



**TMMOB  
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI**

**13. ULAŞTIRMA KONGRESİ  
YAŞANABİLİR KENTLER İÇİN  
KENT-ULAŞTIRMA BİRLİKTELİĞİNİN  
UYUMLU GELİŞİMİNİN YÖNETİMİ**

**BİLDİRİLER KİTABI**

**10-11-12 EKİM 2019  
ERZURUM / TÜRKİYE**

**Düzenleyen Şubeler  
İMO Erzurum Şubesi • İMO İstanbul Şubesi**



**TMMOB**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI**

## 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

**YAŞANABİLİR KENTLER İÇİN KENT-ULAŞTIRMA  
BİRLİKTELİĞİNİN UYUMLU GELİŞİMİNİN YÖNETİMİ**

## BİLDİRİLER KİTABI

10-11-12 EKİM 2019  
ERZURUM / TÜRKİYE

**Yazışma Adresi:**

**TMMOB İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI**  
**ERZURUM ŞUBESİ**

A.Mumcu Cad. Devlet Tiyatroları Binası Kat:4/22 Yakutiye / Erzurum / TÜRKİYE

**Tel:** +90 442 233 47 03 – **Faks:** +90 442 234 80 90

**imoerzurum@imo.org.tr - erzurum.imo.org.tr**

**TMMOB İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI**  
**İSTANBUL ŞUBESİ**

**Oda Yayın No:** .....

**ISBN:** 978-

**Baskı:** Ekim 2019

**Baskı**

Zafer Medya Grup  
Yenikapı Cad. Kadioğlu Sok. No: 1 Yakutiye/ERZURUM  
0 442 234 22 85

## DANIŞMA KURULU

CEMAL GÖKÇE (İMO Başkanı)  
CEMAL AKÇA (İMO II. Başkanı)  
ŞÜKRÜ ERDEM (İMO Sekreter Üye)  
SELİM TULUMTAŞ (İMO Ankara Şube Başkanı)  
OKAY MEMİŞ-Erzurum Valisi  
ESAT PARTAL- Karayolları 12. Bölge Müd.  
ALİ ÇELİK- Emniyet Genel Müdür Yardımcısı

## DÜZENLEME KURULU

Güngör EVREN  
Nusret SUNA  
Ahmet TORTUM  
Ergun GEDİZLİOĞLU  
Ilgın GÖKAŞAR  
Niyazi Özgür BEZGİN  
Selim DÜNDAR  
Ahmet ATALAY  
M. Yasin ÇODUR  
G. Yaşın ARSLANOĞLU  
Özgür BOSTANCI  
Gökhan GÜNGÖRMÜŞ  
Rezan BULUT  
Funda KILINÇ SUVAKÇI  
Hasan ÇARIKCI

## BİLİM KURULU

AHMET ATALAY  
AHMET TORTUM  
ALİ PAYIDAR AKGÜNGÖR  
ALİ TOPAL  
ATAKAN AKSOY  
ATILLA ALPÖGE  
BAHA VURAK KÖK  
BURAK ŞENGÖZ  
BURCU TEKEŞ  
CEM SORUŞBAY  
CÜNEYT ELKER  
DOĞAN HASOL  
EMİNE AĞAR  
ERGUN GEDİZLİOĞLU  
D. SERKAN C. TAPKIN  
EROL İSKENDER  
GÖKER AKSOY  
KÜRŞAT ÇUBUK  
M. VEFA AKPINAR  
ERHAN ÖNCÜ  
H.FERİT BAYATA  
GÖKMEN ERGÜN  
GÜNGÖR EVREN  
HAKAN GÜLER  
HALİM CEYLAN  
HALİT ÖZEN  
HALUK GERÇEK  
HEDİYE TÜYDEŞ YAMAN  
HİLMİ BERK ÇELİKOĞLU  
HÜSEYİN CEYLAN  
ILGIN GÖKAŞAR  
İSMAİL HAKKI ACAR  
İSMAİL ŞAHİN  
KEVSER ÜSTÜNDAĞ  
MAHİR GÖKDAĞ  
METE ORER  
METİN MUTLU AYDIN  
MUSTAFA ÖZUYSAL  
MUSTAFA SİNAN YARDIM  
NADİR YAYLA  
NEVZAT ERSELCAN  
NİYAZİ ÖZGÜR BEZGİN  
ONUR TEZCAN  
ORHAN BEHİÇ ALANKUŞ  
OSMAN ÜNSAL BAYRAK  
ÖZGÜR BAŞKAN  
PELİN ÇALIŞKANELLİ  
PERVİZ AHMETZADE  
SELİM DÜNDAR  
SERHAN TANYEL  
SONER HALDENBİLEN  
SÜREYYA YÜCEL ÖZDEN  
VOLKAN EMRE UZ  
M. YAŞİN ÇODUR  
YETİŞ ŞAZİ MURAT  
ZERRİN BAYRAKTAR

## İÇİNDEKİLER

SUNUŞ.....	XI
Bildiri.....	XIII
<i>Yazar</i>	

## Seyahat Talep Matrisinin Doğrudan Tahmininde Şartlı Başlangıç Bilgilerinin Sınanması

**Kemal Yasin Göka, Halim Ceylan**

02200 Pamukkale/Denizli

0554 518 5436, 0533 712 9394

yasingoka@gmail.com, halimc@pau.edu.tr

**Soner Haldenbilen**

02200 Pamukkale/Denizli

0506 545 5240

shaldenbilen@pau.edu.tr

### Öz

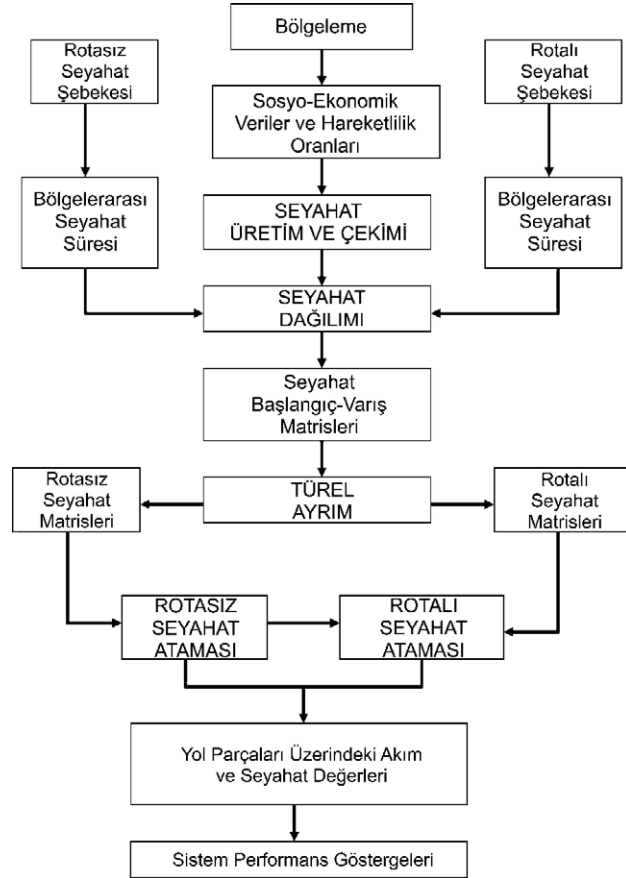
Seyahat talebinin tahmininde dünyada en çok kabul görmüş ve uygulanan yöntem, *Seyahat Üretimi*, *Seyahat Dağılımı*, *Türel Ayrım* ve *Trafik Ataması* aşamalarından oluşan *Dört Aşamalı Talep Modeli* olmaktadır. Ancak bu modelin her bir aşamasının ihtiyaç duyduğu girdiler çok sayıda veriye ve yüksek işgücüne bağlı olmaktadır. Bu sebeple talebin bu aşamaların dışında doğrudan elde edilebilmesi çalışılmalı bir konu olmuştur. Geliştirilen yöntemlerin başlıcası ise talebin trafik sayımlarından doğrudan elde edilmesi olmaktadır. Konu ile ilgili trafik sayımı verileri, bağ hacmi, kesit hacmi ve kavşak kolu hacmi olarak değişebilmektedir. Aynı zamanda yöntemin başarıya ulaşması ve hata oranları açısından tatmin edici sonuçlar vermesi için sağlanması gereken kısıtlara sahip bazı bilgiler gerekebilmektedir. Bu bilgiler seyahat üretimi veya seyahatin mesafe veya süre dağılım oranları gibi şartlı bilgilerdir. Çalışma kapsamında seyahatlerin doğrudan tahmini için belirlenen bir test ağındaki bağ hacimleri kullanılmış, anılan şartlı başlangıç bilgileri ve bağ hacimleri kullanılarak 24 adet senaryo oluşturulmuştur. Uygulama sonucunda, talebin doğrudan tahmini için etkili şartlı başlangıç bilgisinin ve bağ sayısının elde edilmesi amaçlanmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Seyahat Planlaması, Talep Tahmini, Validasyon ve Kalibrasyon

### Giriş

20. yüzyılın ilk yarısında ulaşım araçlarının kolay erişilebilir olması ve kentlerdeki nüfus yoğunluğunun artması ile yüksek maliyetli ulaşım yatırımlarında da ciddi bir artış meydana gelmiştir. Plummer (2010) yapmış olduğu çalışmada, aynı yıllarda yatırımların maliyetlerinin kontrol altına alınabilmesi ve etkili bir şekilde planlanması amacıyla mühendisler ve şehir plancıları tarafından geliştirilen yatırım bazlı planlama yaklaşımlarının olduğunu belirtmiştir. Anılan yaklaşımların sorunların kaynağına bir çözüm bulamamasından dolayı yerel yönetimler, sorunları parça parça çözmekten çok, bunlara yol açan sebepleri stratejik misyonlar çerçevesinde çözmeyi hedeflemiştir. Bu amaçta aynı yüzyılın ikinci yarısında geliştirilen Chicago Bölgesi Ulaşım Çalışması'nda (CATS) talep modelleri geliştirilmiştir. Mladenovic ve Trifunovic (2014), bu yılların *Seyahat Üretimi*, *Seyahat Dağılımı*, *Türel Ayrım* ve *Trafik Ataması*'ndan oluşan *Dört Aşamalı Talep Modeli*'nin ABD'de ve daha sonra dünya genelinde ulaştırma planlaması için evrensel bir yaklaşım olmaya başladığı bir dönüm noktası olduğundan bahsetmiştir.

Seyahatlerin üretim miktarını, dağılım bölgelerini, kullandığı türleri ve rotaları belirleyen dört aşamalı talep modelinin uygulamaları yüksek miktarda saha verisine ihtiyaç duymaktadır. Saha çalışmaları genellikle amaçlarıyla beraber, dışsal trafiğin kestirimine dayalı yol kenarı anketleri, seyahat karakteristiklerini ölçmeye dayalı hane halkı anketleri, modelin kalibrasyonu ve validasyonunda kullanılan trafik sayımları ve bazı özel durumlarda, bölge otoriteleri ile gerçekleştirilen nitelikli görüşmeler ile konu hakkında bilgi sahibi olan katılımcılar ile beraber oluşturulan çalıştaylar olmaktadır (Bkz. Şekil 1).



Şekil 1 Planlamada klasik yöntemler akış şeması.

Seyahat talebinin tahminine yönelik uygulanan yüksek maliyet ve işgücü gerektiren ve bu sebeple kararsızlaşabilen geleneksel ulaşım planının bu yöndeki eksikliklerini tamamlamak amacıyla geliştirilen yaklaşımların başlıcası; talebin, ulaşım ağındaki trafik sayımlarını kullanarak tahmini yönünde olmuştur. Geliştirilen yöntemlerde analiz bölgeleri arasındaki talep farklı gözlem verileri ile tahmin edilebilmektedir. Bu kapsamda gözlemler, yol parçaları üzerinde gerçekleştirilen sayımlar, birkaç yol parçasını kesen perde hatlarında gerçekleştirilen sayımlar veya kavşaklardaki dönüş bağlarında gerçekleştirilen sayımlar olabilmektedir.

Çalışmada, literatür ve uygulamadaki eksiklikleri gidermek ve gelecek çalışmalara ışık tutmak amacıyla trafik gözlemleri ile doğrudan talep tahmini için bağ hareketlerinin kullanılabilirliğinin irdelenmesi hedeflenmiştir. Sadece sayım verileri ile elde edilen talep matrislerinin eksik kalabileceği düşünüldüğünden, analiz bölgelerindeki seyahat üretimi ve seyahatin mesafe ve süre bazlı dağılım oranları gibi bazı şartlı başlangıç bilgileri de sisteme dahil edilmiştir. Böylelikle sayım verileri ile doğrudan talep tahmini için kullanılacak uygun gözlem modeli ve gerekli şartlı başlangıç bilgilerinin önerilmesi amaçlanmıştır. Uygulama çerçevesinde seyahat dağılım ve davranış normlarının dışında sayılabilecek bir sistemin ele alındığı test ağından faydalanılmıştır. Böylelikle, uygun yöntemin, gerekli şartlı başlangıç bilgisinin ve gözlem sayısının test edilmesi kapsamında zorlayıcı bir ağ kullanılarak yöntemlerin sağlıklı bir şekilde karşılaştırılması amaçlanmıştır. Test ağının ve problemin çözümü için bir ulaşım makro analiz yazılımı olan PTV VISUM bilgisayar programından yararlanılmıştır. Kullanılan ağda şeritsel olarak ele alınan bağların toplam akımlarını ifade etmek üzere kesitler kullanılmıştır. Bağ modelinin karşılaştırıldığı uygulamada en yüksek trafik hacmine sahip elemandan başlanıp sırası ile yığımsal olarak talep tahmini için kullanılan gözlem sayısı artırılmıştır. Her bir denemede sırası ile, sayım verileri ve bunlara ek olarak seyahat üretim-çekim şartlı başlangıç bilgisi ve seyahat süresi dağılımı şartlı başlangıç bilgisi kullanılmıştır.

### Gözlem Verileri ile Talep Tahmini

Jensen ve Nielsen (1973) ile Holm ve diğ. (1976) yaptıkları çalışmalarda seyahat üretimi, seyahat dağılımı ve trafik ataması modellerinin sayım verileri ile doğrudan kalibrasyonunu sağlamışlardır. Yöntem, seyahat üretimi ve seyahat dağılımının birleştirilmiş bir formülasyonundan oluşmaktadır. Formülasyonda yer alan seyahat üretimi faktörü, iteratif atama yöntemleri ile hesaplanan bağ hacimlerinin, gözlem değerleri ile karşılaştırılmasından sonra bulunmaktadır. Atamalar Wardrop'un denge ilkesine göre oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda kurulan modelin yüksek akımlarda fazla tahmin yaptığı ve düşük akımlarda az tahmin gerçekleştirdiği sonucuna varılmış ve bunun sebebinin dış zonlar arası seyahatlerin model tarafından önceden göz önünde bulunmamasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bununla beraber yapılan çalışmada bağlardaki hacimlerin tahmin ve gözlem değerleri arasındaki hata oranı %17 olarak hesaplanmış ve kesitlerin yalnızca yarısıyla kalibrasyon yapıldığından bozulma sınır değerleri içerisinde görülmüştür (Willumsen, 1978).

Zuylen (1977) yaklaşımı, entropi maksimizasyonuna dayanmaktadır. Entropi orijinalinde fizikte kullanılan bir terim olmakla beraber basit olarak düzensizlik hali olarak ifade edilebilir. Ulaştırma alanında bu yönde geliştirilen yaklaşımlar, minimum girdi ile maksimum bilgi elde etmek üzerine dayalıdır. Çalışmada geliştirilen algoritmalar ile seyahat matrisinin gerekli olandan daha fazla bilgi kaybetmeden tahmin edilmesi sağlanmıştır. (Willumsen, 1978).

Carey ve diğ. (1981) çalışmalarında gözlem modeli olarak ulaşım ağındaki perde hatları verilerini kullanmış ve bu gözlemler modelde kısıt olarak girilmiştir. Neumann ve diğ. (1983) çalışmalarında bağlardaki trafik hacmi verilerini kullanarak tüm amaçlar için seyahat üretimi oranı tahmini gerçekleştirmişlerdir. İki bölgede yapılan çalışmalar sonucunda, trafik gözlem verilerinin yıl boyunca düzenli kaydedilmesi ile beraber etkin tahminlerin yapılabileceği ortaya konulmuştur.

Nihan ve Davis (1987) çalışmalarında bir yol parçasındaki giriş ve çıkış hacimlerindeki gözlem verilerinden yararlanarak B-V matrislerinin tekrarlı tahminlerini gerçekleştirmişlerdir. Kawakami ve diğ. (1992) yaptıkları çalışmada, geçmişte kullanılan, seyahat üretimi ve seyahat dağılımı modellerinin trafik ataması yöntemi ile birleştirilerek konsolide modellerin kullanımına ek olarak seyahat dağılımı, türel ayırım ve atama yöntemlerini birleştirmişlerdir.

Alibabai ve Mahmassani (2008) zaman aralıklı başlangıç-varış matrisinin dinamik tahmininde kavşak dönüş hacimlerini kullanmışlardır. Seçilen bir bölgede gerçekleştirilen uygulamalarda, kavşak dönüş hacimleri ve bağ hacimlerinin gözlemleri ile elde edilen zaman aralıklı matris tahminleri gerçekleştirilmiştir. Uygulamaların sonucunda zaman aralıklı seyahat matrisi tahmin yöntemlerinde gözlem kavşak dönüş hacimlerinin kullanılmasının, gözlem bağ hacimlerine göre daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Literatürde ve uygulamada yapılan doğrudan talep tahmini çalışmaları şartlı başlangıç bilgilerinin çeşitliliği açısından oldukça kısıtlıdır. Bu kapsamda çalışmada belirli senaryolar altında, seyahat üretim-çekimi ve seyahat süresi dağılım oranları şartlı başlangıç bilgileri olarak çalıştırılmış ve etkili şartlı başlangıç bilgisinin ayırımı ile gerekli sayım verisinin bulunması amaçlanmıştır.

### Matematiksel Formülasyon

Gözlem verileri ile talebin tahmininde kullanılan başlıca yaklaşımlar, doğrusal modeller, doğrusal olmayan modeller, ağ dengesi modelleri, bilgi minimizasyonu modelleri ve entropi maksimizasyonu modelleri olmaktadır. Problemin ilk uygulamalarında kapasite kısıtsız ya hep ya hiç metotları kullanılmış, geliştirilen modeller sonucunda trafik sayım verileri ile seyahat dağılımı modellerinin kalibrasyonu ve validasyonu gerçekleştirilmiştir. Problem ile ilgili yaklaşımlarda yol parçalarının kapasitelerinin de dikkate alınmasıyla beraber uygulamalar daha gerçekçi bir hal almıştır.

Talep matrisinin trafik sayımlarından elde edilmesi problemi günümüzde güncelliğini korumakta ve geliştirilmektedir. Uygulamadaki avantajların baskın çıkması gibi çeşitli durumlarda değerlendirilebilen yöntemin günümüzde sıkça kullanılan modeli entropi maksimizasyonu olmaktadır.

Entropi, fizik temelli bir kavram olmakla beraber termodinamiğin ikinci yasasını oluşturmaktadır. Bir fiziksel sistemde, elementler enerji, kütle gibi sistem kısıtları dahilinde olabilecek en fazla şekilde düzenlenmeye meyillidir. Bu düzen aynı zamanda en büyük düzensizliktir (Willumsen, 1978).

Entropi maksimizasyonu veya bilgi minimizasyonu çerçevesinde, ulaşım planlarının, trafik akımlarında yer alan bilgileri tamamen kullandığı tartışmaya açık bir konudur. Hogberg (1975) araştırmalarında 16 düğüm ve 44 tek yönlü bağdan oluşan bir test ağı kullanmış ve en önemli 4 adet tek yönlü bağ trafik hacminden sonra dikkate alınan bağların, talep tahmininde tutarlılık konusunda kayda değer bir gelişme oluşturmadığını göstermiştir (Willumsen, 1978).

Gözlem verileri ile talep tahmini ve model kalibrasyonunu ele aldıkları temel problem doğrusal bir formda oluşmaktadır. Problemin çözümü için bağların üzerindeki trafik hacimlerinin hangi B-V talebi ile oluştuğu bilinmelidir. Ek olarak,  $i$  başlangıç bölgesinden  $j$  varış bölgesine olan talebin  $m$  bağımlı kullanan oranı bilindiğinde, tanım Denklem 1'deki gibi olmaktadır (Zuylen & Willumsen, 1980).

$$0 \leq P_{ij}^m \leq 1 \quad (1)$$

Eğer  $m$  bağındaki akım  $V_m$  ile ve  $i$  ve  $j$  bölgeleri arasındaki talep  $f_{ij}$  olarak gösterilirse, seyahat matrisinin trafik sayımlarından elde edilmesi probleminin temel tanımı Denklem 2'deki gibi olacaktır (Zuylen & Willumsen, 1980).

$$V_m = \sum_i \sum_j P_{ij}^m f_{ij} \quad (2)$$

Çalışmada bir makro ulaşım analiz yönetimi olan PTV VISUM yazılımı kullanılmıştır. Yazılım kapsamında gözlem verileri ile talep tahmini probleminin çözümünde temel prensiplerin tabanı üzerinde literatürde geliştirilmiş entropi maksimizasyonu ve bulanık mantık işlemlerinin bir sentezi kullanılmaktadır. Gözlem değerlerinin ayrı bir vektör olarak yazılması halinde ise Denklem 3'teki ifade elde edilir.

$$v' = (v_1 \quad v_2 \quad v_3 \quad \dots \quad v_m) \quad (3)$$

Genel olarak B-V çiftleri ve trafik sayımları arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.  $A$ , akım matrisi olarak düşünüldüğünde, doğrusal ilişki Denklem 4'teki formu alır.

$$A^* f = v \quad (4)$$

Denklem 4'te verilen doğrusal problemin çözümü ile elde edilecek sayısız türde B-V matrisi bulunmaktadır. Bu matrislerin arasından en uygun olanı seçmek için, atama matrisinin belirli oranlarında entropi ve ağırlık kombinasyonundan oluşan bir gelişim fonksiyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Problem, en uygun olan talep matrisinin elde edilmesi için Denklem 5'te verilen gelişim fonksiyonunun maksimizasyonunu aramakta ve doğrusal olmayan bir formülasyon uygulanmaktadır.

$$q(f) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left( f_{ij} \ln \frac{f_{ij}}{f_{ij}} - f_{ij} \right) \quad (5)$$

Eşitlikte;  $q(f)$ , ağırlıklı entropi gelişim fonksiyonunu,  $\hat{f}_{ij}$ , ilk atama talep matrisini ifade etmektedir.  $\hat{f}_{ij}$  ilk atama talep matrisi, eski çalışmalar ile elde edilen bir talep matrisi olabileceği gibi, seyahat dağılımı ile elde edilebilecek bir B-V matrisi de olabilmektedir. Bu durumda doğrusal olmayan iteratif yöntem açısından, ilk atamanın gerçekleştirilmesi ve trafik hacimlerindeki gözlem değerleri ile model değerleri arasındaki karşılaştırmanın elde edilmiş olması gerekmektedir. Her atama sonrası değişen talep matrisi  $f_{ij}$ 'nin tekrar sisteme atanması ile rotalar değiştiğinden, yöntemin iterasyon sayısının artırılması gerekmektedir.

Makro çalışmalarda çok keskin değerlerin elde edilmesi mümkün olmayacağından, gözlem değerleri bulanıklaştırılarak bazı limitler dahilinde hareket edilmesi sağlanır. Sayım değerlerinin bulanık düzende ifade edilmesinden sonra, gelişim fonksiyonunun eniyilenmesi problemi Denklem 6'daki formu alır.

$$\begin{aligned} & \text{Enbüyük } q(f, s, s') \\ & A * f + s = \bar{v} \\ & A * f - s' = \underline{v} \\ & s \geq 0 \\ & s' \geq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

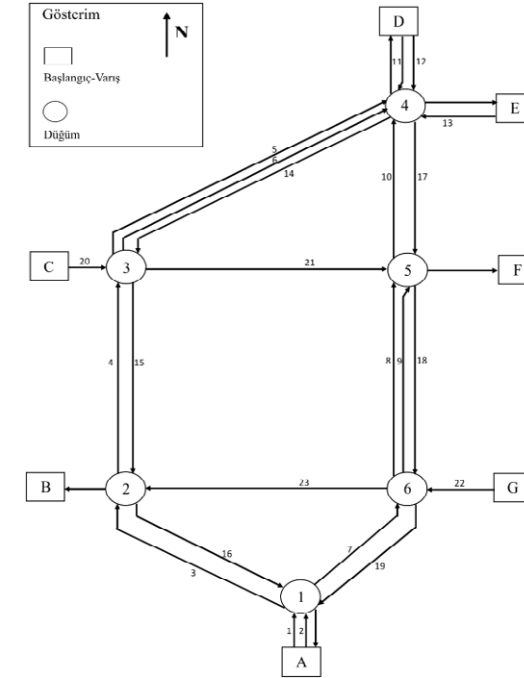
Denklem 6'da;  $\bar{v}$  ve  $\underline{v}$  sayım değerlerinin bulanık düzende maksimum ve minimum değerlerini,  $s$  ve  $s'$  serbestlik değişkenlerini ifade etmektedir.  $s = s' = 0$  olduğu durumda trafik gözlem değerlerini ve başlangıç bilgilerinin şartlarını sağlayan en iyi talep matrisi elde edilmiştir. Belirsizlikleri ifade etmek amacıyla kullanılan başlangıç matrisleri, etki matrisi olabileceği gibi, eski bir çalışmanın seyahat çiftlerinden veya seyahat dağılımı modellerinden elde edilmiş olabilir. Eski bir talep matrisinin kullanılması durumunda ara yıllarda bölgede seyahat taleplerini etkileyecek büyük değişikliklerin gerçekleşmemiş olması ve analiz bölgelerinin eski çalışmaya paralel seçilmesi, dağılım modeli matrisinin kullanılması durumunda ise model validasyonunun geçerli sonuç vermiş olması yöntemin tutarlılığına etki edecektir. Etki matrisleri ise temelde, birbirleri ile etkileşimde bulunabilen her bölge arasında herhangi bir seyahatin varlığı prensibine dayanmaktadır. Çalışmada, başlangıç matrislerinin analizlere olası negatif etkilerinden kaçınmak adına etki matrisi kullanılmıştır.

### Örnek Uygulama

Trafik Analiz Bölgeleri (TAB) arasında gerçekleşen seyahatlerin tahmin edilmesine yönelik olarak önerilen yöntem çerçevesinde bazı şartlı veya şartsız başlangıç bilgileri tahmin algoritmalarına entegre edilebilmektedir. Çalışma kapsamında literatür ve uygulamadaki eksiklikleri gidermek ve gelecek çalışmalara ışık tutmak amacıyla hacim gözlemlerinden talep tahmininde doğrudan bağ akımlarının kullanılması amaçlanmıştır. Tutarlı tahminlerin ihtiyaç duyabileceği şartlı başlangıç bilgileri de sisteme dahil edilmiştir.

Önerilen test ağı Ceylan (2002) tarafından modifiye edilen ağ olarak belirlenmiştir. Test ağı Şekil 2'de verilmiştir. Bağ elemanlarının kapasite kısıtları seyahat direnimleri çerçevesinde kullanılacak rotaları etkileyeceğinden, test ağı üzerindeki bağların teorik başlangıç doygun akım değerlerinin yanında, sinyal faz konfigürasyonları ve bunların temel atama düzenindeki bağlar ile olan ilişkileri Ceylan (2002)'den alınmıştır. Şekil 2'de verilen ulaşım ağında 1, 2, 3 ve 6 numaralı kavşaklarda iki faz bulunmaktayken, 4 ve 5 numaralı kavşakta üç adet faz bulunmaktadır.

Test ağının kullanılan atama düzeninde düğümler arasındaki 16 adet şeritsel bağ, 40 adet düğüm ve 6 adet ana düğüm ile beraber 7 adet analiz bölgesi ve 2 adet kukla analiz bölgesi bulunmaktadır.



Şekil 2 Ceylan (2002) test ağının temel düzeni.

Test ağındaki baz talep matrisi Tablo 1'de verilmiştir. Trafik ataması aşamasında, ağdaki sinyal sürelerinin bağlara olan etkilerinin direnım fonksiyonları çerçevesinde hesaba katılmasıyla beraber kapasite kısıtlı kullanıcı denge ataması yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 1 Test ağında analiz bölgeleri arasındaki seyahat talebi.

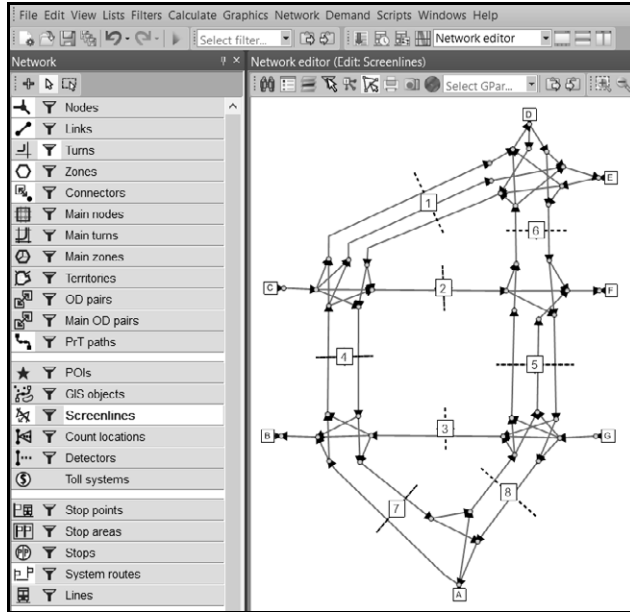
Başlangıç/Variş	A	B	D	E	F	Üretim Toplam
A	--	250	700	30	200	1180
C	40	20	200	130	900	1290
D	400	250	--	50	100	800
E	300	130	30	--	20	480
G	550	450	170	60	20	1250
Çekim Toplam	1290	1100	1100	270	1240	5000

Tablo 2'de sinyal gecikmeli bağların kapasite ve başlangıç seyahat süreleri verilmiştir.  $t^0$ , başlangıç seyahat süresini,  $s$ , doygun akım bağ kapasitelerini ifade etmektedir. Ceylan (2002) tarafından kullanılan test ağı ağ elemanları ile beraber PTV Visum yazılımında sayısallaştırılmış ve başlangıç koşulları oluşturularak farklı senaryolar altında çözülmüştür. Problemin sınama aşaması için ana düğümler arasında yer alan 16 adet bağ kullanılmış olsa da talep tahmini probleminin çözümü için iki düğüm arasındaki bağların temsil edilmesi için bu bağları kesen kesitlerden faydalanılmıştır. Çalışmada oluşturulan çift yönlü kesitler iki düğüm arasındaki trafik sayısının belirlenmesi amacıyla oluşturulmuş ve böylece talep tahmini probleminin çözümünde kullanılan bağ sayısı yönteminin sağlıklı bir şekilde ifadesi sağlanmıştır. Şekil 3'te gösterilen kesitlerin ana düğümler arasında gidiş-geliş olmak üzere iki yönü mevcuttur.

Tablo 2 Bağ başlangıç seyahat süreleri ve kapasiteleri (doygun akım).

Kavşak	Bağ	$t^0$ (sn)	$s$ (taş/sa)	Kavşak	Bağ	$t^0$ (sn)	$s$ (taş/sa)
1	1	1	2000	4	5	20	1800
	2	1	1600		6	20	1850
	16	10	2900		10	10	2200
	19	10	1500		11	1	2000
	-	-	-		12	1	1800
2	3	10	3200	5	13	1	2200
	15	15	2600		8	15	1850
	23	15	3200		9	15	1700
	-	-	-		17	10	1700
	-	-	-		21	15	3200
3	4	15	3200	6	7	10	1800
	14	20	3200		18	15	1700
	20	1	2800		22	1	3600

Test ağı sinyalizasyon bir ağ olduğundan sinyalizasyon uygulamalarının bağların kapasitelerine etkisinin yansıtılması ve böylelikle ağ fonksiyonlarının yerinde kullanılması amaçlandığından, optimum sinyal süreleri Ceylan (2002)'de bulunan ve Tablo 3'te verilen etkin yeşil süre oranları kullanılmıştır.



Şekil 3 Bağ kesitlerinin yazılımda temsil edilmesi.

Tablo 3 Test ağındaki optimum etkin yeşil sinyal süre oranları (Ceylan, 2002).

Kavşak Numarası	Faz 1	Faz 2	Faz 3
1	0.35	0.52	-
2	0.49	0.38	-
3	0.55	0.32	-
4	0.29	0.26	0.25
5	0.17	0.26	0.38
6	0.40	0.47	-

Test ağına analiz bölgeleri arasındaki baz seyahat miktarları karşılaştırmalar ve analizler için gerekecek değerlerin elde edilmesi amacıyla ağa atanmış ve kapasite kısıtlı denge ataması yöntemi kullanılmıştır. Bağ-gecikme ifadesi için kullanılan BPR fonksiyonu parametrelerinin katsayılarında literatürde şehir içi yollarda kullanılması önerilen  $a=0,158$ ,  $b=3,843$  katsayıları kullanılmıştır (Ergün, ve diğ., 2007). Baz matrisin ağa atanmasından sonra, baz denge seyahat süreleri, baz kesit hacimleri ve baz bağ hacimleri elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemlerin ve analiz amaçları doğrultusunda oluşturulan senaryoların uygulanmasıyla elde edilen bilgiler bu baz değerler ile karşılaştırılarak yöntemlerin yetenekleri sorgulanmıştır. Tablo 4'te kapasite kısıtlı denge atamasından sonra oluşan, baz denge seyahat süreleri verilmiştir. Tablo 4'te görülen 999 rakamları, analiz bölgeleri arasında herhangi bir bağlantının olmadığını ve böylelikle herhangi bir seyahatin gerçekleşmeyeceğini ifade etmektedir. Tablo 5'te baz talep matrisinin ağa atanması sonucunda oluşan baz bağ hacimleri, hacimleri verilmiştir. Tablo 6'da ise baz kesit hacimleri görülmektedir.

Tablo 4 Baz denge seyahat süreleri (sn).

Bölge	A	B	C	D	E	F	G
A	0.00	12.01	999	49.05	49.04	31.69	999
B	999	0.00	999	999	999	999	999
C	30.25	19.25	0.00	24.17	24.11	19.85	999
D	51.54	40.55	999	0.00	3.00	19.82	999
E	51.61	40.60	999	3.10	0.00	19.91	999
F	999	999	999	999	999	0.00	999
G	18.03	19.10	999	37.25	37.25	19.90	0.00

Tablo 5 Baz bağ hacimleri (taş/sa).

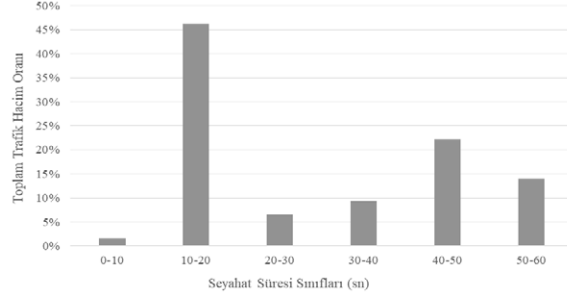
Bağ No	Hacim (taş/sa)	Bağ No	Hacim (taş/sa)
2	743	13	480
3	437	14	580
4	187	15	640
5	381	16	240
6	136	17	620
7	743	18	500
8	773	19	1050
9	220	20	1290
10	773	21	900
11	447	22	1250
12	353	23	450

Tablo 6 Baz kesit hacimleri (taş/sa).

Kod	Yön	Hacim (taş/sa)	Toplam Hacim (taş/sa)
1	C-D	687	1097
1	D-C	563	
2	C-F	741	900
2	F-C	0	
3	G-B	450	450
3	B-G	0	
4	C-B	623	827
4	B-C	198	
5	G-F	982	1493
5	F-G	517	
6	D-F	796	1393
6	F-D	762	
7	A-B	448	677
7	B-A	223	
8	G-A	1067	1793
8	A-G	732	



Başlangıç koşullarının elde edilmesi ile beraber modelin oluşumu ve problemin çözümünde kullanılan yöntemlerin sınanması için seyahat sürelerinin hacimler arasındaki dağılımı hesaplanmıştır. Şekil 4'te düz kırılmalar sistemi ile oluşturulan baz denge seyahat sürelerinin hacimsel dağılımı verilmiştir.



Şekil 4 Baz denge seyahat sürelerinin hacimsel dağılımı.

