. (2018) tarafından Katar'da yapılan benzer bir çalışmada erkek sürücülerin trafik işaret levhalarını kadın sürücülerden daha iyi bildiği sonucuna ulaşılmıştır. Diğer taraftan, anlaşılması zor levhalarda cinsiyetin levha tanıma düzeyinde anlamlı bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Benzer şekilde Ng ve Chan (2007) eğitim seviyeleri aynı olan kadın ve erkekler arasında trafik işaretlerinin tanınması açısından anlamlı bir fark olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Kayıtlı eğitim disiplini sayısal olma değişkeni: Anlaşılması kolay levhaları tanıma düzeyi ile

kayıtlı eğitim disiplini sayısal olma değişkeni arasındaki ilişki %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı ve katsayı negatif işaretlidir. Buna göre, sayısal alan dışında eğitim gören bireylerde bu grup levhaları tanıma düzeyinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, anlaşılması zor levhalarda kayıtlı eğitim disiplininin levha tanıma düzeyinde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Büyükşehirde lise eğitimi alma değişkeni: Anlaşılması kolay levhalarda lise eğitimini büyükşehirde almanın, levha tanıma düzeyinde anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Buna karşın, anlaşılması zor levhalarda tanıma düzeyi ile lise eğitimini büyükşehirde alma durumu arasındaki ilişki %90 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı ve katsayı pozitif işaretlidir. Bu durum, liseyi büyükşehirde okuyan bireylerde anlaşılması zor levhalarda tanıma düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir. Lise hayatını büyükşehirde geçirmiş katılımcıların daha fazla trafik işaret levhası ile karşılaşabileceği düşünüldüğünde, model beklenen bir sonuç ortaya çıkarmıştır. Farklı sosyo-kültürel ortamların etkisinin araştırıldığı bir başka çalışmada, Al-Madani ve Al-Janahi (2002), dört farklı ülkeden katılımcılar arasında, trafik işaret levhası bilinirliği ile farklı ülkede olma arasında anlamlı bir ilişki belirlenmiştir.

Ehliyet sahibi olma değişkeni: Anlaşılması kolay levhaları tanıma düzeyi ile ehliyet sahibi olma değişkeni arasındaki ilişki %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı ve katsayı pozitif işaretlidir. Ayrıca, bu değişken modelde en yüksek katsayı alan değişkendir. Ehliyet sahibi bireylerin bu grup levhaları tanıma düzeyinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, anlaşılması zor levhaların tanıma düzeyi ile ehliyeti sahibi olma değişkeni arasındaki ilişki %90 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı ve katsayı pozitif işaretlidir. Buradan ehliyet sahibi olmanın beklendiği gibi levha tanıma düzeyini yükselttiği görülmektedir.

Sonuçlar

Çalışma kapsamında, trafik işaret levhaları tanıma düzeyi ile bireysel özellikler arasındaki ilişki üniversite öğrencileri özelinde incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalarda da eğitim seviyesi ile trafik işaret levhaları tanıma düzeyi arasında anlamlı bir ilişki olduğu bilinmektedir (Ng ve Chan, 2008; Al-Madani ve Al-Janahi, 2002; Taamneh, 2018). Bu doğrultuda, bu bölümde çalışmanın literatüre katkıları ve öneriler sunulmuştur.

Üniversite öğrencileri için hesaplanan trafik işaret levhalarının ortalama bilinirlik oranı %71, literatürde yer alan Türkiye'de yapılan çalışmalarda bulunan trafik işaret levha bilinirlik oranından yüksektir (Murat ve Çakıcı, 2017; Mutlu ve Yakar, 2022). Bu durum, yüksek eğitim seviyesine sahip bireylerin temel trafik levha bilgilerinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Anlaşılması kolay levhaların bilinirliğinin (%84), anlaşılması zor levhalara bilinirliğine (%58) göre önemli derecede yüksek olduğu belirlenmiştir. Özellikle bilinirliği düşük olan anlaşılması zor levhaların yatay işaretlemeler ile desteklenmesinin önemi bu noktada ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bireylerin levhaları daha iyi anlayabilmesi için uluslararası standartların dışına çıkmadan yapılabilecek düzenlemeler (eklemeler) üzerinde düşünülmelidir.

Anlaşılması kolay levhaları tanıma düzeyinde anlamlı etkiye sahip değişkenler kadın olma, kayıtlı eğitim disiplini sayısal olma ve ehliyet sahibi olma durumudur. Literatürdeki çalışmaların aksine, bu çalışmada kadınların anlaşılması kolay levhaları tanıma düzeyinin yüksek olduğu görülmektedir (Ghadban ve diğ., 2018; Ng ve Chan, 2007). Bununla birlikte, kayıtlı eğitim disiplini sayısal olmayan öğrencilerin anlaşılması kolay levhaları tanıma düzeyi

daha yüksektir. Diğer yönden, ehliyet sahibi olmanın anlaşılması kolay levhaları tanıma düzeyini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Bu durumun, sürücü kurslarında verilen temel trafik eğitimi sayesinde olduğu düşünülmektedir.

Anlaşılması zor levhaları tanıma düzeyi ile anlamlı bir ilişkisi olan değişkenler büyükşehirde lise eğitimi alma ve ehliyet sahibi olma durumudur. Her iki değişkenin de levha tanıma düzeyi üzerine etkisi birbirine yakındır. Lise eğitiminin alındığı kentin büyükşehir niteliğinde olmasının, anlaşılması zor levhaların tanıma düzeyine etkisi bulunmaktadır. Bu durum, levhaların bireylerin çevresinde daha fazla sayıda fazla bulunması ve ilgili levhalara aşinalığın olması ile açıklanabilmektedir. Buradan hareketle, lise eğitimlerini büyükşehirler dışında alan bireylere verilen trafik eğitimlerinin öneminin görülenden yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Ehliyet sahibi olmanın, anlaşılması zor levhaları tanıma düzeyi üzerine etkisi anlaşılması kolay levhalara göre düşüktür. Bu durumda, sürücü kurslarında verilen temel trafik eğitiminde özellikle anlaşılması zor olan levhalar ile ilgili bilgilendirme sürecine daha fazla önem verilmesi gerekmektedir.

İlerleyen çalışmalarda trafik işaret levhaları tanıma düzeyi üzerine etkili olabileceği düşünülen değişkenlerin artırılması, örneklemin tüm bireyleri kapsaması ile çalışmaya daha geniş bir çerçeve kazandırılabilir.

Kaynaklar

Al-Madani, H. and Al-Janahi, A. (2002) Assessment of Drivers' Comprehension of Traffic Signs Based on Their Traffic, Personal and Social Characteristics, Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour, 5(1), pp. 63–76.

Cochran W. G. (1963) Sampling Techniques, 2nd Edition. New York: John Wiley and Sons Inc.

Ghadban, N.R., Abdella, G.M., Alhajyaseen, W. and Al-Khalifa K.N., (2018) Analyzing the Impact of Human Characteristics on the Comprehensibility of Road Traffic Signs, Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bandung, Indonesia, March 6-8.

Karayolları Genel Müdürlüğü (2020) Karayolu Trafik İşaretleme Standartları-1, Ankara, Türkiye.

Kırmızıoğlu, E. and Tüydeş-Yaman, H. (2012) Comprehensibility of Traffic Signs among Urban Drivers in Turkey. Accident Analysis and Prevention, 45, pp. 131–141.

Kurt M.A. (2020) Trafik İşaret Levhalarının Bilinirliğinin Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Osman Paşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.

McFadden, D. (1974) Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. Frontiers in Economics, P. Zarembka, ed., Academic, New York, pp. 105–142.

Murat, Y.Ş., ve Çakıcı Z. (2017) Trafik İşaretlerinin Bilinirliği Üzerine Bir Araştırma: Denizli Örneği, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 6(1), s.21-30.

Mutlu, M.E., ve Yakar F. (2022) Sürücü Özellikleri, Anket Türü ve Levha Tasarımının Trafik Levhalarının Doğru Bilinme Düzeyleri Üzerindeki Etkisi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University. 37(2), s. 595-608.

Ng, A.W.Y. and Chan, A.H.S. (2007) The Guessability Of Traffic Signs: Effects of Prospective-User Factors and Sign Design Features. Accid. Anal. Prev. 39, pp. 1245–1257.

Ng, A.W.Y. and Chan, A.H.S. (2008) The Effects of Driver Factors and Sign Design Features on the Comprehensibility of Traffic Signs, Journal of Safety Research, 39, pp. 321-328.

Ortuzar, J.D. and Willumsen, L.G. (2001). Modelling Transport, John Wiley & Sons, Chichester, UK.

Taamneh, M., (2018) Investigating The Role of Socio-Economic Factors in Comprehension of Traffic Signs Using Decision Tree Algorithm, Journal of Safety Research 66, pp. 121-129.

Yakut, S. (2006) Trafik İşaretlerinin Algılanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

URL-1 https://www.tuik.gov.tr/

URL-2 https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/conventn/signalse.pdf

Elektrikli Skuterların Karıştıkları Kazaların İncelenmesi

Dr. Fzt. Begüm Okudan
Antwerp, Belçika
E-Posta: begumokudann@gmail.com

Doç. Dr. Selim Dündar
İstanbul Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnş. Müh. Böl.
Tel: (216) 677 16 30
E-posta: selim.dundar@okan.edu.tr

Öz

Elektrikli skutlerlar (e-skuter) eğlenceli bir sürüş deneyimi sunması, trafik sıkışıklıklarından en alt düzeyde etkilenmesi, çevreci bir ulaşım türü olmasına yönelik algı gibi nedenlerle özellikle gençler tarafından oldukça popüler olmuş bir ulaşım türüdür. Özellikle 2017 yılından bu yana paylaşımlı e-skuter hizmetlerinin ortaya çıkması ve bu hizmetlerin günden günde artması sayesinde kısa mesafeli yolculuklarda önemli bir ulaşım alternatifi haline gelmiştir. Ancak, motorlu taşıtların aksine çevrelerinde kaporta gibi koruyucu bir ortam bulunmaması nedeniyle, trafik kazalarına karıştıkları takdirde oldukça vahim sonuçlara neden olabilmektedir. Bu nedenle diğer mikromobilite araçları gibi, e-skuterların kullanıcıları da korumasız yol kullanıcıları arasında değerlendirilmektedir. Ayrıca her ne kadar yasa ve yönetmeliklere aykırı olsa da, yaya kaldırımında kullanılan e-skuterlar, hızları yürümeye kıyasla çok daha yüksek ve göreceli olarak sessiz bir ulaşım aracı olduğu için, yayalar için ciddi tehlike oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Türkiye'deki ve yurt dışındaki e-skuter kazalarının sonuçlarına ilişkin çalışmalar incelenmiş, öncelikle yaralanmaların özellikleri değerlendirilmiştir. Daha sonra bu sonuçlar arasındaki farklılıklar değerlendirilerek, Türkiye'deki ve yurt dışındaki taşıt kullanma kuralları ve alışkanlıkları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda e-skuter kazalarını ve bu kazaların sonuçlarının şiddetini azaltacak öneriler geliştirilmiştir. Geliştirilen önerilerin değerlendirilmesi ve uygulamaya yönelik düzenlemelerin gerçekleştirilmesi ile hem e-skuterların karıştıkları trafik kazalarının sayıca azaltılması, hem de bu kazaların sonucunda gerçekleşen yaralanmaların şiddetlerinin düşürülmesine katkı sağlamak hedeflenmektedir.

Anahtar sözcükler: E-skuter, Kaza, Ulaşım, Mikromobilite, Sağlık.

Giriş

Mikromobilite, kısa mesafeli yolculuklar için pratik bir çözüm sunan ve gün geçtikçe popülerliği artan bir ulaşım türüdür. Geçtiğimiz yıllarda dünyada popülerliği artmaya başlayan e-skuter ve e-bisikletler 2019 yılında Türkiye'de de hizmete girmiştir. İlk aylarda İstanbul ve Ankara'da başlayan bu hizmet daha sonra hızla diğer şehirlere de yayıldı. Sadece İstanbul'da paylaşımlı e-skuter sayısının 30 bin civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu sayının şehirde yaşayan her 200 kişiye 1 e-skuter olacak şekilde, 75 bin

civarına çıkarılması planlanmıştı (Diken 2021). Türkiye'de paylaşımlı mikromobilite aracı ile yapılan ilk ölümlü kaza 2020 yılında İstanbul'da kaydedilmiştir (Sözcü 2020).

Kazaları oluşum özelliklerine göre zamanına, mekanına, başka araç/araçların dahil olup olmamasına, etki büyüklüğüne göre kategorilere ayırmak mümkündür. Etkilerini incelerken mikromobilite aracının kullanıcısının sebep olduğu kazalar (düşme, nesneye takılma, yayaya çarpma vb) ve kullanıcının diğer trafik öğeleriyle sebep olduğu kazalar (kullanıcıya araç çarpması, kullanıcının kazazede olduğu) olarak iki kategoride inceleyebiliriz. İlkine örnek olarak, e-skuter kullanıcısının yaya yolunda yayaya çarptığı bir kaza, ikinci kategoriye örnek olarak bir otomobilin e-skutere çarparak yaptığı kazalar gösterilebilir. Güncel verilere göre, kullanıcının sebep olduğu mikromobilite kazaları, kazazede olduğu kazalara göre iki kat daha sık meydana gelmektedir. Kazanın etkisi ve sonuçları, oluşum şekli ve kazanın şiddeti ile doğrudan ilişkilidir. Türkiye'de gerçekleşen e-skuter kazalarının oluşum şekline dair bilgilere ulaşmak oldukça zor, hatta bazen de imkansız olmaktadır. Çünkü e-skuterden düşmeye bağlı veya e-skuter - yaya kazalarında eğer çok ciddi bir yaralanma yoksa polis çağrılmamakta, dolayısıyla tutanak da tutulmamaktadır. Otomobil – e-skuter kazalarında ise ya maddi hasar ya da ciddi yaralanma varsa polis çağrılmaktadır. Polis çağırılıp kaza tespit tutanağı tutulan kazalarda da genellikle kazanın oluşum şekline dair kaydedilen bilgiler kazanın oluşum şeklini ve risklerini tanımlamak için oldukça yetersiz kalmaktadır. Kaza oluşum şeklinin bilinememesi soruna yönelik koruyucu yöntemlerin ve önlemlerin geliştirilmesine engel oluşturmakta ve bütüncül tabloyu görmemizi zorlaştırmaktadır.

Kazalar oluşum şekline göre farklı sonuçlar doğurabilir. İnsan sağlığını tehdit ettiği gibi, toplumun ekonomik ve sosyal yapısını da olumsuz etkiler. Bireysel açıdan bakım ihtiyacı, engellilik, iş gücü kaybı gibi maddi ve manevi olumsuz sonuçlara neden olabilir. Bununla beraber, sağlık sistemine ve sağlık çalışanlarına ek bir yük yarattığından toplumun genel sağlığını ve refahını da etkiler. Sağlık kaynaklarının ve harcamalarının bir kısmının yaralıların tıbbi tedavisi, iyileştirilmesi ve yeniden topluma kazandırılması için ayrılması gerekir. Bu nedenlerle mikromobilite kazaları hem güvenlik sorunu hem de bir halk sağlığı sorunudur.

Hali hazırdaki veriler Türkiye'de meydana gelen kazaların sonuçlarını tam olarak yansıtmamakla beraber, dünyadaki araştırmalarla birlikte doğru yorumlanırsa kazaların sağlık üzerindeki etkisini azaltacak önlemlerin belirlenmesinde yol gösterici olabilir. Bu nedenle çalışmanın amacı Türkiye'de gerçekleşen e-skuter kazalarının oluşum şekli ve sonuçlarına ilişkin yayınlar ve internet haberleri ile Türkiye'deki e-skuter kazalarını ortaya koymak ve yurt dışından bazı verilerle karşılaştırarak çıkarımlarda bulunmaktır. Ayrıca, çalışmanın bir diğer amacı da Türkiye'deki e-skuter kazalarını ve bu kazaların sonuçlarının şiddetini azaltacak öneriler geliştirmektir.

Yöntem

Gerçekleştirilen çalışma kapsamında öncelikle Türkiye'de gerçekleşen e-skuter kazaları ve sonuçlarına ilişkin bilimsel yayınlar incelenmiştir. Gerek e-skuterların göreceli olarak yeni

bir ulaşım türü olması, gerekse de bu alanda yapılmış olan bilimsel yayınların sayısının kısıtlı olması nedeniyle, 2019 yılından günümüze basında çıkan e-skuter kazalarına ilişkin haberler de taranmış ve kazaların oluş şekillerinin yanı sıra, sonuçları da bu yayınlardan irdelenmeye çalışılmıştır. Son olarak uluslararası literatürde e-skuter kazaları ve sonuçlarına ilişkin yayınlar irdelenerek, Türkiye'deki kazalar ve sonuçları ile ilgili benzerlikler ve farklar değerlendirilerek, elde edilen kısıtlı veri ışığında kazaların ve olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik öneriler sunulmuştur.

Bulgular

Gerçekleştirilen araştırma sonucunda Türkiye'de gerçekleşen e-skuter araçlarıyla yapılan kazaların analiz edildiği iki retrospektif araştırma, bir olgu sunumu ve 7 kaza haberine erişilmiştir.

Retrospektif araştırmalarda İstanbul'da bulunan hastanelerin acil servisine başvuran hastalar analiz edilmiştir. Yavuz ve diğ. (2022)'nın çalışması Türkiye'de e-skuter kazası sebebiyle acil servisine başvuran vakaların klinik ve demografik karakteristiğini ele alan ilk bilimsel yayın olarak göze çarpmaktadır. E-skuter kazasında gerçekleşen yaralanma tipi ve paterni, koruyucu elemanların kullanımı ve sağlık durumuna bağlı bulgular retrospektif olarak incelenmiş ve 70 vaka sonucu analiz etmiştir. Vakaların %47,1'i kadın %52,9'u erkek ve yaş ortalaması 25.82 ± 8.04'dir (15 – 57 arasında). Kaza gerçekleşme şekline göre %94,2 sürücünün düşmesi, %4,3 obje veya bireye çarpma, %1,4 araca çarpma tespit edilmiştir. Vakaların %2,9'unda (n=2) kanda alkol tespit edilirken, sadece %4,3'ünde (n=3) kask kullanımı kaydedilmiştir. Kazaların neden olduğunu sağlık sonuçlarına bakıldığında %45,7 ile en sık yumuşak doku travması (n=32), ardından %40 ile kafa travması (n=28), %8,5 alt veya üst ekstremite kırığı, %2,9 omurga kırığı, %1,4 frontal (kafa ön kemiği) kırık, %1,4 kafa içi kanama, %11,4 çene yüz kırığı, %20 dikiş gerektiren yaralanmalar takip etmektedir. Vakaların %94,2 taburcu edilirken, %5,7's hastaneye yatışı yapılarak (n=3, servis, n=1 acil servis) tedavi edilmiştir.

Yılmaz ve diğ. (2022) acil servise e-skuter kazası sebebiyle gelen vakaları geriye dönük tarayarak klinik ve demografik özellikleri incelemiştir. Dahil edilen 117 vakanın %35,9'u kadın, %64,1'i erkek iken yaşları 5 ile 76 arasında değişen (ort: 27.20±11.90) vakalar irdelenmiştir. Vakaların %13,7'si (n=16) 15 yaş altındadır. Kazaların %41,9'u haftasonu gerçekleşmiştir. Hastaneye ulaşan yaralıların sadece %1,7'si ambulansla götürülürken, %98,3'ü ayaktan hasta olarak kendi imkanları ile hastaneye gittiği tespit edilmiştir. Vakaların hiç birinde kanda alkol görülmemiş, %23,3'ü röntgen, %38,5'i bilgisayarlı tomografi (BT) ve %1,7'si USG görüntülemeye, %3,4 kan testine yönlendirilmiştir. Kazaların %96,6'sında sürücü, %3,4'ü arkadaki binici kazası kaydedilmiş, hiç bir kazada kask kullanımı kaydedilmemiştir. Ortalama hız 24,36±6.28 km/sa (10 – 30) iken kazaların %85,5'i sahilde, %6'sı kaldırımda, %2,6 diğer yerlerde belirlenmiştir. Kazalar sonucunda en sık yaralanma %49,6 üst ekstremitede gerçekleşirken, bunu sırasıyla %45,3 ile alt ekstremite, %35 yüz/kafa, %8,5 toraks (göğüs kafesi), %1,8 boyun, sırt omurga takip etmiştir. Bu vakaların %4,3 (n=5) alt ekstremite kırığı; %9,4 (n=11) üst ekstremite kırığı; ve %1,8 (n=2) diş kırığıdır. Vakaların %7,7'si (n=9) kafa yumuşak doku hasarı ve %0,9'u

iç kanama teşhisi almıştır. Yaralanma ciddiyeti ve bulguların ilişkileri incelendiğinde, sadece travma ciddiyeti ile yaş arasında negatif yönlü orta düzeyde bir ilişki ortaya konmuştur. Vakaların %96,6'sı taburcu edilirken, %3,4'ü hastaneye yatırılmıştır. Çalışma sonucunda kazaların hastalar üzerinde hafif yaralanmalara sebep olduğu ancak yasal ve teknik nedenlerle e-skuter kullanıcıları dışında da yaralanmalar tespit edildiği ortaya konmuştur.

Yakar ve Hancı (2022) acil servise e-skuter kazası sonrasında getirilen 30 yaşında kadın olgunun incelemesini yayınlamıştır. İlk değerlendirmede hastanın Glasgow koma skoru (GKS) 5 (ciddi nörolojik hasar) olarak belirlenmiştir. Radyolojik görüntülemelerde, subdural hematom, serebral kontüzyon ve akciğer kontüzyonu tespit edilmiştir. Hasta, subdural hematom drenajı ve dekompresyon cerrahisi amacıyla kraniyektomi operasyonuna alınmıştır. Laboratuvar bulguları hastanın alkol ve uyarıcı madde kullanımını ortaya koymuştur. Postoperatif kontrol beyin tomografisinde, yeni gelişen epidural hematom belirlenmesi nedeniyle hasta yeniden opere edilmiştir. Bu karmaşık tedavi süreci sonrasında, GKS değişmemiş ve trakeostomi ile ev tipi ventilatör desteği altında palyatif bakım merkezine taburcu edilmiştir. Yazarlar, bu vakadaki gibi sonuçlanabilecek kazaların risklerinin Türkiye'deki e-skuter kullanımına ilişkin mevcut düzenlemelerle azaltılabileceğini savunmuştur. E-skuter kullanımı esnasında kask takılmasının zorunlu olması ve hız limitinin azaltılması, ek olarak e-skuter sürücüleri için 18 yaş sınırının getirilmesi ve toplumu bilgilendirici kampanyalar düzenlenmesini önermişlerdir.