Çalışmada bağ modeli yöntemi, seyahat üretim-çekimi ve seyahat süresi dağılımı olmak üzere iki şartlı başlangıç bilgisi kullanılmıştır. Kullanılan ağda yol parçalarını ifade eden sekiz adet kesit bulunmaktadır. Bağ trafiği gözlemlerinin karşılaştırıldığı uygulamada en yüksek baz trafik hacmine sahip elemandan başlanıp sırası ile yığınsal olarak kullanılan gözlem sayısı artırılmıştır. Tablo 7'de görülebileceği gibi çalışma 24 adet senaryo altında değerlendirilmiştir.

Tablo 7 Deney düzeneği ve senaryolar.

Deneme No*	Kullanılan Elemanlar**	Senaryolar (a, b, c)***		
		Senaryo-I	Senaryo-II	Senaryo-III
B-I	8	a	a&b	a&c
B-II	8, 5	a	a&b	a&c
B-III	8, 5, 6	a	a&b	a&c
B-IV	8, 5, 6, 1	a	a&b	a&c
B-V	8, 5, 6, 1, 2	a	a&b	a&c
B-VI	8, 5, 6, 1, 2, 4	a	a&b	a&c
B-VII	8, 5, 6, 1, 2, 4, 7	a	a&b	a&c
B-VIII	8, 5, 6, 1, 2, 4, 7, 3	a	a&b	a&c

\* (B), bağ denemelerini,

\*\* En yüksek hacim sırasına göre kullanılan eleman kodlarını ifade etmektedir. Test ağındaki şeritsel bağlardaki trafiğin iki düğüm arasındaki toplam yolculuğa ve böylelikle bağ yöntemine indirgenmesinde kullanılan kesitlerin kodları bağ yönteminde görülmektedir.

\*\*\* a) Gözlem verilerinin kullanılması

b) Seyahat üretim-çekimi şartlı başlangıç bilgisinin kullanılması

c) Seyahat süresi dağılımı şartlı başlangıç bilgisinin kullanılması

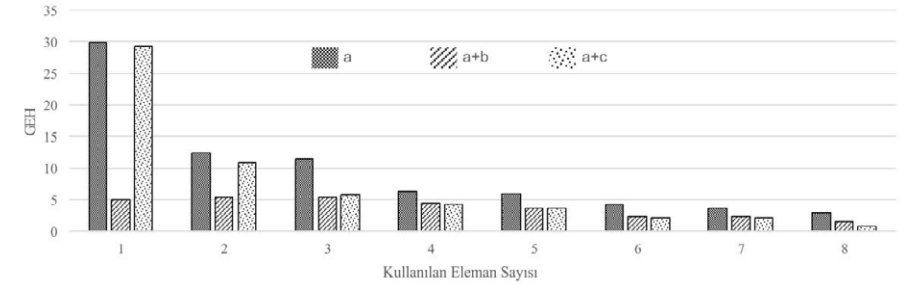
24 senaryonun her birisinin çalıştırılmasında 25 adet eşit iterasyon kullanılmış bu şekilde senaryolar arasındaki olası hesap farkı ortadan kaldırılmıştır. Her bir senaryonun çalıştırılması sonucunda tahmin değerleri elde edilmiştir. Tahmin değerleri; bağ trafik hacmi, B-V matrisi ve denge seyahat süresi dağılımları olmaktadır. Elde edilen tahmin değerleri başlangıç koşullarındaki baz bağ hacimleri, baz B-V matrisi ve baz denge seyahat süresi dağılımları ile karşılaştırılmıştır. Her bir karşılaştırmada farklı hata yöntemi kullanılmıştır.

### Bağ Trafik Hacimlerinin Karşılaştırılması

Tahmin bağ trafik hacimlerinin baz bağ hacimleri ile karşılaştırılması, test ağındaki 16 adet şerit bağlarında gerçekleştirilmiş ve GEH hata yöntemi kullanılmıştır. GEH istatistiğinde “model” ve “gözlem” olmak üzere iki adet değişken vardır. Denklem 7'de GEH bağıntısı (DfT, 1996) verilmiştir.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (7)$$

Denklem 7'de;  $M$ , modelden elde edilen trafik hacmi,  $C$ , gözlemden elde edilen trafik hacmini ifade etmektedir. GEH değerlerinin genel olarak 0 ila 5 veya 5-10 arasında olması beklenmelidir. Bununla beraber değerlerin belirli koşullar altında ağ üzerinde bulunan elemanların %85'inde 5'ten az olması gerektiği belirtilmiştir (DfT, 1996). Şekil 5'te senaryoların çalıştırılması sonucu bağ hacimlerine bağlı trafik tahmini hataları verilmiştir.



Şekil 5 Bağ trafik hacmi tahmin hataları.

Şekil 5'ten görülebileceği üzere; (a) ve (a+c) senaryolarında tek gözlem değerinin kullanılması sonucunda GEH değerlerinin 30 civarında olduğu, (a+b) senaryosunda GEH değerinin 5 civarında olduğu sonucuna varılmıştır. (a+b) senaryosu her denemede validasyon şartlarını sağlamış, (a+b) senaryosu ise 3 gözlem değeri ile, (a) senaryosu ise yaklaşık 4 gözlem değeri ile kabul edilebilir sonuçlara ulaşmıştır.

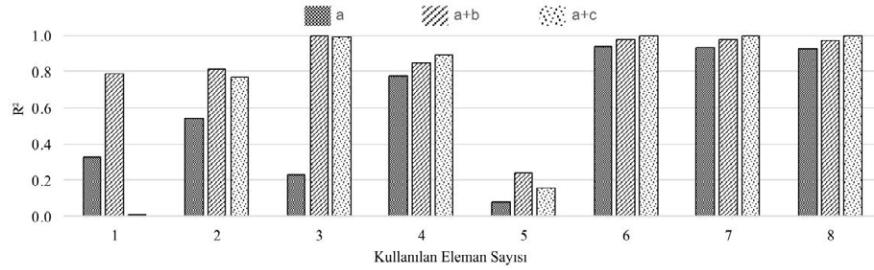
### Seyahat Süresi Dağılımlarının Karşılaştırılması

Tahmin denge seyahat süresi dağılımları ile baz denge seyahat süresi dağılımlarının karşılaştırılmasında  $R^2$  uyum oranı kullanılmıştır.  $R^2$ , tahmin ve gözlem değerlerinin regresyonu sonucu, iki değer arasında geçen doğrunun, değerlere olan uzaklıklarının bir ölçütüdür. Denklem 8'de  $R^2$  bağıntısı verilmiştir (Nakagawa & Schielzeth, 2013).

$$R^2 = \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (8)$$

Denklem 8'de;  $y$ , gözlem değeri,  $\hat{y}$ , tahmin değeri,  $\bar{y}$ , gözlem değerlerinin ortalaması olmaktadır.  $R^2$  değeri doğası gereği negatif olamamakla birlikte 0 ila 1 arasında değişmektedir.

Şekil 6'dan görülebileceği üzere; tek gözlem değerinin kullanılması durumunda (a) ve (a+c) senaryosunda  $R^2$  oranında kabul edilebilir bir değere ulaşamamış, buna karşın (a+b) senaryosu 5 elemanın kullanılması durumundaki tüm senaryolarda başarılı sonuçlar elde etmiştir. 5. gözlem değeri, test aşında erişim kısıtlı olan bölgede bulunduğundan, tüm senaryolarda uyum oranı düşük sonuçlar vermiştir.



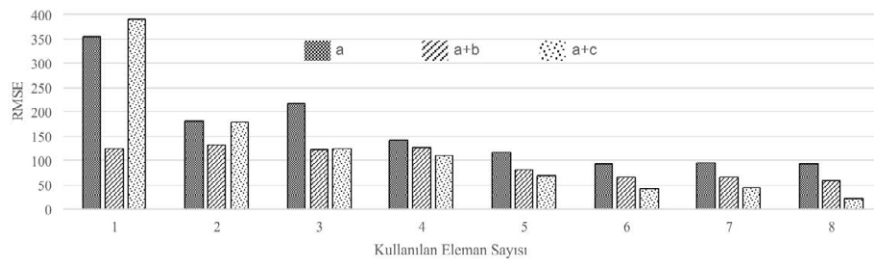
Şekil 6 Seyahat süresi tahmini hataları ( $R^2$ ).

### Başlangıç-Varış Matrislerinin Karşılaştırılması

Tahmin B-V matrisleri ile baz B-V matrislerinin karşılaştırılmasında Karelerin Toplamının Karekökü Hata (RMSE) yönteminden faydalanılmıştır. RMSE, tahmin ve baz matrisin her bir hücresindeki değerlerin karşılaştırılması sonucuyla hesaplanmıştır. RMSE yöntemi Denklem 8'de verilmiştir (Chai & Draxler, 2014).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (9)$$

Denklem 9'da;  $e_i$  matris hücrelerindeki hatanın büyüklüğü,  $n$ ; toplam hücre sayısı olmaktadır. Şekil 7'de talep matrisi tahmin hataları (RMSE) verilmiştir.



Şekil 7 Talep matrisi tahmin hataları (RMSE).

Şekil 7'den görülebileceği üzere; tek gözlem değerinin kullanıldığı durumda (a) ve (a+c) senaryosu hata oranı yüksek sonuçlar vermiştir. Buna karşın (a+b) senaryosu diğer senaryolara görece her çalıştırmada hata oranı düşük sonuçlar vermiştir. Kullanılan gözlem sayısının artırılması ile beraber talep matrisindeki hata oranları düşmüş ve bu sayının 4 ve daha fazla olması halinde tüm senaryo kombinasyonlarında bu oranlarda düşük sonuçlar elde edilmiştir.

### Sonuçlar

Çalışma kapsamında literatürdeki eksiklikleri gidermek ve gelecek çalışmalara ışık tutmak amacıyla doğrudan talep tahmininde kullanılabilen bağ hacimleri ile seyahat üretim-çekim ve seyahat süresi dağılım oranları şartlı başlangıç bilgileri kullanılmıştır. Problemin çözümü için kullanılan test aşında oluşturulan senaryoların çalıştırılması sonucunda elde edilen bulgulara göre, belirli sayıdaki gözlemlerle, talebin sadece sayım verileri ile de doğrudan tahmin edilebileceği görülmüştür. Ancak şartlı başlangıç bilgilerinin sisteme dahil edilmesi ile gereken gözlem sayılarında ciddi miktarda düşüş, tahmin tutarlılıklarında yüksek oranda iyileşme meydana gelebilmektedir. Bununla beraber seyahat üretim-çekiminin şartlı başlangıç bilgisi olarak sisteme dahil edilmesi, bilgi minimizasyonu ve entropi maksimizasyonu kapsamında en düşük gözlem verisi ile en tutarlı tahminin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

### Kaynaklar

- Alibabai, H. & Mahmassani, H. S., "Dynamic Origin-Destination Demand Estimation Using Turning Movement Counts", *J. of the Transpn Res. B.*, 2085, 39-48, (2008).
- Carey, M., Hendrickson, C. & Siddharthan, K., "A Method for Direct Estimation of Origin/Destination Trip Matrices", *Transportation Science*, 15, 32-49, (1981).
- Ceylan, H., "A Genetic Algorithm Approach to the Equilibrium Network Design Problem", *Ph.D Thesis, University of Newcastle, Newcastle*, (2002).
- Ergün, G., Gün, F. & Çalışkan, B., *Link-Kapasite Fonksiyonlarının Geliştirilmesi*, İstanbul: İstanbul Metropoliten Planlama ve Kentsel Tasarım Merkezi, (2007).
- Hogberg, P., *Planning of the traffic counts*, Goteborg: University of Goteborg, (1975).
- Holm, J., Jensen, T., Nielsen, S.K., Christensen, A., Johnsen, B., Ronby, G., "Calibrating Traffic Models on Traffic Census Results Only", *Traffic Engineering & Control*, 17, 137-140, (1976).
- Willumsen, L. G., *Estimation of an O-D Matrix from Traffic Counts-A Review*, Leeds: University of Leeds, (1978).
- Zuylen, H. J. V., *Some Remarks on the Information Minimising Method*, Tilburg: Verkeersakademie, (1977).
- Zuylen, H. J. V. & Willumsen, L. G., "The Most Likely Trip Matrix Estimated from Traffic Counts", *Transpn Res. B.*, 14B, 281-293, (1980).
- Dft, *Design Manual for Roads and Bridges*, Londra: Department for Transport, (1996).
- Chai, T., Draxler, R. R. "Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature", (2014).
- Nakagawa, S., Schielzeth, H., "A general and simple method for obtaining  $R^2$  from generalized linear mixed-effects models", (2013).
- Plummer, A. V., *The Chicago Area Transportation Study*, (2010)
- Mladenovic, M. N. & Trifunovic, A., "The Shortcomings of the Conventional Four Step Travel Demand Forecasting Process", *J. of the Road and Traffic Eng.*, 60, 5-12, (2014)

## Türkiye’de Sürdürülebilir Ulaşım için Türlerarası (Intermodal) Ulaşım Sistemi

**Ahmet ATALAY**

Atatürk Üniv. Müh. Fak.  
İnş. Müh. Ulaştırma Bilim Dalı  
25240 Yakutiye/Erzurum  
E-posta: ahatalay@atauni.edu.tr

**Ahmet TORTUM**

Atatürk Üniv. Müh. Fak.  
İnş. Müh. Ulaştırma Bilim Dalı  
25240 Yakutiye/Erzurum  
E-posta: atortum@atauni.edu.tr

### Öz

Ülkemizde gerek yolcu ve gerek yük taşımacılığında karayolu ulaşımının payı %90’ların üzerindedir. Bundan dolayı Kalkınma Plan’larında AB (Avrupa Birliği)’ye uyum çerçevesinde, taşıma türleri arasında karayolu lehine dengesiz bir paylaşımın söz konusu olması, ulaşım türleri arasında dengenin sağlanması amacıyla, demiryolu, denizyolu, iç suyunun taşımada daha fazla pay alabilmesine yönelik önlemlerin üzerinde durulduğu görülmektedir. Hemen her ülke için, karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu, su yolu ve boru hatlarının teknik ve ekonomik açıdan uyumlu ve etkin bir ulaştırma sisteminin geliştirilmesi, gerek ülke kaynaklarının rasyonel kullanılması gerekse ulaşımın toplulaştırılması açısından önemlidir.

Ulaşımın toplulaştırılması türler arası (intermodal) ulaşım sistemini oluşturmaktadır. Avrupa komisyonuna göre intermodalite, kapıdan-kapıya taşıma zincirinde en az iki farklı türün entegre bir şekilde kullanılmasını sağlayan ulaşım sisteminin bir özelliğidir. İntermodalite, taşıma sisteminin daha etkin kullanım amacını sağlayan türler arasındaki tamamlayıcılık ve entegrasyon düzeyinin kaliteli bir göstergesidir. Türkiye’de ulaşım sistemlerinden kaynaklı gürültü, hava kirliliği ve kazalar açısından olmak üzere çevresel etkisi belirlenmektedir. Bu çalışmanın amacı ulaşım türleri arasındaki yük ve yolcu taşımacılığında dengeyi sağlamak amacı ile türler arası ulaşım sisteminin uygulanabilirliğini araştırmaktır.

Bu bildiride türlerarası ulaşım sisteminin gerekliliği, uygulama şartları, avantajları ele alınmaktadır. Özellikle hızla büyüyen kentlerde kentiçi ulaşımında yaşanan sorunları azaltmak için türlerarası ulaşım sistemi ele alınacaktır. Türlerarası ulaşım sisteminin kentiçi ulaşımında uygulanabilmesi için gerekli unsurlar irdelenecektir.

**Anahtar kelimeler:** Türlerarası ulaşım, sürdürülebilir ulaşım, entegre ulaşım sistemleri,

### Giriş

Ülkemizde demiryolu, denizyolu, boru hattı gibi diğer ulaştırma sistemlerinin yetersiz olması nedeniyle, kentiçi ve kentlerarası yolcu ve yük ulaşımı %90’ların üstüne çıkan oranlarda karayolu ağırlıklı olarak yapılmaktadır. Bu durum, karayolu ağındaki eksiklikler, taşımacılık denetiminin yapılmaması ve trafik denetimi yetersizliği

nedeniyle, bir yandan büyük ölçüde dövizle bağlı olan işletme maliyetlerini anormal değerlere çıkarırken, diğer yandan her yıl binlerce can ve mal kaybıyla sonuçlanan trafik kazalarına ve aşırı çevre kirliliğine yol açmaktadır.

Kalkınma Plan'larının ulaştırma sektörüne ilişkin tespit, değerlendirme ve önerileri incelendiğinde, 1970'li yıllardan bu yana hazırlanan her planda sektörün karayolu ağırlıklı gelişme eğiliminin sürdürülemediğinin vurgulandığı görülmektedir. Karayolu ulaşımının gerek yolcu gerek yük taşımacılığında %90'ların üzerinde paya sahip olması nedeniyle, sektörde türlerin (modların) daha dengeli kullanılması gerektiği ve karayoluna bağımlılığın yarattığı olumsuz çevresel etkilerin en aza indirilmesinin sağlanması gerektiği üzerinde durulmaktadır (Babalık, 2010).

Nüfus ve hareketliliğin artması kentlerimizde motorlu/motorsuz araç yolculukları ile yaya olarak yapılacak yolculuk istemini arttırmaktadır. Bu istemlerin karşılanması için gerek arazi kullanım kararlarının gereksiz yolculuklar üretmeyecek şekilde gözden geçirilip düzeltilmesi, gerekse yeni ulaştırma altyapı yatırım kararlarının alınması gerekmektedir (Tanış ve Öğüt, 2007).

Günümüzde metropol bir şehirde yaşayanların ulaşım olanaklarını verimli bir şekilde kullanma ihtiyacı artarak ortaya çıkmaktadır. Yoğun trafik sıkışıklığını önlemek amacıyla özel araç kullanımının sınırlandırılması uygulamalarına gidilmektedir. Kullanıcıların taleplerinde değişiklik meydana getiren böyle kısıtlamalar uygulanırken hassas davranılması gerekmektedir. Kısıtlamalar getirildiği takdirde, bazı alternatifler sunulması gerekecektir. Örneğin şehir merkezine özel araç girişi yasaklandığı zaman, kullanıcıların gideceği yere ekonomik, güvenilir ve hızlı bir şekilde varabilmelerine imkân tanıyan ulaşım olanağı sunulmalıdır. Bu nedenle, son yıllarda, toplu taşımacılığın özel araç kullanımına kıyasla "çekiciliğini" arttırmak amacıyla toplu taşımada türlerarası entegrasyonu ihtiyaç haline getirmiştir. Böyle bir entegrasyon ulaştırmada "intermodalite" olarak adlandırılmaktadır.

Etkin intermodal taşıma sistemlerinin hayata geçirilmesi özellikle insanları şehirlerde araçlarını kullanmamaya teşvik etmek için tasarlanmıştır. Söz konusu sistem, bir kentsel alanda bulunan toplu taşıma hizmetleri arasındaki entegrasyonu gerçekleştirmektedir. Ulaştırma sistemi çok sektörlü (multisectoral), çok türlü (multimodal), çok dallı (multidisciplinary) ve dolayısıyla çok sorunlu (multiproblem) bir yapıya sahiptir (Manheim, 1979). Sorunlara "sistem bazında" yaklaşıldığında, ulaştırma sektörünün durumu da açıkça görülebilir (Erel, 2002).

Bu bildirinin amacı sürdürülebilir ulaşım sisteminde, kentiçi toplu taşımada türlerarası ulaşım sisteminin uygulanması için türler arası ulaşım sisteminin altyapı ve bileşenlerini ele almaktır.

### Sürdürülebilir Ulaşım Sistemi

Sürdürülebilirlik kavramı bugünün kaynaklarını, hem bugün yaşayanlar hem de gelecek nesillerin ihtiyaçları doğrultusunda kullanabilme olarak tanımlanabilir. Sürdürülebilir ulaşım, özel araç kullanımını yerine bütünleşmiş bir ulaşım sisteminden faydalanmayı gerektirir. Bu sistem; yürümeden bisiklet kullanımına, taksiden otobüse, trenden metroya, vapurdan feribota tüm ulaşım yöntemlerini kapsamaktadır. Bunun için

toplumun beklentilerini ve ihtiyaçlarını karşılayacak, konforlu, tüm paydaşları gözetin, çevreci ve engellilerin rahatça erişebileceği toplu taşıma araçlarının hizmete sunulması gerekmektedir.

Sürdürülebilirlik kaynakların ihtiyaçlar doğrultusunda kullanılmasını amaçlarken, ulaşım sistemleri kaynaklar ile en çok etkileşim içerisinde olan sistemlerdir. Bundan dolayı sürdürülebilir kalkınma sürdürülebilir ulaşımı gerektirmektedir. Ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan ulaşımın sürdürülebilirlik amaçlarına olumsuz etkileri şöyle özetlenebilir (Evren, 2010):

#### 1. Ekonomik açıdan

- Trafik tıkanıklığı
- Hareketliliği kısıtlayıcılık
- Kaza hasarları
- Ulaşım altyapı maliyetleri
- Kullanıcının ulaşım maliyetleri
- Yenilenemeyen kaynakların tükenmesi

#### 2. Sosyal açıdan

- Etkilerin eşitsizliği
- Hareketliliğin zarar görmesi
- İnsan sağlığına etki
- Toplumsal uyum
- Toplumsal yaşanabilirlik
- Estetik

#### 3. Çevresel açıdan

- Hava kirlenmesi
- İklim değişikliği
- Doğal yaşam alan kaybı
- Su kirliliği
- Hidrolojik etkiler
- Gürültü kirliliği

Ulaşım etkinliklerinin, sürdürülebilirliğe çok yönlü ve birbirleri ile çelişen etkileri olduğu için, bir sorunu çözerken diğerlerini ağırlaştırarak stratejilerden sakınmak, çok amaçlılık niteliğine uygun stratejiler belirlemek ve kapsamlı planlama yapmak önem taşımaktadır. Aksi halde sürdürülebilir çözümler oluşturulamaz.

Geleneksel planlamada, örneğin otomobillerin yarattığı tıkanıklığının toplu taşımaya ve yayalara zararı önemsizmiş gibi otomobillere öncelik verilirken, sürdürülebilirlik doğrultusundaki stratejilerde yayalık, bir yandan bisiklet kullanımı ve toplu taşımaya destek verilirken, öte yandan otomobillerin kısıtlanması söz konusu olabilmektedir.

Sürdürülebilir ulaşım, ekonomik göstergeler yanında, doğrudan ölçülmesinin güçlüğüne karşın, hava ve gürültü kirliliği, düşük gelirli insanların durumlarının iyileştirilmesi, engellilere sağlanan hareketlilik olanakları, yürüme ve bisiklet kullanabilme koşullarının iyileştirilmesi, nitelikli doğal yaşam alanlarının korunması, estetik çevre görünümü gibi göstergelere de özel önem verilmektedir. Kısacası sürdürülebilir ulaşım yaklaşımı, geleneksel değer tanımlamalarına ve yaklaşımına göre köklü

denilebilecek bir anlayış değişimini gerektirmektedir. Bunun sonucu olarak dolaylı dolaysız olası tüm etkilerin kapsamlı analizi, bu bağlamda talep analizi yönteminin yeniden geliştirilmesi konularını gündeme getirmektedir. Bu bağlamda toplumun ulaşım kararlarına katılımı gereği önem kazanmaktadır. Sürdürülebilir ulaşım için çok strateji geliştirilmektedir. Sürdürülebilirliğin önemli ilkelerinden olan ekonomik verimlilik ve kaynakların korunması, çevreye ve topluma uyum açısından etkin stratejinin ulaşım talep yönetimi olduğu konusunda görüş birliği bulunmaktadır (Evren, 2010).

Sürdürülebilir ulaşım sistemi;

- nesiller arasındaki dengeyi koruyarak, hem insan hem de çevre sağlığını gözetip bireylerin ve toplumun temel erişim ihtiyaçlarını güvenli bir şekilde karşılar;
- ucuzdur, etkin çalışır, farklı seçenekler sunar ve canlı bir ekonomiyi destekler;
- emisyonları ve atıkları gezegenin dengeleyebileceği düzeyde tutar, yenilenemez kaynakların tüketimini azaltır;
- yenilenebilir kaynakların tüketimini sürdürülebilir seviyede tutacak şekilde kısıtlar, yeniden kullanımı ve geri dönüşümü ön planda tutar;
- arazi kullanımını ve ses oluşumunu kısıtlar (The Centre ST, 2002; Sevginer vdğ. 2011; Atalay ve Tortum, 2013).

### İntermodal Ulaşım Sistemi

Bir hizmet etkinliği olan ulaşım sektörünün temel amacı ulaşım talebini, mümkün olan en kısa zamanda ve en az maliyetle, güvenli bir şekilde sunmak olduğuna göre; bu amaca sistemlerden birine ağırlık vermekle değil, ulaşım sistemleri arasında koordinasyonu sağlayacak entegre bir sistem geliştirmekle ulaşılabılır (Akgüngör ve Demirel, 2003).

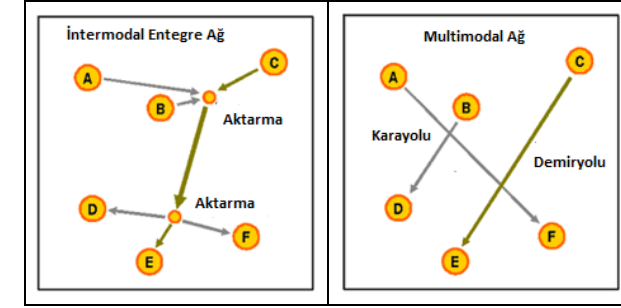
Avrupa Komisyonu, kentsel taşıma konuları ile 1990'lı yılların başında ilgilenmeye başlamış, güçlü bir şekilde toplu taşımanın kullanımını desteklemektedir. Buna ek olarak, çevreyi koruma politikalarının da bir parçası olarak özellikle intermodal ulaşım prensibi savunulmaktadır. Avrupa Komisyonu intermodaliteyi şöyle tanımlamaktadır: "İntermodalite, kapıdan-kapıya taşıma zincirinde en az iki farklı modun entegre bir şekilde kullanılmasını sağlayan ulaşım sisteminin bir özelliğidir. İntermodalite, taşıma sisteminin daha etkin kullanım amacını sağlayan modlar arasındaki tamamlayıcılık ve entegrasyon düzeyinin kaliteli bir göstergesidir." (Costa, 2012).

Entegre taşımacılık, taşıyıcının sayıca birden çok taşıma modunu kullanarak verdiği taşıma hizmetidir. Entegre taşımacılıkta taşıma türlerinin birbirleriyle tümleştirilmesi esastır (Karagülle, 2007).

İntermodalite, aynı yolculukta iki veya daha fazla taşıma türünü bütünleştirir. Amaç, bu bütünleşme, ortak bilgiler, entegre bir bilet ve yolcuların kendilerini güvende, güvende ve rahat hissettiği multimodal bir istasyonla mümkün olduğunca sorunsuz hale getirmektir. Başarılı bir şekilde uygulanırsa, intermodal yolcu taşımacılığı yolcuya daha fazla seçenek sunar, kullanıcı dostudur ve taşıma sisteminin genel verimliliğine katkıda bulunur (Jansson ve diğ. 2016)

İntermodal ulaşım sistemi en az iki farklı ulaşım türünün koordinasyonu sağlanarak insanların eşyaların ve hayvanların bir yerden başka bir yere taşınmasını sağlayan sistemlerdir. Sürekli artış gösteren ulaştırma hizmetlerine olan talebi karşılamak için,

tüm ulaşım tür ve teknolojilerinin verimli bir şekilde birleştirildiği sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi ve teşvik edilmesi gerekmektedir. Bu gereksinimler ancak intermodal taşımacılık sistemleri ile karşılanabilir (Deveci ve Çavuşoğlu, 2013).



Şekil 1. İntermodal ulaşım ağı sistemi (Rodrigue ve diğ. 2006)

Entegre bir ulaşım sistemi olan intermodal taşımacılık, yolcu veya yükün, çıkış noktasından varış noktasına kadar tek bir sefer tarifesi ile iki ya da daha fazla taşıma türünün birbiri ile bağlantılı ve koordineli olarak taşınmasını kapsamaktadır. Böyle bir sistemde, her bir ulaşım türü avantajının optimum kullanımı mümkün olmaktadır. Bu optimum kullanımı sağlayan türlerarası ulaşım sisteminde aktarma noktalarıdır. Çokturlü (multimodal) ulaşım sisteminde ulaşım türleri ayrı ayrı performans göstermektedir (Şekil 1). Panayides (2002), türlerarası ulaşım sisteminin, birden fazla ulaşım türünün eşgüdümlü bir şekilde kullanıldığı, böylelikle her türün rekabet avantajının en azami şekilde ön plana çıkarıldığı ve ulaşım zincirinin tek bir bütün olarak algılandığı sistem olarak tanımlamaktadır. Türlerarası ulaşım sisteminde her tür, kendi kapasitesini en verimli şekilde sunabildiği için toplamda ulaşım sisteminin performansı da artırılmaktadır (Geyik, 2014).

### İntermodal Ulaşım Sisteminin Bileşenleri

Etkin bir toplu ulaşım sisteminin gereği olan bütünleşik bir sistem yaklaşımı gerçekleştirilemediği için türler ve işleticiler arasında planlama, yatırım ve işletme konularında eşgüdüm sağlanamamaktadır. Sistemin çeşitli unsurları birbiri ile kıyasıya rekabet eden ve çelişen bir yapı göstermektedir (Acar ve Öncü, 1995).

Ulaşım türleri arasında entegrasyon sağlanması mekânsal, zamansal ve ücrette entegrasyon olmak üzere üç aşamada ele alınabilir.

#### Mekansal Entegrasyon

İntermodal ulaşım talebi karşılamak için en iyi seçenek olan besleyici ve ana güzergâhı olan ağ yapısı vardır. Besleyici güzergâhların ana güzergâhları besledikleri noktalarda aktarma noktaları vardır. Bu aktarma noktalarının iki ulaşım türüne uygun olması gerekmektedir.

Farklı ulaşım türlerinin belirli aktarma noktalarında bütünleşmesi, intermodal ulaşım sisteminin en temel bileşenlerinden biridir. Bu birliktelik, yolcuların sistem içerisinde, türler arasındaki hareketliliğini kolaylaştırmaktadır. Ancak mekansal bütünleşmede

önemli olan konu, aktarma merkezlerinde yolcuların kolay hareket edebilmesinin sağlanmasıdır (Beyazıt, 2007).

#### *Zamansal Entegrasyon*

İntermodal ulaşım sisteminin öngördüğü bir başka konu, ulaşım türlerinin tarifeleri arasındaki entegrasyondur. Toplu taşımının tercih edilebilmesi için en önemli faktörlerden birisi tarifelerin zamanlamasının, türlerarası dolaşıma olanak verecek şekilde düzenlenmelidir (Vuchic, 2007). Kullanıcıların intermodal taşımacılığı tercih etmeleri için ulaşım türleri arasındaki zamanlamada entegrasyonun olması gerekmektedir. Örneğin, ulaşım türlerinden birini kullanan kişi, kullandığı türden diğer bir ulaşım türüne aktarma yaparken beklemek zorunda kalmamalı, rahatlıkla diğer türe geçebilmelidir. Farklı ya da aynı türdeki araçların aktarma noktalarında uygun zamanda buluşmaları, aktarmayı etkin kılmaktadır. İntermodal ulaşım sisteminin kullanıcılar tarafından güvenilir bir şekilde algılanmasını sağlamak amacıyla ulaşım türlerinin zamanlamasının düzenli olması gerekmektedir (Vuchic, 2007).

#### *Ücrette Entegrasyon*

İntermodal ulaşım sisteminin günlük hayatı etkileyen en önemli özelliği sistemde ücretlendirme ile ilgili yapılan çalışmalardır. Bu çalışmalarda en önemli konu, hizmetin tek bir bilette sağlanmasıdır. Bu durum organizasyon ve bilgi kontrolünde önemli bir atılım sağlamıştır. Örneğin Kore'de T Para Kartı, ulaşım ücretlerini ödemek için kullanılan para yüklenebilir bir karttır ve otobüsler, metrolar ve taksiler dahil olmak üzere Kore'deki tüm toplu taşıma araçlarında kullanılabilir.

Değişik ulaşım türleri tarafından taşınan yolcu hareketlerinin güvenli, güvenilir ve fiyat etkin kontrolü için gerekli olan veri elde etme, işleme ve dağıtma sistemlerinin, modern intermodal ulaşımın temelinde yer almaktadır. Ulaşım sisteminde esas nokta her biri ayrı ayrı belirlenen ve ücretlendirilen, bağımsız yönetim sistemine sahip bir dizi ulaşım kolundansa tüm seyahatin bir bütün olarak görülmesidir (Rodrigue ve diğ., 2006).

İntermodal ulaşım sisteminde ücretlendirmenin tek bir bilette sağlanmasında ulaşım teknolojilerindeki gelişimin rolü büyüktür. Birçok ülkede akıllı bilet sistemlerinin kullanılması, türler arası aktarmalarda yeniden ücretlendirme yapılmamasını sağlamakta, tek bir ulaşım aracının ücreti alınarak yolcular için seyahat ekonomik kılınmaktadır. Akıllı bilet sistemlerinin bir diğer faydası ise aktarma noktalarında gişelerde bekleme yapılmasını engellemek ve sistemi daha akıcı hale getirmektir. Bu uygulamalar intermodal taşıma sistemi kullanıcılar için daha çekici ve ekonomik olmaktadır (Vuchic, 2007).

#### **Kentler için İntermodal Toplu Taşıma Sistemi**

Kentiçi toplu taşıma sistemleri kentin coğrafi konumu, iklim şartları dikkate alınarak kullanıcıların ulaşım amaçlı kullandıkları modlar değişiklik gösterebilir. İntermodal kentiçi toplu taşıma sistemleri besleyici modlar ve ana modlar olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır.

Besleyici modlar; Yaya, Bisiklet, Minibüs, Dolmuş, Taksi, Fünüküler

Ana modlar; Otobüs, Özel Yolda Otobüs, Taramvay, Metro, Banliyö Treni, Deniz ulaşımı

#### *Besleyici Kentiçi Ulaşım Modları*

Yaya ulaşımı, yolculukların başlangıç, varışı ve aktarma noktalarında kullanılan bütünleştirici bir ulaşım modudur. Yaya ulaşımı araçlı türler arasındaki birleştirici ulaşım biçimidir. Kent içinde yolculuk yapan her kişinin yolculuğunda başka bir aracı kullansa bile, en az iki kere yaya olduğu ve dolayısıyla yaya, sadece araçlı yolculuklarla yarışan bir ulaşım biçimi değil, diğer türlerin kullanımı için de gerekli bir unsur olduğu dikkate alınmalıdır. Çeşitli önlemler alınarak yaya ulaşımının bir ulaşım türünün besleyicisi ya da iki tür arasında birleştiricisi olarak kullanımı geliştirilebilir. Bu amaçla yaya ulaşımını kolaylaştırıcı, yaya hareket ortamını geliştirici önlemler ve engelli yayalar için düzenlemeler yapılabilir.

Bisiklet ulaşımı, yolculuk mesafesi, kullanıcının fiziksel gücüne, iklim ve topografya koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bisiklet yolculukları yaklaşık 5-8 km mesafede daha yoğun olarak kullanılmaktadır. Kullanım sonunda kullanıcıda fiziksel yorgunluğun oluşması bisiklet kullanımını kısa ve orta mesafelerdeki yolculuklarda daha cazip hale getirmektedir. Yaya dahil tüm kentiçi ulaşım türleri içinde enerjiyi en verimli şekilde kullanarak, kullanıcıya en düşük maliyetle ulaşım imkanı sunan bisiklet, yüksek hız ve taşıma kapasitesine sahip toplu ulaşım türlerine besleme servisi olarak kullanıldığında önemli avantajlar sağlamaktadır.

Ülkemizde minibüs, dolmuş, taksi, taksi-dolmuş, servis aracı isimleri ile farklı kapasite ve nitelikte hizmetler sunan ara toplu taşıma türleri klasik toplu ulaşım işletmeciliğinden bazı noktalarda farklılaşmaktadır. Bu ara toplu taşıma türlerinin sabit güzergâhları, önceden belirlenmiş yolculuk bedelleri vardır, fakat bazı işletmelerde zaman tarifeleri yoktur. Ayrıca özel servisler ise herkesin yararlanabilmesi mümkün olmadığından klasik toplu ulaşım tanımına girmemekte ve bunlar “ara toplu ulaşım” türleri olarak tanımlanmaktadır.

Fünüküler genellikle aralarında geniş bir seviye farkı olan bölgelerde hizmet veren ulaşım araçlarıdır. Prensipten fünüküler, eğimli ya da yatay zemin üzerinde, iki istasyon arasında seyahat eden, bir motor tarafından çekilen bir çekme, bir de germe halatı ile birbirine bağlanan iki araçtan oluşan sistemler olarak düşünülebilir (İmrah ve Salman, .

#### *Ana Toplu Ulaşım Türleri*

Dünyadaki pek çok kentte ana toplu ulaşım sistemi olan otobüsler, sahip oldukları esneklik ve diğer özellikleri sebebiyle geniş bir kullanım alanı bulmaktadırlar. Kentiçi ulaşımındaki en yaygın toplu ulaşım türü olan otobüslerin sahip olduğu pek çok olumlu özelliğe karşılık bazı kısıtları ve dezavantajları da bulunmaktadır.

Günümüzde yüksek yolculuk talepleri oluşan kent merkezinde ve merkeze ulaşan ana koridorlarda trafik sıkışıklığının çözülmesi ve oluşan yolculuk taleplerinin karşılanmasında yüksek taşıma kapasitesine ve ticari hıza sahip raylı sistemlerin diğer ulaşım türlerine göre daha verimli ve uygun olduğu açıktır.

Tramvay Raylı sistemlerin en düşük kapasiteli türü olan tramvaylar lastik tekerlekli ulaşım türleri ile aynı yol yüzeyini paylaştıkları için istenilen hızlara ulaşamamakta, ancak hattın diğer trafikten ayrılması ve trafikte öncelikler verilmesi ile hızında ve kapasitesinde artışlar sağlanmaktadır. Ayrılmış bir güzergâhı yoksa otobüslerdeki gibi

trafik sıkışıklığı ve tıkanıklıklar işletme hızının düşmesi, tarifelerinin aksaması, yolculuk sürelerinin uzaması gibi olumsuzluklar oluşabilmektedir.

Hafif raylı sistem kent merkezi gibi yoğun alanlarda ve zorunlu hallerde yeraltında, çevrede ise basit düzenlemelerle yol yüzeyini kullanarak işletilebilmektedir. Hem yol yüzeyini kullanabilmesi, hem de yeraltına alınabilmesi gibi esnekliğe sahip olması bu türü daha cazip hale getirmektedir. Bu özelliği ile metroya göre düşük maliyet ve kısa yapım süresi sağlamaktadır.

Metro En yüksek kapasiteye (70 000–80 000 kişi/saat/yön) ve hıza (80 km/sa) sahip raylı sistem türleridir. Yüksek yolculuk üreten ve çeken kent merkezlerindeki talebi karşılamak için en uygun raylı sistem türüdür. Yüksek yolcu taşıma kapasitesine sahip metro sistemlerinde uzun durak aralıklarının olması sebebiyle yaya erişimi ile yürüme mesafesinden yeterince yolcu toplanamadığından, sistemin verimli çalışabilmesi ve kapasiteye uygun düzeyde yolcu çekilebilmesi için diğer ulaşım türlerinin besleyici servislerine ihtiyaç duyulmaktadır. Güzergâhlarının tamamının diğer trafikten ayrılmış olması ve kent merkezi gibi alan kullanımının kısıtlı olduğu bölgelerde yeraltını kullanmaları (tünel, yeraltı istasyonları) yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına yol açmakta ancak ulaşımın hızı, güvenilirliği ve kapasitesi artmaktadır.

Banliyö trenleri kentiçi ulaşım hizmeti veren demiryolu servisleridir. Özellikle şehir merkezine yakın uydulent tipi yerleşmelerle kent merkezi arasındaki sabah zirve saatte merkez yönünde, akşam zirve saatte ise konut alanları yönünde oluşan tek yönlü yolculuk taleplerinin karşılanmasında kullanılırlar.

Deniz ulaşımı deniz ve göl kıyılarında yerleşmiş kentler için önemli bir olanaktır. Deniz ulaşımında kullanılan teknelerin iskelelere yanaşmadaki geçen sürelerinin uzun ve ortalama hızlarının düşük olması sebebiyle az duruşlu ve kıyıya paralel olmayan hatlarda (körfez ve boğaz geçişleri gibi) karayolu ve demiryolu toplu ulaşım türlerine göre daha avantajlı olmakta ve rekabet edebilmektedirler.

### Kentiçi Ulaşımında İntermodal Ulaşım Sistemi Uygulamaları

Ulaşım politikalarının ve planlamanın önemi dünyada birçok şehir ve ülkede kendini göstermektedir. Karayolu ağırlıklı politikalar ve ulaşımın ihmali, ABD ve Avustralya gibi çok yüksek otomobil sahipliği olan ülkelerde çok sayıda otomobile bağımlı şehir oluşturulmasına neden olmuştur. Bundan dolayı, San Francisco, Washington D.C. ve Melbourne gibi bazı şehirlerin yanı sıra Singapur ve Almanya, Avusturya, İsveç ve diğer batı Avrupa ülkelerindeki şehirlerin çoğu, modern raylı sistemler inşa etmek için büyük çaba sarf etmektedirler. Ayrıca iyileştirilmiş otobüs seferleri, bisiklet kullanımını ve yayalara yönelimli alanların gelişimini teşvik etmektedirler. Sonuç, istikrarlı politikalar sonucu modal bölünmüşlük, bazı Avrupa ülkelerinde, otomobil seyahatlerinden toplu taşımaya geçiş payında bir artış olmuştur. Batı ve Doğu Almanya, Hollanda, Belçika, İsviçre, İsveç ve Avusturya'da özel otomobille rekabet edebilmek ve dengeli bir intermodal taşıma sistemi elde etmek için toplu taşıma modernizasyon politikaları uygulayarak toplu taşımadaki payı yükseltebilmişlerdir (Vuchic, 2007). İntermodal ulaşımında elektronik bilet uygulaması Singapur, Londra ve Hong Kong da yapılmıştır. Elektronik bilet uygulamasının sağladığı faydalar;

- Kurum için; toplu taşıma araçlarını kullanan vatandaş sayısının artırılması, düşük fiyat ile tarifelerin ayarlanması, fiyatların dengelenmesi, kamu zararının en aza indirilmesini sağlamaktadır.
- İşletenler için; maliyetleri karşılamak ve karı maksimize etmek, ekonomik, konforlu ve hızlı bir toplu taşıma sistemi oluşturmaktadır.
- Yolcu için, taşıma maliyetini minimize etme ‘‘iyi’’ şartlarda seyahat etme imkanı sağlamaktadır (Mezghani, 2008).

Ülkemizde kentiçi ulaşımında intermodal ulaşım sisteminin uygulamalarına kısmen İstanbul, Ankara, İzmir gibi büyükşehirlerimizde olmakla beraber büyük eksiklikler bulunmaktadır.

### İntermodal Ulaşım Sisteminin Sürdürülebilir Ulaşım Katkıları

Sürdürülebilir ulaşım: Çevresel, ekonomik ve toplumsal kalkınma, sürdürülebilir ulaşımın üç temel ayağı olarak tarif edilir. Çevresel olarak sürdürülebilir ulaşım en az emisyon yaratan, yaygın, otomobil kullanımının azaltıldığı, dağınık kentsel gelişmeyi önleyebilen, kontrollü gelişme sağlayan bir ulaşım sistemi olmalı. Ekonomik açıdan sürdürülebilir ulaşım, yakıt kullanımını azaltan, enerji verimliliğini artıran, altyapı yatırımlarının ve kullanımının verimli ve etkin olduğu, kaza ve kaybedilen zaman maliyetlerinin, trafik sıkışıklığının azaltıldığı bir ulaşım sistemi olmalı. Toplumsal açıdan sürdürülebilir ulaşım ise maliyetinin herkes tarafından ödenebilir düzeyde olduğu, herkese de erişebilirlik sağlayan bir ulaşım sistemi olmalıdır.

Sürdürülebilir ulaşım gerçekleştirilmesi için intermodal ulaşım sisteminin uygulanması ile olacaktır. Çünkü sayılan hedeflerin çoğunun temelinde otomobil kullanımının denetlenmesi, azaltılması ya da en azından otomobil kullanımındaki artış hızının azaltılması var. İntermodal ulaşım sistemi bir yerden bir yere en az iki farklı ulaşım türünün kullanılması, ulaşım türleri arasında entegrasyon sağlanması, bu sayede özel araç kullanımı azaltılması, toplu taşımaya yönelmesi sağlanacağı yukarı açıklanmaktadır.

### Sonuç

Kentlerimizde toplu taşıma sistemlerimiz yetersiz bundan dolayı insanlar ister istemez otomobile yöneliyor. Bütün iyi göstergelere rağmen yaşanan trafik sıkışıklığının nedeni çok iyi bir planlama yapılmaması. Ülkemizde ulaşım sistemlerinin eşgüdümlü planlanması ve kullanılması için herhangi bir kurum ve faaliyet bulunmamaktadır. Ülke çapında ulaşım sistemlerindeki çarpık oluşum ne yazık ki kentlerimizde de sürdürülmektedir. Ulaştırma politikası ulaşım planı ile somutlaşır. Sağlıklı bir ulaşımın güvencesi, özenle, doğru biçimde gerçekleştirilmiş ve hiçbir ödün vermeksizin, kararlılıkla uygulanan bir ulaşım planıdır.

Ülkemizde hem kentlerarası hem de kentiçi ulaşım planlarında kullanılabilecek sağlıklı ve sürekli güncelleştirilen veri tabanları bulunmamaktadır. Yapılan planlama çalışmalarında, çok kısa sürede toplanan küçük boyutlardaki veriler kullanılmakta, bu durum da hatalı kararlara ve uygulamalara yol açabilmektedir.

İstanbul, Ankara ve İzmir gibi metropol şehirlerimizde yaşanan ulaşım sorunlarından dersler çıkarılmalıdır. Artık büyük şehirlerde bir yerden bir yere gidişler en az iki farklı ulaşım türü ile sağlanmaktadır. Dolayısıyla gelişmekte ve büyümekte olan şehirlerin ulaşım planlamaları yapılırken intermodal kentiçi ulaşımın sağlanması amacıyla planlamalar yapılmalıdır. Kentiçi ulaşım tek bir intermodal sistem olarak ele alınmalıdır ve ulaşım politikaları türler arasındaki dengenin sağlanmasına yönelik olmalıdır. Ülkemizde hiçbir mahalli idareye yeni karayolu yapması için kaynak bütçe verilmemelidir. Eğer mahalli idareler uygun talep karşısında toplu taşıma sistemi kurulacaksa mali destek sağlanmalıdır. Bu şekilde yasalarla da verimli ulaşımı garanti altına alınabilir. Çok ciddi bir kurumsal yapı ve mali politika dönüşümü gerekmektedir.

### Kaynaklar

Acar, İH., Öncü, E., (1995), İstanbul'da Toplu Taşıma Ücret Ve Bilet Sistemlerinin Yeniden Yapılanması Projesi

Akgüngör, A.P. ve Demirel, A., (2004), Türkiyedeki Ulaştırma Sistemlerinin Analizi Ve Ulaştırma Politikaları, Pamukkale Üniv. Müh. Bil. Dergisi, cilt 10, say. 3, 423-430.

Atalay, A., Tortum, A. (2013) Sürdürülebilir Ulaşım İçin Bütünleşmiş Toplu Taşıma Sistemi, 10. Ulaştırma Kongresi, İzmir.

Babalık, E., (2010), Ulaştırma Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu, Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi.

Beyazıt, E., (2007), Kent Yaşanabilirliğini Artıran Yaya Mekanlarının Türlerarası Ulaşım Sistemi İçinde İrdelenmesi: Kabataş Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

COSTA Joane.Duarte, (2012), Factors of Air-Rail Passenger Intermodality, Yüksek Lisans Tezi, Lizbon Teknik Üniversitesi.

Deveci A., Çavuşoğlu D. (2013), İntermodal Demiryolu Taşımacılığı: Türkiye İçin Fırsatlar Ve Tehditler, Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi Dergisi, Cilt:5, Sayı:1.

Erel, A., (2002), Türkiye'de Ulaştırma Sektöründe Sorunlar Ve Eğitim, IV International Conference in Economics, ERC/METU, (<http://content.csbs.utah.edu/~ehrbar/erc2002/pdf/P476.pdf>) erişim tarihi 07.07.2019

Geyik, B.A., (2014), Havayolu Ve Demiryolu Entegrasyonu, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Ulaştırma, Denizcilik Ve Haberleşme Bakanlığı.

İmrak, E., Salman, Ö., (2019) Füniküler Sistemler Ve Türkiye'de Kullanımı, [http://www.emo.org.tr/ekler/de14944130a1206\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/de14944130a1206_ek.pdf), erişim tarihi 07.08.2019

Jansson, K., Andreasson, I and Kottenhoff, K. (2016), Public Transport in the Era of ITS: Forms of Public Transport, Chapter 2, Springer Tracts on Transportation and Traffic.

Karagülle, A. Ö. (2007). Taşımacılık Sektöründe Havayolu Ve Karayolu İşletmelerinin

Karşılıklı Beklentileri Ve Bir Entegre Yolcu Taşımacılığı Modeli Önerisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul

Manheim, M.L., (1979), Fundamentals of Transportation Sysytem Analysis, Vol 1, 2nd ed., M.I.T. Press, Cambridge.

Mezghani, M., (2008) Study On Electronic Ticketing İn Public Transport, Final Report

Panayides, P.M., (2002), Economic Organization Of İntermodal Transport, Transport reviews, vol. 22, No.4, pp 401-414.

Rodrigue, J.P., Comtois, C., and Slack, B., (2006), The Geography of Transport Systems, London and New York: Routledge.

Sevginer, C., Bilge E., Demir, Ö., Gezer U. Y., (2011) Sürdürülebilir Ulaşım İçin Çözüm Önerisi: Taksiye Yönelik Araç Platformu, 9. Ulaştırma Kongresi.

Tanış M. ve Ögüt, K.S., (2007), Orta Ölçekli Kentler İçin Toplu Taşıma Seçeneklerinin Teknik Ve Mali Karşılaştırması, 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu.

The Centre for Sustainable Transportation (The Centre ST) (2002) Definition and Vision of Sustainable Transportation.

Vuchic V., (2007), Urban Transit Systems And Technology, JohnWiley&Sons,Inc. ISBN: 978-0-471-75823-5.



# Kentiçi Raylı Sistemlerde Tren İşletimi Analizi

**İrem Olgay, Umut Suvar, Berna Aksoy, Mehmet Şirin Artan ve İsmail Şahin**

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı  
34200 Esenler / İstanbul

## Öz

Orere bağlı tarifeli işletmecilik yapılan eski Haydarpaşa-Gebze demiryolu hattındaki, planlanan ve gerçekleşen tren hareketlerinin karşılaştırılması, tren işletmeciliğinin niteliği ve performansına ilişkin önemli bilgiler sunabilmektedir. Çift hatlı bu kesimde banliyö trenleri, anahat yolcu ve yük ile bölgesel ekspres trenler işletilmektedir. Bu çalışmada, sabah (06:00-09:00) ve akşam (17:00-20:00) zirve saatlerde her iki yöndeki banliyö treninin hareketleri 10 gün için incelenmiştir. Çalışılan zaman aralıklarında, trenlerin planlanan sürelerden anlamlı bir şekilde daha hızlı veya daha yavaş seyretme durumu araştırılmış, varış ve kalkış gecikmeleri hesaplanarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Planlanan tren hareketlerini gösteren zamanlar orerden, gerçekleşen tren hareketlerini gösteren zamanlar trengraflardan elde edilmiştir. Trengraflardaki veriler manuel olarak okunarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Planlanan ve gerçekleşen tren hareketleri arasındaki karşılaştırmalarda tren özelinde ve istasyon özelinde çeşitli istatistiksel analizler yapılmış ve elde edilen bulgular grafikler yardımıyla görsel olarak da ifade edilmiştir. Trenlerin istasyonlar arasındaki seyirlerine ilişkin gecikmeler, Markov zincirleri ile stokastik olarak modellenmiştir. Bu çalışmada sunulan yöntemler, kentiçi raylı sistemlerde tren işletimine ilişkin, gecikme analizi, çizelgeye bağlılık, gecikme aktarımı ve telafisi gibi çeşitli sayısal değerlendirmeler yapmaya olanak sağlamaktadır.

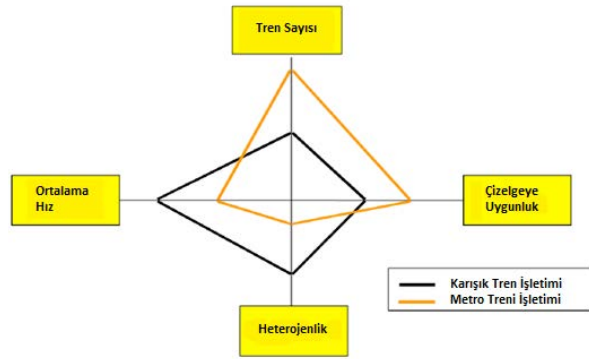
**Anahtar sözcükler:** Haydarpaşa-Gebze banliyö hattı, Raylı sistemler, İstatistiksel gecikme analizi, Çizelgeye bağlılık, Markov zincirleri.

## Giriş

Güvenilirlik ya da dakiklik, hem hizmet alıcılar hem de hizmet sunanlar için tarifeli tren işletmeciliğinin önemli bileşenlerinden biridir. Özellikle öngörülenden fazla büyümüş metropollerde giderek artan yolcu ve yük talebi, kapasitenin verimli kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu verimli kullanım gerçekleşirken, hizmet kalitesinin belirli bir düzeyde tutulması da özellikle kentiçi yolcu taşımacılığı için beklenmektedir. Yapılan çalışmalar, tarifeli tren işletmeciliğinde dakikliğin (punctuality) çoğu zaman olduğundan daha kötü algılandığını, çünkü yolcuların kötü performansları iyi performanslara kıyasla daha fazla hatırlamaya eğilimli bir seçici hafızaları olduğunu ortaya koymuştur (Yuan, 2006). 1998 yılında yapılan bir piyasa araştırmasına göre, demiryolu yolcu ve yük taşımacılığı güvenilirliğindeki %1'lik artışın, %5'lik bir gelir artışı etkisi yaratabilecek potansiyelde olduğu saptanmıştır (Mattsson, 2004). Raylı

sistemler, çevresel kaygılardan dolayı bugün dünyada en çok kabul gören toplu taşıma sistemi olup, 1990'ların ikinci yarısından itibaren ülkemizde de pek çok stratejik planın omurgasını oluşturacak biçimde benimsenen ulaşırma türüdür. Bu bakımdan, altyapı yatırımlarıyla yaygınlaşmaya başlayan bu ulaşırma türünün daha fazla talep çekebilmesi için, hizmet kalitesi bileşenlerinin makul düzeylerde tutulması gerekmektedir.

Raylı sistemlerin planlama ve işletimine ilişkin çalışmalar, dünyada yaygın olmakla birlikte ülkemizde maalesef yeterli düzeyde değildir. Oysa uzun vadeli büyüme tahminleri, hem yolcu hem de yük trafiği için artan talepler karşısında, sunulan kapasitenin yetersiz kalabileceğini göstermektedir. Kapasite ve gecikme arasındaki ilişkiyi ortaya koyan pek çok çalışma yapılmıştır; hatta Avrupa'da gecikme ve kapasite ilişkisini görselleştiren GIS tabanlı sistemler de geliştirilmiştir. Demiryolu kapasitesinin kararlı/dengeli sunumu için gereken birkaç bileşen mevcuttur (Landex, 2009).



Şekil 1 Demiryolu Kapasitesinde Denge Bileşenleri (Landex, 2009)

Şekil 1'de görüldüğü gibi kapasitenin en önemli bileşenlerinden biri çizelgeye uygunluktur. Bu da, gecikme ya da erken gelmelerin en küçüklenmesini işaret eder. Demiryolu terimi olarak gecikme, bir trenin zamansal tarifesinden sapma olarak tanımlanır. Gecikme analiziyle ilgili pek çok çalışmada tren gecikmelerine neden olan faktörlerin belirlenmesine çalışılmıştır (Dingler, 2010). Söz konusu faktörlerin belirlenebilmesi için gecikmelerin/erken gelmelerin genel karakteristiğini anlamak gerekmektedir. Böylece, kapasiteden alınacak verimi artırmaya yönelik bir işletmecilik önerisi ortaya konulabilir. Demiryolu literatüründe, genel olarak seyahat süresi güvenilirliğine odaklanılmıştır. Özellikle, tren gecikmesini modelleme yolları ve gecikmenin kapasite kullanımı ile olan ilişkisi ele alınmıştır. Gecikmelerin analizi için analitik yöntem, simülasyon ve istatistiksel yaklaşım olmak üzere üç temel yöntemden bahsedilebilir. Analitik modeller, stratejik planlama aşamasında demiryolu sisteminin sadeleştirilmiş bir temsili olup, simülasyon modelleri kadar veri girişi gerektirmezler. Ancak bu basitleştirmeler birçok kabul yapılmasını gerektirdiğinden, modelin dayandığı varsayımları doğrulamak zor olabilir ve elde edilen sonuçların hassasiyet düzeyi yeterli olmayabilir. Simülasyon modelleri ise ayrıntılı veri gerektirmekle birlikte, bu modellerin zaman içinde erişimi kısıtlı ticari ürünlere dönüşme potansiyeli vardır. Bu yöntemlerin her üçü de deneysel veri kullanmakta olup aralarında en yaygın olan, uygulama kolaylığı, gerçekçiliği ve hızı bakımından istatistiksel yaklaşımdır (Mattsson, 2007). Örneğin, Kopenhag'da yapılan bir çalışmada K-ortalamlar (K-means)

kümeleme kullanılmış ve tekrarlayan gecikme kalıpları tanımlanmıştır. Bulgular, düzeltici eylemlerin gerekliliğini ortaya koymuş ve K-means kümelemesinin aynı istasyonları etkileyen farklı sorunları saptayabileceği sonucuna varılmıştır (Cerreto ve diğ., 2018).

Haydarpaşa-Gebze banliyö hattına ilişkin ülkemizde yapılan ilk çalışmalardan birinde de istatistiksel yaklaşım kullanılmış (Şahin ve Zırhlı, 2006), trenlerin planlanan ve gerçekleşen seyir süreleri ve izleme süreleriyle ilgili olarak regresyon analizi, korelasyon katsayısı hesabı ve olasılık dağılımına uygunluk bağlamında rastgelelik testi yapılmıştır. Sonuçta, incelenen zaman aralığı için, trenlerin planlanan sürelerden anlamlı bir şekilde daha hızlı hareket ettiği, yani planlanan ve gerçekleşen seyir süreleri arasında zayıf bir korelasyon bulunduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar, Haydarpaşa-Gebze hattında incelenen zaman aralığında gerçekleşen banliyö treni işletmeciliğinin planlanan çizelgeyi (oreri) iyi yansıtmadığını ve izlemeler arasında bir demiryolu işletmesinden beklenen aksine sistematik bir ilişki bulunmadığını ortaya koymuştur. Hollanda'da bir tren istasyonu için kaydedilen verilere dayanarak birkaç dağılım modeli Kolmogorov-Smirnov istatistiği aracılığıyla mukayese edilmiş, bu verilerden hareketle log-normal dağılımın genel olarak hem platformdaki, hem de sinyale yaklaşan trenlerin varış zamanları için aday dağılım modelleri arasından en iyi yaklaşık model olarak kabul edilebileceği bulunmuştur. Weibull dağılımının ise genellikle negatif olmayan varış gecikmeleri, kalkış gecikmeleri ve geç gelen trenlerin kalkış süreleri için en iyi yaklaşım modeli olarak kabul edilebileceği, ayrıca basit olması nedeniyle üstel dağılımın da yaklaşık bir dağılım modeli olarak kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır (Yuan ve diğ., 2006).

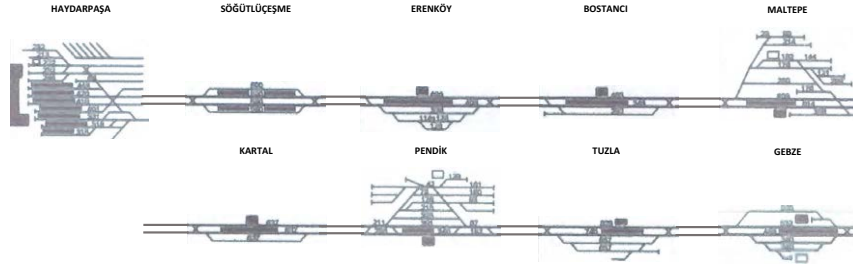
Bu çalışmanın izleyen bölümünde, çalışmaya konu olan Haydarpaşa-Gebze banliyö hattı kısaca tanıtılmış ve kullanılan veriler açıklanmıştır. Bu verilerin istatistiksel analizine ilişkin örnekler takip eden bölümün konusudur. Trenlerin istasyonlar arasındaki seyir süresi gecikmelerinin Markov zinciriyle stokastik olarak modellendiği bölümün ardından, çalışma sonuçları bölümüyle tamamlanmıştır.

### Haydarpaşa – Gebze Banliyö Hattı ve Veriler

Haydarpaşa-Gebze demiryolu hattı İstanbul'un Anadolu yakasında Marmara denizinin kuzey kıyıları boyunca batı-doğu doğrultusunda uzanan ana seyahat koridorlarından biridir. Haydarpaşa-Gebze arasında bulunan çift hatlı demiryolunda banliyö treni hizmetleri 29 Mayıs 1969 tarihinde başlamıştır. 2013 yılına kadar banliyö, anahat ve bölgesel tren hizmetleriyle bu işlevini uzun yıllar sürdürmüştür. Banliyö seferleri Marmaray çalışmaları kapsamında önce Pendik-Gebze arasında 29 Nisan 2012'de ve sonra Haydarpaşa-Pendik arasında 19 Haziran 2013'te sonlandırılmıştır. Marmaray inşaatı nedeniyle kapatılan hat 12 Mart 2019 tarihinde Halkalı-Gebze terminalleri arasında hizmet vermeye başlamıştır. Böylece İstanbul'un iki yakasında bulunan banliyö hatları, denizin altına yerleştirilen batırma tüplerdeki raylar aracılığıyla birleştirilmiştir. Çalışmada incelenen Haydarpaşa-Gebze hattının Haydarpaşa-Söğütöçesme kesimi günümüzde işletilmekte olan Marmaray koridorunun dışında bulunmaktadır.

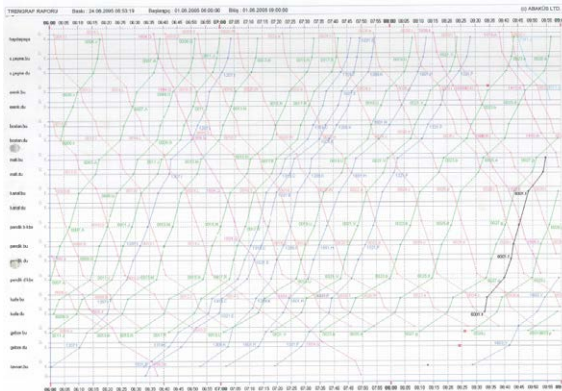
Bu çalışmada, 1-10 Haziran 2005 tarihleri arasında, sabah 06:00-09:00 ve akşam 17:00-19:00 zirve saatlerde iki yönde işletilen banliyö trenlerinin işletim başarımına

(performansına) ilişkin incelemeler yapılmıştır. Bu kesimdeki banliyö trenleri tarifeli şekilde orer zamanlarına bağlı kalınarak işletilmektedir. Haydarpaşa-Gebze hattında veri elde edilen ana istasyonları gösteren hat planı Şekil 2’de sunulmuştur. Trenlerin gerçekleşen varış ve kalkış zamanları, istasyonların girişinde ve çıkışındaki makaslarda bulunan OS (On Switch) adı verilen algılayıcıların kumanda merkezine gönderdiği elektrik sinyalleri aracılığıyla kaydedilir. Trenlerin konum-zaman bilgilerini içeren bu sinyaller kumanda merkezinde trengraf adı verilen istasyon-zaman grafiklerine dönüştürülerek gerçek zamanlı olarak işlenirler. Şekil 3’te bir örnek trengraf görülmektedir.



Şekil 2 Haydarpaşa-Gebze hattının vaziyet planı

Haydarpaşa-Gebze yönlü trenler deniz tarafındaki güney (G) hattında seyrederken, Gebze-Haydarpaşa yönlü trenler kara tarafındaki kuzey (K) hattında seyrederek. Haydarpaşa kalkışlı çift numaralı trenlerin Şekil 2 ve Şekil 3’te gösterilen istasyonlara giriş zamanı istasyonun batı ucunda (bu) ve çıkış zamanı doğu ucunda (du) kaydedilir. Gebze kalkışlı trenlerin aynı zamanları ise, sırasıyla, doğu ucunda (du) ve batı ucunda (bu) kaydedilir. Olerde trenlerin sadece istasyonlardan kalkış zamanları bulunduğundan, bu zamanlar trengraflardaki çıkış zamanları ile ilişkilendirilmiştir. Haydarpaşa-Gebze yönünde sabah zirvesinde 14, akşam zirvesinde 14; Gebze-Haydarpaşa yönünde ise sabah zirvesinde 13 ve akşam zirvesinde 14 trene ait toplam 3859 adet kalkış verisi okunmuştur. Bu trenlerin çoğu için terminal istasyonları arasındaki gerçekleşen kalkış zamanlarının tamamı elde edilmişken, bir kısmı için dikkate alınan zaman aralığına bağlı olarak daha az sayıda kalkış zamanı elde edilmiştir. Gerçekleşen kalkış zamanları ile orer zamanlarının farkı alınarak gecikmeler hesaplanmıştır. Gözlenen tüm trenlerin ardışık istasyonlardan kalkışlarına ait gecikme çiftlerinin sayısı 3317’dir.

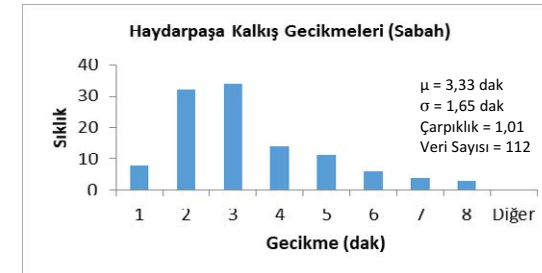


Şekil 3 Trengraf örneği

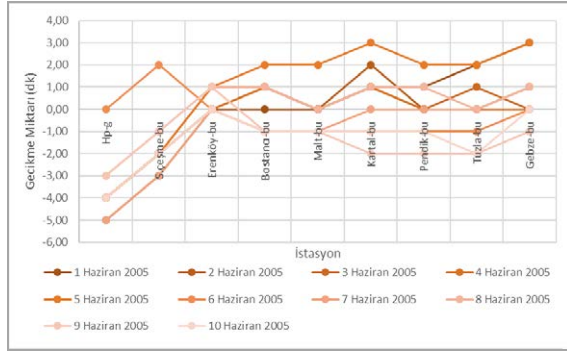
### Verilerin İstatistiksel Analizi

Planlanan orer ve gerçekleşen trengraf zamanları karşılaştırılarak iki yöndeki trenlerin sabah ve akşam zirve saatlerdeki hareketleri incelenmiştir. Bu kapsamda aşağıdaki analizler yapılabilmektedir.

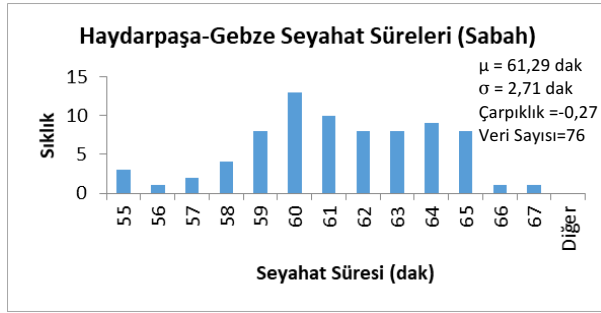
- İstasyona giriş ve çıkış zamanlarının farkından, trenin istasyon sahasında bulunma süresi. Bu süre, istasyondaki gerçek bekleme süresiyle ilişkilendirilebilir.
- Trenlerin Haydarpaşa ve Gebze terminal istasyonlarından kalkış ve bu istasyonlara varış gecikmeleri incelenebilir.
- Bir istasyondan gecikmeli kalkan trenin ardışık istasyonlarda bu gecikmesini telafi edip edemediği gösterilebilir.
- İstasyondan kalkışların gerçekleşen ve planlanan zamanları arasındaki farklar orerden sapma ya da kalkış gecikmesi olarak hesaplanabilir. Buna ilişkin bir örnekte, sabah zirve saatlerde, Haydarpaşa istasyonundaki 112 adet kalkış gecikmesi verilerine ait histogram Şekil 4’te gösterilmiş, gecikmelerin ortalaması ( $\mu$ ) 3,33 dak ve standart sapması ( $\sigma$ ) 1,65 dak olarak bulunmuştur. Terminal istasyonundan tren kalkış gecikmelerinin rastgele değişkenlik gösterdiği grafikten açık bir şekilde görülmektedir.
- İstasyondan kalkış gecikmelerinin hat boyunca çizilen grafiği aracılığıyla, trenin seyri boyunca gecikmeleri telafi edip edemediği ya da gecikmelerin hangi istasyonlarda yoğunlaştığı gösterilebilir. Gebze kalkışlı 13 numaralı trenin bu terminalden değişik gecikme değerleriyle seyahatine başladığı ve seyri boyunca geçtiği istasyonlardan yine değişkenlik gösteren gecikmelerle ayrıldığı Şekil 5’teki grafikte görülmektedir. Trengraflarda trenlerin gecikme nedenlerine ilişkin herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Banliyö trenlerinin arasındaki takip süreleri yeteri kadar uzun olduğu için, başka bir trenden kaynaklanan “ikincil” gecikme olasılığı zayıftır. Bu nedenle, okunan gecikmelerin büyük bölümü “birincil” gecikme türünde olup, trenin kendisinden ya da diğer dış etmenlerden kaynaklanmaktadır.
- Trenlerin Haydarpaşa ve Gebze arasındaki toplam seyahat süreleri ile her istasyon aralığındaki seyir sürelerinin dağılımları incelenebilir. Trenlerin terminaler arasında planlanan (orerdeki) toplam seyahat süreleri 65 dakikadır. Şekil 6’da, Haydarpaşa kalkışlı trenlerin, sabah zirve saatlerde Gebze terminaline erişme sürelerinin dağılımına ilişkin histogramda, seyahat süreleri ortalaması  $\mu=61,29$  dak ve standart sapması  $\sigma=2,71$  dak olarak görülmektedir. Burada sadece Haydarpaşa-Gebze arasında tamamı trengraftan okunabilen seyirler dikkate alınmıştır.



Şekil 4 Haydarpaşa kalkış gecikmeleri histogram grafiği



Şekil 5 Gebze kalkışı 13 numaralı trenin istasyon-gecikme grafiği



Şekil 6 Haydarpaşa-Gebze toplam seyahat sürelerinin histogram grafiği

### Seyir Süresi Gecikmelerinin Stokastik Modeli: Markov Zincirleri

Trenlerin istasyonlardaki gerçek varış ve kalkış zamanlarında, çizelge zamanlarına göre sapmalara sebep olabilecek bir dizi içsel ve dışsal etkiler bulunur. Bu durum tren hareketlerine, tren trafiğine ve genel olarak tüm demiryolu sistemine ilişkin belirsizliklere yol açar. Tren hareketlerinin tahmininde, doğal olarak, bu etkilere bağlı belirsizlikler dikkate alınmalıdır. Diğer taraftan, tren gecikmelerinin doğru tahmin edilmesi, demiryolu trafiği ve taşımacılığının planlı ve gerçek zamanlı kontrolü için önemli bir gerekliliktir (Kecman ve diğ., 2015). Bunun gibi karar verme süreçlerinde deterministik veya stokastik özellikte çeşitli tahmin model ve yöntemlerinden faydalanılabilmektedir. Tren kalkış ve varış zamanlarının belirsiz bir süreç olarak görülmesi, stokastik modelleme yaklaşımlarının benimsendiği bir bakış açısını gerektirmektedir (Şahin, 2017).