Nisan 2022'de Trabzon'da yaya yolunda ailesiyle yürüyen küçük çocuğa, karşıdan gelen ve iki kişinin bindiği e-skuter çarpması haber olmuştur. Hem e-skuter kullanıcısı ve yolcusu hem de küçük çocuk yara almadan kazadan kurtulmuştur (61Medya 2022). Aynı yıl Haziran'da Trabzon'da meydana gelen kazada ise duvara çarpma sonucu ağır yaralanan 20 yaşındaki kullanıcı, beyin ve vücudunun değişik bölgelerinde çatlaklar nedeniyle cerrahiye alındı, ardından yoğun bakımda tedavisine devam edildi. Kazanın nedeninin skuterin frenlerinin tutmaması olduğu iddiası vardı ancak daha sonra açıklama yapılmadı (Haber61 2022). Temmuz 2022'de Adana'da e-skuter kullanan 23 yaşındaki kadın ters yönden gelen aracın çarpması sonucu yolda sürüklenerek yaralanmıştı. Ambulansla hastaneye kaldırılan genç kadın tedavisinin ardından taburcu edilmişti (Sözcü 2022). Aynı ay İstanbul'da yine 23 yaşındaki kadın kullanıcı, sol şeride geçerken, arkasından hızlı gelen aracın çarpması sonucu yaralanarak hastaneye kaldırıldı ancak tüm müdahalelere rağmen kurtarılamadı (Habertürk 2022). Ağustos ayında Adana'da e-skuterden düşme sonrası kafasını vuran ve sıyrıkları olan 44 yaşındaki psikolog, kaza sonrası hastaneye başvurmamıştı. Bir gün sonra fenalaşarak görev yaptığı hastaneye kaldırıldı, beyin kanaması geçirdiği anlaşılsa da kurtarılamadı (TRT Haber 2022). Ekim 2022'de ise Antalya'da 18 yaşında iki gencin birlikte e-skuter üzerinde seyahat ederken, motorlu bir aracın çarpmasıyla ölümleri haber olmuştu (Sabah 2022a). Acil çene diş travması birimine gelenlerin çoğu e-skuter kazası olarak kayda geçmiş ve baş – boyun kırıkları, göz küresi ve çene kırıkları, ön diş kırıkları, beyin kanaması gibi ciddi durumlarla başvurmuşlar. Başvuran kazazede sayısı belirtilmemiş ancak e-skuter ile seyahat eden 40 yaşındaki kadının sürüş sırasında tekerleğinin mazgala sıkışması sonucu öne doğru savrularak düştüğü ve çenesini yere çarparak yaralandığı bildirilmiş. Dişleri için tel tedavisi, çenesi için büyük ameliyatlar geçiren kadın, daha sonra cerrahi sırasında yüz siniri etkilenere kısmi yüz felci yaşamışe. Tedavilerin tamamlanması ve yileşmesi yedi ay sürmüş (Cumhuriyet 2022b).

Türkiye Ulaşım ve Altyapı Bakanlığı'ndan 2023 yılında e-skuter kazalarını etkileyen değişkenleri ortaya koymayı ve kaza olasılığını tahmin etmeyi amaçlayan bilimsel bir araştırma yayınlandı (İnaç 2023). Makine öğrenmesi yöntemiyle gerçekleştirilen araştırmada 15 ilden paylaşımlı bir e-skuter uygulamasının kullanıcı ve sürüş verileri kullanıldı. Sonuçlara göre sürüş bölgesi, kiralama tarihi, kiralama sayısı (deneyimi), seyahat süresi, ortalama hız ve mesafe sürüşün kaza olmadan tamamlanması adına en etkili değişkenler olarak tanımlanmıştır. Değişkenlerin, kazasız sürüş deneyimi için en uygun değerleri kadın ve erkek kullanıcılar için farklı bulunmuştur. Değerler kadınlar için kiralama sayısı 100, seyahat mesafesi 10,44 km, sürüş süresi 48,33 dk ve sürüş hızı 13,38 km/sa iken; erkek kullanıcılar için ise sırasıyla 120, 11,49 km, 52,20 dk ve 17,28 km/sa olarak kaydedilmiştir. Hem erkek hem de kadın e-skuter kullanıcıları için güvenli ve sorunsuz bir sürüş için ortalama hız sınırı 15,36 km/sa olarak hesaplanmıştır.

Almanya'da gerçekleşen mikromobilite kazalarının oluşum şekli ve yaralanmalar ile ilişkisini inceledikleri bir çalışmada (Kleinertz 2021) e-skuter ve bisiklet kazaları karşılaştırılmıştır. Bir yıl içerisinde hastaneye başvuran 89 e-skuter (ort: 39,9±14 yaş) ve 435 (42,5±17) bisiklet kazasının sonuçlarına göre; e-skuter kazaları daha çok gece (%37) ve alkol etkisi altında (%28) gerçekleşmiş ve vakaların %54'ü kafa veya yüz travması alırken, %18'i üst ektremite yaralanması olarak bildirilmiştir. Bisiklet kazaları ise %14 gece, %6'sı alkol etkisi altında, %46'sı kafa veya yüze travma ve %24'ü üst ekstremite yaralanması olarak raporlanmıştır. Kask kullanımı e-skuter kullanıcılarının hiç birinde görülmez iken bisiklet sürücülerinin %11'i kasklıymış. E-skuterlerde yayayla yapılan kazalar %65, bisiklet kazalarında ise %57 olarak hesaplanmıştır. E-skuter kazası sonrası yara bakımı gerektiren vakalar %46 iken bisiklet kazalarında bu oran %27'dir. İki grupta da hastaneye yatış yapılan vaka oranı aynıdır (%32). E-skuter kazası sonrası cerrahiye yönlendirilen vaka oranı %28 ve bisiklet kazasında ise bu oran %24'tür. Yoğun bakım ihtiyacı e-skuter kazalarında kaydedilmezken, bisiklet kazası sonrası vakaların %2'si yoğun bakıma alınmıştır. Bisiklet kazalarının %7'si acil müdahele gerektirirken e-skuter kazalarında bu oran %1'dir. Çalışmaya göre alkol etkisi altında herhangi bir aracın kullanılması kaza riskini ve şiddetini arttırmaktadır. Ayrıca e-skuterlerin yapısal özelliği nedeniyle keskin olan köşelerinin kaza durumunda tibialis posterior kasının yaralanmasına neden olabileceğine dikkat çekilmektedir.

Almanya'da gerçekleşen e-skuter kazaları Türkiye'dekilerle karşılaştırıldığında, kafa bölgesindeki travmaların fazlalığı (Almanya'da %54, Türkiye'de %40 (Yavuz ve diğ., 2022), %35 (Yılmaz ve diğ., 2022)) dikkat çekmektedir. Almanya'da hiçbir sürücünün kask kullanmadığı, Türkiye'de ise sürücülerin ya yalnızca %4,3'ünün kask kullandığı (Yavuz ve diğ., 2022) ya da hiçbirinin kask kullanmadığı (Yılmaz ve diğ., 2022) göz önüne alındığında bu durum şaşırtıcı değildir. Almanya'da e-skuter kazalarının daha çok gece ve alkol etkisi altında gerçekleşmiş, ancak ülkemizdeki vakaların yalnızca %2,9'unda (Yavuz ve diğ., 2022) kanda alkol görülmüş, ya da hiç alkole rastlanmamıştır (Yılmaz ve diğ., 2022). Bu da ülkemizdeki sürücülerin alkollü e-skuter kullanmaktan kaçındıklarını göstermektedir. Ülkemizde gerçekleşen kazalar sonucunda hastaneye yatış gerekliliği (%5,7 (Yavuz ve diğ., 2022), %3,4 (Yılmaz ve diğ., 2022)) Almanya'ya kıyasla (%32) oldukça düşüktür. Bu durumun nedenleri ancak kazaların gerçekleşme şekilleri detaylı bir biçimde incelenebildiğinde ortaya konabilir.

Başka bir araştırmada dünyadan çalışmalar derlenmiştir. Elde edilen yaş ortalaması Türkiye'den biraz daha yüksek (33,3±3,5) ve vakaların %58,3'ü erkek ve %5,6'sı 18 yaş altındadır. Kazaların %74,4'ü düşme sonucu gerçekleşirken kullanıcıların %68,1'i kask kullanmamaktadır. Vakaların %39,2'sinde kırık, bunların %44,8'i ise üst ekstremite kaynaklı olarak raporlanmış. Ayrıca %22,2'si boyun baş bölgesi yaralanması ve %2,5'i travmatik beyin yaralanmasıdır. Vakaların %57,7'si radyolojiye sevk edilirken, %54,5'i ilk müdahalelerin ardından taburcu edilmiş ve %17,2'si cerrahiye yönlendirilmiştir (Singh 2022). Dünyanın farklı yerlerinden yayınlanan 34 araştırmayı inceleyen bu derleme sonucunda, en sık yaralanma görülen baş, boyun ve üst ekstremite bölgelerini koruyacak ekipmanların giyilmesinin hukuki olarak zorunlu tutulması önerilmiştir. Araçların düşme riskini azaltacak, dengesini arttıracak sensörlerler ve yapısal desteklerin eklenmesinin düşmeye bağlı kazaları azaltacağı öngörülmüştür. Almanya ve Türkiye'deki araştırmaların aksine %31,9'luk bir kask kullanım oranına erişilmesi sonucunda, boyun ve baş bölgesi yaralanmalarının %40'lar mertebesinden, %22,2'ye kadar indiği net bir biçimde görülmektedir. Bu da e-skuter kullanıcılarının kask kullanmaları halinde çok daha ölümcül sonuçlara neden olabilecek hasarların riskini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.

Çin, Hindistan, Japonya ve Birleşmiş Devletler'de gerçekleşen mikromobilite kazalarının demografisi ve yaralanma sonuçları kohort bir araştırma olarak yayınlanmıştır (Zhao 2022). Dünya Sağlık Örgütü'nün Hastalık Küresel Yükü Araştırması'ndan yol kazası 1990-2019 verileri analiz edilmiştir. Sonuçlara göre, 25 yaş altı ve 60 yaş üstü bireylerde kazalar sonucu mortalite ve morbidite artmaktadır. Buna rağmen kazalar en sık 15 ile 25 yaş arasında kullanıcılarda görülmektedir. 1990'dan bu yana genel trafik kazası mortalitesinde %25,59 düşüş görülürken, motorbisiklet ve bisiklet kazası mortalitesinde %39,08 ve %44,06 artış görülmüştür. Ancak özellikle 2015 – 2019 yılları arasında mikromobilite kazalarının çok hızlı artışı dikkat çekicidir. Bu duruma Japonya ve Çin'de paylaşımlı e-skuter ve e-bisiklet uygulamalarının, Hindistanda ise iki tekerlekli motorlu araçların sayısının artmasının katkı sağlamış olabileceği öne sürülmektedir. Daha hızlı seyahat yapılabilmesine karşın elektrikli araçlarla yapılan kazalar, mekanik araçlarla yapılan kazalara göre daha şiddetli olmakta ve hastanede daha uzun süre yatış ve tedavi gerektirmektedir. Örneğin, Hindistan'da her on e-skuter - bisiklet çarpışmasından birinde ağır yaralanma veya ölüm gerçekleşmektedir. Yazarlara göre, araştırmada yer alan dört büyük ülkeden toplanan verilerin standardize olmaması, yıllar içerisinde yönetmelikler ve yasal zorunluluklarda değişiklikler yapılmış olması, ülkelerin altyapı ve çevrelerinin farklı olması, kendine özgü bireysel ve toplumsal kodları, kültürel çeşitlilik ve farklı sürücü davranış profillerine sahip olmaları nedeniyle mikromobilite kazalarının toplam etkisini belirlemek ve ülkeleri karşılaştırmak çok zordur.

Tartışma

Türkiye'de e-skuter kazaların analiz edildiği iki retrospektif araştırma, bir olgu sunumu ve 7 kaza haberinin sonuçlarının analiz edildiği araştırmamızda e-skuter – yaya kazalarının daha sık görüldüğü, erkek kullanıcıların daha fazla kazaya karıştığı ve kırık, yumuşak doku hasarı daha sık olmak üzere kazaların çok ciddi sağlık sorunları ve ölüm dahil olumsuz

sonuçları olduğu gözlenmiştir. Kask kullanılmaması, aracın iki kişi kullanılması ve yasal yaş altında kullanım gibi durumların kazaların şiddetini arttırdığı görülmüştür.