Bir tren bir sonraki istasyondan; mevcut gecikme değerine eşit, bu gecikmeden daha küçük veya bundan daha büyük bir gecikme değeriyle kalkış yapabilir. Bu çalışmada, trenler belirli bir istasyondan belirli bir gecikmeyle kalktığında, izleyen istasyondaki kalkış gecikmesini ve olasılığını tahmin için Markov zinciri modeli kullanılmıştır. Markov zincirleri, stokastik süreçlere sahip sistemler için yaygın olarak kullanılan bir analiz ve modelleme aracıdır. Temelde, bir önceki durumu bilinen bir olayın bir sonraki

durumuna ilişkin gerçekleşme olasılığının belirlenmesidir (Markov özelliği kabulü). Örneğin, bir trenin bir istasyondan kalkış gecikmesinin, sadece bir önceki istasyondan kalkış gecikmesine bağlı olduğu varsayılmaktadır (1).

$$P(D_{k+1} = d_{k+1} | D_k = d_k, D_{k-1} = d_{k-1}, \dots, D_1 = d_1, D_0 = d_0) = P(D_{k+1} = d_{k+1} | D_k = d_k) \quad (1)$$

Burada  $P$ ,  $k$  istasyonundan  $k+1$  istasyonuna kadar gecikme değişimi olasılığını temsil eden, gecikme değişkeni  $D$ 'nin bir fonksiyonudur.  $d_0, d_1, \dots, d_k$  önceki gecikme durumlarıdır. Bu çalışmada, Haydarpaşa-Gebze hattında işletilen banliyö trenlerinin incelenen zaman aralığındaki kalkış gecikmeleri, birbirine yakın sayıda gözlem içeren 6 gruba ayrılmış ve belirlenen gecikme durumları Tablo 1'de gösterilmiştir. Gecikme durumları her gruba ait beklenen değerle temsil edilmiştir.

Tablo 1 Belirlenen gecikme durumları

Gecikme Durumu, $d$ ( $i$ veya $j$ )	Gecikme Değeri, $D$ (dakika)	Gözlem Sayısı ( $n_i$ )	Temsili Değer, $e_j$ (dakika)
1	$\leq -1$	721	-2
2	0	581	0
3	1	557	1
4	2	463	2
5	3-4	558	3,4
6	$\geq 5$	437	7

Gecikmenin  $i$  durumundan  $j$  durumuna geçiş olasılığı  $p_{ij}$ , tüm seyirlerde aynı ve dolayısıyla Markov zinciri homojen (durağan) kabul edilmiştir (2):

$$P(D_{k+1} = j | D_k = i) = p_{ij} \quad (2)$$

Gözlenen ardışık kalkış gecikme çiftleri içerisinde,  $i$  durumundan  $j$  durumuna geçenlerin sayısı ( $n_{ij}$ ) ve  $i$  durumundan tüm durumlara geçenlerin sayısı ( $n_i$ ) olduğunda,  $i$ 'den  $j$ 'ye geçiş olasılığı  $p_{ij}$  (3):

$$p_{ij} = n_{ij} / n_i \quad (3)$$

Markov zinciri için geçiş olasılıkları matrisi (ya da Markov matrisi), durum sayısı kadar satır ve sütundan oluşan bir kare matristir. Bu matrisin ( $i, j$ ) elemanı,  $p_{ij}$ , geçiş olasılığını temsil etmektedir.

$$P = \begin{bmatrix} 0,803 & 0,170 & 0,013 & 0,008 & 0,002 & 0,004 \\ 0,394 & 0,394 & 0,175 & 0,029 & 0,005 & 0,003 \\ 0,098 & 0,302 & 0,365 & 0,179 & 0,051 & 0,005 \\ 0,021 & 0,138 & 0,300 & 0,324 & 0,202 & 0,015 \\ 0,003 & 0,017 & 0,119 & 0,245 & 0,501 & 0,115 \\ 0,002 & 0,002 & 0,002 & 0,020 & 0,207 & 0,767 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Geçiş olasılıkları matrisi, stokastik bir matris olduğu için, matrisin her satırının toplamı 1'e eşittir (5).

$$\sum_{j=1}^6 p_{ij} = 1 \quad (5)$$

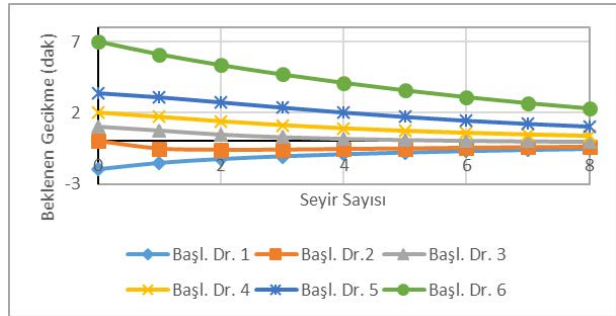
Birden fazla ( $T$ ) adım için geçiş matrisi, bir adımlık geçiş olasılıkları matrisinin adım sayısı kadar kuvveti alınarak bulunabilir (6).

$$P_T = P^T \quad (6)$$

Mevcut gecikme durumu bilinen bir trenin geçiş olasılıkları, matrisin ilgili gecikme durumu satırından okunabileceği gibi; mevcut durum vektörü  $Q_0$  (7) ve geçiş matrisinin çarpımından da elde edilebilir. Böylece beklenen gecikme değerleri hesaplanabilir.

$$Q_0 = [q_1 \ q_2 \ q_3 \ q_4 \ q_5 \ q_6] \quad (7)$$

Trenlerin her bir başlangıç gecikme durumu için, 8 seyir boyunca gecikme değerlerinin değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Tüm başlangıç gecikme durumları (başlangıç durum 2 hariç) için gecikme değeri sıfıra yaklaşıma eğilimindedir. Başlangıç gecikme durumu 6 olan bir trenin gecikme değeri, diğer grup trenlerin gecikme değerine göre daha hızlı/büyük miktarlarda değişmektedir.



Şekil 7 Farklı gecikme durumları için seyir sayısına göre gecikme değişimi.

Her ne kadar gözlenen trenler sınırlı sayıda seyir yapabilese de (Haydarpaşa-Gebze hattında 8 seyir aralığı), tüm trenlerin tekrarlı olarak zamana yayılan çok sayıda (örneğin 1000) seyir yapmasından sonra, her bir gecikme durumuna geçişin olasılığı durağanlaşmakta, matrisin sütunlarındaki olasılıklar aynı değerleri almakta, yani başlangıç durumunun önemi kalmamaktadır. Buna kararlı durum olasılıkları ( $\pi_j$ ) denir ve bir vektör şeklinde gösterilir (8). Bu olasılıklar tren gecikmelerindeki değişimin eğilimi ve çizelge (orer) performansı hakkında bilgiler verebilmektedir.

$$\pi = [0,490 \ 0,212 \ 0,114 \ 0,069 \ 0,065 \ 0,050] \quad (8)$$

Uzun vadede tüm trenler için beklenen gecikme değeri Denklem 9'da hesaplanmıştır:

$$E[D] = \mu_D = \sum_{j=1}^K e_j \cdot \pi_j = -0,157 \text{ dak} \quad (9)$$

## Sonuçlar

Haydarpaşa-Gebze hattındaki banliyö trenleri incelenen zaman diliminde 15-20 dakika aralıklarla tarifeyle ilgili hizmet vermektelerdir. Seyir süresi ve gecikme analizleri, gerçekleşen tren seferlerinin orerden saptığını göstermektedir. Bu sapmalar (geç veya erken varış ve kalkışlar) istatistiksel olarak analiz edilip görselleştirilebilmektedir. Böylece, sunulan hizmetlerin başarımı (performansı) değerlendirilebilmekte, aynı zamanda tren işletimine yönelik modelleme çabaları da desteklenmektedir. Tren hareketlerindeki rastgeleliğin getirdiği belirsizlik, tren trafiği için geliştirilen modellerin önemli bir girdisidir. Çalışma kapsamında geliştirilen Markov zinciri modeli, trenlerin istasyonlar arasındaki seyirlerine ilişkin rassallığı bir stokastik süreç olarak modellemektedir. Bu model aracılığıyla, trenlerin istasyonlar arasındaki tabii seyir sürelerinin içinde gömülü bulunan telafi sürelerinin, gecikmelerin azaltılması için ne ölçüde başarılı olduğu değerlendirilebilmektedir. Böylece, seferlerin çizelgeye bağlılığı gösterilebilmekte ve orerin verimliliği ölçülebilmektedir.

Haydarpaşa-Gebze banliyö hattı için elde edilen geçiş olasılıkları matrisinde (4), köşegen üzerindeki elemanlar mevcut gecikme durumlarının korunma olasılıklarını, köşegenin sağında yer alan elemanlar gecikme değerlerinin büyüme olasılıklarını ve köşegenin solunda yer alan elemanlar gecikme değerlerinin azalma olasılıklarını göstermektedir. Köşegenin solunda yer alan olasılıkların, sağında yer alanlara göre daha büyük olması (birinci satır hariç), sürücülerin ve çizelge yapısının, ortaya çıkan/mevcut gecikmeleri azaltmaya yönelik bir davranış sergilediğini göstermektedir. Birinci satır, gecikme değerlerinin negatif olduğu (erken kalkış) mevcut durumları temsil ettiği için, bu satırda köşegenin sağında yer alan sıfırdan farklı olasılık değerlerinin bulunması, erken gerçekleşen tren hareketlerinin planlanan zamanlara doğru değişim eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Kararlı durum vektöründe (8), gecikme değeri küçük olan durumlara ait kararlı durum olasılıklarının görece büyük olması, gecikmelerin büyük oranda telafi edilebildiğini göstermekte ve trenlerin istasyonlar arasındaki "tabii" seyir süreleri içinde bulunan telafi sürelerinin yeterli olduğu anlamına gelmektedir. Uzun vadede trenlerin %49'u istasyonlardan erken kalkış yapmakla beraber, sadece %30'a yakın bir kısmı gecikmektedir (durum 3-6 olasılıkları toplamı). Geciken trenlerin ise %61'den fazlasının (durum 3 ve durum 4) gecikme değeri, görece küçük değerler (1 ve 2 dakika) olmaktadır.

Uzun vadede tüm trenler için beklenen gecikme değerinin (9), negatif olması çizelgede bir miktar seyir süresi bolluğu olduğunu, sıfıra yakın olması ise gecikmeleri telafi edebilmesi bakımından çizelge (orer) performansının yüksek olduğunu göstermektedir.

Tren işletimine ilişkin istatistiksel yöntemlerin demiryolu idareleri tarafından ölçme ve değerlendirme aracı olarak kullanılması gerekmektedir. Bu yolla, sunulan hizmetlerin niteliği ve verimliliği ortaya konulabilir, alınması gereken önlemlere ya da gerekli düzeltmelere karar verilebilir. Veri analizi, ayrıca, tren trafiğine yönelik çeşitli tahmin modelleri geliştirmek için de kullanılabilir olduğundan, bu yaklaşım, kalite ve verimlilik artışı sağlamak gibi başka olumlu sonuçlar da doğurma potansiyeline sahiptir.

**Teşekkür** Bu çalışmada kullanılan orer ve trengraf verilerini paylaşan TCDD 1. Bölge Müdürlüğü'ne ve Çalışanlarına teşekkür ederiz.

**Kaynaklar**

Cerreto, F., Nielsen, B. F., Nielsen, O. A., ve Harrod, S. S. (2018) Application of Data Clustering to Railway Delay Pattern Recognition. Hindawi Journal of Advanced Transportation, Volume 2018, Article ID 6164534, 18 pages <https://doi.org/10.1155/2018/6164534>.

Dingler, M. Koenig, A., Sogin, S. ve Barkan, C. P. L. (2010) Determining the Causes of Train Delay. Proceedings of the 2010 Annual AREMA Conference, 29 August-1 September, USA.

Kecman, P., Corman, F., Meng, L. (2015) Train Delay Evolution as A Stochastic Process. 6th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis, Chiba Institute of Technology, March 23 – 26, RailTokyo2015, Japan.

Landex, A. (2009) GIS Analyses of Railroad Capacity and Delays, paper 1069, April 28–29, 2009, in Noida (NCR Delhi), India.

Mattsson, L.-G. (2004) Train Service Reliability: A Survey of Methods for Deriving Relationships for Train Delays. Research Report, Unit for Transport and Location Analysis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

Mattsson, L.-G. (2007) Railway Capacity and Train Delay Relationships. Alan T. Murray · Tony H. Grubestic (Ed.) Critical Infrastructure Reliability and Vulnerability, Chapter 7, pp. 129-150. DOI: 10.1007/978-3-540-68056-7\_7.

Şahin, İ. (2017) Markov Chain Model For Delay Distribution in Train Schedules: Assessing The Effectiveness of Time Allowances. Journal of Rail Transport Planning and Management. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2017.08.006>.

Şahin, İ. ve Zırhlı, S. (2006) Tren İşletiminde İstatistiksel Analizler. Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, ACE2006, 11-13 Ekim, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yuan, J. (2006) Stochastic Modelling of Train Delays and Delay Propagation in Stations. Doktora Tezi, Delft University of Technology. [https://doi.org/10.1061/40932\(246\)641](https://doi.org/10.1061/40932(246)641), Delft, The Netherlands.

Yuan, J., Goverde, R. M. P. ve Hansen, I. A. (2006) Evaluating Stochastic Train Process Time Distribution Models on the Basis of Empirical Detection Data. WIT Transactions on The Built Environment, Vol 88, pp. 631-640.

**Demiryolu Üstyapı Bakım-Yenileme Çalışmaları için bir Karar Destek Modeli Önerisi**

**Muhammed Emin Cihangir Bağdatlı<sup>1</sup>, Sueda Mutlu<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, 51240, Niğde  
e-posta: mecbagdatli@ohu.edu.tr<sup>1</sup>, sueda.mutlu@mail.ohu.edu.tr<sup>2</sup>

**Öz**

Demiryolu taşımacılığı, güvenlik, yüksek kapasite ve hızlı ulaşım imkânları ile diğer ulaşım türlerine kıyasla önemli bir konuma sahiptir ve kullanım hacmi gün geçtikçe artış göstermektedir. Demiryollarındaki bu hareketlilik, bakım ve onarım faaliyetlerini hızlandırmakta ve etkili bir üstyapı yönetiminin önemini artırmaktadır. Bu bağlamda bakım ve yenileme çalışmalarının doğru planlama adımları ile gerçekleştirilmesi sürdürülebilir ulaştırmanın teminini sağlayacaktır. Farklı yapı malzemelerinin bir araya gelmesiyle oluşan demiryolu üstyapısı, işletme aşamasında pek çok belirsizlik içeren etkenlerin etkisi altında kalmaktadır. Bu durum, demiryolu üstyapı yönetimini zorlaştırmaktadır. Bunun yanında gerekli olan tüm verilere ulaşmadaki güçlük ve uzun analiz periyodundaki belirsizlikler üstyapı yönetimi için en uygun çözümün bulunması önünde engel oluşturmaktadır. Sürdürülebilir bir yönetim için bahsi geçen tüm sorunların üstesinden gelecek bir karar verme modeline gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışma, etkili bir demiryolu üstyapı yönetimini temin edecek bir karar modelinin kavramsal çerçevesini sunmaktadır. Modelin gelişim ve uygulama adımları çalışmada detaylandırılmıştır. Önerilen model ile bakım ve yenileme maliyetlerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, demiryolu hat geometrisi bozulmalarını etkileyen tüm parametreler; bakım ve yenileme stratejilerinin tamamı, maliyet kısıtları kapsamında modele dâhil edilmiştir. Önerilen modelin demiryolu üstyapı bakım-yenileme çalışmaları için ümit verici bir çözüm sunacağı öngörülmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Bakım, demiryolu üstyapısı, hat geometrisi, karar-destek modeli, yenileme.

**Giriş**

Demir ray üzerinde yolculuğa başlayan trenler, bugün toplumsal gelişim ve dönüşümün başrol oyuncularında yer almaktadır. Demiryolları için yapılan yatırımlar ekonomik gelişmenin yanı sıra bilimsel, sosyal ve kültürel kalkınmayı sağlamak adına önemini artırmaktadır. Demiryolları; uğradığı her yerleşim yerini modern hayata bağlamaktadır. Demiryollarının topluma hizmetin ulaşmasına yaptığı olumlu etki insanların yaşam kalitesini yükseltmeyi amaçlayan adımların büyümesini sağlamıştır. Bu nedenle, ekonomik büyüme ve yaşam kalitesinin gelişmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır (UAB, 2018). Demiryolları, uzay ve havacılık sektöründen sonra en yüksek büyüme ve teknoloji yoğunluğuna sahip sektördür. Bu nedenle, demiryolu sektörüne verilen önem gün geçtikçe artmaktadır. Çünkü hareketlilik, trafik yoğunluğu, trafik kazaları ve çevre gibi temel sorunların alternatif çözümlerini bünyesinde barındıran en önemli ulaşım türü demiryollarıdır. Ayrıca sürdürülebilir ekonomik

büyüme için demiryollarının katkısı göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir (MEVKA, 2017).

Söz konusu avantajları nedeniyle, ülkeler, demiryolu yatırımlarında bir taraftan yüksek hızlı ve konvansiyonel hatlar inşa ederken, diğer taraftan da mevcut hatlarda bakım ve yenileme çalışmalarını sürdürmektedir (UAB, 2018). Demiryolları güvenliğinin ve verimliliğinin artması, yolcu memnuniyetinin temini ve yüksek kapasitesinin elde edilebilmesi için sağlıklı bir bakım ve yenileme yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu konu oldukça önemlidir. Çünkü doğru zamanda doğru bakım ve yenileme çalışmaları hattın toplam kullanım ömrünü arttırmakla birlikte maliyetleri minimize etmektedir. Son zamanlarda hızla artan demiryolu ağı nedeniyle bakım ve yenileme yönetiminin önemi gündeme gelmiş ve etkili yönetim modeli geliştirilmesine dair çeşitli çalışmalar yürütülmeye başlamıştır.

Yapılan literatür çalışmalarından elde edilen bilgiler ışığında, demiryolu üstyapı yönetimini güçleştiren en önemli faktörün, işletme sürecindeki belirsizlikler olduğu düşünülmektedir. İmalat sırasında kullanılan yapı elemanlarının her biri, işletme sürecinde tam olarak belirlenemeyen ve yönetim modeli içerisine dâhil edilemeyen etkenlerin etkisi altında kalmaktadır. Bununla birlikte etkili bir üstyapı yönetimi için, sahadan doğru ve eksiksiz verilerin temin edilme zorunluluğu da önemli bir etkidir. Söz konusu belirsizlikler ve veri teminindeki güçlükler demiryolu üstyapı yönetiminde istenilen performansın elde edilmesinin önünde önemli bir engel oluşturmaktadır. Sürdürülebilir bir demiryolu üstyapı yönetimini için bu sorunların üstesinden gelinmesi gerekmektedir.

Bu çalışma, bahsi geçen ihtiyacı karşılayacak sürdürülebilir bir demiryolu üstyapı yönetiminin temin edilmesini amaçlamaktadır. Bu doğrultuda belirsizlikle ve yetersiz veri ile mücadele eden bir karar destek modeli geliştirilecektir. Elde edilen model ile demiryolu hattında servis ömrü boyunca ortaya çıkacak bakım ve yenileme maliyetlerinin minimize edilmesi hedeflenmektedir. Bununla birlikte veri toplama için harcanan zaman kaybının minimum düzeye indirgenmesi çalışmanın hedefleri arasında yer almaktadır. Tüm bu hedefler doğrultusunda, bu çalışmada demiryolu üstyapı yönetiminin uygulaması için kapsamlı bir kavramsal çerçeve önerisinde bulunulmuştur. Bununla birlikte bakım ve yenileme çalışmalarını optimize edecek bir karar destek modelinin akış diyagramı sunulmuştur.

Önerilen model için bulanık mantığa dayalı algoritmaların kullanılması düşünülmüştür. Çünkü problemin ana gövdesini belirsizlik ve verilere ulaşmadaki güçlük oluşturmaktadır. Bulanık yaklaşımların belirsizlikle ve yetersiz veri ile mücadelede oldukça başarılı olduğu bilinmektedir. Söz konusu yaklaşımın başarısı bu çalışma kapsamında kullanımı için tercih nedeni olmuştur. Bu çalışma kapsamında önerilen ve bir akış diyagramı verilen bulanık tabanlı karar destek modelinin demiryolu üstyapı yönetiminde belirsizlikle ve yetersiz veri ile etkili mücadele vererek bakım ve yenileme çalışmalarında optimum kararları temin edeceği düşünülmektedir.

Çalışmanın organizasyonu dört ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde demiryolu ulaşımının öneminden bahsedilerek yapılan çalışmanın gerekliliği ve amacı üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde geleneksel demiryolu üstyapı yönetimi hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde bir demiryolu üstyapı yönetiminin uygulamasına yönelik kapsamlı bir kavramsal çerçevenin önerilmiş ve optimizasyon süreci için bir karar

destek modeli sunulmuştur. Dördüncü bölümde önerilen model tartışılmış ve gelecekteki çalışmalardan bahsedilmiştir.

### Literatür Araştırması

Demiryolu üstyapı yönetiminin geliştirilmesine ilişkin literatürde son yıllarda yapılmış başlıca çalışmalara ait kısa özetler aşağıda verilmiştir.

Boccolone vd. (2007), yapmış oldukları bir fizibilite çalışması kapsamında demiryolu üstyapı yönetiminde kritik sorunlardan birinin hat durumunun güvenilir bir şekilde bilinmesini gerektiren hat bakım faaliyeti olduğu ve böylece sadece gerekli olduğunda uygun bir müdahalenin yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Rausand ve Vatn (2008), yapmış oldukları çalışmalarında güvenlik, hız ve ulaşılabilirlikle ilgili maliyetleri en aza indirerek bakım aralıklarını optimize etmek için bir güvenilirlik merkezli bakım prosedürü sunan bir yazılım ortaya koymuşlardır.

Vale vd. (2012) önleyici bakım olarak balastlı hatlardaki buraj işlemlerini optimize etmek için tasarlanmış bir model sunmuşlardır. Buraj işlemini minimum düzeye indirilmesine ilişkin matematiksel tabanlı bir bakım modeli önermişlerdir.

Jovanoviç ve Guler (2015), demiryolu altyapısı bakımı ile ilgili tüm verilerin yönetimi için entegre bir yazılım platformu olan demiryolu varlık yönetim sistemini sunmuşlardır. Önerilen sistemin, demiryolları altyapısı ile ilgili tüm verilerin yönetimini, duruma dayalı ve öngörücü bakım-yenilenmeyi mümkün kılacak şekilde tasarlandığı savunulmuştur.

Guler (2016) yaptığı çalışmada demiryolu hatlarının bakım ve yenileme çalışmalarının genetik algoritmalar ile optimizasyonu için yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur. Demiryolunda bakım ve yenileme faaliyetlerini optimize etmek için karar destek sistemleri ve genetik algoritmalar kullanarak planlı bakım ve yenileme yönetim sistemlerinin başarıyla geliştirilebileceğini ve başarıyla kullanılabilirliğini göstermiştir.

Sharma vd. (2018) demiryolu hat bakım kararı vermesi için bir Markov karar süreci geliştirmişlerdir. Bir değer yineleme algoritması kullanılarak modeli optimize etmişlerdir. Markov zinciri, Monte Carlo simülasyonu kullanan mevcut bakım politikası ile karşılaştırıldığında, geliştirilen bakım politikası, her parça için toplam bakım maliyetlerinde yaklaşık %10 tasarruf sağladığı ortaya konulmuştur.

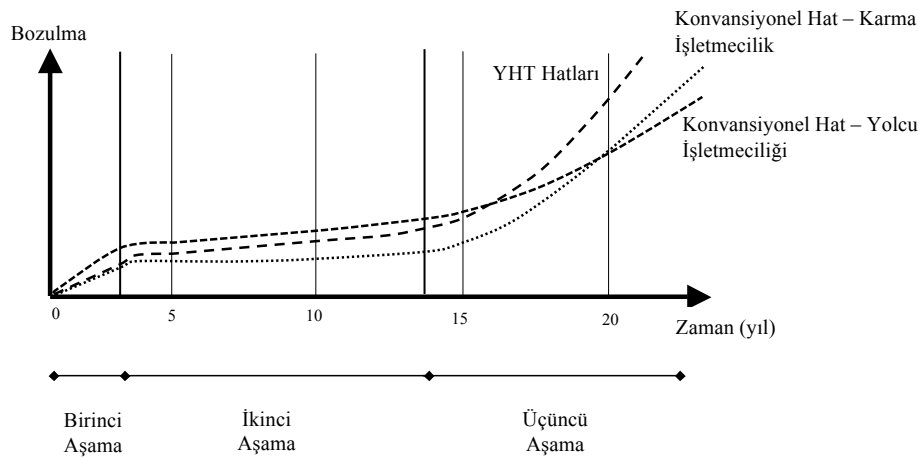
### Demiryolu Üstyapı Geleneksel Bakım ve Yenileme Çalışmaları

Demiryolu kalitesinin korunmasında en önemli unsur hat geometrisi kusurlarının sürekli olarak gözlem altında tutularak bakım faaliyetlerinin zamanında yapılmasıdır. Demiryolu üstyapı yönetiminde raylı sistem bakımları düzeltici (plansız) ve koruyucu (planlı) olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Düzeltici bakımlar, bakım planında yer almayan, hatta meydana gelen problemleri gidermek adına yapılan geçici veya kalıcı müdahalelerdir. Koruyucu bakımlar ise önceden planlanmış, periyotları ve süreleri belirlenmiş rutin bakımlardır. Planlı bakımların temelini; hat görsel kontrolü, tork kontrolü, makas yağlama, makas boyutsal kontrol, makas görsel kontrol, hat geometrisi ölçümü gibi periyodik bakımlar oluşturur. Bu periyodik bakımlar neticesinde görülen

kusurlar ise rayların taşlanması, bağlantı malzemelerinin tork ayarlarının yapılması gibi “duruma bağlı koruyucu bakımlar”la giderilmeye çalışılır. Bu bakımlarla da giderilemeyen kusurlar için değişim/yenileme yoluna gidilmektedir.

Hatta yapılan ölçüm çalışmaları bakım faaliyetlerinin periyodunu belirleyen en önemli etkenlerdir. Ülkemizde TCDD tarafından ölçüm çalışmaları yüksek hızlı ve konvansiyonel hatlarda Piri Reis, Roger 800, Matisa MPV-7 ölçüm trenleri ve krab isimli elle kumanda edilen hat ölçüm cihazı gibi yol geometrisi ölçüm aletleri ile yapılmaktadır (Bilgiç vd., 2017). Yapılan ölçümlerin sonuçları, “EN:13848 Demiryolu Uygulamaları-Yol Geometrisi Kalitesi” standardına göre değerlendirilmektedir. Söz konusu standartta hattın kalite düzeyini belirlemede kullanılan ekartman, nivelman, fleş, dever ve burulma parametrelerinden oluşan beş temel yol geometrisi parametresine yer verilmektedir. Ray mantarı iç kenarları arasında bulunması gereken yatay mesafeye ekartman; yükseklik farklarının ölçülmesi nivelman; kurp ölçümünde kullanılan bir yönleme fleş; yatay kurbalardaki enine eğime dever adı verilmektedir. Bu beş yol geometrisi parametresi ile ilgili yer alan toleranslar içerisinde değerlendirilmeler yapılarak hattın genel kalitesi belirlenmekte, bakım ve yol yenileme ihtiyaçları belirlenmektedir (TCDD, 2013). Bu parametrelerin ölçülmesi sonucu demiryolu hattının durumu ortaya konulmaktadır. Ancak bozulmaya sebep olan kök sebep ayrıntılı çalışmalar sonucu belirlenmektedir.

Demiryolu hattının ilk işletmeye alınmasından itibaren üstyapı performansına ilişkin değişim grafiği Şekil 1’deki gibidir. Şekilde görülen birinci aşama, demiryolu hattının işletmeye açılmasının ilk 2-3 yıl içerisinde lineer olarak geometrik değişimlerdir. İkinci aşamada, birinci aşamanın tamamlanmasından sonraki 10 yıl içinde fark edilebilir geometrik değişiklikler olmaksızın durağan bir durum sergiler. Üçüncü aşamada, ikinci aşamanın tamamlanmasından sonraki yıllarda meydana gelen malzeme aşınmaları nedeniyle geometrik değişimler hızla arttığı görülmektedir. (TCDD, 2013). Demiryolu hattının bozulma mekanizmasının evrelerindeki süreler ortalama süreler olup hız, yük, çevresel koşullar vb. durumlara bağlı olarak bu süreler değişkenlik göstermektedir.



Şekil 1. Hattın zaman içerisindeki bozulması (TCDD, 2013)

Şekil 1’de görüldüğü üzere özellikle birinci ve üçüncü aşama içerisinde hattaki bozulmaların lineer ve üstel olarak ilerlemesi nedeniyle hattın EN:13848 standardına göre sürekli olarak izlenmesi ve kontrol altında tutulması gerekmektedir. Günümüzde yüksek hızlı trenler ile artan hızlar, düşük toleranslar ve yoğun şekilde taşımacılık yapılması nedenleriyle hatta yapılması gereken ölçüm ve izleme faaliyetlerinin önemi her geçen gün artmaktadır.

Yol geometrisi kalitesinin belirlenmesinde kullanılan ölçütlerden biri, EN:13848-5 standardında yer alan Standart Deviasyon (SD) kavramıdır. Bu kavram standart Sapma olarak kullanılmaktadır. Belirli ölçüm aralığında fleş, ekartman, dever ve nivelman parametreleri için SD değerleri ayrı ayrı hesaplanmakta bunlarla ilgili yol geometrisindeki bozulmalar ve bakım ihtiyaçları belirlenebilmektedir. EN:13848-5 standardında yalnızca fleş ve nivelman parametrelerine ilişkin SD limit değerleri bulunmakta, bu parametrelere ilişkin standart deviasyon değerleri ile değerlendirmeler yapılabilmektedir. EN 13848-5 standardında tanımlanan üç temel yol geometrisi kalite düzeyi bulunmaktadır. Bu üç kalite düzeyi yardımıyla yolun durumu direkt olarak kategorize edilebilmektedir (BS, 2008). Hat geometrisi ölçümleri mm (milimetre) olarak yapılır. Müdahale eşiğini aşan kusurlar acil olarak düzeltilir. Kalan değerlerin istatistik analizi yapılır. Ortalama, standart sapma gibi değerler hesaplanır. Bu 3 kalite düzeyi şunlardır;

Uyarı Eşiği (AL): Aşılması halinde; hat geometrisi koşullarının, bir sonraki planlı bakım çalışmaları kapsamında analiz edilmesini ve dikkate alınmasını ifade eden değerdir. Müdahale Eşiği (IL): Aşılması halinde; bir sonraki ölçüme kadar güvenlik eşiğine varmadan düzeltici bakım gerektiren değeri ifade eder. Acil Müdahale Eşiği (IAL): Aşılması halinde; kusurlar düzeltilinceye kadar, maksimum tren hızını düşürmek veya hattı işletmeye kapatmak şeklinde acil önlemler alınmasını gerektiren değerlerdir (Guler, 2012). Tablo 1’de ülkemiz demiryolu hat çalışmalarındaki kritik eşik değerlerinde uygulanması gerekli görülen iş planı verilmiştir.

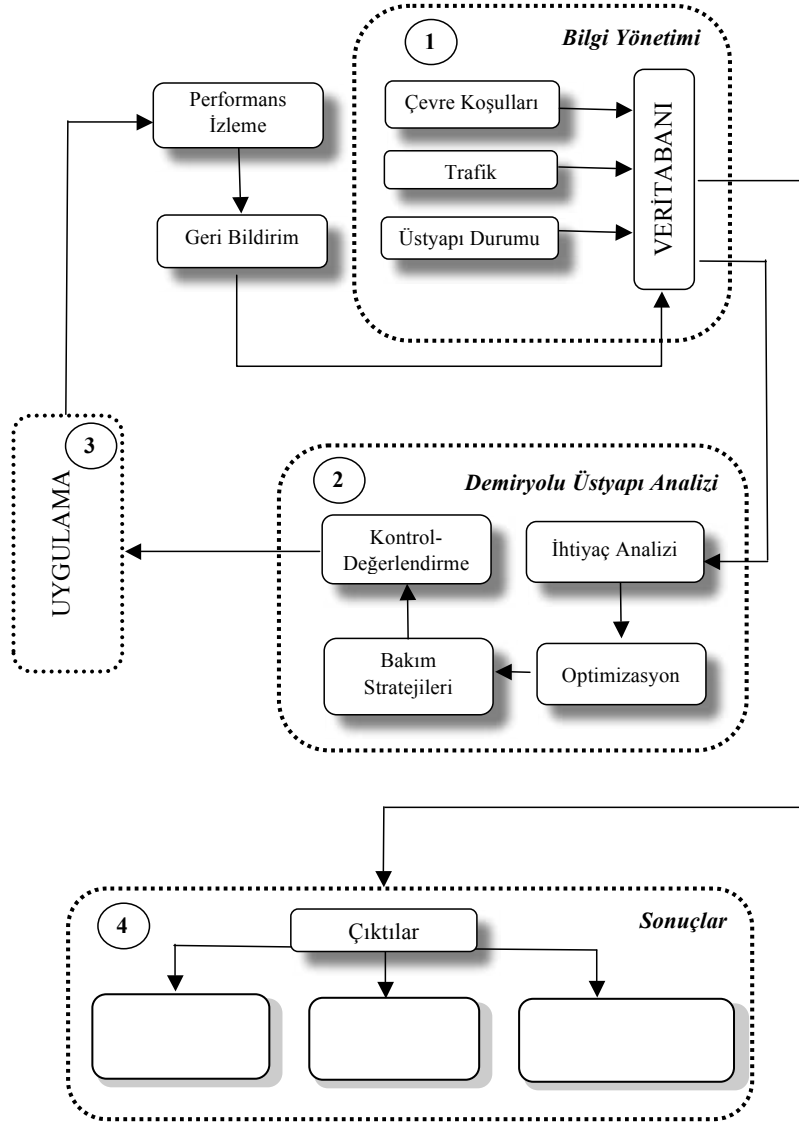
Tablo 1. Ülkemiz demiryolu hat çalışmaları eşik değerleri için iş akış planı (TCDD, 2013)

	Uyarı Eşiği (AL)	Müdahale Eşiği (IL)	Acil müdahale Eşiği (IAL)
Hataların yerinde kontrol edilmesi		48 saat içinde	Derhal
Hatta tespit edilen hatalara müdahale edilmesi	İzlemeye al	İlk bakım planında yer alacak şekilde programlama yap	Derhal Müdahale Et
Hatta tekayyudat konulması veya hattın işletmeye kapatılması		Hat Bakım El Kitabına göre uygun işlemleri yap	Hat Bakım El Kitabına göre uygun işlemleri yap
Acil düzeltici bakım yapılması		Önem sırasına göre, acil müdahale eşiğine gelemeden önce bakımı planla ve yap	Derhal
Bakımların kontrol edilmesi		Bakım çalışmasından sonra	Bakım çalışmasından sonra
Hat çalışmalarından sonra hattın değerlendirilmesi ve işletmeye alınması		Hat Bakım El Kitabına göre uygun işlemleri yap	Hat Bakım El Kitabına göre uygun işlemleri yap



### Üstyapı Bakım-Yenileme Çalışmaları için Önerilen Model

Saha araştırmaları ve literatürden elde edilen ortak bulgular neticesinde demiryolu üstyapı yönetim uygulaması için bir kavramsal çerçeve Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Demiryolu üstyapı yönetim uygulaması için bir kavramsal çerçeve

Sunulan çerçeve bilgi yönetimi, üstyapı analizi ve sonuçlar olmak üzere üç ana temel üzerine kurulmuştur. Üstyapı yönetiminin ilk adımı olan bilgi yönetimi aşamasını üstyapının mevcut durumu, trafik projeksiyonu ve çevre koşulları şekillendirmektedir. Bu bilgiler, bir veri tabanında toplanarak ihtiyaç duyulduğunda buradan temin edilmesi sağlanacaktır. Demiryolu üstyapı analiz safhası, uygulama öncesi planlama aşamasını oluşturmaktadır. Bu aşamada veri tabanından elde edilen bilgiler doğrultusunda ihtiyaç analizi yapılarak tüm girdiler optimizasyon sürecine hazır hale getirilmektedir. Optimizasyon sürecinde, belirlenen girdi verileri ile uygun algoritmalar yardımıyla bakım stratejileri belirlenmektedir. Elde edilen stratejilere ait kontroller ve son değerlendirmeler sonucunda uygulama safhasına geçilmektedir. Uygulama safhası ile birlikte performans izleme süreci de başlamaktadır. Üstyapı performansına ilişkin elde edilen tüm tecrübeler geribildirimle tekrar veri tabanında toplanmaktadır. Uygulama öncesi ve sonrası elde edilen tüm bilgiler sonuçlar aşamasında toplanarak çıktılar elde edilmektedir. Bu çıktılar, performans değerlendirmesi, maliyetler ve bakım-işletme programı olarak üç başlıkta sunulmaktadır.

Bu çalışmada söz konusu sorunun üstesinden geleceği öngörülen bir çözüm önerisi sunulmuştur. Bu bağlamda Şekil 2’de verilen çerçevede optimizasyon süreci için bir model önerisinde bulunulmuştur. Önerilen modele ilişkin tarafımızdan geliştirilen akış, pseudo kodu yardımıyla aşağıda verilmiştir. Bu akış, demiryolu üstyapısına ait tüm yapı elemanlarının bakım ve yenilenmelerindeki karar verme sürecini destekleyecek işlem adımlarını sunmaktadır. Önerilen modelin çalışma adımları şu şekilde gerçekleştirilecektir:

1. İşletilen hat belirli kısıtlar çerçevesinde analiz kesimlerine bölünerek ayrı ayrı değerlendirilecektir. İlk adım olarak; inceleme yapılacak analiz kesiminin seçilmesiyle başlanmaktadır. Modelde analiz kesiminin seçilme işlemi rastgele yapılabildiği gibi belirli bir sıra takibi yapılarak da gerçekleştirilebilir.
2. İlgili yol kesimine ait girdi değişkenleri olan trafik yükleri, çevre koşulları, yaş vb. bilgiler belirlenir ve bu değişkenler söz konusu analiz kesimi için öngörülen min. ve max. değerleri doğrultusunda bulanıklaştırılır.
3. Bulanık uzantı prensiplerinde yer alan algoritmalar kullanılarak her bir bulanık girdi değişkeni  $\lambda$ -kesimlerine ayrılır.  $\lambda$ -kesimi bulanık üçgen fonksiyonun her bir üyelik derecesine karşılık gelen geometrisi olup genellikle 0 ila 1 arasında 0,1 birim adımla belirlenmektedir.
4. Girdi değişkenlerinden elde edilen  $\lambda$ -kesimleri kullanılarak toplam yük sınırı bulanık matematiksel işlemler yardımıyla hesaplanır. Toplam yük sınırı  $M_L=Sa.La$  şeklinde formülize edilen bir kavramdır.
5. Girdi değişkenlerine ait  $\lambda$ -kesimlerinin bulanık operatörler yardımıyla  $PSI(M)=1-\exp[-k_f.(M/M_L-1)]$  matematiksel formu kullanılmasıyla hizmet kabiliyeti indeksi (PSI) hesaplanır.
6. Tüm bulanık  $\lambda$ -kesimleri için 4. ve 5. adımdaki işlemler tekrarlanır.
7.  $\lambda$ -kesimlerinin tamamından elde edilen bilgiler yardımıyla bir bulanık PSI modeli oluşturulur ve söz konusu bulanık PSI durulaştırılma işlemine tabi tutulur.
8. Elde edilen durulaştırılmış (crisp) PSI değeri EN 13848-5 standardında tanımlanan kalite düzeyi sınır şartları doğrultusunda değerlendirmeye alınır. Önerilen model tüm hat geometrisi parametrelerine adapte edilebilir bir formda sunulmaktadır.

- 8.1. PSI değeri Uyarı Eşiği (AL) ile Müdahale Eşiği (IL) aralığında bir değerde ise bakım ve/veya yenilemenin gerekli olmadığı ancak bir sonraki bakım çalışmaları için plana dâhil edilmesi gerektiğine karar verilir.
- 8.2. PSI değeri Müdahale Eşiği (IL) ile Acil Müdahale Eşiği (IAL) arasında bir değerde ise ilgili yerlere bölgesel olarak düzeltici bakım çalışmalarının yapılmasına karar verilir.
- 8.3. PSI değeri Acil Müdahale Eşiğine (IAL) eşit veya daha büyük olduğunda gerekli önlemler alınıp, işletme hızlarını düşürmek veya gerekirse hattı trafiğe kapatılarak genel bakım ve/veya yenileme çalışmalarının yapılmasına karar verilir.
9. Demiryoluna ait tüm analiz kesimleri için bu işlemler gerçekleştirilerek karar destek sürecinin devamı sağlanır. Karar süreci madde 8’de verilen bilgiler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir.

Geliştirilen model, tüm hat bileşenlerine adapte edilebilir nitelikte olup yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda önerilen modelin akışını gösteren pseudo kodu aşağıda verilmiştir.

- Başla
- Adım 1: Analiz kesimlerini belirle
- Adım 2: Girdi değişkenlerini bulanıklaştır
- Adım 3:  $\lambda$ -kesimi için  $0 \leq \lambda \leq 1.0$  aralığında bir değer belirle
- Adım 4: Toplam yük sınırını hesapla  $M_L = S_a \cdot L_a$
- Adım 5: Hizmet kabiliyetini belirle  $PSI(M) = 1 - \exp[-k_f \cdot (M/M_L - 1)]$
- Adım 6: Eğer  $\lambda$ -kesimi için son değer ise Adım 7’ye git
  - Değilse Adım 3’e dön
- Adım 7: Bulanık PSI değerini durulaştır
- Adım 8: PSI değeri bu aralıkta ise  $AL < PSI < IL$  “Bakım-yenileme yok”
  - Değilse Adım 9’a git
- Adım 9: PSI değeri bu aralıkta ise  $IL \leq PSI < IAL$  “Bölgesel düzeltici bakım ve/veya yenileme” yapılacak
  - Değilse Adım 10’a git
- Adım 10: PSI değeri bu şekilde ise  $PSI \geq IAL$  “Trafığı durdur-Genel bakım ve/veya yenileme” yapılacak
- Bitir

### Sonuç ve Tartışma

Demiryolu üstyapısı, içerisinde pek çok yapı elemanı barındırmasından dolayı bakım-yenileme çalışmalarının planlamasında pek çok belirsizlik etkisine maruz kalmaktadır. Bu durum etkili bir üstyapı yönetimi önünde büyük bir engel oluşturmaktadır. Bu sebeple geliştirilen stratejiler ve çözüm için ortaya konan modeller arzu edilen başarılı performansları temin edememektedir. Bununla birlikte doğru analizlerin gerçekleştirilebilmesi için veri toplama çalışmalarının sistematik biçimde sağlanması gerekmektedir. Ancak uygulamada bunu tam olarak temin etmek mümkün olamamaktadır. Böylece yetersiz verilerle analizler gerçekleştirilmekte ve bunun sonucu olarak hedeflenen performanslara ulaşamayan stratejiler ortaya konmaktadır. Bu çalışma bahsi geçen soruna odaklanmış ve çözümü için bir model önerisinde

bulunmuştur. Söz konusu model, bulanık tabanlı bir algoritma ile çözümleme gerçekleştirilerek yetersiz veri ve süreçteki tüm belirsizlikle mücadele edecektir. Önerilen modele ilişkin şu çıkarımlar elde edilmiştir:

1. Önerilen model demiryolu üstyapısına ait tüm yapı elemanlarının (ray, travers...) bakım-yenileme stratejilerinin belirlenmesinde kullanılacak bir karar-destek modelidir. Bu durum, kullanıcılar için önemli bir kullanım kolaylığı temin edecektir.
2. Analize tabi tutulacak olan tüm girdi değişkenleri bulanıklaştırılacak olup karar aşamasına kadar gerçekleşecek süreçteki tüm işlemler bulanık operatörler yardımıyla gerçekleştirilecektir. Bu yaklaşım, gerek girdi değişkenleri gerekse de analiz süreci üzerindeki tüm belirsizlik etkisini minimize edecektir.
3. Girdi değişkenleri, sahadan elde edilen verilerin minimum ve maksimum değerleri doğrultusunda geniş bir bulanık küme formunda analize tabi tutulacaktır. Böylelikle karar-verme sürecinde eksik ve yetersiz veriden kaynaklı olası olumsuz sonuçlar bertaraf edilecektir.

Yapılan çalışma hat geometrisi verilerinin değerlendirilmesiyle bakım ve yenileme çalışmalarına karar verilmesi esasına dayanmaktadır. Bu doğrultuda önerilen model demiryolu üstyapı yönetimine anlamlı bir katkı sağlayacaktır. İleriki çalışmalarda önerilen model farklı senaryo analizleri ile test edilecek ve bir durum çalışması üzerinden performansı ortaya konacaktır.

### Kaynaklar

- Bocciolone, M., Caprioli, A., Cigada, A., and Collina, A. (2007). A measurement system for quick rail inspection and effective track maintenance strategy. *Mech. Syst. Sig. Process.*, 21(3), 1242–1254.
- BS, (2008). EN 13848:2008 Railway applications-Track-Track geometry quality, European Committee For Standardization, Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels.
- Guler, H. (2012). Decision support system for railway track maintenance and renewal management. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(3), 292-306.
- Guler, H. (2017). Optimisation of railway track maintenance and renewal works by genetic algorithms. *Gradevinar*, 68(12.), 979-993.
- Jovanovic, S., Guler, H., Coko, B. (2015) Track degradation analysis in the scope of railway infrastructure maintenance management systems, *Gradevinar*, 67 (2015) 3, pp. 247-258.
- MEVKA, (2017). TR52 Düzey 2 Bölgesi 2023 Vizyon Raporu, Mevlana Kalkınma Ajansı, Konya.
- Rausand, M., and Vatn, J. (2008). Reliability centered maintenance. *Complex system maintenance handbook*, D. N. P. Murthy and K. A. H. Kobbacy, eds., Springer, London.

Sharma, S., Cui, Y., He, Q., Mohammadi, R., & Li, Z. (2018). Data-driven optimization of Railway maintenance for track geometry. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 90, 34-58.

TCDD, (2013). TCDD Hat Bakımı El Kitabı, Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Yol Dairesi Başkanlığı, Ankara.

UAB, (2018). Ulaşan ve Erişen Türkiye 2018. T.C. UlaŖtırma ve Altyapı Bakanlığı, Ankara

Vale, C., Ribeiro, I. M., & Calçada, R. (2011). Integer programming to optimize tamping in railway tracks as preventive maintenance. *Journal of Transportation Engineering*, 138(1), 123-131.

## Toplu Taşıma Ağ Tasarımı ve Sefer Sıklığı Problemlerinin Çözümü: Sezgisel Bir Yaklaşım

### 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

Gelişmiş ve gelişmekte olan dünya kentlerinin gündelik sorunlarından biri halini almış olan trafik sıkışıklığı probleminin çözümü için toplu taşıma sistemlerinin verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalara olan ilgi son yıllarda giderek artmaktadır. Yapılan çalışmalarda, otobüs taşımacılığının performansı genellikle kullanıcı ve işletmeciler odaklı olarak ele alınmakta ve her iki tarafın faydasını eniyileyen yaklaşımlar üzerinde durulmaktadır. Bu çalışmada, kentiçi otobüs güzergahlarını ve sefer sıklıklarını, kullanıcı ve işletmeciler faydalarını ayrı ayrı değerlendirerek optimize eden bir model geliştirilmektedir. Modelde kullanıcı faydası toplam seyahat süresi ve aktarma sayısı ile ilişkilendirilirken, işletmeciler faydası ele alınan işletme koşulları için ihtiyaç duyulan asgari filo büyüklüğü olarak değerlendirilmektedir. Eniyileme algoritması, toplu taşıma ağ tasarımı probleminin yapısına uygun olarak geliştirilen yeni bir sezgisel yöntem çatısı altında kurulmaktadır. Yolcuların güzergahlara dağılımını temsil eden toplu taşıma ataması probleminin çözümü için sıklık paylaşımı yöntemi kullanılmaktadır. Geliştirilen model toplu taşıma ağ tasarımı çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir test ağı üzerinde sınanmış ve sonuçlar modelin toplu taşıma ağ tasarımı etkin olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar sözcükler:** Toplu taşıma ağ tasarımı, toplu taşıma ataması, kentsel toplu ulaşım, otobüs taşımacılığı, sezgisel optimizasyon.

### Giriş

Trafik sıkışıklığı ve beraberinde getirdiği problemler dünya genelinde orta ve büyük ölçekli kentlerin başlıca sorunlarından biri durumundadır. Tüm dünyada yerel ve merkezi yönetimler trafik sıkışıklığının çözümü ve kent hayatının iyileşmesi için toplu taşıma sistemlerine yatırım yapmakta, araştırmacılar bu sistemlerin verimlerini arttırmaya yönelik stratejiler geliştirmektedir. Trafik sıkışıklığının önüne geçilemek için özel araç kullanımının azaltılması gerektiği, dolayısı ile bu araçlarla konfor, hız,

ekonomi, güvenlik ve güvenilirlik parametrelerinde rekabet edebilecek seviyede toplu taşıma sistemlerinin organize edilmesi gerektiğini değerlendirmek mümkündür. Günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kentsel toplu taşımacılık hizmetleri genellikle yerel yönetimlerin denetimine tabi özel işletmeler tarafından yürütülmektedir. Söz konusu şartlar altında işletmeciler, sınırlı işletme bütçeleri ve mevcut taşıt filoları dahilinde hedeflenen bir karlılığa ulaşma beklentisinde iken toplu taşıma hizmetlerinden faydalanan kullanıcıların genel beklentileri ise belli bir konfor seviyesinde asgari seyahat ve bekleme süresidir. Duraklara erişim için harcanan zamanın düşürülmesi, seyahat/bekleme sürelerinin azaltılması, toplu taşıma araçları içerisindeki doluluğun aşağıya çekilerek konfor seviyesinin yükseltilmesi adına toplu taşıma ağındaki güzergah sayısının artırılması ve bu güzergahlardaki sefer aralıklarının daha kısa tutulması bir çözüm olsa da, bunun daha fazla işletme gideri ve daha büyük bir filo gereksinimi yaratacağı dikkate alınmalıdır. Bu doğrultuda işletmeciler kısıtlı kaynaklarını daha etkili kullanmak ve karlılıklarını arttırmak amacı ile günün belli saatlerinde sefer aralıklarını arttırarak güzergahlardaki sefer sayısını azaltma eğilimindedir (Verbas ve Mahmassani, 2015). Toplu taşıma hizmetinden yararlanan kullanıcıların bu eğilimden olumsuz etkilenmemeleri için güzergahlarda uygulanabilecek en düşük sefer aralığının ve en yüksek doluluk değerlerinin belirli yönetmelikler/sözleşmelerle belirlenmiş olması gerekmektedir (Scheele, 1980; Furth ve Wilson, 1981).

Kentsel toplu taşıma sistemlerinin performanslarının ele alındığı çeşitli çalışmalarda, bu sistemlere mal edilen problemlerin birçoğunun temel sebebi olarak zirve saatlerdeki kapasite yetersizliği gösterilmektedir (Pucher ve diğ., 2004; Mashiri ve diğ., 1999; Finn ve Mulley, 2011). Yine bu çalışmalarda toplu taşıma hizmetlerine olan talebin artırılması için konfor seviyesinin artırılması gerektiğine vurgu yapılmış ve konfor seviyesi toplu taşıma araçları içerisindeki yolcu sayısı ile ilişkilendirilmiştir (British Youth Council, 2012). Toplu taşıma hizmetlerine olan ilginin artırılabilmesi için bahsi geçen göstergelerde meydana gelecek iyileşmelerin yanı sıra, hizmetin sürekliliği de kullanıcı açısından birincil derecede önem arz etmektedir. Bu da ancak toplu taşıma hizmetlerini sağlayan işletmecilerin zarar etmeden çalışabilmesi ile mümkündür. Dolayısıyla verimli ve sürdürülebilir toplu taşıma sistemlerinin organize edilebilmesi için kullanıcı ve işletmesi faydalarının bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kentiçi toplu taşıma sistemlerinde ağ tasarımı probleminin çözümü için geliştirilmiş çeşitli yaklaşımlar ve hesaplama yöntemleri bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda genel olarak ağıdaki seyahat süresi, toplam aktarma sayısı, ulaşım ağına erişilebilirlik, servis-km değeri, filo büyüklüğü ve bütçe giderleri konularına yoğunlaşmaktadır. Lampkin ve Saalmans (1967), kapasite maksimizasyonunun yanında ağıdaki toplam seyahat süresini de en aza indiren bir arama prosedürü önermiştir. Salzborn (1972), filo büyüklüğü ve kullanıcıların bekleme sürelerini optimize eden analitik bir model geliştirmiştir. Marwah ve diğ. (1984), işletme ve kullanıcı maliyetlerini aynı anda minimize eden ve sezgisel yöntemler ile doğrusal programlama tekniklerini bir arada kullanan hibrit bir yöntem önermiştir. Shih ve diğ. (1997a) tarafından önerilen sezgisel yaklaşım ile toplam seyahat süresi, toplam aktarma sayısı ve filo büyüklüğü aynı anda eniyilenme çalışılmıştır. Yu ve Yang (2006), geliştirdikleri metasezgisel yöntem ile doğrudan seyahatlerin, toplam seyahat adedi içindeki ağırlığını arttırmayı amaçlanmıştır. Nayeem ve diğ. (2014) toplu taşıma ağ tasarımı probleminin çözümü için genetik algoritmalarından faydalanmış ve tasarım sonucunda ağıdaki toplam seyahat süresini ve toplam aktarma sayısını minimize eden bir arama prosedürü önermişlerdir. Toplu taşıma ağ tasarımını ele alan çalışmalarda ana karar değişkenleri güzergahlar ve sıklıklar iken,

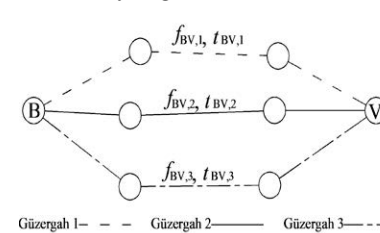
zaman zaman güzergah uzunlukları, ücret tarifeleri, otobüs karakteristikleri, duraklar gibi parametrelerinde de optimizasyon sürecine dahil edildiği dikkat çekmektedir. Bryn (1975) tarafından gerçekleştirilen ve işletmeci ile kullanıcı faydalarının bir arada ele alındığı çalışmada, güzergah uzunlukları hesap sürecine karar değişkeni olarak dahil edilmiştir. Chien ve Schonfeld (1997), toplu taşıma ağ tasarımı gerçekleştirdikleri çalışmalarında, durakların konumları hesap sürecinde dikkate almıştır.

Bu çalışmada, kentiçi otobüs güzergahlarını ve sefer sıklıklarını, kullanıcı ve işletmeci faydalarını ayrı ayrı değerlendirerek optimize eden bir model geliştirilmektedir. Modelde kullanıcı faydası toplam seyahat süresi, toplu taşıma araçları içerisindeki maksimum doluluk ve aktarma sayısı ile ilişkilendirilirken, işletmeci faydası ele alınan işletme koşulları için ihtiyaç duyulan asgari filo büyüklüğü olarak değerlendirilmektedir. Eniyileme algoritması problemin yapısına uygun olarak geliştirilen bir sezgisel optimizasyon yaklaşımı altında kodlanmaktadır. Yolcuların güzergâhlara dağılımını temsil eden toplu taşıma ataması probleminin çözümü için sıklık paylaşımı yöntemi kullanılmaktadır. Geliştirilen model, literatürde toplu taşıma ağ tasarımı için geliştirilen modellerin performanslarının sınanmasında yaygın olarak kullanılan ve Mandl (1979) tarafından geliştirilen test ağına uygulanmaktadır. Sonuçlar, önerilen modelin kentiçi toplu taşıma ağ tasarımında etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

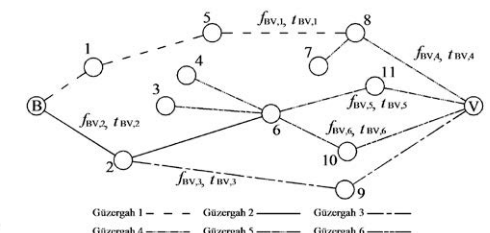
## Problem Formülasyonu

### Alt Seviye Problemi: Toplu Taşıma Ataması

Geliştirilen modelde toplu taşıma kullanıcılarının güzergâhlara dağılımını temsil eden toplu taşıma ataması probleminin çözümü için sıklık paylaşımı yöntemi kullanılmaktadır. Shih ve Mahmassani (1994) ve Shih ve diğ., (1997b) tarafından geliştirilen tekniğin temel kabulü, yolcuların her zaman en düşük aktarma sayısına sahip bağlantı alternatifleri arasında tercih yaptıklarıdır. Buna göre herhangi Başlangıç-Varış (B-V) çifti arasındaki seyahat talebi için öncelikle aktarmasız seyahat imkânı olup olmadığına bakılmaktadır. Aktarmasız seyahat mümkün ise talep seyahate imkân veren güzergahlar arasında ve söz konusu güzergahların sıklıkları ile doğru orantılı olarak paylaştırılır. Aktarmasız seyahat imkânı olmaması durumunda öncelikle 1 aktarmalı seyahat alternatifleri değerlendirilmekte, bunun da mümkün olmaması halinde iki aktarmalı bağlantı alternatifleri değerlendirilmeye alınmaktadır. Talep her zaman mümkün olan en az sayıda aktarmalar gözetilerek dağıtılmakta ve olası tüm bağlantı alternatifleri arasında mümkün olan en düşük seyahat süresi kıyas parametresi olarak kullanılmaktadır. Atama yaklaşımında ait temel kabuller Şekil 1 ve Şekil 2 incelenerek daha kolay değerlendirilebilir.



Şekil 1 – Aktarmasız seyahat şeması.



Şekil 2 – Aktarmalı seyahat şeması.

Şekil 1 incelendiğinde, B noktasından V noktasına aktarmasız olarak seyahat imkanı sunan üç adet otobüs güzergahı görülmektedir. Her bir güzergaha ait sefer sıklıkları  $f_{BV,i}$ , yine güzergahlara ait seyahat süreleri  $t_{BV,i}$  ile ifade edilmektedir. Ancak iki nokta arasındaki aynı aktarma sayısına sahip tüm bağlantılar aynı seyahat süresine sahip olmayabilir. Bu durumda kullanıcıların daha kısa seyahat süresine sahip güzergahlar üzerinde seyahat yapmayı tercih edeceklerini değerlendirmek mümkündür. Bu nedenle, B-V çiftleri arasındaki her bağlantı bir seyahat alternatifi olarak değerlendirilmeyebilir. Herhangi bir bağlantının potansiyel bağlantı alternatifleri kümesine ( $G_{BV}$ ) dahil edilip edilmeyeceğine, söz konusu bağlantıya ait seyahat süresinin, B-V çifti arasında mümkün olan en kısa seyahat süresi ( $t_{BV,min}$ ) ile kıyasıyla karar verilmektedir. Seyahat süresi, taşıt içerisinde geçirilen zaman, durakta bekleme süresi ve aktarma varsa her aktarma için belirlenen ceza değerlerinin toplamını içermektedir. Bir B-V çifti arasındaki en düşük seyahat süresi Denklem (1)'deki gibi belirlenir.

$$t_{BV,min} = \min_{I \in L_{BV}} \{t_{BV,I}\} \quad (1)$$

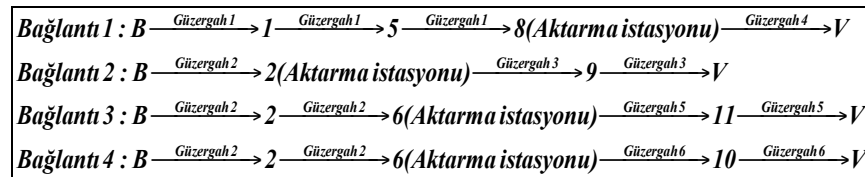
bağlantı alternatiflerinin belirlenme sürecini özetleyen (2) numaralı bağıntıda;  $g$ , değerlendirilmesi yapılan güzergahı,  $t_{AB,g}$ ,  $g$  güzergahına ait seyahat süresini,  $c_i$  ise minimum seyahat süresinin kaç katına kadar seyahat süresine sahip güzergahların çözüm kümesine dahil edileceğini belirleyen katsayıdır.

$$G_{BV,a} = \{g | g \in G_{BV}; t_{AB,g} \leq c_i t_{BV,min}\} \quad (2)$$

Potansiyel güzergah kümesinin belirlenmesinin ardından küme dahilindeki her bir güzergaha ait yolcu sayısı bağıntı (3) yardımı ile belirlenir. Bağıntıdaki  $q_{BV}$  B-V çiftleri arasındaki seyahat talebini,  $h_{BV,i}$  ise B-V noktaları arasında  $i$  güzergahını kullanacak yolcu sayısını ifade etmektedir.

$$h_{BV,i} = \frac{f_{BV,i}}{\sum_{g \in G_{AB}, f_{BV,i}} q_{BV}} \quad (3)$$

Şekil 2 incelendiğinde ise B başlangıç noktasından V varış noktasına seyahat etmek isteyen bir kullanıcının aktarmasız seyahat imkanının bulunmadığı ve yolculuğunu aktarmalı olarak gerçekleştirmek zorunda kalacağı görülmektedir. Şekil 3'te adımları ile birlikte listelenen Şekil 2'deki toplu taşıma ağına ait bağlantı alternatifleri incelendiğinde, seyahatine B noktasından 1 ve 2 numaralı otobüs güzergahları ile başlayan bir kullanıcının, 8 numaralı durakta 4 numaralı güzergaha, 2 numaralı durakta 3 numaralı güzergaha, 6 numaralı durakta da 5 ve 6 numaralı güzergahlara aktarma imkanına sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3 – Bağlantı alternatifleri.

Herhangi bir bağlantı alternatifinin kullanıcılar tarafından değerlendirilip değerlendirilmeyeceği, aktarmasız seyahat alternatifleri arasında gerçekleştirilen eleme sürecine benzer şekilde her bağlantıya ait seyahat süresinin, tüm bağlantı alternatifleri içerisinde mümkün olan en küçük seyahat süresi ile kıyasıyla belirlenmektedir. Eleme sürecinin ardından B durağından ilk otobüslere binişler, söz konusu otobüslerin sıklıkları ile doğru orantılı şekilde Denklem (4)'teki gibi gerçekleşmektedir.

$$h_{BV,1} = \frac{f_{BV,1}}{f_{BV,1} + f_{BV,2}} q_{BV}, \quad h_{BV,2} = \frac{f_{BV,2}}{f_{BV,1} + f_{BV,2}} q_{BV} \quad (4)$$

1 numaralı bağlantıyı seçerek 1 numaralı güzergahta seyahatlerine başlayan tüm kullanıcılar, başka bir alternatif olmamasından dolayı 8 numaralı istasyonda 4 numaralı güzergaha aktarma yaparak seyahatlerinin kalanını söz konusu otobüs hattı ile tamamlarlar. Ancak seyahatlerine 2 numaralı otobüs güzergahı ile başlayan kullanıcıların seyahatlerini 3 farklı bağlantı alternatifi ile tamamlama imkanı bulunmaktadır. Bu durumda 2 numaralı güzergah ile seyahatlerine başlayan yolcuların her bir seyahat alternatifini eşit ağırlıkta tercih ettikleri kabul edilmektedir. Söz konusu durumda bu kullanıcıların Denklem (5)'e uygun olarak 1/3'ünün 2 numaralı durakta iniş yaptığı, kalan 2/3'lük kısmının ise aktarma için 6 numaralı durağı tercih ettiği varsayılmaktadır.

$$h_{BV,2,B2} = h_{BV,2,B3} = h_{BV,2,B4} = \frac{h_{BV,2}}{3} \quad (5)$$

Dolayısı ile 2 numaralı durakta aktarma yapan yolcular seyahatlerinin kalanını alternatifsiz olarak 3 numaralı otobüs güzergahını kullanarak tamamlamaktadır. Ancak 6 numaralı durakta iniş yapan yolcular için seyahatlerinin kalanını hem 5 hem de 6 numaralı güzergahlarda hizmet veren otobüsler ile tamamlama şansı bulunmaktadır. 5 numaralı hatta aktarma için gelen yolcuların söz konusu iki otobüs güzergahına dağılımı seyahat başlangıcında olduğu gibi her iki güzergahın sıklıkları ile doğru orantılı olarak gerçekleşmektedir.

### Üst Seviye Problemi: Güzergah ve Sefer Sıklığı Optimizasyonu

Geliştirilen modelde kullanıcı ve işletmeci faydaları ayrı ayrı ele alınmakta, kullanıcı faydası toplam seyahat süresi, toplu taşıma araçları içerisindeki maksimum doluluk ve aktarma sayısı ile ilişkilendirilirken, işletmeci faydası ele alınan işletme koşulları için ihtiyaç duyulan filo büyüklüğü olarak değerlendirilmektedir. Kullanıcı faydasının eniylenmesini temsil eden üst seviye problemi aşağıdaki gibi formülize edilmiştir:

$$\min Z_{kullamci} = \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^V \sum_{k=1}^{c_{ij}} (TGZ_k^{ij} + AGZ_k^{ij}) + 5 \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^V (TS^{ij}) + w \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^V (UNS^{ij}) + y \left( F \left( \sum_{i=1}^G (filo, f_i) \right) \right) \quad (6)$$

Denklem (6) ile verilen ve kullanıcı faydasını temsil eden bağıntıda, B adet başlangıç ve V adet varış bölgesinde  $c^{ij}$   $i$ - $j$  B-V çifti arasındaki bağlantı sayısını,  $TGZ_k^{ij}$   $i$ - $j$  B-V çifti arasındaki  $k$  bağlantısında taşıt içinde geçen zamanı (dk),  $AGZ_k^{ij}$  duraklarda yaşanan bekleme zamanını (dk) ifade etmektedir.  $TS^{ij}$  B-V noktaları arasında gerçekleşen

aktarma sayısını ifade etmekte olup, her bir aktarma 5 dakika ile cezalandırılmaktadır.  $UNS^{ij}$  B-V noktaları arasında 3 ve daha fazla sayıda aktarma yapmak zorunda kalan ya da B-V düğümlerinden herhangi birinde toplu taşıma araçlarına erişimin bulunmadığı durumlarda karşılanamayan talebi ifade etmekte,  $w$  ise ceza değerinin duyarlılığını kontrol eden ağırlık katsayısını temsil etmektedir.  $G$ 'nin toplu taşıma ağındaki otobüs güzergahları kümesini ifade ettiği eşitlikte  $F$  ceza fonksiyonunu,  $f_i$  i güzergahında analiz periyodundaki işletme koşulları için ihtiyaç duyulan otobüs sayısını,  $filo$  işletmenin sahip olduğu otobüs sayısını,  $y$  ceza değerinin duyarlılığını kontrol eden ağırlık katsayısını ifade etmektedir. Ceza fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$F = \begin{cases} (\sum f - filo) & \text{eğer } \sum f > filo \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (7)$$

Geliştirilen modelde işletmeci faydası ele alınan işletme koşullarını sağlamak için ihtiyaç duyulan filo büyüklüğünün minimize edilmesidir. Optimizasyon sürecinde temel kısıt karşılanamayan talebin olmamasıdır. İşletmeci faydasını değerlendirmek için kullanılan Denklem (8) aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

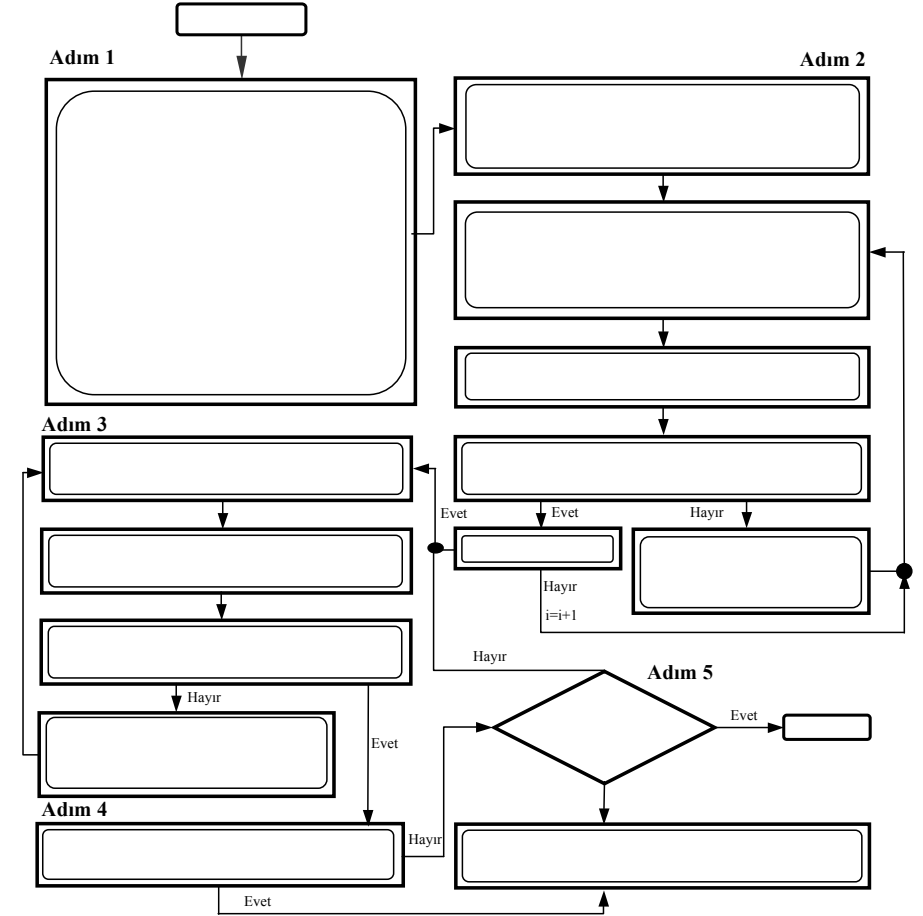
$$\min Z_{\text{işletmeci}} = \sum_{i=1}^G (f_i) + w \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^V (UNS^{ij}) \quad (8)$$

### Optimizasyon Tekniği ve Model Yapısı

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen kentiçi toplu taşıma sistemlerinde ağ tasarımı ve frekans optimizasyonu için sezgisel bir yaklaşım modeli geliştirilmiştir. Şekil 4'te optimizasyon tekniğinin ele alınan probleme uygulanmasını özetleyen akış şeması verilen modelin çalışma mantığını oluşturan 5 temel adım şu şekildedir;

**Adım 1: Problemin kurulması ve algoritma parametrelerinin tanımlanması:** Bu adımda amaç fonksiyonu, karar değişkenleri, karar değişkenleri için kullanılan çözüm uzayı ve algoritmanın çalışma parametreleri tanımlanmaktadır. Algoritmanın çözüm sürecini kontrol eden 3 farklı parametre bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla, algoritmanın çözüm vektörü sayısı olan Algoritma Belleği Kapasitesi (ABK), bellekten yapılacak değişken seçimi oranı olan Belleği Dikkate alma Oranı (BDO) ve Güzergah Düzeltme Oranıdır (GDO). Aynı zamanda algoritmanın çözüm süresini kısaltmak için oluşturulan başlangıç kümesi de bu adımda belirlenmektedir. Talebin yüksek olduğu duraklar arasındaki en kısa bağlantıların belirlenmesi sürecini içeren başlangıç kümesinin oluşturulması 4 adımlı bir prosedürdür.

- I. Ağıdaki toplam güzergâh sayısını belirle. Düğüm çiftlerini büyükten küçüğe doğru sırala. Güzergah sayısına uygun büyüklükte güzergah kümesi oluştur.
- II. En yüksek seyahat talebine sahip düğüm çiftini belirle. Bu düğüm çifti arasındaki en düşük seyahat süresine sahip bağlantıyı tespit et. Tespit edilen bağlantıyı güzergah kümesindeki uygun güzergahlar ile birleştir, bu mümkün değilse oluşturulan bağlantıyı kümenin yeni elemanı olarak tanımla.
- III. Düğüm çiftlerine ait sıralamayı güncelle.
- IV. Güzergah kümesi doluyorsa döngüyü bitir. Aksi takdirde 2. adıma geri dön.



Şekil 4 - Sezgisel optimizasyon tekniği tabanlı çözüm yaklaşımı.

**Adım 2: Algoritma belleğinin oluşturulması:** Çözüm vektörleri ve ilgili vektörlere ait amaç fonksiyonu büyüklükleri algoritma belleğinde saklanmaktadır. İlgili çözüm vektörlerinin kalitesi, amaç fonksiyonu değerleri yardımıyla değerlendirilmektedir. Her bir çözüm vektörü için belirlenmiş rastgele sıklıklar kullanılarak toplu taşıma ataması gerçekleştirilerek ağa ait değerler elde edilmektedir. Atama sonucu güzergahlarda yaşanan maksimum doluluk kontrol edilmekte ve söz konusu doluluk için uygulanması gereken minimum sıklıklar belirlenmektedir. Eğer toplu taşıma atamasında kullanılan sıklıklar ile maksimum doluluk değerlerinden elde edilen sıklıklar birbirinden farklı ise güzergahlara ait sıklıklar, maksimum doluluk değerlerinden elde edilen sıklıklarla yer değiştirmekte ve yeni bir toplu taşıma ataması gerçekleştirilmektedir. Her bir çözüm vektörü için bu süreç başlangıç ve sonuç sıklıkları birbirine eşit oluncaya kadar devam etmektedir.