İlk mevzuata göre kaldırımlarda seyahat eden e-skuterlar artık diğer taşıtlar gibi araç yollarını kullanmaktadır. Buna karşın bu yöntemde de diğer trafik unsurları ile e-skuterların kazaya karışması söz konusu olabilmektedir. Bu şekilde gündeme gelen yaralanmalıı ve ölümlü e-skuter kazalarına ilişkin sürücülerin trafiği daha iyi görmeleri ve diğer sürücüler tarafından görülmeleri adına sağ şeritten akan trafikte e-skuterlerın sol taraftan yani ters yönden gitmeleri önerilmektedir. Ayrıca e-skuterların ayna ve sinyal gibi diğer sürücülere kendi davranışı ile ilgili ön bilgi verecek aksamların olmamasının, sürücülerin anlık hareketlerinin kaza ile sonuçlanabileceğini öne sürülmektedir. E-skutera yaklaşan diğer araç sürücülerinin hızını azaltması ve sinyalsiz, ani hareketlere duyarlı olmasını önerilmiştir (Cumhuriyet 2022a).

Elektrikli Skuter Yönetmeliği'ne göre, yetki belgesi sahipleri kullanıcıları kask, dizlik ve reflektörlü ceket gibi koruyucu ve görünürlüğü arttırıcı ekipmanları giymeleri konusunda bilgilendirmekle yükümlüdür. Ekipmanların kullanılmaması trafik kuralı ihlali olduğundan, denetim yapıldığında ekipmansız kullanıcılara para cezası kesilmektedir. Kullanıcılar açısından ise ekipmanların paylaşımlı araçla birlikte temin edilmemesi mağduriyet olarak görülmektedir. Bu nedenle paylaşımlı e-skuterler üzerinde/yanında koruyucu ekipmanların yer alması gündeme gelmiş olsa da, hem servis sağlayıcı hem de kullanıcılar için maliyetleri arttırması ve serbest duran ekipmanın çalınma riski nedeniyle bu uygulama hayata geçirilmedi. Bireysel satın alınan ekipmanların kullanımına ise kullanıcılar mesafeli yaklaşmaktadır. Çünkü bu sefer de kullanıcı ekipmanlara yatırım yapmak durumda kalmaktadırlar. Ayrıca paylaşımlı hizmetlerin en büyük kolaylıklarından biri kullanım bitince aracın istenilen yere bırakılabilmesi, diğer bir deyişle park edilebilmesidir. Bu nedenle, cihazın kendisi gibi kask, dizlik ve reflektörlü ceket gibi ekipmanları da kullanımı bitince yanlarında taşımak istemeyen kullanıcılar, bu avantajından faydalanamamış olmaktadır (Sabah 2022b). Yine de unutulmamalıdır ki, konu ile ilgili bir karar verilip uygulanana kadar, sürüş güvenliği için ekipmanların temin edilip kullanılması zorunluluğu kullanıcının sorumluluğundadır. Her koşulda, kask kullanımının sadece yasal bir zorunluluk olmaktan çıkıp, kullanıcılar tarafından benimsenmesi ve bilinçli bir şekilde tercih edilmesi önemlidir. Piyasada işlevine göre farklı tasarım ve özelliklerde kasklara rastlamak mümkündür. İdeali, farklı mikromobilite araçlarının, farklı sürüş özellikleri ve tasarımlarına uygun, ayrı kask modelleri tasarlanmasıdır (Serra 2021, Wei 2023). Örneğin e-skuterde kazalarında genellikle öne doğru ve çene ile burnun üstüne düşme görülmektedir (Cumhuriyet 2022b). Dolayısıyla bisiklette kullanılan kasklardan ziyade, çene koruyucusunu da bulunduğu bir kask kullanılması uygun olacaktır.

İnaç (2023) Türkiye'nin 15 ilinden e-skuter sürücülerinin verilerini makine öğrenmesi yöntemiyle kullanarak e-skuter kazalarını etkileyen değişkenleri idrelemeyi ve kaza olasılığını tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Sonuçlara göre cinsiyet, sürüş bölgesi, kiralama tarihi, kiralama sayısı, yolculuk süresi, ortalama hız ve mesafe; sürüşün kaza olmadan tamamlanması adına en etkili faktörler olarak tanımlanmıştır. Sürüş süresi, sürüş üzerinde en güçlü etkiye sahipken, uzun süreli yolculukların sürücüleri olumsuz etkileyerek yolculuklarını kesintiye uğratmalarına neden olduğu belirtilmiştir. Bu faktörlerin en uygun değerleri kadın sürücü için: kiralama deneyimi 100, mesafesi 10,44 km, sürüş süresi 48,33

dk ve sürüş hızı 13,38 km/sa olarak hesaplanmıştır. Erkek sürücüler için ise sırasıyla 120, 11,49 km, 52,20 dk ve 17,28 km/sa olarak bildirilmiştir. Hem erkek hem de kadın e-scooter sürücüleri için güvenli ve sorunsuz bir sürüş için ortalama hız sınırını 15,36 km/sa olarak hesaplamıştır. E-scooter hız limitleri ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Çalışma sonucuna göre hız sınırının 30 km/h'den 20 km/h'ye düşürülmesinin yaralanmalı kazalarda yaralanma şiddetini %23 oranında azaltacağı öne sürülmüştür. Ayrıca 18 yaş altı kazaya karışan oranı ortalama %8,4 olarak bilinse de, yaş ile sürüş arasında çok az bir etkileşim olduğu sonucu ortaya konmuştur. Bir diğer kaza sonuçlarını etkileyen durum ise sürücülerin trafik ve yasal bilgisi ve eğitimi olarak yer almıştır. Sonuç olarak mikromobilite araçlarının trafik içerisine diğer trafik türleriyle uyumlu bir şekilde yerleştirilebileceği savunulmuştur.

Bütün bilgiler ışığında e-skuter kaza risklerinin ve sonuçlarının şiddetinin azaltılmasına yönelik aşağıdaki öneriler sıralanabilir:

- Kullanıcıların güvenli sürüş teknikleri, kurallar ve yönetmelikler, riskli davranışlar bakımından farkındalıklarının arttırılması ve bu bilgilere yönelik kaynakların topluma açık ve ücretsiz olarak paylaşılması, eğitimler düzenlenmesi ve ehliyet/lisanslama yöntemine geçilmesi,
- Sürüş eğitimleri düzenlenerek, kontrollü ortamda veya benzetimlerle kullanıcı sürüş deneyimini arttırıcı uygulamaların planlanması ve yaygınlaştırılması,
- Uygun çevre düzenlemesi ve altyapı çalışmalarının uzman görüşlerine dayanarak yapılması,
- Araçların ve varsa istasyonlarının fiziksel durumlarının periyodik olarak (örneğin yıllık) gözden geçirilmesi,
- Araçlarının çeşit ve sayılarının ihtiyaca/potansiyele göre belirlenmesi ve yıllık olarak gözden geçirilmesi,
- Araçlara trafikte fark edilmelerini sağlayacak aksamların, kullanıcının sinyal verebileceği ve düşme riskini azaltacak sistemlerin eklenmesi,
- Hız sınırı ve sürüş yaş sınırı gibi yasal yükümlülükler ve önlemlerin bilimsel araştırmalara göre güncellenmesi,
- Sürüş sırasında uyulması gereken kuralların çerçevesinin genişletilmesi (cep telefonu kullanımı, müzik dinleme, trafik ışıklarına uyma vb),
- Kazaların daha sık meydana geldiği zaman ve mekanlarda daha çok önlem alınarak, uyarıcı levhalar kullanılması,
- Caydırıcı yasakların yanı sıra denetimlerin yapılması, sıklaştırılması,
- Yönetmelik ve önlemlerin belirli aralıklarla uzmanlarla tartışılması ve yeni gelişen ihtiyaçlara göre güncellenmesi,
- Güvenli bir mikromobilite ağı oluşturmak için yatırım ve düzenlemeler yapılarak, yayalar da dahil olmak üzere tüm yol kullanıcılarının güvenliğinin sağlanmasıdır.

Ayrıca e-skuter kazalarının ve etkilerinin daha nesnel bir biçimde değerlendirilebilmesi ve yapılan iyileştirmelerin sonuçlarının gözlenebilmesi açısından aşağıda sıralanan önerilerin değerlendirilmesi de yararlı olacaktır:

- Kazalara ilişkin belgelendirme açısından kolluk kuvvetleri, acil servis çalışanları ve diğer paydaşların eğitilmesi,
- Hastane içi belgelendirme için ayrı bir birim veya yetkili tayin edilmesi,

- Ülkedeki tüm kazaların oluşum şekli ve sonuçlarının kaydına yönelik standart, etkili bir yöntem benimsenmesi ve buna uygun veri tabanı geliştirilmesi,
- Yetkili kurumlarca toplanan kazalara ait verilerin, bu alanda çalışan uzmanların da yararlanabilmesi adına uygun şekilde, belirli aralıklarla raporlanması,
- Kazaların riskleri, oluşum şekilleri, sağlık sonuçları ve harcamalarını ele alan, bu alanda planlanacak araştırmaları destekleyici politikalar geliştirilmesi,
- Araştırma sonuçlarıyla, kazaların oluşum şekli ve sağlık sonuçları ile ilgili diğer verilerden yararlanarak acil müdahaleye dair algoritmalar geliştirilmesi,
- Sağlık harcamaları içerisinde mikromobilite kazalarının payının araştırılması, halk sağlığı uzmanları tarafından ele alınarak, azaltılmasına yönelik sağlık politikalarının geliştirilmesi.

Teşekkür

Bu çalışma Avrupa Birliği'nin H2020 araştırma ve inovasyon programının desteğiyle RECIPROCITY Projesi (Hibe NO 101006576) ve 123M063 numaralı TÜBİTAK 1001 projelerinin katkılarıyla hazırlanmıştır. Desteklerinden dolayı AB ve TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

61Medya. (2022). ‘Trabzon’da ilk scooter kazası’. Erişim tarihi: 3.04.2023. https://www.61medya.com/haber/13308284/trabzonda-ilk-elektrikli-scooter-kazasi

Cumhuriyet. (2022a). ‘Scooter kazaları can alıyor, uzmanından 'ters çizgi' önerisi’. Erişim tarihi: 5.04.2023. https://www.cumhuriyet.com.tr/yasam/scooter-kazalari-can-aliyor-uzmanindan-ters-cizgi-onerisi-1995929.

Cumhuriyet. (2022b). ‘Uzmanlar uyardı: Elektrikli scooter kazalarına dikkat!’. Erişim tarihi: 1.04.2023. https://www.cumhuriyet.com.tr/yasam/uzmanlar-uyardi-elektrikli-scooter-kazalarina-dikkat-1957061.

Diken. (2021). ‘İstanbul’a 75 bin elektrikli scooter’. Erişim tarihi: 1.04.2023. https://www.diken.com.tr/istanbula-75-bin-elektrikli-scooter/

Haber61. (2022). ‘Trabzon'da feci kaza! Kiralık Scooter can alıyordu.’. Erişim tarihi: 3.04.2023. https://www.haber61.net/trabzonda-feci-kaza-kiralik-scooter-can-aliyordu.

Habertürk. (2022). ‘E-Scooter kazası can aldı ‘. Erişim tarihi: 4.04.2023. https://www.haberturk.com/video/haber/izle/e-scooter-kazasi-can-aldi/771115.

İnaç, H. (2023). Micro-Mobility Sharing System Accident Case Analysis by Statistical Machine Learning Algorithms. Sustainability, 15(3), 2097.