**Adım 3: Yeni çözüm vektörünün oluşturulması:** Bu adımda yeni çözüm vektörü, algoritma belleğinde seçim yoluyla veya çözüm uzayından tamamen rastgele olarak

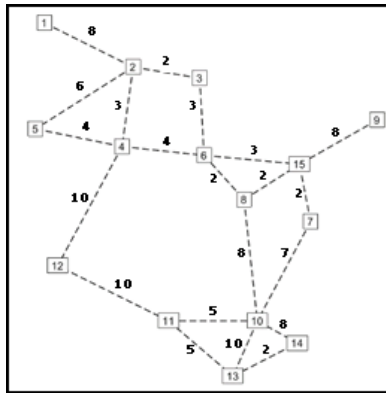
üretilmektedir. Değişkenlerin algoritma belleğinden seçileceği yoksa rastgele olarak üretileceği, değeri 0 ile 1 arasında değişen *BDO* oranına göre yapılmaktadır. Burada, *BDO* bir karar değişkeninin değerinin mevcut algoritma belleğinden seçilme olasılığını gösterirken,  $(1-BDO)$  oluşturulan yeni karar değişkeninin, ilgili değişkenin alabileceği değerler vektörü içerisinde rastgele olarak seçilmesine karşılık gelmektedir. Yeni çözüm vektörünün bellek içerisinde seçilmesi haline güzergah düzeltme işleminin gerekli olup olmadığının belirlenmesi için her karar değişkeninin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Yine 0 ile 1 arasında değişen bir oran olan *GDO* olasılığı ile belirlenen güzergah düzeltme işleminin gerçekleşmesi halinde %50 ihtimalle seçilen güzergahın bitişi ya da başlangıç duraklarından bir tanesi seçilmektedir. Seçilen durağa yine eşit olasılık ya komşu duraklarından biri eklenmekte ya da seçilen durak yok edilerek güzergahın uzunluğu kısaltılmaktadır. Güzergah düzeltme işlemi, ancak algoritma belleğinden bir değer seçilmesi durumunda gerçekleştirilmektedir.

*Adım 4: Algoritma belleğinin güncellenmesi:* Bu adımda, yeni üretilen çözüm vektörü, algoritma belleği içindeki en kötü vektör ile karşılaştırılır. Eğer yeni vektör, bellek 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

Geliştirilen modelin sayısal uygulaması, toplu taşıma ağ tasarımı probleminin çözümüne odaklanan yöntemlerin performanslarının değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan ve Mandl (1979) tarafından geliştirilen test ağı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Genel görünümü Şekil 5'te verilen test ağı 15 düğüm ve 21 bağdan oluşmaktadır. Ağa ait düğüm koordinatları, bağ seyahat süreleri ve B-V talepleri Gunby ve Gustavsen (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmadan alınmıştır.



Şekil 5 – Test ağı (Mandl, 1979).

Model çözümlerinde işletmeye ait filo büyüklüğü 99 otobüs, otobüs kapasiteleri 50 yolcu ve analiz aralığı 1 saat olarak alınmıştır. Güzergahlarda uygulanabilecek sefer sıklıkları en az 1 sefer/saat, en fazla 30 sefer/saat olarak modele tanımlanmıştır. Model çözülmesi esnasında 50,000 iterasyon boyunca bellekteki en kötü çözümden daha iyi bir çözüm bulunamaması durumunda algoritma durdurularak bellekteki en iyi çözüm değeri saklanmıştır. Çözümlerde bellek kapasitesi 100 olarak alınmış olup model performansı üzerinde son derece etkili olan *BDO* ve *GDO* parametreleri için bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. 4 güzergahlı sistem için yapılan duyarlılık analizi sonucunda elde edilen en düşük toplam seyahat süresi değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Duyarlılık analizi sonuçları (toplam seyahat süresi - dk).

	GDO	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
<b>BDO</b>						
<b>0.80</b>		197824.98	192971.11	194819.29	195959.93	197637.75
<b>0.85</b>		196423.24	195348.49	<b>191326.18</b>	194520.59	206230.70
<b>0.90</b>		195603.88	195620.74	195759.84	195259.41	199130.29
<b>0.95</b>		204996.25	198109.42	203276.27	200026.62	206643.28

Tablo 1 incelendiğinde en düşük toplam seyahat süresi değerinin *BDO*=0.85 ve *GDO*=0.30 için elde edildiği görülmektedir. Bundan dolayı diğer analizlerde bu değerler kullanılmıştır. Geliştirilen modelin performansının literatürdeki farklı yaklaşımlarla karşılaştırılabilmesi için test ağındaki seyahat talebinin 4, 6, 7 ve 8 otobüs güzergahıyla karşılanması durumları için analizler yapılmış ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Geliştirilen model ve daha önce yapılmış çalışmalar sonucunda bulunan en iyi değerlerin karşılaştırılması.

Güzergah sayısı	Karşılaştırılan çalışmalar	Filo boyutu	Seyahatlerin dağılımı (%)				Zaman bileşenleri (dk)			
			$t_0^*$	$t_1^*$	$t_2^*$	$t_k^*$	Toplam seyahat süresi	Taahhüt dışındaki geçen zaman	Taahhüt içinde geçen zaman	Aktarma cezası
4	Mandl (1979)	99	69.94	29.93	0.13	0	219094	18194	177400	23500
	Nikolic ve Teodorovic (2014)	70	80.48	12.84	0.00	6.68	180453	20549	149904	10000
	Model (kullanıcı)	83	92.54	7.46	0	0	191326	21680	163847	5800
	Model (işletmeci)	69	87.47	12.53	0	0	202548	26978	165821	9750
6	Shih ve Mahmassani (1994)	87	82.59	17.41	0	0	225102	19726	191826	13550
	Shih ve Mahmassani (1994)	84	82.59	17.41	0	0	203936	20058	170328	13550
	Nikolic ve Teodorovic (2014)	75	87.73	12.27	0	0	199908	27338	163020	9550
	Model (kullanıcı)	90	91.97	8.03	0	0	188099	23373	158476	6250
7	Model (işletmeci)	71	86.76	13.24	0	0	201731	25993	165439	10300
	Baaj ve Mahmassani (1991)	82	80.99	19.01	0	0	217954	22804	180356	14800
	Nikolic ve Teodorovic (2014)	78	90.62	9.38	0	0	195477	30076	158100	7300
	Model (kullanıcı)	85	90.55	9.45	0	0	190097	24602	158145	7350
8	Model (işletmeci)	71	88.05	11.95	0	0	198761	28864	160597	9300
	Shih ve Mahmassani (1994)	68	87.73	12.27	0	0	204028	26455	168023	9550
	Baaj ve Mahmassani (1991)	77	79.96	20.04	0	0	209318	27064	166654	15600
	Nikolic ve Teodorovic (2014)	78	91.91	8.09	0	0	197516	33266	157950	6300
8	Model (kullanıcı)	91	91.71	8.29	0	0	188453	23796	158207	6450
	Model (işletmeci)	72	89.33	10.67	0	0	198651	30697	159655	8300

\*( $t_0$  - aktarmasız seyahatler,  $t_1$  - bir aktarmalı seyahatler,  $t_2$  - iki aktarmalı seyahatler,  $t_k$  - karşılanamayan talep)

Tablo 2 incelendiğinde, en düşük toplam seyahat süresi değerinin Nikolic ve Teodorovic (2014) tarafından geliştirilen Greedy algoritması tabanlı model ile elde

edildiği görülmektedir. Ancak, seyahatlerin dağılımı incelendiğinde ise toplam seyahat talebinin yaklaşık %7'sinin karşılanamadığı dikkati çekmektedir. Bu çalışmada geliştirilen model sonucunda 191326 dk olarak hesaplanan en düşük seyahat süresi değerinin dört güzergahlı çözümler arasında en iyi değer olduğu görülmektedir. 83 otobüslük filo gereksinimi ortaya koyan bu çözüm dışında işletmeci perspektifinin gözönünde bulundurulduğu model çözümünde ise toplam seyahat süresinin 202548 dk'ya çıktığı ancak filo gereksiniminin ise 69 otobüse düştüğü görülmektedir. 6, 7 ve 8 güzergahlı çözümlerin sonuçları incelendiğinde yine bu çalışma kapsamında geliştirilen model ile gerçekleştirilen kullanıcı perspektifli çözümler sonucunda literatürdeki diğer çalışmalardan daha düşük toplam seyahat süresi değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Yine işletmeci maliyetlerinin gözönüne alındığı işletmeci perspektifli çözümlerde ise toplam seyahat süresi değerlerinin yaklaşık %4-6 oranında arttığı, diğer yandan filo gereksiniminin ise %20'lere kadar azaltılabildiği görülmektedir. Geliştirilen model ile kentsel toplu taşıma sistemlerinin planlanması ve işletilmesinden sorumlu olan planlamacılar ve karar vericilerin kullanıcı ya da işletmeci faydası odaklı seçim yapabilmesinin mümkün kılınabilecektir. Ayrıca, geliştirilen model ile yapılan çözümlerde seyahat talebinin tamamının karşılandığı görülmektedir. Tablo 3'te model çözümleri sonucunda elde edilen güzergahların durak sıralamaları, sefer sıklıkları, sefer süreleri ve filo gereksinimleri kullanıcı ve işletmeci perspektifleri altında verilmiştir.

Tablo 3: Optimizasyon süreci sonunda elde edilen güzergahlar ve sıklıklar.

Güzergah Sayısı	Kullanıcı perspektifi				İşletmeci perspektifi			
	Güzergah	Sıklık (sefer/saat)	Sefer Süresi (dk)	Filo (otobüs)	Güzergah	Sıklık (sefer/saat)	Sefer Süresi (dk)	Filo (otobüs)
4	1-2-3-6-8-10-11-13	29	33	83	1-2-3-6-8-10-11	27	28	69
	2-5-4-6-8-10-13	19	34		5-4-6-8-10-13	17	28	
	9-15-7-10	14	17		9-15-6-8-10-7	10	28	
	7-15-6-3-2-4-12-11-10-14-13	13	48		7-15-8-6-3-2-4-12-11-13-	12	41	
6	1-2-3-6-8-10-11-13	28	33	90	1-2-3-6-8-10-11	23	28	71
	5-4-6-8-10-13	20	28		5-4-6-8-10-13	20	28	
	9-15-7-10-14	15	25		9-15-7-10-14	8	25	
	1-2-3-6-15-7	12	18		2-3-6-15-7-10	19	17	
	10-11-12	10	15		10-11-12	13	15	
1-2-4-12-11-13-14-10	8	46	1-2-4-12	7	21			
7	1-2-3-6-8-10-11-13	28	33	85	1-2-3-6-8-10-11	25	28	71
	5-4-6-8-10-13	21	28		5-4-6-8-10-13	17	28	
	9-15-7-10-14-13	15	27		9-15-7-10-14	8	25	
	1-2-3-6-15-7	12	18		1-2-3-6-15-7	8	18	
	10-11-12	10	15		10-7-15-6-4-2	13	19	
	1-2-4-12	7	21		1-2-4-12	3	21	
11-13-14	1	7	12-11-13-14	9	17			
8	1-2-3-6-8-10-11	27	28	91	1-2-3-6-8-10-11	28	28	72
	2-5-4-6-8-10	20	24		5-4-6-8-10-13	24	28	
	9-15-7-10-14	15	25		9-15-7-10-14	17	25	
	1-2-3-6-15-7	12	18		1-2-3-6-15-7	10	18	
	10-11-12	9	15		10-7-15-6-4-2	1	19	
	2-4-12	1	13		1-2-4-12	5	21	
	12-11-13-14	1	17		12-11-13-14	9	17	
	1-2-4-12-11-13-14-10	13	46		1-2-5	3	14	

Tablo 3 incelendiğinde 99 otobüslük filo kısıtının tüm analizlerde sağlandığı görülmektedir. Güzergah sayısı arttıkça ihtiyaç duyulan filo büyüklüğünün de genel olarak arttığı dikkati çekmektedir. Seyahat talebinin düşük olduğu güzergahlarda sefer sıklığı değerinin 1 sefer/saat'e kadar düştüğü, yüksek seyahat talebi olan güzergahlarda ise bu değer üst sınır olan 30 sefer/saat'e yaklaştığı görülmektedir.

## Sonuçlar

Bu çalışmada, kentiçi otobüs güzergahlarını ve sefer sıklıklarını, kullanıcı ve işletmeci faydalarını ayrı ayrı değerlendirerek optimize eden iki seviyeli bir çözüm modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile kentsel toplu taşıma sistemlerinin planlanması ve işletilmesinden sorumlu olan planlamacılar ve karar vericilerin kullanıcı ya da işletmeci faydası odaklı seçim yapabilmesine olanak sağlanması hedeflenmektedir. Modelin alt seviyesinde toplu taşıma ataması problemi çözülürken, üst seviyede işletmeci ve kullanıcı faydalarını temsil eden birer amaç fonksiyonu geliştirilmiş ve problemin yapısına uygun bir sezgisel yöntem önerilmiştir. Kullanıcıların güzergâhlara dağılımını temsil eden toplu taşıma ataması probleminin çözümü için sıklık paylaşımı yöntemi kullanılmıştır. Üst seviye probleminde otobüs güzergahları ve sefer sıklıkları karar değişkenleri olarak ele alınmış olup filo büyüklüğü ve sefer sıklığı kısıtları dikkate alınmıştır. Modelin uygulaması literatürde bu alanda yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir test ağı üzerinde yapılmıştır. Kullanıcı maliyetlerinin ağıdaki toplam seyahat süresi olarak dikkate alındığı durumda literatürdeki çalışmalara nazaran daha düşük toplam seyahat sürelerinin elde edildiği güzergahlar bulunmuştur. Diğer yandan, işletmeci maliyetinin ihtiyaç duyulan filo büyüklüğü ve güzergah yapısındaki eksiklerden dolayı karşılanamayan seyahat talebinin ağırlıklandırılmış toplamı olarak ele alındığı durumlarda ise toplam seyahat süresi değerindeki yaklaşık %4-6'lık artışa rağmen filo gereksiniminin %20'lere varan düzeyde azaltılabildiği ortaya konulmuştur. Kullanıcıların duraklara erişim için harcadıkları zaman ve toplu taşıma araçlarına iniş binişleri için ihtiyaç duydukları süre bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır. Gelecek çalışmalarda, modelin bu etkileri de göz önünde bulunduracak şekilde geliştirilmesi ve orta/büyük ölçekli toplu taşıma ağlarına uyarlanması 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.
- British Youth Council (2012) *Public Transport & Young People in Suffolk: Youth Parliament Report*.
- Byrne, B. (1975) Public transportation line positions and headways for minimum user and system cost in a radial case. *Transportation Research*, (9), pp. 97-102.
- Chien, S. and Schonfeld, P. (1997) Optimization of grid transit system in heterogeneous urban environment. *Journal of Transportation Engineering*, 123 (1), pp. 28-35.
- 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.
- Furth, P. G. and Wilson, N. H. M. (1981) Setting Frequencies on Bus Routes: Theory and Practice. *Transportation Research Record*, 818, pp. 1-7.
- Gunby, H. and Gustavsen, S. (2015) *A Combined Swarm System for the Urban Transit Routing Problem*. Masters Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Department of Computer and Information Science, Oslo, Norway.



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.

Nayeem, M.A., Rahman, M.K. and Rahman, M.S. (2014) Transit network design by genetic algorithm with elitism. Transportation Research Part C, 46, pp. 30-45.

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.

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.

Salzborn, F.J.M. (1972) Optimum bus scheduling. Transportation Science, 6(2) 137-148.

Scheele, S. (1980) A Supply Model For Public Transit Services. Transportation Research Part B, 14(1-2), pp. 133-146.

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. (1997a) Planning and design model for transit route networks with coordinated operations. Transportation Research Record, 1623, pp.16–23.

Shih, M. C., Mahmassani, H. S. and Baaj, M. H. (1997b) Trip assignment model for timed-transfer transit systems. Transportation research record 1571, pp. 24–30. TRB, National Research Council, Washington, DC.

Verbas, İ. Ö. and Mahmassani, H. S. (2015) Exploring trade-offs in frequency allocation in a transit network using bus route patterns: Methodology and application to large-scale urban systems. Transportation Research Part B, 81(2), pp. 577–595.

Yu, B. and Yang, Z. (2006) Model and algorithm for iterative design of bus network. Proc. 9th Int. Conf. on the Applications of Advanced Technologies in Transportation (AATT 2006), Chicago, pp. 731–736.

## Yaşlı Yolcuların Bedava Toplu Taşıma Kullanımının Yolculuk Davranışlarına Etkisinin İncelenmesi

**İlgin Göktaşar**

Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34342, Bebek, İstanbul

Tel: (0212) 359 48 79/72 78

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

**Ali Atilla Arısoy**

Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34342, Bebek, İstanbul

Tel: (0212) 359 4879

E-Posta: aliaarisoy@gmail.com

### Öz

Şehirlerdeki nüfus artışı yeni zorlukları da beraberinde getirmektedir. En temel ihtiyaçlardan birisi olan ulaşım, bu zorluklardan bir tanesidir ve toplu taşıma bu soruna çözüm olabilecek en önemli yöntemlerdendir. Toplu taşıma sistemlerinin erişilebilirliği ve konforu o şehrin sağlıklı yaşam koşulları sağlayabilmesi adına son derece önemlidir. Bu noktada toplu taşımanın kullanımını arttırmak amacıyla öğrenci ve yaşlı yolcular başta olmak üzere toplumun bazı kesimleri için daha uygun fiyatlı veya ücretsiz ulaşım sağlamak gibi çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, Kadıköy ilçesinde 65 yaş üzeri yolcular ile yapılan anketlere verilen cevaplar, sınıflandırma ve regresyon ağaç modeli gibi geleneksel ve rastgele orman algoritması gibi daha güncel veri analiz yöntemleri kullanılarak incelenerek karşılaştırılmıştır. Seyahat sıklığı ile bağlantılı olan faktörler belirlenerek farklı yolcuların seyahat sıklığını tahmin edebilen bir model kurulmuştur. Bu modele göre yolcunun yaşı ve seyahat sebebi yolculuk sıklığının tahmin edilmesinde önemli olan değişkenlerdir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yaşlı yolcuların zirve saatler yerine diğer saatlerde yolculuk yapması için ne tür uygulamalar yapılması gerektiğine dair çözümler sunulmuştur.

**Anahtar sözcükler:** 65 yaş üzeri yolcular, Veri analizi modellemesi, Karar ağacı modeli, Rastgele orman algoritması.

### Giriş ve Literatür Taraması

Toplu taşıma sistemleri yolcuların ulaşım taleplerini sağlayabilen yüksek kapasiteli sistemlerdir. Şehirlerdeki nüfus arttıkça bu sistemler insanların yaşam koşullarını iyileştirebilmek adına, daha erişilebilir, verimli ve çevre dostu olmalıdır (COM, 2007, 2009). Metro ve otobüsler, trafikteki araç sayısını azaltarak, trafik sıkışıklığının azalmasını sağlamaktadır. Zirve saatlerde bu sistemlerin önemi daha da artmakta ve özellikle bu aralıkta iyi performans gösteremeyen toplu taşıma sistemleri yolcularda düşük hizmet kalitesi algısı oluşturmaktadır. Bu durum da benzer sistemlerin sağlayabileceği faydaları azaltabilmektedir. Şehir plancıları ve yetkilileri sürekli olarak toplu taşıma sistemlerinin daha verimli ve konforlu bir şekilde çalışmasını hedefleyerek iyileştirmeler ve değerlendirmeler yapmaktadır. Bu sayede ulaşım ihtiyacını karşılamada toplu taşıma sistemlerinin payının artırılması hedeflenmektedir. Bunu yaparken genel yolcu tipi için, geleneksel yöntemler sonuç verebilir. Ancak özel durumu olan, yaşlı ve engelli yolcular için, daha farklı ve yenilikçi yöntemler uygulanmalıdır.

Literatürde daha farklı tanımlamalar mevcut olsa da 65 yaş ve üstü yolcular, yaşlı yolcular olarak tanımlanabilirler. Bu tip yolcuların nasıl yolculuk ettiklerine hangi faktörlerin etkili olduğunu tespit etmek son derece önemlidir. Ulaşım türü seçiminde gelir seviyesi, yaşanan mahalle, yolculuk amacı gibi faktörler etkilidir. Londra’da yapılan bir çalışmada sağlıklı yaşlı yolcular otobüs ve tramvayı tercih ederlerken, yolcuların yaşı veya engeli arttıkça taksiyi tercih etmeleri daha muhtemel olmaktadır (Schmöcker, 2008). Havalimanına erişmek için yaşlı yolcular genellikle aile üyelerinden kendilerini bırakmalarını istemektedirler. Bu kararlarında güvenliği öncelikli görmeleri etkilidir. Ayrıca, kullanacakları ulaşım türünün kullanıcı dostu olması ve varsa bavulları için kolaylık sağlaması da etkili faktörlerdendir. Genel olarak havalimanına erişim amacıyla olan seyahatlerde toplu taşıma tercihinde azalma gözlemlenebilmektedir (Chang, 2013). Yaşlı ve genç nüfus, şehrin toplu taşıması alanında çalışmakta olan yetkililerin üzerinde kayda değer bir etkiye sahiptir. Özellikle yapılan iyileştirmeler ve alınan kararlarla yaşlıların özel araçlarını kullanmayı bırakması ekonomik, psikolojik ve sosyal faydalar sağlamaktadır. Bu faydalara ek olarak, yaşlıların motor fonksiyonlarını kaybetmeye başladığında, araba kullanımlarını azaltarak tehlikeli durumların önüne geçebilmek amacıyla farklı yöntemler mevcuttur. Zorunlu ihtiyaçlarını bir şekilde araç kullanmadan halledebileceklerinde, yaşlılar hareketlilik kararlarını daha iyi kontrol edebileceklerdir (Burkhardt, 1999). Yaşlı yolcuların yolculuk kararlarını ve davranışlarını değiştirmek çok zor olabilir. Ancak toplumun tümünün yararı için dünyada farklı yerlerde şehir yetkilileri yaşlı yolcular için özel uygulamalar ortaya koymaktadır.

Yaşlı yolculara ücretsiz toplu taşıma sağlanmasının etkileri, Norveç Çevre Bakanlığı tarafından yapılan bir araştırmada farklı Avrupa ülkelerindeki uygulamaları ele alarak kıyaslanmıştır (Norveç Çevre Bakanlığı, 2012). Bu araştırmaya göre ücretsiz ulaşım sağlama uygulaması çok maliyetli olmasının yanı sıra trafik sıkışıklığını rahatlatma ve çevre koruma açısından başarısız olurken, toplu taşıma kullanımının artması açısından çok etkili olmaktadır. Cats ve diğ. (2012) Estonya’nın Tallinn şehrinde senelik memnuniyet anketi yaptığı çalışmada, ankete katılanların en büyük şikâyetinin toplu taşıma ücretleri olduğunu tespit etmiştir. Diğer şikâyetler arasında ise, kalabalık ve servis sıklığı en büyük sorunlardandır. Bu anket sonucunda toplu taşımanın ücretli olmasına yönelik şikâyetleri çözebilmek adına, Tallinn şehrinde tüm toplu taşıma sistemlerinin o şehrin vatandaşları için ücretsiz olması önerilmiş ve bu öneri %75 oranında büyük bir destek almıştır. Bu uygulama ile Tallinn Avrupa’daki herkese ücretsiz toplu taşıma sağlayan ilk başkent olmuştur. Ayrıca uygulama ile sadece özel bir gruba değil, tüm yolculara bu imkân sağlanarak, eşitsizliğin de önüne geçilmiştir. Uygulaması ile gaz emisyonlarının ve özel araç kullanım ihtiyacının azalması beklenmektedir. Ancak Storchmann (2003) yaptığı araştırmada ücretsiz otobüs uygulamasından faydalanan yolcuların çok az bir kısmının özel araç sahibi olduğunu tespit ettiğinden bu uygulamanın trafik sıkışıklığı üzerinde herhangi bir faydasının olmadığını gözlemlemiştir. İngiltere’de yaşlı ve engelli yolcuların toplu taşımadan ücretsiz faydalanması dolayısıyla oluşan otobüs operatörlerinin maddi zararları Ulaştırma Bakanlığı tarafından karşılanmaktadır (UKDOT, 2012). İstanbul’da 60-64 yaş arasındaki yolcular toplu taşımadan %50 indirimli faydalanırken, 65 yaş ve üstü yolcular tamamen ücretsiz faydalanmaktadır (İBB, 2009). Herhangi bir zaman kısıtlaması da bulunmayan bu uygulamadan yolcular, ulaşım kartlarını araç içinde bulunan kart okuma sistemine okutarak ya da şoföre göstererek faydalanabilirler. Ancak yolcuların kartlarını okutmamaları durumunda kayıtlara geçirilememesi, analizler

yapılırken hangi duraktan kaç yolcunun bindiği ya da o otobüsün o durakta yolcuları alırken ne kadar vakit harcadığı gibi bilgilerin sağlıklı bir şekilde kaydedilememesine yol açmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2018’de 7,8 milyon yolculuk 65 yaş üstü yolcular tarafından gerçekleştirilmiştir (AA, 2018). 2016’daki verilere bakıldığında ise bu sayıda yaklaşık %1 ile %1,2 arasında bir artış olduğu gözlemlenmektedir.

Özel bir yolcu grubu olan yaşlı yolculara sağlanan bu kolaylıklar toplu taşıma sistemlerinin genel konfor algısını ve verimini düşürmemelidir. Aksi takdirde tek bir gruba sağlanacak fırsatlardan dolayı tüm kullanıcılar zarar görecektir ve uzun vadede trafiğe sağlanması beklenen faydalar giderek azalacaktır. Bu çalışmanın amacı veri analizi ve madencilik yöntemleri kullanılarak 65 yaş üstü yolculara yapılan anket cevaplarının incelenmesi ve yolcuların yolculuk sıklığını tahmin eden bir model kurulmasıdır. Daha sonrasında kurulan model üzerinden seyahat sıklığına etki eden faktörler üzerinden yapılması gereken uygulamalar tespit edilecek ve gerekli öneriler sunulacaktır. Literatürde, İstanbul özelinde bu konu hakkında bir çalışma bulunmamaktadır. İstanbul gibi nüfusun ve trafik sıkışıklığının yoğun olduğu bir şehirde toplu taşıma ekstra önem taşımaktadır ve konu hakkında yapılan çalışmaların etkileri somut bir şekilde fark edilebilmektedir. Bu açıdan çalışma, literatürdeki bir boşluğu doldurarak ve sunduğu önerilerle gelecek çalışmaları da yönlendirecektir.

## Yöntem ve Teori

### Sınıflandırma ve Regresyon Ağaç Modeli (SRAM)

Breiman’ın (1984) önerdiği bu modeller veri madenciliği alanında sıkça kullanılmaktadır. Modellerin amacı, verilen parametreleri kullanarak hedeflenen değişkeni doğru bir biçimde tahmin etmektir. Girdi ve hedef verileri aşağıdaki gibi formüle edilebilirler:

$$(x, Y) = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_k, Y) \quad (1)$$

Y, bu veriler arasında doğru tahmin edilmeye çalışılan hedef değişkendir.  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$  bileşenlerinden oluşan  $x$  vektörü de girdi parametrelerini temsil etmektedir. Bu modeller kolay anlaşılabilir, hem numerik hem de kategorik parametrelerle iyi çalışmaları ve de insanların karar alma davranışlarını başarılı bir şekilde yansıtabilmesinden dolayı tercih edilmiştir.

Ağaç modelleri, genellikle yukarıdan aşağı yönde kurulurlar ve bunu yaparken parametrelerin en iyi ayrımı yapabilecekleri noktanın bulunması hedeflenir (Rokach ve diğ., 2005). Algoritmayı durduracak herhangi bir kıstas tanımlanmadığı sürece bu algoritma her bir son nodülde sadece tek bir veri kalana kadar ayırmaya devam eder. Ancak bu durum modelin verilen veriyi aşırı detaylı incelemesine ve başka bir veri seti üzerinde çalışırken aynı detayları beklemesi sonucu, aşırı uyum (overfitting) sergileyerek başarısız olmasına sebep olacaktır. Tanımlanan kıstaslar genellikle alt kümelerdeki homojenliği ölçer ve bu değerler belli bir eşiğe ulaştığında algoritma durur. Programın içerisindeki karışıklık parametresi (CP) ve bir ayırmanın gerçekleşmesi için gerekli minimum gözlem sayısı (MINSPLIT) bu çalışmada kullanılacak olan durma kıstasları olacaktır. MINSPLIT değeri azaldıkça son nodülde bulunan gözlem sayısı da azalmaktadır. Dolayısıyla bu değer çok düşük olduğu zaman aşırı uyma sorununun

gözlemlenmesi daha muhtemeldir. CP değeri ise her ayırım sonrası model-veri arasındaki uyumu temsil etmektedir. Belli bir CP değerinin altında kalan değerler için algoritma o ayırmayı gerçekleştirmeyecektir. Eğer tüm denemeler belirlenen CP değerinin altında kalıyorsa, algoritma duracaktır.

Çalışmada bu modelin seçilmesinin en temel sebebi veriyi sistematik bir şekilde inceleyerek olasılıkları göz ardı etmeden çok yönlü bir bakış açısı sunmasıdır. Ayrıca daha geleneksel oluşu ve geçmişte pek çok benzer çalışmada kullanılması modelin doğruluğu açısından önemlidir.

### Rastgele Orman Algoritması

Çoklu bir öğrenme yöntemi olan Rastgele Orman Algoritması (ROA) birden fazla karar ağacı (KA) oluşturarak normal KA algoritmasının aşırı uyuma sorununun önüne geçen bir algoritmadır. Breiman (2001) bu algoritmayı daha da geliştirmek için “torbalama” fikrini ortaya koymuştur.  $n$  adet gözlem ve parametresi olan bir veri seti ele alındığında  $B$  defa bu veri setinden yerine geri koymalı seçimler yaparak yeni veri setleri oluşturarak, tek tek bu yeni veri setleri için modeller çıkarmaktadır. Bu sayede modelin varyansı, modelde bir önyargı oluşturmadan, düşürülebilmektedir.

ROA ile bir modelde kullanılacak olan değişkenlerin önem sıralamasını yapmak mümkündür. Torbalama uygulaması sonrası oluşturulan yeni veri setini kullanarak elde edilen model, eski veri setinde kalan gözlemlerin hedef parametresini tahmin etmek için kullanılır. Bu tahmin sonucunda oluşan hataya torba-dışı-hata denir. Önem sıralamasını yaparken her bir gözlem için bu hata değeri ayrı ayrı kaydedilir. Zhu (2015) bu değerler için daha fazla bilgiyi araştırmasında sağlamıştır.

ROA'nın bu çalışmadaki en büyük avantajı hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde kullanılabilmesidir. Aynı zamanda aşırı uyum (overfitting) problemini de ortadan kaldırması açısından sonuçların doğruluğu için gereklidir.

## Analiz

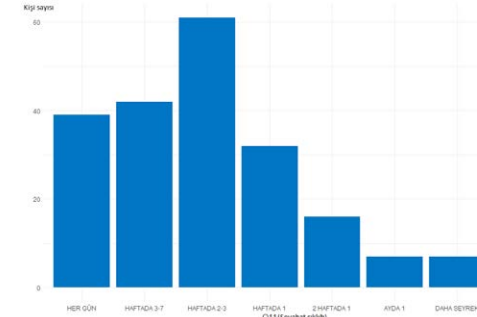
### Toplanan Veri ve Anket Hakkında Bilgiler

İstanbul'da Kadıköy bölgesinden 65 yaş ve üstü toplu taşıma kullanan vatandaşlara bir anket yapılmıştır. Ankete katılan 219 kişinin sosyoekonomik karakteristik özelliklerini öğrenebilmek adına, gelir ve eğitim seviyesi, çalışma durumu, ehliyet ve özel araç sahibi olma durumu, cinsiyet, yaş gibi soruların yanı sıra ulaşım davranışlarına yönelik bilgi toplamak amaçlı sorular sorulmuştur. Kullanılan toplu taşıma türü, seyahat sıklığı ve amacı, başlangıç ve bitiş saatleri, tercih ettikleri ulaşım türü gibi sorularla bu bilgiler elde edilmiştir. Ankette sadece toplu taşımayı aktif olarak kullandığını belirten kişiler incelenmiştir. Bu göz önüne alındığında ele alınan kişi sayısı 219'dan 204'e düşmüştür.

Katılımcıların %43,6'sı (N=89) kadın, %56,4'ü (N=115) erkeklerden oluşmaktadır ve %57,8 (N=118) gibi bir oranla çoğunluğun ehliyeti vardır. Fakat sadece %29,9'u (N=61) özel araç sahibidir. Katılımcıların %39,2'si (N=80) 1001-3000TL arasında ve %29,9'u (N=61) 3001-5000TL arasında gelir seviyesine sahiptir. Çalışma durumuna göre katılımcıların %82,8'si (N=169) gibi büyük bir oranı çalışmamaktadır. Eğitim

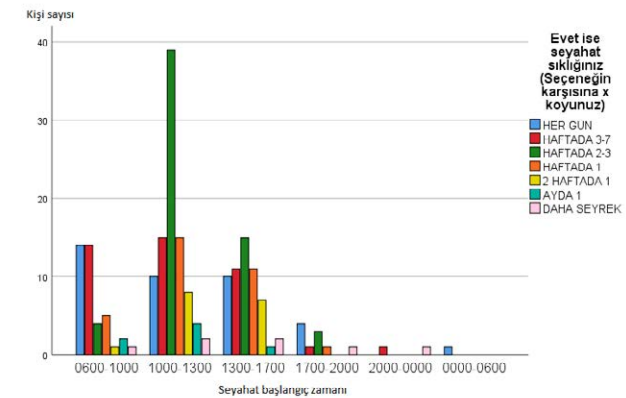
seviyelerine bakıldığında, en çok, %34,8 (N=71) oranla lise ve en az %19,6 (N=40) oranla ilkokul seviyesinde eğitim sahibi oldukları gözlemlenmektedir.

204 kişinin toplu taşımayı kullanma sıklığına bakıldığında durum Şekil 1'de görüldüğü gibidir. Şekli oransal olarak incelediğimizde, kişilerin %29,9'u (N=61) haftada 2-3 gün, %20,6'sı (N=42) haftada 3-7 kez ve %19,1'ini (N=39) her gün seyahat etmektedirler. En seyrek gözlemlenen sıklık %3,4 (N=7) oranı ile ayda 1 ve daha seyrek seyahat edenlerdir. Bu durum ileride kurulacak modelde taraflı sonuçlar çıkmasına sebep olabilir. Ancak daha sık toplu taşıma kullananlar düşünülerek yapılacak iyileştirmelerin diğer gruplar için de olumlu sonuçlar oluşturması beklenmektedir.



Şekil 1 Ankete katılanların toplu taşımayı kullanım sıklıkları.

Katılımcıların gidiş saati ile kullanım sıklığı arasındaki durum ise Şekil 2'de görüldüğü gibi haftada 2-3 kez seyahat eden yolcular saat 10:00 ile 13:00 arası, haftada 3-7 kez seyahat eden yolcular saat 06:00 ile 10:00 arası yola çıkan kişilerden oluşmaktadır. En az sıklıkta seyahat eden kişiler ise günün her saatinde eşit oranda yola çıkmaktadırlar. Her gün yolculuk yapan kişilerin, sabah zirve saatindeki yolculuk oranları kayda değer seviyededir. Bu kişiler özellikle diğer her gün yolculuk yapan yolcular için en kritik gruptur.



Şekil 2 Ankete katılanların seyahat sıklığına göre yolculuklarına başlama saatleri.

Katılımcıların kullandığı ulaşım türü ve bu türü neden kullandıkları hakkında incelemeler yapılmıştır. Otobüs kullananların bu yolu seçmesindeki en büyük etkenler

sistemin kolaylığı ve gidilecek yere sadece otobüs ile erişilebiliyor olmasıdır. Metro tercih edenler ise bu sistemi hızından ve kolaylığından ötürü seçmektedir. Deniz yolu ile seyahatlerini gerçekleştirenler ise, en az sayıda olmalarına rağmen, en büyük tercih etkeninin konfor olduğunu belirtmişlerdir.