Kleinertz, H., Ntalos, D., Hennes, F., Nüchtern, J. V., Frosch, K. H., & Thiesen, D. M. (2021). Accident mechanisms and injury patterns in E-scooter users: a retrospective analysis and comparison with cyclists. Deutsches Ärzteblatt International, 118(8), 117.

Resmi Gazete. (2021). 'Elektrikli Skuter Yönetmeliği'. Erişim tarihi: 5.04.2023. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/04/20210414-3.htm

Sabah-a. 'Antalya'da elektrikli skuter kazası' Erişim tarihi: 10.04.2023. https://www.sabah.com.tr/galeri/yasam/son-dakika-antalyada-elektrikli-scooter-kazasi-ada-kayahan-ile-mahmut-yagiz-balci-can-verdi.

Sabah-b. 'Scooter'da kask zorunlu olacak mı?'. Erişim tarihi: 5.04.2023. https://www.sabah.com.tr/yazarlar/gunaydin/sb-mevlut_tezel/2022/10/29/scooterda-kask-zorunlu-olacak-mi

Serra, G. F., Fernandes, F. A., Noronha, E., & de Sousa, R. J. A. (2021). Head protection in electric micromobility: A critical review, recommendations, and future trends. Accident Analysis & Prevention, 163, 106430.

Singh, P., Jami, M., Geller, J., Granger, C., Geaney, L., & Aiyer, A. (2022). The impact of e-scooter injuries: a systematic review of 34 studies. Bone & Joint Open, 3(9), 674-683.

Sözcü. (2020). 'İlk ölümlü kaza…'. Erişim tarihi: 10.04.2023. https://www.sozcu.com.tr/2020/gundem/ilk-olumlu-kaza-luks-aracin-altinda-kaldi-5646343/

Sözcü. (2022). 'Elektrikli scooter kazası: Ters yöne giren araç öldürüyordu'. Erişim tarihi: 2.04.2023. https://www.sozcu.com.tr/2022/gundem/elektrikli-scooter-kazasi-ters-yone-giren-arac-olduruyordu-7250456/

TRT Haber. (2022). 'Adana'da scooter kazası geçiren psikolog hayatını kaybetti.'. Erişim tarihi: 4.04.2023. https://www.trthaber.com/haber/turkiye/adanada-scooter-kazasi-geciren-psikolog-hayatini-kaybetti-703894.html.

Wei, W., Petit, Y., Arnoux, P. J., & Bailly, N. (2023). Head-ground impact conditions and helmet performance in E-scooter falls. Accident Analysis & Prevention, 181, 106935.

Yakar, M. N, & Hancı, V. (2022). Şiddetli travmatik beyin hasarı ve kötü nörolojik kondisyonla taburculuk: elektrikli skuter kazası. 9. Uluslararası Hipokrat Tıp ve Sağlık Bilimleri Kongresi, pp.400, 2022.

Yavuz, B., Zengin Temel, T., Satilmis, D., Güven, R., Çolak, Ş. (2022). Analysis of electric scooter injuries admitted to the emergency service. Irish Journal of Medical Science (1971-), 191(2), 915-918.

Yılmaz, S., Akman, G., Ustaalioğlu, İ., Kılıç, M., Emem, M. K. (2022). Examination of Emergency Department Patients Involved in E-Scooter Related Accidents. Southern Clinics of Istanbul Eurasia, 33(3).

Zhao, Y., Cao, J., Ma, Y., Mubarik, S., Bai, J., Yang, D., ... & Yu, C. (2022). Demographics of road injuries and micromobility injuries among China, India, Japan, and the United States population: evidence from an age-period-cohort analysis. BMC public health, 22(1), 760.

Genişletilmiş Planlanmış Davranış Teorisini Kullanarak Iğdır'da Özel Araç Kullanımının Modellenmesi

Bircan Arslannur*[1] Ahmet Tortum[2]

[*1]Iğdır Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Iğdır, Türkiye.

Tel: (546) 449 9301

E-Posta: barslannur@gmail.com

[2]Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Erzurum, Türkiye.

Tel: (442) 231 4793

E-Posta: atortum@atauni.edu.tr

Dilan Kılıç[3]

[3]Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Erzurum, Türkiye.

Tel: (442) 231 4721

E-Posta: dilan.kilic@atauni.edu.tr

Öz

Özel araç kullanımının nasıl azaltılacağı ve toplu taşımanın nasıl teşvik edileceği her zaman ulaşım yetkililerinin temel politika hedefleri olmuştur. Bu bağlamda, toplu taşıma ağının gelişmediği küçük şehirlerde, evden işe yolculuklarda özel araç kullanımının psikososyal belirleyicilerinin ortaya konmasının ulaşım türü seçimine müdahale amacıyla ulaşım politikası belirleyenlerin karar almalarında yardımcı olacağı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında Iğdır ilinde çalışanların evden işe yolculuklarında özel araç kullanımlarının Planlanmış Davranış Teorisi'nin (PDT) alışkanlık, bilgi ve yetenek ve çevresel kısıtlamalar eklenilerek genişletilmiş hali kullanılarak Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modeliyle (PLS-SEM) modellenmesi yapılmıştır. Iğdır ilinde 410 çalışana özel araçla evden işe gidiş gelişlerine dair anketler yapılmıştır. PDT kapsamında tutum, öznel norm ve kişisel eylemlilik niyetle ilişkilendirilmiş bir sonraki aşamada ise niyet, bilgi ve yetenek, alışkanlık ve çevresel kısıtlamalar davranışla ilişkilendirilmiştir. Modelde kullanılan tüm etmenlerin yakınsak geçerlilik açısından Ortalama Açıklanan Varyans (AVE) ve Bileşik Güvenilirlik (CR) değerlerine göre uygun olduğunu, Normlu Uyum İndeksi (NFI) ve Standartlaştırılmış Ortalama Hataların Karekökü (SRMR) açısından modelin çok iyi uyum sağladığını ortaya koymuştur. Modelin ayrıştırıcı geçerlilik açısından Fornell-Larcker kriterini sağladığı ve çevresel kısıtlamaların davranışla olan ilişkisi dışındaki tüm ilişkilerin yüksek anlamlılık düzeyinde (p=0,000) birbirlerini doğrudan etkilediği görülmüştür. Bulgular, karar vericiler tarafından

yapılacak müdahalelerin evden işe gidip gelme ulaşım türü seçimini değiştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Planlanmış Davranış Teorisi, Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modeli, Iğdır, Ulaşım Türü Seçimi.

Giriş

Sunduğu iş olanakları sebebiyle daha fazla göç almaya başlayan şehirlerde trafik sıkışıklığı oluşmakta ve bu durum ekonomik ve çevresel sorunları beraberinde getirmektedir (Mackett and Edwards, 1998). Ulaşım türlerinin büyük çoğunluğunu oluşturmakta olan evden işe yapılan yolculuklar ise artan özel araç kullanımıyla birlikte şehir içi trafiğinin sıkışmasında özellikle zirve saatlerin oluşmasında önemli bir sebep olarak rol oynamaktadır (Jensen, 1999). Bu sebeple, artan trafik sorunlarıyla başa çıkabilmek ve karbon salınımının azaltılabilmesi için toplu taşıma kullanımının yaygınlaşması ve ulaşım planlamacılarının özel araç kullanımını azaltmaya yönelik stratejilerini oluşturmaları gerekmektedir. Ulaşım türü seçimine ilişkin karar verme mekanizması insan davranışlarının karmaşık yapısıyla ve yaşam tarzına bağlı olarak oluşmaktadır (Thøgersen, 2009). Bu sebeple politika belirleyicilerinin ve ulaşım planlayıcılarının yolcu davranışlarını anlamaları ve toplu taşımayı kullanmaları için onları teşvik edecek etmenleri açığa çıkarmaları gerekmektedir. Bunu sağlamak için evden işe yolculuk edenlerin ulaşım türü seçimlerine yönelik etkili etmenlerin belirlenebilmesine yönelik kapsamlı çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Handy ve diğ. 2014).

İnsanların ulaşım türü seçimi olarak toplu taşımaya yönlendirilmesi ve toplu taşıma sistemlerinin daha etkin bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla ulaşım ana planları oluşturulmaktadır. Toplu taşıma planlaması için geleneksel dört aşamalı modeller ve güncel olarak aktivite bazlı modeller de kullanılmaktadır. Hem geleneksel hem de gelişmiş ulaşım modelleri, genellikle temel bir olasılıksal seçim modelleri seti üzerine kuruludur. Bu modeller hane halkı anketleriyle oluşturulmakta ve sosyo-ekonomik özelliklere ve mekânsal belirleyicilere dayanmaktadır. Sürdürülebilir ve verimli bir seçenek olarak toplu taşıma kullanımını teşvik etmek, bireylerin işe gidip gelme seçimlerini etkileyen etmenlerin derinlemesine anlaşılmasını gerektirir. Bireylerin işe gidip gelmek için neden özel araçları seçtiklerini anlamak, kamu algısını olumlu yönde etkilemek isteyen araştırmacılar için çok önemlidir. Araştırmacılar, anketler ve görüşmeler yaparak, işe gidip gelenlerin güvenilirlik, erişilebilirlik, güvenlik ve zaman tasarrufu gibi endişeleri hakkında değerli veriler toplayabilir (Litman, 2017). Yaş, gelir ve konum gibi demografik değişkenler işe gidip gelme seçimlerini önemli ölçüde etkileyebilir. Araştırmacılar, belirli hedef gruplar için özel stratejiler geliştirmek için bu farklı ihtiyaçları tanımalıdır. Daha genç yolcular sürdürülebilirliğe ve maliyet etkinliğine öncelik verirken, daha yaşlı bireyler konfor ve erişilebilirliğe öncelik verebilir (Sun ve diğ. 2017). Toplu taşıma kullanımını teşvik etmek için araştırmacılar, sınırlı güzergahlar, uygun olmayan sefer saatleri, yetersiz altyapı ve yetersiz bilgi gibi engelleri ele almalıdır. Araştırmacılar, şehir planlamacıları, politika yapıcılar ve ulaşım yetkilileri arasındaki işbirlikçi çabalar, bu zorluklarla etkili bir şekilde mücadele etmek için gereklidir. İşe gidip gelmek için özel araç kullanımının arkasındaki motivasyonların derinlemesine anlaşılması, araştırmacıların toplu taşımaya ilişkin kamu algılarını olumlu yönde etkilemesini sağlar(Cervero and Kockelman, 1997). Endişeleri ele alarak, girişimleri hedef gruplara uyarlayarak, engelleri aşarak ve faydaları etkili bir şekilde ileterek,

araştırmacılar daha sürdürülebilir ve verimli ulaşım seçeneklerine doğru bir kayma sağlayabilirler. Araştırmacılar, özel araç kullanımının arkasındaki motivasyonları araştırarak ve bunları etkili bir şekilde ele alarak, toplu taşımaya yönelik olumlu tutumların şekillenmesinde hayati bir rol oynayabilir. Bu sebeple toplu taşımanın sürdürülebilirliği ve ulaşım politikası belirleyicilerinin toplu taşıma kullanımını teşvik edilebilecek müdahalelerde bulunabilmesi için o bölgede yaşayan yerleşiklerin özel araç kullanımlarını oluşturan psikososyal belirleyicilerin de hesaba katılması gerekmektedir (Fu and Juan, 2017).

Bu çalışmada, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 2015 yılında açıklanan İllerde Yaşam Endeksi Gösterge Değerleri'ne göre belediyenin toplu taşıma hizmetlerinden memnuniyet oranı %39 ile 81 il içinden 75. sırada bulunan Iğdır ilinde yaşayan yerleşiklerin evden işe yolculukları için özel araç kullanımına yönelik psikososyal görüşleri incelenmiş ve özel araç kullanımı davranışına yönelik psikososyal belirleyicilerin davranışa etkilerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir (TÜİK Kurumsal, 2023). Planlanmış Davranış Teorisi (PDT) modelinin araçsal tutum, tanımlayıcı norm, öz yeterlilik, bilgi ve beceriler, alışkanlık ve çevresel kısıtlamalar eklenerek genişletilmiş hali test edilmiştir. Bu bildirinin ana katkısı Iğdır gibi toplu taşımanın görece düzensiz olduğu küçük şehirlerdeki evden işe yolculuk edenlerin özel araç seçimini etkileyen belirleyicileri analiz ederek literatürdeki boşluğu doldurmaktır. Bu sebeple bu bildiride ulaşım türü seçimini etkileyen psikososyal belirleyicilerin PDT modelinin genişletilmiş hali kullanılarak Kısmi En Küçük Kareler Yapısal Eşitlik Modellemesi (PLS-SEM) yöntemiyle analizine odaklanılmaktadır. Ulaşım türü seçimi olarak özel araçlarını kullanan yerleşiklerin mevcut sisteme yönelik psikososyal görüşleri daha iyi anlaşılmadan, mevcut sistemin kullanıcıları toplu taşımaya yönlendirmesi verimli olmayacaktır. Bu nedenle kullanıcıların davranışını etkileyen psikososyal belirleyicilerinin anlaşılması politika belirleyicilerinin toplu taşıma davranışını teşvik edici müdahalelerine yönelik yardımcı olacaktır.

Teorik Model ve Araştırma Hipotezleri

Genişletilmiş Planlanmış Davranış Teorisi

Planlanmış davranış teorisi (PDT) paradigması Ajzen (1991) tarafından insan davranışını öngörmekten çok anlamak için oluşturulmuştur. Bireyler karar vermek için son derece zorlu bir süreçten geçerler. Davranışa girişme niyeti, davranışı etkileyen ana etmendir. Kişinin niyet etmedikçe davranışı gerçekleştirmesi olası değildir. Yine de belirli bir şekilde hareket etme arzusu, yani niyet olduğunda devreye giren üç temel etmen vardır. Birincisi tutumlar (ATT), bir kişinin hem araçsal hem de deneyimsel etmenleri hesaba katan genel niyet değerlendirmesidir (Fishbein and Ajzen, 2011). İkinci etmen, öznel norm (SN) veya diğer insanların davranışı nasıl algılayacağıdır. Üçüncü etmen, algılanan davranışsal kontrol (PBC) veya bireyin belirli bir aktivite üzerinde ne kadar kontrole sahip olduğunu hissettiğidir.

Yukarıda belirtilen üç etmene ek olarak, normatif etkinin temel bir bileşeni olarak tanımlanabilecek tanımlayıcı norm (DN) gibi niyeti etkileyen başka etmenler de vardır ve kişinin sosyal veya kişisel çevresindekilerin ne yaptığına ilişkin algılardan da gelebilir (Fishbein and Ajzen, 2011).

Davranış üzerinde ise niyetin yanı sıra dört etmenin daha etkisi vardır (Jaccard ve diğ. 2002). Davranışsal niyetlerin davranışsal performansa yol açıp açmayacağını belirlerken, bu etmenlerden üçü çok önemlidir. Öncelikle, kişinin davranışı gerçekleştirmek için

gerekli bilgi ve yeteneklere sahip olması gerekir. Ayrıca, davranış sergilemeyi zorlaştıracak veya imkânsız kılacak çok sayıda veya herhangi bir çevresel kısıtlama olmamalıdır. Üçüncüsü, aktivitenin kişinin o aktiviteye dahil olmayı hatırlaması için belirgin olması gerekir (Becker, 1974). Son olarak, eylemin tekrarı onu alışkanlık haline getirerek bu kişilerin davranışlarını niyetlerine dayandırmalarını daha az önemli hale getirebilir (Murtagh ve diğ. 2012).

Metod

Araştırma Hipotezleri

PDT, tutumun (ATT) davranışsal niyeti etkileyen birincil etmen olduğunu ortaya atmaktadır. Buna göre, kişinin bir faaliyetin olası sonuçları hakkında ne hissettiği, tutumlarına yansır (Ajzen, 1991). Örnek olarak çalışmada tutum ölçeği özel araç kullanmanın iyi-kötü, avantajlı-avantajsız olup olmadığıyla ölçülmektedir.

Hipotez 1 (H1): İşe gidip gelenlerin davranışsal tutumu, özel araç kullanma niyetleriyle pozitif olarak ilişkilidir.

Algılanan norm (PN), kişinin belirli bir eylemde bulunmaya veya bu eylemde bulunmaktan kaçınmaya yönelik yaşadığı toplumsal baskıdır. PDT modelinde önerilen haliyle öznel norm, çoğu insanın davranışa fikirsel olarak katılıp katılmadığına ilişkin görüştür. Bununla birlikte, bir kişi, önemli kişilerin söz konusu davranışa katıldığını veya bu davranışta bulunmaktan kaçındığını algıladığı için, öznel norma ek olarak tanımlayıcı norm olarak bilinen başka bir normatif baskı da hissedebilir (Ajzen, 1991; Fishbein and Ajzen, 2011). Örnek olarak çalışmada algılanan norm ölçeği özel araçla evden işe yolculuk yapmanın önem verilen kişiler tarafından desteklenip desteklenmediği ya da ankete katılan kişinin yakın çevresindekilerin evden işe özel araçla seyahat edip etmediğiyle ölçülmektedir.

Hipotez 2 (H2): İşe gidip gelenlerin algılanan normu, özel araç kullanma niyetleriyle pozitif olarak ilişkilidir.

Ajzen (2002) PBC'yi iki farklı ancak bağlantılı alt bileşen "kontrol edilebilirlik" ve "öz-yeterlik" ile genel bir yapı olarak yeniden tanımlamasına sevk etmiştir. Kişisel eylemlilik (PA) etmeni, algılanan davranışsal kontrol kavramına öz-yeterlilik (bir kişinin farklı zorluklar veya problemler karşısında davranışı gerçekleştirme becerisindeki güvence düzeyi) eklenerek tanıtılmıştır (Bandura, 2006). Örnek olarak çalışmada kişisel eylemlilik ölçeği katılımcının özel araçla evden işe yolculuk yapmada özgür hissedip hissetmediğiyle ölçülmektedir.

Hipotez 3 (H3): İşe gidip gelenlerin kişisel eylemlilik etmeni ile özel araç kullanma niyetleri arasında pozitif bir ilişki vardır.

Bir kişinin bir davranışta bulunmaya hazırlığının göstergeleri davranışsal niyetlerdir (IN). Bir kişinin belirli bir davranışı tamamlama olasılığına ilişkin tahmini, bir niyeti tanımlayan temel boyuttur (Ajzen, 1991; Fishbein and Ajzen, 2011). Niyet ölçeğine örnek olarak katılımcıların ileriki günlerde evden işe özel araçla yolculuk yapmayı planlayıp planlamadıkları verilebilir.

Hipotez 4 (H4): İşe gidip gelenlerin niyeti ile özel araç kullanım davranışları arasında pozitif bir ilişki vardır.

PDT modeli ile yapılan çeşitli çalışmalarda davranışı ölçmek için bilgi ve yeteneğin ayrı ayrı kullanıldığı bilinmektedir (Jalilian ve diğ. 2020). Bilgi ve beceriler birlikte davranışsal yeteneği (BC) oluşturmaktadır (Kelder ve diğ. 2015). Çalışmada davranışsal yeteneğin ölçülmesine örnek olarak katılımcının sağlık ve yetenek açısından özel araçla evden işe seyahat etmede kendini yeterli hissedip hissetmediği sorulmuştur.

Hipotez 5 (H5): İşe gidip gelenlerin davranışsal yeteneği ile özel araç kullanım davranışları arasında pozitif bir ilişki vardır.

Fishbein ve Ajzen (2011) tarafından PDT'nin çevresel kısıtlamaları içeren genişletilmiş bir versiyonu tanıtılmıştır. PDT çerçevesinde, çevresel kısıtlamalar (EC), kişinin davranışı gerçekleştirmesini engelleyen veya zorlaştıran fiziksel, sosyal ve ekonomik engelleri içerebilir (Fishbein and Ajzen, 2011). Çalışmadaki çevresel kısıtlamaların ölçülmesinde otopark sorunu, trafik yoğunluğu ve araç bakım işletim maliyetleri vb. ile ilgili sorular sorulmuştur.

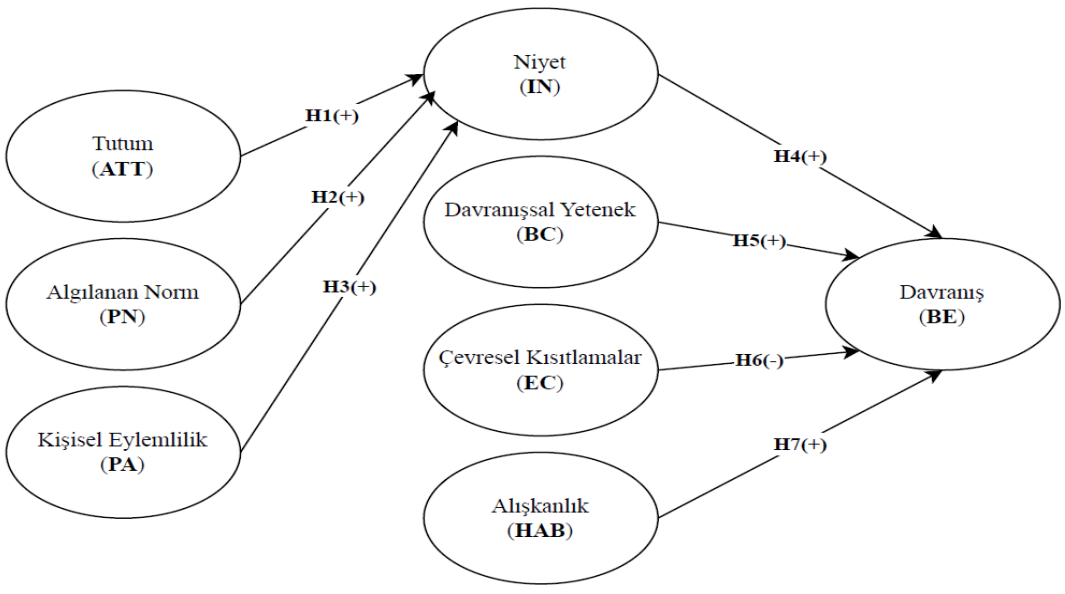
Hipotez 6 (H6): İşe gidip gelenlerin özel araç kullanmaya yönelik karşılaştıkları çevresel kısıtlamalar ile özel araç kullanım davranışları arasında negatif bir ilişki vardır.

Alışkanlıklar (HAB), bilinçli düşünme veya çaba göstermeden gerçekleştirilen otomatik, öğrenilmiş eylemlerdir (Verplanken and Orbell, 2003). PDT'deki alışkanlıkların önemi ve bunların davranış üzerindeki etkileri, giderek artan sayıda çalışmanın konusu olmuştur (Gardner and Abraham, 2008). Alışkanlık, davranışın sürekliliği, otomatikliği gibi sorular yöneltilerek ölçülmüştür.

Hipotez 7 (H7): İşe gidip gelenlerin alışkanlık gücü, özel araç kullanım davranışlarıyla pozitif olarak ilişkilidir.

Anket Tasarımı

Anket soruları, Şekil 1 de ortaya atılan Genişletilmiş Planlanmış Davranış Teorisi (GPDT) modelini test etmek amacıyla belirlenen hipotezlere uygun bir şekilde oluşturulmuştur.