### İstatistiksel Analizler

Yolcuların seyahat sıklığı ile hangi faktörler arasında bir ilişki olduğunu gözlemek adına ki-kare testi ve ROA kullanılmıştır. Ki-kare testlerine göre seyahat sıklığı ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkisi olan değişkenler hakkında bilgi Tablo 1’de verilmiştir. Genel kabul P değeri %5’ten küçük olan değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu yönündedir. Ancak alanı itibarıyla sosyal bir araştırma olması sebebiyle %10’da sınır olarak kabul edilebilmektedir. Bu sebeple ve elde edilen p değerlerinin %5’e çok yakın olması dolayısıyla da %5 değerinden büyük olan değerlerin de bu analizde anlamlı oldukları varsayılmıştır. Sunulacak öneriler düşünüldüğünde bu test sonucu kurulacak modele çalışma durumu, seyahat amacı, seyahat başlangıç zamanı ve ulaşım türü parametrelerinin ele alınması planlanmıştır.

Tablo 1 Yolcuların seyahat sıklığı ile istatistiksel olarak ki-kare testi sonucu anlamlı ilişkisi olduğu tespit edilen parametreler.

Değişken adı	Pearson Ki-kare testi değeri	P-değeri	Korelasyon
Cinsiyet	14,938	0,021	(0,196)
Çalışma durumu	11,728	0,068	(0,136)
Seyahat amacı	37,444	0,039	0,183
Seyahat başlangıç zamanı	53,204	0,006	0,089
Ulaşım türü (araba/otobüs/metro/deniz)	29,829	0,039	0,044
Alternatif tercih edilen seyahat başlangıç zamanı	42,498	0,065	0,159
Alternatif tercih edilen seyahat bitiş zamanı	43,559	0,052	0,131

Tablodaki korelasyon değerleri incelendiğinde toplu taşımayı, kadınların erkeklerden ve çalışmayanların ise çalışanlardan daha çok kullandığı sonucuna varılmaktadır. Seyahat amacı işe ve gezmeye gitmek olanlar sağlık amacıyla seyahat edenlere göre daha az toplu taşıma tercih etmektedirler. Seyahat başlangıç zamanı ve ulaşım türü seçimlerinin ise seyahat sıklığıyla doğrusal bir ilişkisi yoktur. Seyahati için alternatif başka bir saat seçmek durumunda kalan kişiler, hem seyahat başlangıç hem de bitiş zamanı olarak 20:00’ dan sonrasını tercih etmektedirler.

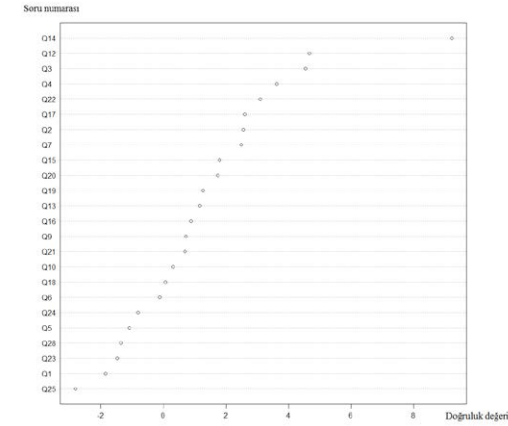
### Rastgele Orman Algoritması ile Değişkenlerin Önem Sıralaması

Kurulacak karar ağacı modeli için kullanılacak parametrelerin önemlerini sıralamak adına ROA kullanarak tüm değişkenlerle bir RO modeli kurulacaktır. Bu modelin içindeki her bir parametrenin, ortalama doğruluğundaki azalma değeri kullanılarak bir sıralama elde edilecektir. Bu uygulama ki-kare testi sırasında bazı gözlemlerin sayısı 5’ten az olduğu için testin sonuçlarını kontrol etmek adına yapılmaktadır.

ROA sırasında yapılması gereken önemli seçimlerden birisi her nodülde ayırım yapabilmek adına o nodülde değerlendirilmesi gereken parametrelerin sayısıdır (MTRY). P adet parametresi olan bir veri seti için varsayılan değer P’nin kareköküdür. Ancak, daha iyi bir değer olup olmadığını kontrol edebilmek adına kalibrasyon yapılacaktır. Ayrıca, kaç tane ağacın aynı anda oluşturulacağı, torba dışında kalan verilerle model tekrar test edildiğinde elde edilen iyileştirme miktarının minimum

değeri ve MTRY için her denemedeki gerekli artırılma veya azaltılma değeri de belirlenmesi gereken faktörlerdir. Kalibrasyon algoritması çalıştırıldığında en iyi MTRY değeri 6 olarak gözlemlenmiştir.

En iyi sonuç verdiği gözlemlenen MTRY değeri ile RO modeli, 500 tane karar ağacının aynı anda kurulmasıyla ve veri setindeki tüm parametreler kullanılarak oluşturulmuştur. Bu model oluşturulurken önem sıralaması için seçilen parametrenin modelden çıkartıldığı takdirde ortalama doğruluk değerindeki azalma kaydedilerek bir önem grafiği oluşturulmuştur (Şekil 3). Sıralama grafiğine bakıldığında en önemli parametrenin “Seyahat başlangıç zamanı” (Q14) olduğu gözlemlenmektedir. Ardından gelen en önemli parametreler: “Seyahat amacı” (Q12), “Eğitim seviyesi” (Q3) ve “Cinsiyet” (Q4) parametreleridir. En son sıralardaki 3 parametre ise “evde sağlık hizmeti alma durumu” (Q25), “yaş” (Q1) ve “65 yaş uygulamasının toplu taşıma sıklığını artırma durumu” (Q23) parametreleridir.



Şekil 3 Veri setindeki parametrelerin önem sıralaması.

### Sınıflandırma Karar Ağacı Modeli

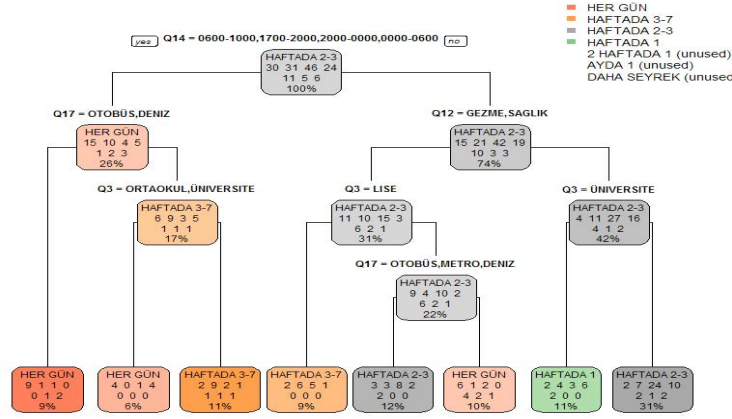
Önceki adımlarda elde edilen sonuçlara göre kullanılacak parametreler: “Q14: Yolcunun seyahate başlangıç zamanı”, “Q12: Yolcunun genel olarak seyahat amacı”, “Q3: Yolcunun eğitim seviyesi”, “Q4: Yolcunun cinsiyeti”, “Q7: Yolcunun çalışma durumu”, “Q17: Ulaştırma türü (araba/otobüs/metro/deniz)”, “Q18: Yolcunun alternatif tercih ettiği seyahat başlangıç zamanı” ve “Q19: Yolcunun alternatif tercih ettiği seyahat bitiş zamanı”dır.

Orijinal veri seti ikiye ayrılmıştır. Rastgele yapılan seçimlerle orijinal veri setinin %75’i (153 adet gözlem) modeli kurmak için, geriye kalanı ise modeli test etmek için kullanılacaktır. Seyahat sıklıklarının orijinal veri setini doğru bir şekilde yansıttığından emin olabilmek adına birden fazla deneme yapılmıştır ve veri setlerinin frekans tabloları kıyaslanmıştır. Algoritmanın durma koşulu olarak CP’nin 0,01 değerine ulaşması belirlenmiştir.

Algoritmanın sonucunda elde edilen model hakkında bilgiler Tablo 2’de ve oluşturulan modelin daha iyi anlaşılması için oluşturulan görsel Şekil 4’te sunulmuştur.

Tablo 2 Karar ağacının özellikleri.

CP	Ayırma sayısı	Göreceli hata oranı
0,10280374	0	1,0000000
0,03271028	1	0,8971963
0,01869159	3	0,8317757
0,01000000	7	0,7570093



Şekil 4 Karar ağacı modeli.

Karar ağacı modelinde, nodüldeki ayırma parametresinin koşulu sağlandığında nodülün sol tarafı takip edilmektedir. Nodüllerde sadece 1 kategoriye ait gözlemler bulunmamaktadır. Nodül içerisindeki en çok gözlemlenen kategori o nodülün adına karar vermektedir. Nodüllerin isminin altında sırasıyla “her gün”, “haftada 3-7 gün”, “haftada 2-3 gün”, “haftada 1”, “2 haftada 1”, “ayda 1” ve “daha seyrek” kategorilerinden kaçır tane olduğu ve en alttaki yüzdelik değerinde ise o nodülde en tepedeki nodülün yüzde kaçının bulunduğu belirtilmektedir. Daha az gözlemlenen “2 haftada 1”, “ayda 1” ve “daha seyrek” seyahat sıklığı kategorileri hiçbir nodülde çoğunlukta olmamıştır. Bu sebepten dolayı kurulan model tarafı karar verebilmektedir. Ancak, daha da öncesinde belirtildiği gibi daha sık kullanan yolcular için yapılacak olan iyileştirmelerin gelecekte az kullanan yolculara da faydası olacağı hatta o kişilerin bu ulaşım türünü, ihtiyaçları olduğunda, özel araçlarına tercih edebilecekleri beklenmektedir.

Oluşturulan modelin performansı incelendiğinde (Tablo 3) modelin %27,45 gibi bir oranda başarılı olduğu gözlemlenebilmektedir. Bunun sebepleri arasında modeli kurmak için yeterince veri bulunmaması ve hedef değişkenin yeterince eşit oranda dağılım göstermemesi sıralanabilir. Başlangıç nodülüne göre, yolcuların yolculuklarına başladığı saat 00:00-10:00 veya 17:00-00:00 arasında olduğunda, bu yolcuların çoğunluğunun her gün seyahat ettikleri gözlemlenmektedir. Diğer saatlerde yola çıkan kişilerin çoğunluğunun ise haftada 2-3 kez seyahat ettikleri gözlemlenmektedir. Model 2 haftada 1 ve daha seyrek kullanıcıları tespit edememektedir. Bunun sebebi olarak ankete katılanların çok az bir oranının bu grup içerisinde bulunması söylenebilir. Daha fazla kişinin bu ankete katılımı veya bu azınlık grupları daha iyi temsil edebilecek bir modelleme yönteminin seçilmesi daha iyi sonuçlar verebilir. Ancak, öneriler sunmak için elde edilen sonuçların tatmin edici olduğuna karar verilmiştir.

Tablo 3 Model tahminleri ile test veri setinin karşılaştırılması.

Test veri seti	Model tahminleri						
	Her gün	Haftada 3-7	Haftada 2-3	Haftada 1	2 Haftada 1	Ayda 1	Daha seyrek
Her gün	2	2	2	3	0	0	0
Haftada 3-7	5	2	3	1	0	0	0
Haftada 2-3	4	1	10	0	0	0	0
Haftada 1	2	0	6	0	0	0	0
2 Haftada 1	0	0	3	2	0	0	0
Ayda 1	0	2	0	0	0	0	0
Daha seyrek	0	0	1	0	0	0	0

## Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Kadıköy ilçesinde 65 yaş ve üzeri toplu taşıma ile yolculuk yapan kişilerle yapılan anket sonuçları kullanılarak seyahat sıklıkları ile bağlantılı olan özelliklerin ilişkisi incelenmiştir. Ki-kare testi ve ROA ile yapılan bu incelemeden sonra istatistiksel olarak anlamlı ilişkiye sahip olan parametreler kullanılarak bir karar ağacı modeli kurulmuştur. Karar ağacı modelleri anlaşılabilirlikleri ve insanların seçim davranışını başarılı bir şekilde yansıtabilmelerinden dolayı tercih edilmişlerdir. İleriki çalışmalarda daha farklı yöntemlerle yapılacak analizlerin sonuçları karşılaştırılacaktır.

Yolcuların yolculuklarına başladığı saat 06:00-10:00 veya 17:00-20:00 arasında ise bu kişilerin çoğunluğunun her gün yolculuk yaptığı gözlemlenmektedir. Bu saatler akşam ve sabah zirve saatlerine denk gelmektedir. Modele bakıldığında yolcuların çoğunluğunun gezme amacıyla ya da sağlıkları için seyahat ettiklerinde en az haftada 3 kez seyahat ettikleri tespit edilmiştir. Bu durum diğer yolcular için toplu taşıma hizmetlerinin kalitesinde bir düşüş algısına sebep olabilir. Sağlık amaçlı yolculuk eden yaşlı yolcuların evlerinde verilen sağlık hizmetlerinin artırılması ya da yürüme mesafesindeki sağlık birimlerine yönlendirilmeleri bu kişilerin kullanım sıklığını azaltabilir. Gezme ve sosyal amaçlı seyahat eden yolcular için ise yolculuk saatlerini değiştirecek ve zirve saatler dışında seyahat etmeye itecek uygulamalar önerilmelidir. Şu anki normal kullanıcıların aylık akbil uygulamasında olduğu gibi 65 yaş üstü kullanıcılar için toplu taşımayı sınırsız olarak ücretsiz yapmak yerine, belli bir sayıda hak verilebilir. Ayrıca, zirve dışı saatlerde sıfır ya da tek gidiş ücreti alınırken, zirve saatlerinde tek ya da çift ücret alınarak yolcular, pahalı ulaşım algısıyla sosyal veya keyfi amaçlı yolculuklarını zirve saatleri dışındaki aralıklarda yapmayı tercih edebilirler. Bu tip uygulamalar sayesinde özellikle zirve saatlerdeki kalabalık rahatlatılabilir ve tüm yolcular daha iyi bir toplu taşıma deneyimi yaşayabilir. Uzun vadede toplu taşımanın daha çekici olmasıyla bu ulaşım türüne olan yönelim sayesinde özel araçlarda ve genel trafik sıkışıklığında da bir azalma gözlemlenebilir.

## Kaynaklar

- (2019). <https://www.istanbulkart.istanbul/kartlarimiz-45>  
 AA, (2018). 65 yaş ve üstü vatandaş ücretsiz istanbulkarttan memnun. Retrieved from <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/65-yas-ve-ustu-vatandas-ucretsiz-istanbulkarttan-memnun/1164123>

Breiman L. (2001) "Random Forests" Machine Learning. 45 (1): 5–32. doi:10.1023/A:1010933404324.

Breiman, L. ve diğ. (1984) Classification and regression trees. Monterey, CA: Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software. ISBN 978-0-412-04841-8.

Burkhardt, J. E. (1999) Mobility Changes: Their Nature, Effects, and Meaning for Elders Who Reduce or Cease Driving, Transportation Research Record, vol. 1671(1), pp. 11-18.

Cats O., Susilo Y. ve Eliasson J. (2012) Impacts of Free PT, Tallinn - Evaluation Framework', KTH Royal Institute of Technology, <http://www.tallinn.ee/eng/tasutauhistransport/g9616s62872>.

Chang Y. C. (2013) Factors affecting airport access mode choice for elderly air passengers, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume 57, pp. 105-112, ISSN 1366 5545.

Hastie ve diğ. (2008). EU, Green paper, Towards a new culture for urban mobility (2007), COM (Brussel).

The Elements of Statistical Learning (2nd ed.). Springer. ISBN 0-387-95284-5 587-588 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52007DC0551>

Ho T.K. (1998) The Random Subspace Method for Constructing Decision Forests (PDF). IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 20 (8): 832–844. doi:10.1109/34.709601.

İBB, <https://tuhim.ibb.gov.tr/media/2132/%C4%B0stanbulkart-yonetmeli%C4%9Fi.pdf>

Storchmann, K. (2003) Externalities by Automobiles and Fare-Free Transit in Germany - A Paradigm Shift?, Journal of Public Transportation, vol. 6, no. 4., pp. 89-105.

Norwegian Ministry of the Environment (2011–2012), Norwegian climate policy, White paper.

Opinion of the European Economic and Social Committee on the 'Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Action Plan on Urban Mobility' COM (2009).

Rokach, L. ve Maimon, O. (2005) Top-down induction of decision trees classifiers-a survey. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C. 35 (4): 476–487. CiteSeerX 10.1.1.458.7031. doi:10.1109/TSMCC.2004.843247.

UK DOT (2012), Concessionary travel for older and disabled people: guidance on reimbursing bus operators, Department for Transport.

Zhu R. ve diğ. (2015) Reinforcement Learning Trees. Journal of the American Statistical Association. 110 (512): 1770–1784. PMC 4760114. PMID 26903687.

## Üniversite Yerleşkelerinde Ulaşım Sistemi ve Yolculuk Talebinin İncelenmesi: Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi Örneği

Mustafa ÖZUYSAL<sup>1</sup>, S. Pelin ÇALIŞKANELLİ<sup>2</sup>, Serhan TANYEL<sup>3</sup>

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Yerleşkesi, Buca, İzmir

<sup>1</sup> Doç. Dr., Tel.: (0232) 301 70 76  
E-Posta: mustafa.ozuysal@deu.edu.tr

<sup>2</sup> Doç. Dr., Tel.: (0232) 301 70 02  
E-Posta: pelin.caliskanelli@deu.edu.tr

<sup>3</sup> Prof. Dr., Tel.: (0232) 301 70 18  
E-Posta: serhan.tanyel@deu.edu.tr

### Öz

Üniversite yerleşkelerinin sağlıklı ve sürdürülebilir gelişiminin sağlanabilmesi için ulaşım altyapısının doğru kurulması ve işletilmesi büyük önem taşımaktadır. Yerleşkeler, birçok öğrencinin eğitim aldığı, sosyal hareketliliğin yaşandığı, içerisinde çeşitli özel kurum ve kuruluşların faaliyet gösterdiği alanlardır. Bu sebeplerle her gün binlerce insan (öğrenciler, öğretim üyeleri, personel, günlük ziyaretçiler, etkinlik için gelen katılımcılar vb.) farklı bölgelerden yerleşkelere gelmektedir. Yerleşkelerin gerek iç hareketliliğinin sağlanması, gerek yakın çevre ve şehir merkezi ile bağlantısının kurulması önemli bir ulaşım planlama çalışması gerektirmektedir. Bu çalışmada öncelikle yerleşkelerdeki ulaşım planlama çalışmaları ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Daha sonra Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi çalışanları ve öğrencilerine ait yolculuk bilgilerini öğrenmek amacıyla uygulanan anket çalışması açıklanmış, anketlerden elde edilen bilgiler ve yolculuk talebine ait analizler verilmiştir. Yerleşkeye toplu taşıma hizmeti sağlayan alternatifler ve kullanıcı görüşleri incelenerek iyileştirmeye yönelik öneriler sunulmuştur.

**Anahtar sözcükler:** yerleşke, ulaşım planı, yolculuk talebi, ulaşım anketi, trafik yönetimi, toplu taşıma.

### Giriş

Üniversite yerleşkeleri, "esas işlevleri eğitim, öğretim, araştırma ve uygulama olan, kullanıcıları için gerekli yaşam koşullarını (barınma, eğlence, alışveriş, spor, sağlık vb.) sağlayan akademik köy" olarak tanımlanmaktadır (Erçelik ve Önal, 2011; Türeyen 2002). Birçok unsurun (teknoparklar, eğitim binaları, yemekhane, yurt, lojman, kreş, aktivite merkezi vb.) bir arada yer aldığı bu alanlarda birimler birbirlerine bağımlı olarak varlıklarını sürdürmektedirler. Böyle karmaşık bir yapının varlığını sağlıklı bir şekilde sürdürebilmesi; çok farklı alanlarda (yönetim, planlama, ulaşım v.b.) kısa, orta ve uzun vadede oluşabilecek gelişmeleri de göz önüne alan çalışmaları gerektirir.

Üniversite yerleşkelerinin sağlıklı ve sürdürülebilir gelişiminin sağlanabilmesi için ulaşım altyapısının doğru kurulması ve işletilmesi büyük önem taşımaktadır. Her gün binlerce insan (öğrenciler, öğretim üyeleri, personel, günlük ziyaretçiler, çeşitli etkinlikler için gelen

katılımcılar vb.) farklı bölgelerden yerleşkelere gelmektedir. Yerleşkelerin gerek iç hareketliliğinin sağlanması, gerekse yakın çevre ve şehir merkezi ile bağlantısının sağlıklı kurulamaması durumunda, başta eğitim faaliyetleri olmak üzere önemli sorunlar yaşanabilmektedir.

Malezya Kebangsan üniversitesinde yapılan çalışmada yerleşkeye ulaşım ve yerleşke içi ulaşım hizmetlerinin değerlendirilmesi amaçlanmış ve bir anket çalışması düzenlenmiştir. Sonuçlara göre katılımcıların %18'inin yaya, %32'sinin yerleşkeye erişim sağlayan otobüsleri kullanarak, geriye kalan %50'sinin ise özel araçları ile yerleşkeye ulaştıkları belirlenmiştir. Lisans öğrencilerinin büyük bölümünün toplu taşıma araçlarını kullanmasının en önemli sebebi olarak bu öğrencilerin yerleşke içinde yaşamaları gösterilmiştir. Bunun yanında üniversite personeli ve yüksek lisans/ doktora öğrencilerinin kendi araçları ile gelmesinin temel sebebi olarak yerleşke dışında yaşamaları gösterilmiştir. Yerleşke içindeki binalar arasındaki mesafe, seçilen ulaşım aracını belirlemedeki en önemli faktör olarak belirtilmiştir. (Norzalwi ve İsmail, 2011). Portekiz'deki Üniversitede Coimbra (UC)'da yapılan çalışma, bütüncül park idaresine ilişkin bir politika benimsenmesinin önemini vurgulamış; yalnızca mevcut park yerlerinin daha rasyonel kullanımı değil, kaynak ve talep arasında denge kurmak, park yerlerinin maliyetini karşılamak için kaynak oluşturmak ve alternatif ulaşım şekillerine talebi artırmanın da düşünülmesi gereken unsurlardan olduğu dile getirilmiştir (Barata v.d., 2010). Aristoteles Üniversitesinde yapılan çalışmada yerleşkeye bağlantılı seyahatlerin üçte ikisinin motorlu araçlarla yapıldığı, bisiklet kullanımının çok az olduğunu görmüştür. Yürüme ve bisiklet sürme gibi düşük maliyetli ulaşım çözümlerine yönelik uygulamaların özel araca bağımlılığın azalmasına, çevresel baskıların azaltılmasına ve üniversite içinde yaşam kalitesinin yükseltilmesine katkıda bulunduğunu dile getirmişlerdir. (Pitsiava-Latinopoulou, Basbas ve Gavanas, 2013). Larkins v.d. (2011) Amerika gencileri kanununda gösterilen ulaşım imkanlarının ulaşılabilirliğini test etmek için, Güney Kaliforniya'da bulunan Clemson Üniversitesindeki otobüs duraklarını, bu kanun çerçevesinde ve evrensel tasarımlar açısından incelemiş; çalışma sonucunda hala bu konuda yeterlilik sağlanmadığını bulmuşlardır. Ohio Eyalet Üniversitesinde yapılan çalışmada, üniversite özel araç kullanımına olan talebin sınırlandırılmaya çalışılmasının önemli olduğu vurgulanmıştır. (Kaplan ve Clapper, 2007). Carme Miralles-Guasch ve Elena Domene (2010), öğrenci ve personelin üniversiteye ulaşmasında motorsuz araç kullanımının veya toplu taşıma araçlarının az kullanılmasının sebebinin, yetersiz altyapı, yürüme ve bisiklet kullanımının özendirilmemesi; toplu taşımada çok zaman kaybedilmesi olarak göstermişlerdir.

Bu çalışmada da Tınaztepe Yerleşkesi'ne erişimde öğrencilerin ve çalışanların kullandığı alternatifler incelenmiş, kent farklı kesimlerine göre değişen ulaşım seçenek ve süreleri, verimlilik bakımından tartışılmıştır.

### Tınaztepe Yerleşkesi ve Ulaşım Anketi

Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ), İzmir'de Ege Üniversitesi'nden sonra ikinci devlet üniversitesi olarak 1982 yılında kurulmuştur. Ege Üniversitesi'nden devralınan ve bunlara ek olarak yeni kurulanlarla birlikte toplam 24 öğretim birimiyle çalışmalarına başlamıştır. Günümüzde Dokuz Eylül Üniversitesi, kent farklı bölgelerinde yerleşkeleri olan bir kent üniversitesidir. 14 fakülte, 5 eğitim veren 5 araştırma odaklı Enstitü, 3 yüksekokul, 1 konservatuvar, 7 meslek yüksekokulu, 1 teknopark, 54 araştırma merkezi olan çok yerleşkeli bir üniversitedir. Rektörlük binası Alsancak'tadır ancak akademik birimler Alsancak, Konak, Balçova, Tınaztepe, Dokuzçesmeler, Buca, İnciraltı, Urla, Hatay, Foça, Seferihisar, Torbalı, Bergama, Selçuk olmak üzere 14 yerleşkeye dağılmış durumdadır. Buca Tınaztepe Kampusu, şehir merkezine 15 km uzaklıktadır. İzmir-Aydın Otoyolu ve İzmir Güney Çevreyolu üzerinde Buca çıkışında bulunmakta, bu konumuyla yüksek karayolu erişimine sahip olmaktadır. Toplu ulaşım çoğunlukla belediye otobüsleri ve özel servislerle sağlanmaktadır. İzmir Banliyö Hattı

(İZBAN)'nın Şirinyer istasyonundan otobüs aktarması yaparak da erişim mümkündür. Yerleşke ana girişinde kentin birçok bölgesine erişim sağlayan 20'ye yakın kent içi belediye otobüsü hattının son durağı yer almaktadır. Bu son durak bölgesi, projelendirme aşamasında olan Buca metro hattının inşasının ardından bir aktarma merkezine dönüşecektir.

Yapılan yerleşke ulaşımı anket çalışmasında, yerleşke iç paydaşlarını oluşturan akademik personel, idari personel ve öğrencilerin yerleşke erişimlerini gerçekleştirme şekilleri, var olan yerleşke ulaşım seçeneklerine yönelik algıları ve ulaşım olanaklarına yönelik değerlendirmeleri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla oluşturulan çevrimiçi form, elektronik posta ve resmi sosyal medya hesapları üzerinden yerleşke iç paydaşlarına iletilmiştir. Oluşturulan anket formunun birinci bölümünde, katılımcının yerleşkedeki pozisyonu (öğrenci, akademisyen, personel), cinsiyet, yaş, eğitim durumu, ortalama aylık gelir gibi kişisel bazı sorular sorulmuştur. Ardından ulaşım harcanan aylık bütçe, özel taşıt olanağı ve kullanma sıklığı soruları ile ulaşım olanaklarına ilişkin sorulara geçilmiştir. Yerleşkeye geliş yolculuklarına ilişkin detayları içeren ikinci bölümde temel olarak:

- Yolculuk nereden başlamaktadır? (Önce kentin merkez ilçeleri, ardından ilçeye göre mahalle sorulmaktadır.)
- Yolculuk nerede son bulmaktadır? (Yerleşkedeki fakülte veya kütüphane, sosyal tesis vb. birimlerden birinin seçilmesi istenmektedir.)
- Hangi gün, hangi saatte yerleşkeye gelmekteyiz? (Haftanın her günü için yerleşkeye gelip gelmediği, geliyorsa hangi saatte ulaştığı sorulmaktadır.)
- En son yaptığımız yerleşke yolculuğunda yerleşkeye gelirken hangi ulaşım türünü kullandınız?
- En son yaptığımız yerleşke yolculuğunda yerleşkeden ayrılırken hangi ulaşım türünü kullandınız?

soruları sorulmuştur. Ulaşım türlerine ilişkin sorularda yerleşkeye erişimde kullanılabilecek olan Yaya + Yerleşke içi ring hattı, özel Taşıt, sadece otobüs, sadece yaya olarak, özel servis, aktarma 1 (İZBAN + otobüs), aktarma 2 (otobüs + ring), aktarma 3 (otobüs + otobüs), aktarma 4 (özel taşıt + ring), aktarma 5 (metro + otobüs) türleri seçenek olarak sunulmuştur. Üçüncü bölümde, seçilen türe göre katılımcılara türe ilişkin farklı sorular yöneltilmiştir. Örneğin Aktarma 1 (İZBAN+Otobüs) türünü seçen katılımcılara İZBAN istasyonuna yürüme süresi, istasyonda bekleme süresi, İZBAN ile yolculuk süresi, İZBAN sonrası aktarma yapılan otobüs durağına yürüme süresi, otobüs durağında bekleme süresi, kullanılan otobüs hattı, otobüs ile yolculuk süresi, otobüs yolculuğu sonrası varış noktasına yürüme süresi sorulmuştur. Yolculuk türüne ilişkin detay soruların ardından, dördüncü ve son bölümde, önceki gün toplam kaç yolculuk, yolculukların amacına göre (evden yerleşkeye, evden sosyal aktiviteye, yerleşkeden eve, yerleşkeden sosyal aktiviteye vb.) sayıları, yerleşke ulaşımı hakkındaki memnuniyet düzeyi (toplu ulaşım olanakları, yaya erişimi, özel taşıt erişimi, otopark olanakları, özel servis olanakları, yerleşkeye erişim süresi, fiziksel koşullar ve güvenlik bakımından) sorularak anket sonunda varsa düşünce ve öneriler alınmıştır.

10-21 Mayıs 2017'de toplam 12 gün süreyle çevrimiçi olarak yayınlanan ankete toplam 1230 katılım gerçekleşmiştir. Katılanların %56'sı öğrenci, %34'ü akademisyen, %10'u da idari ve teknik personel olmuştur. Katılımcıların yaklaşık %47'si ulaşımına 0-100 TL arası aylık bütçe ayırırken, 400 TL ve üzerinde bütçe ayıran yaklaşık %17'dir. Dolayısıyla yerleşke erişimi için daha ucuz alternatiflerin tercih edildiği söylenebilir. Şekil 1'de katılımcıların özel taşıt olanağı ve kullanma sıklığı görülmektedir. Katılımcıların %57'si özel taşıt olanağına sahip değildir. %31'i ise kendi taşıtını kullanmaktadır. Hafta içi her gün özel taşıt kullananların oranı %29 ile özel taşıt sahipliğine oldukça yakındır. Dolayısıyla özel taşıt sahiplerinin büyük bir kısmının her gün aracıyla gelmeyi tercih ettiği söylenebilir.

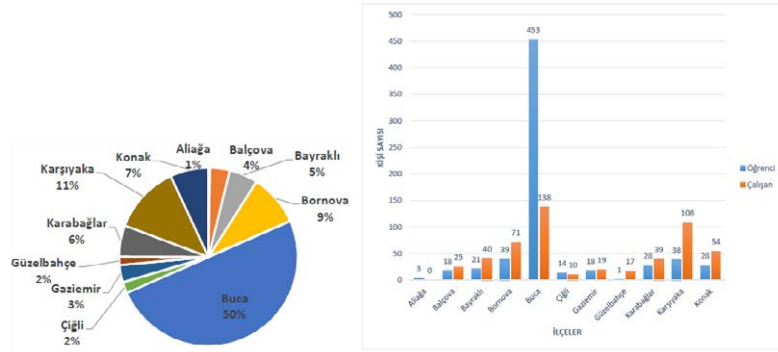
### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi



Şekil 1. Özel taşıt olanağı ve kullanım sıklığı

Şekil 2’de katılımcıların hangi ilçelerden geldikleri görülmektedir. Katılımcıların yarısının yerleşkenin yer aldığı Buca ilçesinden geldiği, onu Karşıyaka ve Bornova ilçelerinin takip ettiği anlaşılmaktadır. Buca’dan gelenlerin büyük bir kısmı öğrenciyken, Karşıyaka ve Bornova ilçelerinden gelenlerin çoğu çalışandır. Buca hariç, hemen hemen tüm diğer ilçelerden gelen katılımcılarda çalışan sayısı öğrenci sayısından yüksektir. Kısacası öğrenciler ve çalışanlar kolay erişim için çoğunlukla Buca’da ikamet etmeyi tercih etmekte, diğer ilçelerden gelenler de genellikle çalışanlar olmaktadır.



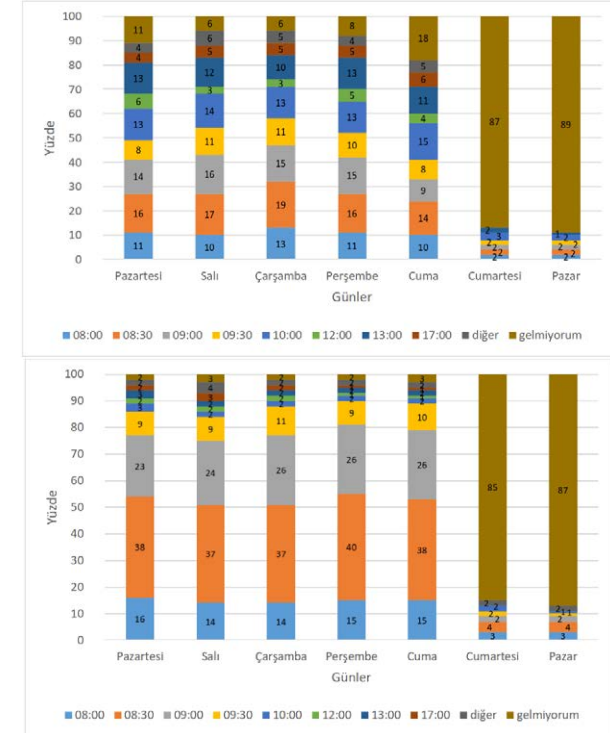
Şekil 2. Katılımcıların yerleşkeye geldikleri ilçelerin dağılımı

Şekil 3’teki öğrenci ve çalışanların yerleşkeye geliş saatleri incelendiğinde, beklendiği üzere çalışanlar büyük ölçüde en geç sabah 09:00’da yerleşkede olurken, öğrencilerin hemen hemen günün her saatinde yerleşkeye gelebildikleri görülmektedir. Bu durum, sabah zirve saatte talep yığılmasının fazla olmadığını göstermektedir.

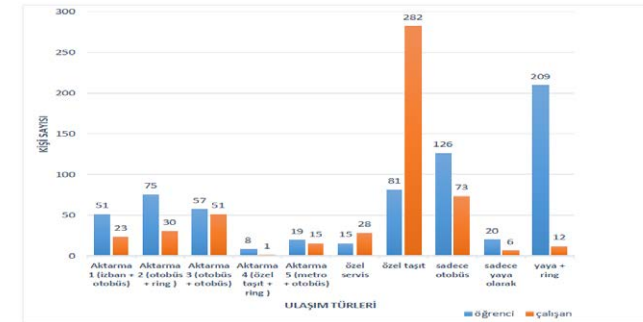
Ulaşım türlerine göre dağılımlara bakıldığında, öğrencilerin en çok yaya + yerleşke içi ring hattını tercih etmesi, Buca’da ikamet eden öğrencilerin çoğunlukla yürüme mesafesinde oturmayı tercih ettiklerini göstermektedir (Şekil 4). Çalışanların büyük bir çoğunluğu ise özel taşıt ile yerleşkeye ulaşmaktadır. Aktarmasız otobüsle ulaşanlar, otobüs aktarmalı ulaşanlardan (1, 2, 3 ve 5 no.lu aktarma tipleri) daha azdır. Dolayısıyla aktarmalı yolculukların toplu ulaşım kullanıcıları içinde yaygın olduğu söylenebilir. Ancak İZBAN ve metro aktarmalarının diğer aktarmalara kıyasla daha az kullanılması, yerleşkenin raylı sistem destekli erişiminin yeterince tercih edilmediğini göstermektedir. Şekil 5’teki ilçelere göre dağılım incelendiğinde, İZBAN aktarmalı yolculukların kent merkezinin kuzey ve güney uçlarında yer alan Aliağa, Çiğli, Karşıyaka ve Gaziemir ilçelerinden erişimlerde tercih edildiği anlaşılmaktadır. Özel taşıt ile ulaşım ise en çok Güzelbahçe, Bayraklı ve Gaziemir gibi çevre yoluna doğrudan bağlantısı bulunan ilçelerden yapılan yolculuklarda yaygındır. Buca’dan yapılan yolculuklarda hemen hemen her ulaşım türü kullanılabilir.