Şekil 1 Genişletilmiş planlanmış davranış teorisi

Anket soruları iki ana bölümden oluşmaktadır. Anketin ilk bölümünde çalışanların özel sektör ya da kamu kurumlarında çalıştıkları, medeni durumları, yaşları, ehliyetlerinin olup olmadığı, aylık gelirleri, aylık hane halkı gelirleri, araç sahiplikleri, evden işe gidiş süreleri ve ev iş yerleri arası uzaklık gibi demografik sorular sorulmuştur. İkinci kısımda ise, çalışanların evden işe yolculuklarında özel araç kullanma niyetleri ve davranışlarını ölçebilmek amacıyla beşli likert ölçeğine göre sorulmuştur. Sorular oluşturulurken Ajzen'in (1991) PDT modeline bağlı kalınmakla birlikte literatürde belirtilen genişletilmiş PDT çalışmalarında kullanılan soru kalıplarından da yararlanılmıştır. Oluşturulan anket soruları iki aşamalı pilot teste tabi tutulmuş ve yapılan geri dönüşlere göre bazı soru kalıpları tekrar düzenlenerek anket çalışmasının son hali oluşturulmuştur. Soru kalıpları açısından incelendiğinde bu çalışmadaki 8 gizli değişkenden oluşan genişletilmiş PDT modelinde kullanılan soruların yansıtıcı özellikteki sorulardan oluşturulduğu görülecektir. Tüm sorular beşli likert ölçeği ile hazırlanmıştır. Çevresel kısıtlamaları oluşturan sorular daha önce de belirtildiği üzere literatürdeki soru kalıpları kullanılarak hazırlanmıştır. Buna göre tek bir ana soruyla katılımcılara, özel araçla ilgili karşılaşabilecekleri ya da mevcut karşılaştıkları çevresel kısıtlamaların davranışlarını olumsuz etkileyip etkilemediği sorulmuştur. Daha sonra sorulan çevresel kısıtlamalara ait sorular da bu ana soruya verilen ölçek puanıyla çarpılmıştır. Buna göre 25 ölçekli bir hale getirilen toplamda 9 çevresel kısıtlama sorusu modele sokulmuştur. Örneğin, bir katılımcı trafiğin yoğun olduğunu ya da işe gidişinde otopark sorunu yaşadığını belirtebilir. Ancak yaşadığı bu sorunlar, katılımcının zorunlu olarak evden işe özel araçla gitmesi gerektiği ya da konforundan ödün vermeyeceği vb. diğer hallerde özel araç kullanımını olumsuz etkilemeyebilir.

Çalışma Alanı ve Veri Toplama

Çalışma alanı olarak TÜİK rakamlarına göre İllerde yaşam endeksi il sıralamaları ve endeks değerleri sıralamasında 72. sırada olan ve İllerde Yaşam Endeksi Gösterge Değerleri'ne göre belediyenin toplu taşıma hizmetlerinden memnuniyet oranı %39 ile 81 il içinden 75. sırada olan Iğdır ili seçilmiştir (TÜİK Kurumsal, 2023). Iğdır ilinin seçilmiş olmasında toplu taşıma altyapısının yetersiz olması ve şehrin ulaşım ana planına sahip olmaması da etkili olmuştur. Iğdır ili merkez ilçesinin genel ve toplu taşıma altyapısına ait verileri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1 Iğdır İli Toplu Taşıma Altyapısı Verileri

Şehir	**Iğdır**
Merkez Yüzölçümü (km²)	1.479
Merkez Nüfusu	101.700
Otobüs Sayısı	5
Dolmuş Sayısı	158
Otobüs ve Dolmuş Hattı Sayısı	13
Otobüs ve Dolmuş Hattı Uzunluğu (km)	176
Durak Sayısı	138
Toplu Taşıma Kapasitesi	3.094
Toplu Taşıma Kapasitesi-Nüfusa Oranı	0,03

Pilot anketlere göre yapılan düzenlemeler sonrası veri toplama süreci 1 Mart 2022 tarihinde başlatılmıştır. Anket üç farklı şekilde yapılmıştır. Çevrimiçi anket, bir dizi soru türünün belirlenmesini, toplanan yanıtların saklanmasını ve verilerin yönetimini sağlayan profesyonel bir çevrimiçi anket platformu olan 'Surveey' (http://www.surveey.com) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kâğıda basılı anketler iş yerlerine gidilerek özel

sektör ve kamu kurumu çalışanlarına dağıtılmıştır. Toplanan kâğıt anketlerin de sisteme girişi sağlanmıştır. Yine aynı platform üzerinden yüzyüze anketler de yapılmıştır. Sınırsız nüfus büyüklüğünü yansıtmak için bu çalışma, %95'lik bir güven düzeyi elde etmek için en az 385 ölçüm veya anket gerektirir ve gerçek değerin anket yapılan değerden ±%5 aralığında olmasını sağlar. Buna göre Iğdır ilinde ikamet eden toplam 410 çalışandan geri dönüş sağlanmıştır. Buna göre ankete katılanların %69,51'inin erkeklerin %30,49'unu ise kadın çalışanların oluşturduğu yaş dağılımı olarak ankete katılanların %72,44'ünün 25-44 yaş arasında olduğu, eğitim seviyesi olarak bakıldığında ağırlıklı kesimin lisans mezunlarından oluştuğu, gelir düzeyi olarak bakıldığında ise katılımcıların %10,49'unun anketin yapıldığı zamandaki net asgari ücret olan yaklaşık 4.250 TL'den az gelire sahip olduğunu beyan ettikleri ve ağırlıklı olarak katılımcıların %45,61'inin gelirinin 4.250-8.500 TL arasında olduğu, hanehalkı gelirine bakıldığında ise katılımcıların %33,17 ile en çok 8.500-15.000 TL net gelire sahip olduklarını beyan ettikleri görülmektedir. Katılımcıların %87,80'i sürücü ehliyetine sahip olduğunu belirtmiş %25,85'i ise hanede motorlu taşıta sahip olmadığını belirtmiştir.

Metod

Genişletilmiş PDT (GPDT) modelinin kavramsal çerçevesine dayanan bu makale, 410 anketi bütünsel olarak analiz etmek için yapısal eşitlik modellemesinin kısmi en küçük kareler yöntemini (PLS-SEM) benimsemiştir. Yol modellemesine dayalı PLS-SEM modelinin son yıllarda gizli değişkenler arasındaki etkileşimli ilişkileri test etmek için ulaştırma ile ilgili yapılan araştırmalarda giderek daha popüler hale geldiği görülmektedir (Liang ve diğ. 2019). Kısaca SEM olarak da adlandırılan kovaryans tabanlı yapısal eşitlik modeli (CB SEM) ile karşılaştırıldığında, PLS-SEM'in örneklem büyüklüğü, hipotez testi ve karmaşık modelleme açısından daha avantajlı olduğu görülmektedir (Hair ve diğ. 2011).

Bu çalışmada PLS-SEM'in kullanılması bazı sebeplere dayanmaktadır: (1) GPDT modeli, mevcut bir yapısal teorinin test edilmesinden ziyade mevcut yapısal teorinin geliştirilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Geliştirilmiş bir teorik modeli test etmek için CB-SEM kullanmak uygun değildir, çünkü CB SEM'in avantajları mevcut bir modeli doğrulama eğilimindedir. (2) GPDT modeli, 9 gizli değişken ve 8 hipotez içeren 2 aşamalı görece karmaşık bir yol modelidir ve CB-SEM ile karşılaştırıldığında, PLS-SEM uygulanabilirlik açısından bu model için daha uygundur. (3) Bu çalışmada en iyi uyum iyiliği bulmak yerine evden işe gidişlerde özel araç kullanımı davranışını etkileyen temel yapıların belirlenmesi amaçlanmıştır. (4) Modelde bir ve iki sorudan oluşan değişkenlerin CB-SEM'in aksine PL-SEM kullanılarak analize dahil edilebilmesi mümkündür.

Analiz Sonuçları

Modelin Değerlendirilmesi

Uyum Geçerliliği

Aynı yapıyı ölçmek için ilk etapta kullanılan maddelerin iç güvenirliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Şekil 2, yapılan araştırmaya ait uyum geçerliliği sonuçlarını göstermektedir. Yansıtıcı yapıların sonuçlarını değerlendirmek için dört kriter vardır: bileşik güvenilirlik (CR), çıkarılan ortalama varyans (AVE), Cronbach α ve faktör yükleri. İç tutarlılık için kullanılan en yaygın ölçüm, Cronbach α ve gözlenen madde değişkenlerinin karşılıklı ilişkisine dayalı güvenilirliği ölçtüğü bileşik güvenilirliktir.

PLS-SEM'de değerler, göstergelerinin bireysel güvenilirliğine göre düzenlenir (Hair Jr ve diğ. 2021). Değerler, 0 ile 1 arasında değişir; burada daha yüksek bir değer, daha yüksek güvenilirlik düzeyini gösterir. Buna göre modeldeki CR değerleri 0,70'ten yüksektir. Gösterge güvenilirliği, gizli değişken tarafından açıklanan gösterge varyansının oranıdır. 0 ile 1 arasında değişen faktör yükleri değeri 0,70'ten büyük olmalı ve 0,40 ile 0,70 arasındaki faktör yüklerinin silinip silinmemesi kararı için AVE değerine bakılması 0,40 altında olan değerlerinse silinmesi gerekmektedir (Hair ve diğ. 2011). Buna göre sadece Çevresel Kısıtlamalara ait 2. maddenin faktör yükünün 0,63 olduğu ancak AVE değerlerinin yeterli olması sebebiyle maddenin silinmemesi kanısına varılmıştır. Özet olarak, bu sonuçlar, ölçüm modelinin tatmin edici uyum geçerliliğine sahip olduğunu göstermektedir.

Yapı	Ölçek	Faktör Yükü	St. Hata	t istatistiği	Yapı	Ölçek	Faktör Yükü	St. Hata	t istatistiği
ATT **Cronbach's α= 0,954** **AVE= 0,845**	**VIA1**	0,901***	0,010	87,636	**EC** **Cronbach's α= 0,960** **AVE= 0,761**	**VPEC1**	0,903***	0,010	88,991
	VIA2	0,916***	0,008	116,569		**VPEC2**	0,639***	0,039	16,576
	VIA3	0,927***	0,007	127,109		**VPEC3**	0,905***	0,011	83,752
	VEA1	0,936***	0,007	137,784		**VPEC4**	0,92***	0,009	102,572
	VEA2	0,916***	0,009	102,607		**VPEC5**	0,862***	0,015	56,375
PN **Cronbach's α= 0,935** **AVE= 0,837**	**VIN1**	0,948***	0,005	178,409		**VPEC6**	0,854***	0,017	51,003
	VIN2	0,938***	0,006	151,289		**VPEC7**	0,862***	0,017	51,442
	VDN1	0,887***	0,012	71,566		**VPEC8**	0,935***	0,009	106,234
	VDN2	0,885***	0,011	80,906		**VPEC9**	0,932***	0,006	150,93
PA **Cronbach's α= 0,966** **AVE= 0,881**	**VPBC1**	0,923***	0,009	98,477	**HAB** **Cronbach's α= 0,987** **AVE= 0,873**	**VHAB11**	0,948***	0,005	189,292
	VPBC2	0,948***	0,006	150,016		**VHAB12**	0,948***	0,005	178,387
	VPBC3	0,949***	0,006	168,671		**VHAB13**	0,931***	0,007	128,621
	VSE1	0,929***	0,007	132,729		**VHAB21**	0,942***	0,005	174,119
	VSE2	0,945***	0,007	130,703		**VHAB22**	0,935***	0,006	148,764
IN **Cronbach's α= 0,946** **AVE= 0,948**	**VINT1**	0,974***	0,004	277,897		**VHAB23**	0,935***	0,007	137,972
	VINT2	0,974***	0,003	295,04		**VHAB31**	0,927***	0,007	127,32
BC **Cronbach's α= 0,969** **AVE= 0,970**	**VKS1**	0,985***	0,003	351,652		**VHAB32**	0,939***	0,005	172,922
	VKS2	0,985***	0,003	328,59		**VHAB41**	0,934***	0,007	136,098
BE **Cronbach's α= 0,985** **AVE= 0,970**	**VBE1**	0,984***	0,002	512,056		**VHAB42**	0,919***	0,009	101,643
	VBE2	0,989***	0,001	720,614		**VHAB51**	0,929***	0,009	98,396
	VBE3	0,983***	0,002	548,699		**VHAB52**	0,924***	0,011	81,795

Not: (1) ***p<0,001. (2) St. Hata terimi standart hatayı temsil etmektedir.

Şekil 2 Uyum geçerliliği sonuçları

Ayrım Geçerliliği

PDT modelini ölçen maddelerin birbirlerinden ayrışması gerekmektedir. Ayrışmayı test etmek için iki önemli yöntem bulunmaktadır. Bunlardan ilki her gizli yapının AVE'sinin, yapının diğer herhangi bir gizli yapıyla en yüksek kareli korelasyonundan daha yüksek olmasını gerektirmektedir (Fornell and Larcker, 1981). Diğeri ise bir göstergenin faktör yüklerinin, tüm çapraz yüklerinden daha yüksek olmasıdır (Hair ve diğ. 2011). Tablo 2'de çalışmaya ait Fornell-Larcker tablosu sunulmaktadır.

Tablo 2 Fornell-Larcker Tablosu

	ATT	**BC**	**BE**	**EC**	**HAB**	**IN**	**PA**	**PN**
ATT	**0,919**							
BC	0,65	**0,985**						
BE	0,877	0,697	**0,985**					
EC	-0,497	-0,386	-0,486	**0,872**				
HAB	0,816	0,652	0,918	-0,469	**0,934**			
IN	0,833	0,634	0,928	-0,478	0,863	**0,974**		
PA	0,839	0,765	0,908	-0,423	0,868	0,842	**0,939**	
PN	0,834	0,656	0,886	-0,41	0,867	0,824	0,848	**0,915**

Buna göre çalışmadaki sonuçlar incelendiğinde yapının Fornell-Larcker kriterini sağladığı ve koyuyla işaretli değerin aynı satır ve sütunda bulunan çapraz yüklerden yüksek olduğu görülmüştür.

Model Geçerliliği

Yapısal Eşitlik Modeli'nin (SEM) oluşturulabilmesi için SmartPLS 4,0 yazılımı kullanılmıştır. Model oluşturulurken 5.000 yeniden örnekleme içeren bir önyükleme yöntemi kullanılmıştır. SEM modelindeki sonuçlar yol katsayısı olarak bilinen ve değişkenler arasındaki nedensel bağlantının incelenmesi amacıyla kullanılabilen doğrusal regresyon ağırlıklarını ve bu katsayıların anlamlılık derecesi olan p değerini vermektedir. Tablo 3'te tüm yol katsayılarının çevresel kısıtlamalar haricinde anlamlı olduğu görülmektedir. Benzer şekilde SEM sonuçlarından f^2 olarak adlandırılan etki büyüklükleri elde edilerek incelendiğinde yine çevresel kısıtlamalar haricinde tüm etmenlerin güçlü etkiye sahip oldukları görülmektedir. f^2 etki değerleri kullanılarak yapıdaki hangi modelin daha yüksek anlamlı etkiye sahip olduğu gözlemlenebilmektedir.

Tablo 3 Yol Katsayıları ve Hipotez Testi Sonuçları

	Yol Katsayısı (O)	**Ortalama (M)**	**P değeri**	**f^2**	**Durum**
H1: ATT → IN	0,323	0,321	0,000	0,113	Kabul
H2: PN → IN	0,252	0,255	0,000	0,065	Kabul
H3: PA → IN	0,357	0,356	0,000	0,127	Kabul
H4: IN → BE	0,499	0,499	0,000	0,77	Kabul
H5: BC → BE	0,106	0,105	0,000	0,079	Kabul
H6: EC → BE	-0,014	-0,014	0,384	0,002	**Red**
H7: HAB → BE	0,413	0,412	0,000	0,513	Kabul
Not: (1) Yol Katsayısı standartlaştırılmış katsayılardır. "f^2" efekt büyüklüğünü temsil eder. f^2:0,02 zayıf, orta f^2:0,15, güçlü f^2:0,35 (Cohen, 1988).					

SEM model sonuçlarından elde edilen yapısal modelin uyumu sonucu incelendiğinde ise R^2 değerlerinin davranış için 0,922 ve niyet için 0,777 olduğu görülmüştür. Literatürde modelin uyum için (Standartlaştırılmış Ortalama Hataların Karekökü (SRMR) ve Normlu Uyum İndeksi (NFI) gibi kriterleri karşılaması gerekmektedir. Buna göre SRMR<0,08 ve NFI>0,90 olmalıdır(Hair ve diğ. 2014). Bu açıdan bakıldığında da model uyum kriterlerinin (Gözlenen değişken sayısının parametre sayısına eşit olduğu doygun model için; NFI=0,906, SRMR=0,039, Tahmini model için; NFI=0,903, SRMR=0,043) sağlandığı söylenebilir. Özetlemek gerekirse, Şekil 1'de varsayılmış olan hipotezlerden sadece H6 hipotezinin reddedileceği görülmüştür. Sonuçlar, ATT, PN, PA yapılarının niyeti olumlu etkilediğini, IN, BC ve HAB yapılarınınsa davranışı olumlu etkilediğini göstermektedir.

Sonuç

Yolculuk davranışı, artan karbon salınımını ve sürdürülebilir ulaşımın gelişimini etkileyen önemli bir etmendir. Bu çalışmada, özel araçla evden işe yolculuk etme niyeti ve davranışının belirlenebilmesi için PLS-SEM yöntemi kullanarak bölgesel bazda ulaşım altyapısı henüz oturmamış küçük ölçekli bir şehrin incelemesi yapılmıştır. Buna göre, Iğdır ilinde yaşayan çalışanların evden işe özel araçla gitme niyetlerinin tutum, algılanan norm ve kişisel eylemliliğe bağlı olduğu aynı zamanda özel araçla yolculuk

etme davranışının da niyet, davranışsal yetenek ve alışkanlığa bağlı olduğu çıkarımına varılmıştır. Yol katsayılarına bakarak niyet ve alışkanlığın davranışa daha çok etkisi olduğu, tutum ve kişisel eylemliliğinse niyete daha çok etkisinin olduğu ancak algılanan norma kıyasla aradaki farkın çok da yüksek olmadığı görülmektedir. Niyetin davranışı etkilediği bilindiğinden ve algılanan normun da niyete etkisi bilindiğinden yetkililer tarafından algılanan norma müdahale etmeye yönelik toplu taşıma kullanımını destekleyici çevreci ve sürdürülebilir ulaşım politikalarının izlenmesi ve tanıtılmasının literatürdeki gibi Iğdır ilinde de etkiye sahip olabileceği düşünülmektedir. Aynı şekilde özel araç kullanma davranışının bir alışkanlık haline geldiği söylenebilir. Özellikle özel araçla yolculuk eden çalışanların alışkanlık algılarının yıkılabilmesi için küçük şehirlerde toplu taşıma ağlarının genişletilmesi, Iğdır gibi coğrafi açıdan bisiklet, scooter, kaykay, kargo bisiklet gibi mikromobilite türlerinin kullanımına uygun olan küçük şehirlerde bu araçlara uygun güvenli ve erişilebilir yolların inşa edilmesi daha sonrasında ise bireylerin ulaşım alışkanlıklarını değiştirmeyi motive etmek amaçlı davranış değiştirme kampanyaları düzenlenebilir. Benzer şekilde özel araç kullanımına karşı tutumu olumsuz etkilemeye yönelik özel araç kullanımının karbon salınımı gibi çevreye olan olumsuz etkileri üzerine bilgilendirici faaliyetler yaparak ya da toplu taşımayı daha cazip gösterecek politikalar izleyerek niyete dolayısıyla da davranışa müdahalelerde bulunulabilir.

Kaynaklar

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *50*(2), 179–211.

Ajzen, I. (2002). Perceived behavioral control, self-efficacy, locus of control, and the theory of planned behavior 1. *Journal of Applied Social Psychology*, *32*(4), 665–683.

Bandura, A. (2006). Bandura (2006) Toward a psychology of human agency.pdf. In *Perspectives on Psychological Science* (Vol. 1, Issue 2).

Becker, M. H. (1974). The health belief model and personal health behavior. *Health Education Monographs*, *2*(4).

Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *2*(3), 199–219.

Fishbein, M., & Ajzen, I. (2011). *Predicting and changing behavior: The reasoned action approach*. Taylor & Francis.

Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). *Structural equation models with unobservable variables and measurement error: Algebra and statistics*. Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA.

Fu, X., & Juan, Z. (2017). Understanding public transit use behavior: integration of the theory of planned behavior and the customer satisfaction theory. *Transportation*, *44*(5), 1021–1042.

Gardner, B., & Abraham, C. (2008). Psychological correlates of car use: A meta-analysis. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *11*(4), 300–311.

Hair, J. F., Henseler, J., Dijkstra, T. K., & Sarstedt, M. (2014). *Common beliefs and reality about partial least squares: comments on Rönkkö and Evermann*.

Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2011). PLS-SEM: Indeed a silver bullet. *Journal of Marketing Theory and Practice*, *19*(2), 139–152.

Hair Jr, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2021). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)*. Sage publications.

Handy, S., van Wee, B., & Kroesen, M. (2014). Promoting Cycling for Transport: Research Needs and Challenges. In *Transport Reviews* (Vol. 34, Issue 1). https://doi.org/10.1080/01441647.2013.860204

Jaccard, J., Dodge, T., & Dittus, P. (2002). Parent-adolescent communication about sex and birth control: A conceptual framework. *New Directions for Child and Adolescent Development*, *2002*(97), 9–42.

Jalilian, F., Mirzaei-Alavijeh, M., Ahmadpanah, M., Mostafaei, S., Kargar, M., Pirouzeh, R., Sadeghi Bahmani, D., & Brand, S. (2020). Extension of the theory of planned behavior (TPB) to predict patterns of marijuana use among young Iranian adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(6), 1981.

Jensen, M. (1999). Passion and heart in transport — a sociological analysis on transport behaviour. *Transport Policy*, *6*(1), 19–33. https://doi.org/10.1016/S0967-070X(98)00029-8

Kelder, S. H., Hoelscher, D., & Perry, C. L. (2015). How individuals, environments, and health behaviors interact. *Health Behavior: Theory, Research, and Practice*, *159*, 144–149.

Liang, J.-K., Eccarius, T., & Lu, C.-C. (2019). Investigating factors that affect the intention to use shared parking: A case study of Taipei City. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *130*, 799–812.

Litman, T. (2017). *Understanding transport demands and elasticities*. Victoria Transport Policy Institute Victoria, BC, Canada.

Mackett, R. L., & Edwards, M. (1998). The impact of new urban public transport systems: will the expectations be met? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *32*(4), 231–245.

Murtagh, S., Rowe, D. A., Elliott, M. A., McMinn, D., & Nelson, N. M. (2012). Predicting active school travel: The role of planned behavior and habit strength. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *9*(1), 1–9.

Sun, B., Ermagun, A., & Dan, B. (2017). Built environmental impacts on commuting mode choice and distance: Evidence from Shanghai. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *52*, 441–453.

Thøgersen, J. (2009). Promoting public transport as a subscription service: Effects of a free month travel card. *Transport Policy*, *16*(6). https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2009.10.008

TÜİK Kurumsal. (n.d.). Retrieved May 29, 2023, from https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Illerde-Yasam-Endeksi-2015-24561

Verplanken, B., & Orbell, S. (2003). Reflections on past behavior: a self-report index of habit strength 1. *Journal of Applied Social Psychology*, *33*(6), 1313–1330.