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

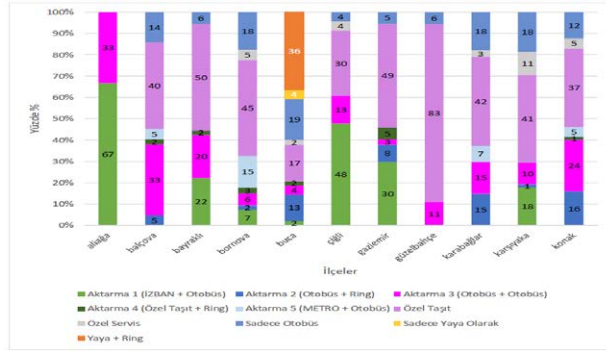


Şekil 3. Öğrenci (üstte) ve çalışanların (altta) yerleşkeye ulaşma saatlerinin dağılımı



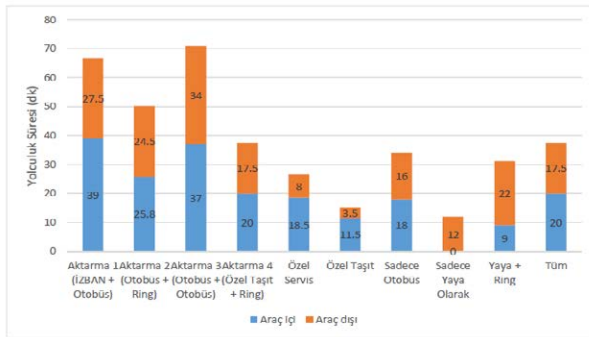
Şekil 4. Öğrenci ve çalışanların kullandıkları ulaşım türleri



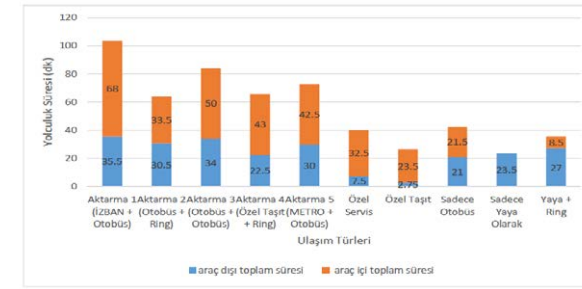


Şekil 5. Ulaşım türlerinin ilçelere göre dağılımı

Yerleşkeye en çok yolculuğun yapıldığı Buca ilçesinden yapılan yolculuk sürelerinin türlerine göre dağılımına bakıldığında (Şekil 6), iki otobüslü aktarmaların en uzun süren yolculuklar olduğu ve araç içi ve dışı sürelerin yaklaşık olarak eşit olduğu görülmektedir. Dolayısıyla otobüsten otobüse yapılan aktarmalarda bekleme ve transfere ayrılan zaman oldukça yüksektir ve bu durum verimsiz bir aktarmanın göstergesidir. Otobüs ve yerleşke içi ring hattının kullanıldığı aktarmalarda da benzer bir süre paylaşımı söz konusudur. Aktarma yapılan toplu ulaşım yolculuklarında toplam süre 50 dakika ve üzerinde iken, tek otobüsle yapılabilen yolculuklarda 34 dakika mertebesindedir. Sonuç olarak aktarmalı yolculuklar toplu ulaşımında sıkça tercih edilse de süre kayıplarını artırmaktadır. Tüm türler için ortalama yolculuk süresi 20 dk araç içi, 17.5 dk araç dışı olmak üzere toplam 37.5 dk bulunmuştur. Tüm yolculukların süre dağılımı (Şekil 7), Buca'dan yapılan yolculukların dağılımına yakın olmakla birlikte, İZBAN ve otobüs ile yapılan aktarmaların 100 dakikayı aştığı, Metro ve çift otobüs içeren aktarmaların da 70 dk ve üzerinde ortalama sürelerle yol açtığı görülmektedir. Dolayısıyla yerleşkeye toplu ulaşım ile aktarmalı erişimin kent geneli için yeterince etkin yapılamadığı anlaşılmaktadır. Yerleşkedeki öğrencilerin çoğunun Buca ilçesinde ikamet etmeyi tercih etmesi de bu durumun muhtemel bir sonucudur.

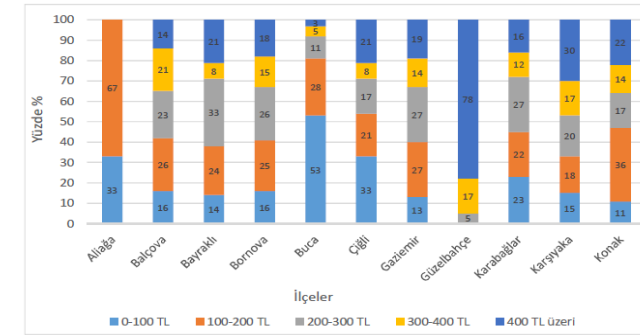


Şekil 6. Buca'dan yapılan yolculukların türlerine göre süre dağılımı



Şekil 7. Tüm yolculukların türlerine göre süre dağılımı

Şekil 8'de ulaşımaya ayrılan bütçelerin ilçelere göre dağılımı görülmektedir. En çok Güzelbahçe ve Karşıyaka'da oturanlar ulaşımaya yüksek bütçe ayırırken, beklendiği üzere Buca'dan gelenlerin ulaşım ihtiyacını düşük bütçeler ile karşılayabildiği görülmektedir.



Şekil 8. Ulaşımaya ayrılan bütçelerin gelen ilçelere göre dağılımı

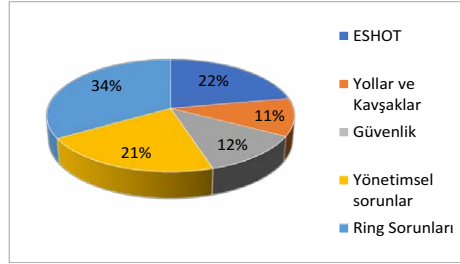
### Tınaztepe Yerleşkesi'nin Ulaşım Sorunları ile İlgili Anket Sonuçları

Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Yerleşkesi Ulaşım Anketi kapsamında, ankete katılan kişilere yerleşkenin ulaşım sorunları ile ilgili görüşleri ve önerileri sorulmuştur. Bu sorunlar, a) üniversite yönetiminin çözüme kavuşturması gereken sorunlar, b) yol üst yapısı-yol ve kavşak geometrisi ile ilgili olan sorunlar, c) yerleşke içi ring seferleri ve ESHOT Genel Müdürlüğü ile ilgili sorunlar ve d) yerleşke, trafik güvenliği ile ilgili sorunlar başlıkları altında toplanmış ve irdelenmiştir. Genel olarak bu sorunların dağılımı ele alındığında, yerleşke ulaşımı ile ilgili en önde gelen sorunun ring seferleri ve ESHOT Genel Müdürlüğü ile ilgili sorunlar olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 9). Ankete cevap verenlerin %34'ü ring seferleri ile ilgili sorun bildirirken %22'si ESHOT Genel Müdürlüğü'nün uygulamaları ile ilgili şikâyetle bulunmuşlardır. Toplu taşıma ulaşımının dışında ikinci en önemli sorunun DEÜ Yönetimi tarafından ele alınması gereken konular olduğu görülmektedir. Bunu güvenlik ve yollar ile ilgili sorunlar takip etmektedir.

Ring seferleri ile ilgili yapılan en önemli şikâyet, ring seferlerinin sıklığı ile ilgilidir (Şekil 10). Yerleşke içerisinde yapılan durak etüdülerinde özellikle akşam zirve saati olarak adlandırılacak 16:45-17:15 saatleri arasında yerleşke son durak (Mühendislik Fakültesi)'tan binen yolcular sebebi ile gerek ESHOT ve gerekse üniversite yönetimi tarafından sağlanan ringlerin dolduğu ve ikinci duraktan itibaren (Mimarlık Fakültesi) bazı seferlerde yolcu alınmadığı gözlemlenmiştir.

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

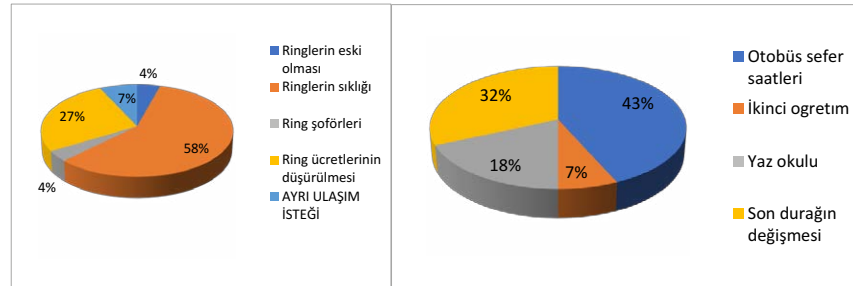
Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi



Şekil 9. Tınaztepe Yerleşkesi genel ulaşım sorunları

Anket sonrası ESHOT Genel Müdürlüğü ile yapılan görüşmeler sonucunda 878 Tınaztepe-Şirinyer Aktarma hattının tüm gün boyunca yerleşkeye girmesi ile bu sorun büyük oranda çözülmekle birlikte; özellikle, büyükşehir belediyesi tarafından işletilen ücretli ringlerin haricinde DEÜ Yönetimi tarafından sağlanan ringlerin bedava olması; bu ringlerin hala daha yüksek dolulukta hizmet vermesi sonucunu beraberinde getirmektedir. Nitekim ring ve otobüs ücretlerinin yüksekliği öğrenciler tarafından %27 ile en önemli sorunlardan birisi olarak tanımlanmıştır. Ring otobüslerinin eskiliği ve ring şoförleri ile ilgili sorunlar da öğrenciler ve personel tarafından %4 oranında oy almıştır. Ankete cevap verenlerin %7'si ayrı bir toplu ulaşım sistemine ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır.

Ankete cevap verenlerin %43'ü ESHOT Genel Müdürlüğü'nün otobüslerinin sefer saatlerinin yeterince sık ve uygun olmadığı şikayetinde bulunmuşlardır (Şekil 11). Yine ankete cevap verenlerin %32'si, otobüs son durağının yerleşke içinden, yerleşke girişine taşınmasının öğrencilerin derslerine ve personelin mesailerine zamanında yetişememesi sonucunu doğurduğunu vurgulamışlardır. Özellikle ESHOT Genel Müdürlüğü tarafından hayata geçirilen toplum taşıma aktarma uygulaması sonrasında Karşıyaka, Bornova ve Üçkuyular semtlerinden yerleşkeye gelen yolcuların büyük güçlüklerle karşılaştıkları ankete cevap verenler tarafından vurgulanmıştır. Bu semtlerden yerleşkeye ulaşım sağlayan 290, 390, 690 no'lu hatların seferlerinin yetersizliği, düzensizliği ve yaz aylarında hizmet vermemeleri genel bir sorun olarak ön plana çıkmaktadır. Anket sonucunda ortaya çıkan diğer bir sorun da özellikle ikinci eğitim öğrencilerinin son ders çıkışında ulaşım sorunları yaşamalarıdır.



Şekil 10. Ring seferleri ile ilgili sorunlar

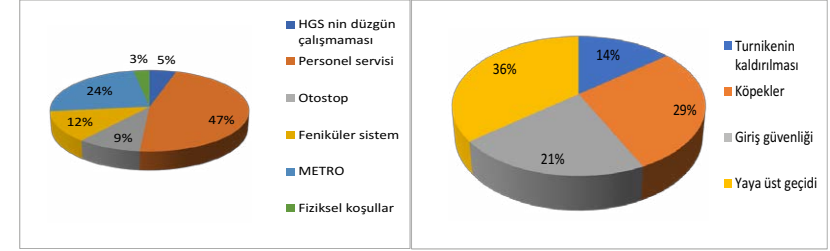
Şekil 11. ESHOT ile ilgili sorunlar

Yerleşkeye gelen personelin %47'si personel servislerinin olmamasından veya yetersizliğinden şikayetçi olmuşlardır (Şekil 12). Yine ankete cevap veren personel ve öğrencilerin %24'ü Buca metrosunun bir istasyonunun yerleşke içinde yer alması gerektiğini, %12 'si ise yerleşkenin topografyasına bağlı olarak bir funiküler sistemin yerleşkenin ulaşım sorununun giderilmesi için uygun bir çözüm olabileceğini belirtmişlerdir. %9 oranında verilen cevaplar ise özellikle yerleşke girişindeki otostopçuları olmak için duran araçların trafik güvenliği açısından önemli

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

sorunlar yarattığını ve bununla ilgili bir düzenleme yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Yaya ulaşımının iyileştirilmesini vurgulayanlar ise sadece %6'dır.

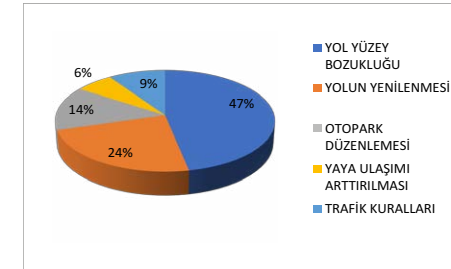


Şekil 12. Yönetimsel sorunlar ve öneriler

Şekil 13. Güvenlik ile ilgili sorunlar

Anketten çıkan diğer bir öneri, yerleşkenin eski girişinde, yaya erişimini sağlamak amacıyla bir yaya üstgeçidinin yapılmasıdır. Ankete cevap verenlerin %36'sı üst geçidin trafik güvenliği açısından önemli bir yarar sağlayacağı görüşündedirler (Şekil 13). Ankete katılanların %29 u yerleşke içerisindeki köpeklerin özellikle yaya ulaşımını olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. %21'i ise yerleşkeye girişin güvensiz olduğunu belirtirken %14'ü girişteki turnikelerin kaldırılmasını talep etmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi 878 numaralı hat gibi yerleşkeye giriş yapan otobüslerdeki yolculardan kimlik bilgisi sorulmazken; yerleşke girişinde uzun bir süre öğrenciler kart göstererek turnikelerden yerleşkeye giriş yapmışlardır. Ancak turnikeler şu anda etkin çalışmamaktadır.

Yol ve kavşak düzenlemeleri ile ilgili belirtilen en önemli sorun yol düzey bozukluğu ve yolların yenilenmemesi olarak ön plana çıkmaktadır. Bu iki sorun toplamda ankete katılanların %71'i tarafından tanımlanmıştır (Şekil 14). Yerleşke içerisindeki otopark düzenlemesinin yetersizliği anketten çıkan diğer bir sonuçtur. Yerleşke içerisindeki otoparklarda yapılan gözlemler sonucunda, otoparkların gün içerisinde yaklaşık %50-60'nın boş olduğu ve bunun sonucunda yol kenarı parklanmanın yüksek oranda gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bununla ilgili yapılan incelemeler sonucunda, özellikle öğrenci ve personel otoparklarının bir kısmının bina giriş çıkışlarından uzak olduğu (erişim güçlüklerinin yaşandığı) anlaşılmıştır.



Şekil 14. Yol ve Kavşaklar ile ilgili sorunlar

### Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi'nin en büyük yerleşkesi olan Tınaztepe Yerleşkesi'nin ulaşım talebi ve sorunları, yapılan ulaşım anketinden yararlanılarak tanımlanmaya çalışılmıştır. Anket sonuçlarına bağlı olarak, Tınaztepe Yerleşkesinin ulaşım sorunlarının çözülmesi için aşağıdaki öneriler sunulabilir:

- Kısa dönemde yerleşkeye erişimi sağlayan otobüs hatlarının sefer sıklıklarının ve saatlerinin tekrar düzenlenmesi uygun olacaktır. Özellikle 290, 390 ve 690 numaralı

hatların gün içerisindeki sefer sayıları arttırılmalı ve yaz aylarında da hizmet vermeleri sağlanmalıdır.

- Orta ve uzun dönemde ise İzmir Buca Metrosunun bir durağının yerleşke girişinde ve bir durağının da yerleşke içinde yer alması personelin ve öğrencilerin erişimini kolaylaştıracak ve yerleşke giriş çıkışlarının güvenlik kontrolü olanağını da arttıracaktır.
- Yerleşke içindeki yolların üstyapılarının iyileştirilmesi ve genel olarak yolların ve kavşakların geometrilerinin tekrar düzenlenmesi gerekmektedir.
- Yerleşke içinde mutlak surette bir otopark etüdü ve düzenlemesi yapılmalıdır.
- Yerleşkenin en önemli sorunlarından birisi, yaya ve bisiklet ulaşımının yetersizliğidir. Yerleşke içinde öncelikli olarak yaya erişim akslarının oluşturulması gerekmektedir.

Çalışmanın sonuçları, bir üniversite yerleşkesinin yer seçimi ve planlanması aşamalarında ulaşım olanaklarının mutlak surette etüd edilmesinin ve bu yönde gerekli düzenlemelerin yapılmasının önemini ortaya koymaktadır. 20 yılı aşkın bir süredir hizmet vermekte olan Tınaztepe yerleşkesinin ulaşım sorunlarının büyüklüğü ve çözümlerinin pahalı ve güç olması, söz konusu etüd ve planlamaların yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Anket sonuçlarından elde edilen diğer önemli bir sonuç ise, ankete cevap veren katılımcıların sadece %6'sının yaya ulaşımının iyileştirilmesinin gerekliliğini farkında olmasıdır. Halbuki üniversite yerleşkeleri öğrencilerin ve personelin sürekli birbirleri ile etkileşim halinde olması gereken alanlardır. Bu nedenle yaya ulaşımının iyileştirilmesi Tınaztepe Yerleşkesi'nin öncelikli hedeflerinden birisi olmalıdır. Bu sorunun ankete cevap verenlerin sadece %6'sı tarafından fark edilmesi ülkemizde taşıt bağımlılığının ne boyutta olduğunu gösteren önemli bir bulgudur.

### Kaynaklar

- Barata, E, Cruz, L & Ferreira, JP (2010) Parking at the UC Campus: Problems and Solutions. *Cities*, 28(5): 406-413.
- Erçevik, B. ve Önal, F. (2011) Üniversite Kampüs Sistemlerinde Sosyal Mekân Kullanımı. *Megaron Journal*, 6(3): 151-161.
- Kaplan, D.H., Clapper, T. (2007) Traffic Congestion on a University Campus: A Consideration of Unconventional Remedies to Nontraditional Transportation Patterns. *Planning for Higher Education* 36(1): 28-39.
- Larkins, K.E., Dunning, A.E., Ridout, J.S (2011) Accessible Transportation and the Built Environment on College Campuses. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2218: 88-97.
- Miralles-Guasch, C., Domene, E. (2010). Sustainable Transport Challenges in a Suburban University: The Case of the Autonomous University of Barcelona. *Transport Policy*, 17(6): 454-463.
- Norzalwi, N., İsmail, A. (2011) Public Approach Towards Sustainable Transportation in UKM's Campus. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(5): 1332-1337.
- Pitsiava-Latinopoulou, M., Basbas, S., Gavanas, N. (2013) Implementation of Alternative Transport Networks in University Campuses: The Case of the Aristotle University of Thessaloniki, Greece. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 14(3): 310-323.
- Türeyen, M. N., (2002) Yükseköğretim Kurumları-Kampuslar. Tasarım Yayın Grubu, İstanbul.

## Otobüslerde Araç İçi Güvenlik Uygulamaları ile Cinsiyet Eşitliği Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

**İlgin Göktaşar**

Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34342, Bebek, İstanbul

Tel: (0212) 359 48 79/72 78

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

**Gülin Göksu Başaran**

Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34342, Bebek, İstanbul

Tel: (0212) 359 4879

E-Posta: gulingbasaran@gmail.com

**Ali Atilla Arsoy**

Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34342, Bebek, İstanbul

Tel: (0212) 359 4879

E-Posta: aliaarsoy@gmail.com

### Öz

Ulaşımında güvenlik ile ilgili risk algısı yolcuların seyahat kararlarını etkilemektedir. Alınan güvenlik önlemlerinin kadın ve erkek yolcuların algısını eşit şekilde etkilemediği, ihtiyaçlarına eşit şekilde cevap vermediği bilinmektedir. Geçmiş araştırmalar kadınların güvenlik uygulamalarına rağmen toplu taşımada daha fazla suç ve şiddet içeren olaylarla karşılaştığını ve seyahat etmekten vazgeçtiğini, ulaşım türlerini değiştirdiğini veya başka yolları tercih ettiğini göstermektedir. Bu durum iş, eğitim, sağlık ve sosyal hayata erişimi kısıtlayarak toplumda adaletsizliğe yol açmaktadır. Bu bağlamda var olan güvenlik uygulamalarının sosyal adalet ve cinsiyet eşitliği ile ilişkisinin araştırılması gerekmektedir.

Bu araştırmada toplu taşıma türlerinden olan otobüslerde araç içi güvenlik uygulamaları ile cinsiyet eşitliği arasındaki ilişkinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada ilk olarak Türkiye ve dünyada uygulanan güvenlik önlemlerini ele alan bir literatür taraması sunulmaktadır. Boğaziçi Üniversitesi mensubu katılımcılar ile gerçekleştirilen anket çalışmasında katılımcıların otobüslerde var olan güvenlik uygulamaları ile ilgili düşünceleri elde edilmiştir. Yolcuların uygulamalara ek olarak kendi önlemlerini aldığı görülmüş, cinsiyet ile önlem alma arasında istatistiksel önem taşıyan bir ilişki tespit edilmiştir. Literatür taraması ve anket sonuçları, toplu taşımada araç içi güvenlik önlemlerinin yolcuların güvenlik algısını iyileştirecek ve adil bir şekilde beklentilerine hizmet edecek şekilde güncellenmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, bu doğrultuda karar alıcılar için öneriler sunulmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Araç içi güvenlik, Toplu taşıma, Cinsiyet eşitliği, Otobüs

### Giriş

Güvenlik algısı, yolcuların seyahat örgülerini şekillendirmelerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu algının zedelenmesi durumunda bireyler rota veya ulaşım türü değişikliği gibi hareketliliklerini kısıtlayıcı önlemler alabilir, seyahat saatlerini değiştirebilir, kovucu ürünler taşıyabilir veya seyahat etmekten tamamen vazgeçebilir

(Loukaitou-Sideris, 2014; Stark and Meschik, 2018). Özellikle toplu taşıma araçlarında saldırı, taciz gibi olayların daha fazla yaşandığı bilinmektedir (Beercroft ve Pangbourne, 2015). Bu durum, güvenlik algısını etkileyen önemli faktörlerden birisidir.

Ulaşım, insanlara iş, eğitim ve sağlık olanaklarına erişiminde ve sosyal hayata katılımında kolaylık sağlamaktadır. Bu olanaklara erişimin engellenmesi sosyal dışlanmaya yol açmaktadır (Lee ve diğ., 2017). Ulaştırma alanında adalet, alınan karar ve gerçekleştirilen uygulamalardan doğan fayda ve maliyetlerin adil dağılımı olarak tanımlanabilir (Beyazıt, 2011; Litman, 2018). Bu bağlamda ulaşım planlaması sürecinin adil bir şekilde yürütülmesi insanların cinsiyet, gelir ve eğitim düzeyi, sağlık gibi faktörlerden kaynaklanan farklılıklarının değerlendirilmesini gerektirir. Bu süreçte her kesime aynı hizmetin sunulması yerine grupların farklı ihtiyaçlarının göz önüne alınması ve önceliklendirilmesi gerekmektedir (Kramer and Goldstein, 2015). Böylece bireylere düşen ekonomik, sosyal ve çevresel yüklerin azalması da mümkün olabilmektedir (Lubitow ve diğ., 2017).

Kadınların seyahat örgüleri tercih ettikleri araçlar, rotalar, saatler vb. faktörler bakımından erkeklere kıyasla belirgin farklılıklar barındırmaktadır. Toplu taşıma kullanıcılarının çoğunluğunu kadınlar oluşturmaktadır (Hamilton and Jenkins, 2000; Loukaitou-Sideris, 2014). Ayrıca, kadınlar daha karmaşık ve bağlantılı yolculuklar yapmaktadır. Bu yolculuklarda yanlarında onlara bağımlı bir çocuk ya da yaşlı olma olasılığı daha yüksektir (Hjorthol, 2008). Bu farklılıklara ek olarak, güvenlik algısının da cinsiyete bağlı olarak değişiklik gösterdiği bilinmektedir (Lecompte and Bocarejo S., 2016).

Literatürde bulunan birçok çalışma, kadınların sıkça kullandıkları toplu taşıma araçlarında daha fazla taciz ve saldırıya uğradığını, bu durumdan nasıl etkilendiğini ve buna duruma ne tür bağlı olarak bireysel önlemler geliştirdiğini incelemektedir (Dunckel Graglia, 2014; Loukaitou-Sideris, 2014). Gekoski ve diğ. (2015) tarafından yürütülen bir çalışmada toplu taşımada yaşanan olayların kadınların mental sağlığını olumsuz şekilde etkilediği belirtilmiştir. Bakü metrosunda kadınlar ile gerçekleştirilen anket çalışmasında kadınların %81 oranında cinsel tacize maruz kaldığı görülmüş, katılımcılar öfke, rahatsızlık ve iğrenme gibi duygular hissettiğini dile getirmiştir (Jafarova ve diğ., 2014). Hindistan'da bulunan Chennai ve Delhi şehirlerinde konu ile ilgili önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Chennai'de yapılan anket çalışmasında katılımcıların %66'sının toplu taşımada saldırıya uğradığı belirtilmiştir. Sözlü taciz olaylarının çoğu katılımcı için günlük bazda yaşandığı şehirde gruplar halinde veya erkek bir tanıdık ile seyahat etmek, giyime dikkat etmek, silah taşımak öne çıkan önlemler olarak sıralanmıştır (Mitra-Sarkar and Partheeban, 2009). Delhi'de ise kadınların yalnızca %15'inin hava karardıktan sonra rahat bir şekilde seyahat edebildiğini belirtmesi seyahat saatinin kısıtlayıcı etkisini ortaya koymuştur (Jain and Parida, 2014). Viyana'da 402 katılımcıyla gerçekleştirilen bir çalışmada kadınların seyahat boyunca yaşanabilecek saldırı, taciz gibi korkutucu olaylara karşı önlem aldığı gösterilmektedir. Çalışma gerçekleştirilmeden önce korkutucu bir olayla karşılaşan katılımcıların %96'sı önlem aldığını belirtirken karşılaşmayan katılımcıların çoğunluğunun da (%78) çeşitli yollara başvurduğu görülmektedir. En yüksek oranla tercih edilen önlem rota değişikliği olmuştur (Stark and Meschik, 2018).

Araştırmaların çoğunluğu güvenlik algısı kadınların hareketliliğini büyük oranda etkilediğini ve tehdit oluşturan durumların kısıtlamalara yol açtığını göstermektedir. Bu durum kadınların eğitim, iş, sağlık olanaklarına ve sosyal hayata erişimini etkilemekte ve ulaşımda cinsiyet eşitsizliğini derinleştirmektedir (Allen, 2016).

Ulaşım otoriteleri yaşanan ve yaşanabilecek olaylara karşı güvenlik algısını sağlayacak aktif ve pasif önlemler almaktadır (Allen, 2016). Uygulanan önlemler toplu taşıma ile yapılan bir yolculuk üç ana mekânı olan tesis veya durağın çevresi, tesis veya durak ve ulaşım aracının içini kapsamaktadır. (Masoumi and Fastenmeier, 2016). Bu çalışmada araç içi güvenlik önlemlerine odaklanılacaktır. Günümüzde var olan bazı teknolojik araç içi güvenlik uygulamaları kamera izleme sistemleri, panik butonları ve cep telefonu uygulamaları olarak sıralanabilir. Bunlara ek olarak polis ve güvenlik görevlilerinin araçlarda bulunarak gözlem yapması, yalnızca kadınlara özel araçlar, isteğe bağlı duraklama, farkındalık yaratma programları gibi önlemler de alınmaktadır. Güvenlik algısındaki cinsiyete dayalı farklılık, bireylerin alınan önlemlere olan yaklaşımında da ortaya çıkmaktadır. Bir başka deyişle, var olan uygulamaların farklı cinsiyetlerin ihtiyaçlarını eşit şekilde karşılamadığı bilinmektedir (Yavuz and Welch, 2010). Dolayısıyla, alınan önlemlerin planlama ve tasarım süreçleri farklı kesimlerin ihtiyaçlarını göz önüne alarak, adil bir şekilde yürütülmelidir.

Bu çalışmada dünya genelinde alınan araç içi güvenlik önlemlerinin cinsiyet eşitliğine olan etkisi tartışılacak ve Boğaziçi Üniversitesi'nde yürütülen anket çalışması ile katılımcıların uygulamalar hakkındaki görüşleri incelenecektir. Çalışma, elde edilen sonuçlar ışığında otoritelere sunulan öneriler ile noktalanacaktır.

### Dünya Genelinde Uygulanan Araç İçi Güvenlik Önlemleri

Dünya genelinde güvenlik duygusunu pekiştirmek için başvuru en yaygın önlemlerden biri kapalı devre kamera izleme sistemidir (CCTV). Görüntüler bir olay olması durumunda incelenmek üzere saklanabilir veya görevliler tarafından aktif olarak izlenebilir. Ancak, Amerika Birleşik Devletleri'nde ulaşım operatörleriyle gerçekleştirilen bir çalışmada CCTV yönteminde görüntülerin yalnızca kayıt edildiği durumda olay anında acil müdahale etme olanağı sunulmadığı için kadınların bu yöntemi rahatlatıcı bulmadığı belirtilmiş, buna karşılık erkeklerin teknolojik yöntemleri daha olumlu algıladığı gösterilmiştir. Aynı çalışmada kadınların bir görevlinin varlığını daha güven verici bulduğunu görülmüştür (Loukaitou-Sideris ve Fink, 2009). Bu bilgi ışığında, araç içerisinde polis ya da güvenlik görevlilerinin bulunması veya olay anında şoförün bir görevliyle iletişime geçmesini sağlayabilecek sistemler gibi önlemlerin kadınların ihtiyaçlarına daha uygun olduğu söylenebilir.

Yeni Delhi ve Mumbai'de otobüslerde panik butonu ve araç takip sistemi kullanılarak olay anında kolluk kuvvetlerini bilgilendirmek mümkün kılınmıştır (Korde, 2019). Benzer şekilde, İstanbul'da da panik butonlarına basıldığında polise araç içerisindeki kameraların görüntüsü gönderilmektedir. Bir başka teknolojik önlem ise cep telefonları için tasarlanan güvenlik uygulamalarıdır. Bu uygulamalar olay anında yetkililere haber verme, dikkat çekmek için yüksek ses çıkartma ve ışık açma, konum takibi sağlama gibi özelliklere sahiptir. McCarthy ve diğ. (2016) tarafından yürütülen çalışmada katılımcıların büyük çoğunluğunun (%87) akıllı telefon uygulaması kullanmak isteyeceği ancak bunu tamamlayıcı bir önlem olarak gördüğü anlaşılmıştır. Bu

yöntemlere ek olarak yolcunun isteğine bağlı olarak duraklamak otobüslerde özellikle gece saatlerinde yolcuların varış noktasına olan yürüme mesafesini kısaltarak daha güvende hissetmesine olanak sağlamaktadır.

Türkiye’de ve Japonya, Brezilya, Meksika, İran, Mısır gibi ülkelerde görülen bir diğer uygulama ise kadınlara özel araç uygulamasıdır. Bu uygulama Türkiye’de Şanlıurfa’da ve Malatya’da yürürlüğe konmuştur. Kahire’nin metro sisteminde 1989 yılında başlayan uygulama, 2000 yılında Japonya, Tahran ve Meksiko’da, 2006’da ise Rio de Janeiro’da hayata geçirilmiştir. Cinsiyet ayrımı taksi ve otobüs gibi toplu taşıma araçlarına da uygulanmıştır. Bazı pembe taksi uygulamalarında kadın şoförlerin çalıştığı görülmüştür. Literatürde bu uygulama ile ilgili farklı görüşler yer almaktadır. Dunckel-Graglia’nın (2016) Meksiko’da yürüttüğü çalışmada kadın katılımcılar yaşanan şiddet olaylarının toplumdaki cinsiyet eşitsizliğinden kaynaklandığının bilincine sahip olmalarına rağmen pembe metro uygulamasının onlara güvenli bir alan sunduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmada erkek katılımcılar ise güvenliğin yalnızca kadınlar için bir sorun olmadığını, herkesin korunması gerektiğini dile getirmişlerdir. Buna ek olarak şehirde sivil toplum örgütlerinin sorunu daha büyük ölçekte ele almak için çalışmalar düzenlediğinden bahsedilmiştir (Dunckel-Graglia, 2016). Kadınların %80’inin cinsel tacize maruz kaldığını belirttiği Kahire’de tacizi önlemek için çalışan Basma hareketi üyeleri bu uygulamanın kadınlar için kısıtlayıcı olduğunu, kadınların hayatın her alanında eşit şekilde var olması gerektiğini dile getirmişlerdir. Kalıcı çözümler bulmak yerine kadınlara özel araç ağını genişletmenin ileride önlenemeyecek boyutlara gelme riskinden belirtmişlerdir (Tillous and Gillot, 2014).

Sunulan akademik çalışmalar ve yolcuların görüşleri göz önüne alındığında kadınlara özel pembe araç uygulamalarının cinsiyet eşitliği adına hem olumlu hem olumsuz yönleri olduğu söylenebilir (Allen, 2016). İlk olarak, uygulamaya erişimi olan kadınların deneyimi uygulamanın yolculuk boyunca güvenli bir alan sunduğunu göstermektedir. Buna ek olarak, uygulama kadınların ulaşım ve hareketlilik ile ilgili sorunlarını görünür kılama imkânı sağlamaktadır. Böylece bu sorunların toplumda tartışma konusu haline gelmesi ve yaratılan farkındalık ile uygulamanın gerekliliğinin sorgulanması, farklı çözümler aranması mümkün olabilir. Buna ek olarak, Meksiko ve Kahire örneklerinde olduğu gibi sivil toplum kuruluşlarının konu ile ilgili harekete geçmesine de zemin oluşabilir.

Öte yandan, bu araçlar şehirlerde yalnızca belirli hatlarda ve saatlerde işlediği için sunulan güvenli alana her kadının erişimi olmayabilir. Bu durumda erişimi olmayan ve kendisini güvende hissetmeyen kadınların kendilerini korumak için başka önlemler alması ya da seyahat planında değişikliğe gitmesi gerekecektir. Ayrıca, kadınlara özel olmayan araçlarda yaşanan olumsuz olaylarda kadınların onlara sunulan güvenli hizmet yerine “tehlikeli” aracı tercih ettikleri için suçlanmaları gündeme gelebilir. Yalnızca kadınlara özel alanlarda güvenli olunabileceğine dair bir algı oluşması ve yerleşmesi halinde uygulamanın boyutlarının büyütülmesi daha derin eşitsizliğe yol açacaktır. Dolayısıyla, uygulamanın öncelikle kadınlar arasında eşitsizliğe yol açtığını söylemek mümkündür.

Şehrin diğer paydaşları göz önüne alındığında da uygulamanın bazı paydaşları olumsuz etkileyeceği görülebilir. Herkese hizmet etmek için alınan araçların belirli bir kesime belirli saatlerde hizmet etmek için kullanılması diğer gruplar için hem erişimin

kısıtlanmasına yol açmaktadır hem de ekonomik yük oluşturmaktadır. Özellikle zirve saatlerde artan pembe araç yoğunluğu bu araca kabul edilmeyen yolcular için bekleme süresini arttırmaktadır. Bu sorunu önlemek adına toplu taşıma araçlarının sayısının artırılması durumunda ise araçların maliyeti vergi ödeyen vatandaşlara yansıtılacak, özellikle düşük gelirli vatandaşların geçimini olumsuz olarak etkileyecektir. Sonuç olarak, kadınlara güvenli bir alan sunma iddiasıyla geliştirilen uygulamanın görünürdeki olumlu yanlarının aksine toplumda daha derin eşitsizliğe yol açtığı söylenebilir.

### Anket Çalışması ve Analiz Sonuçları

#### Anket Verileri Hakkında Bilgiler

Bu araştırma kapsamında Boğaziçi Üniversitesi öğrencilerinin toplu taşıma çeşitlerinden olan otobüslerde alınan araç içi güvenlik önlemleri ile ilgili düşüncelerini etkileyen faktörleri araştırmak amacıyla bir anket çalışması düzenlenmiştir. Ankette kullanıcıların toplu taşıma tercihleri genel olarak sorgulanırken, güvenlik algıları otobüs özelinde sorgulanmıştır.

Çalışma örnekleminin öğrencilerden oluşmasına birkaç sebep gösterilebilir. Boğaziçi Üniversitesi’nde öğrenciler toplamda 4 fakülte, 2 yüksekokul ve 6 enstitü altında bulunan 29 lisans, 65 yüksek lisans ve 33 doktora programında okumaktadır ve okul nüfusunun %93’ünü öğrenciler oluşturmaktadır. Buna ek olarak, Göktaşar (2016) tarafından gerçekleştirilen araştırmada Boğaziçi Üniversitesi’nde görevli akademisyen ve personelin yalnızca %15.08’inin toplu taşıma araçlarını tercih ettiği, büyük çoğunluğunun sıkça yürüyerek veya personel servisiyle seyahat ettiği görülmüştür. Buna karşılık öğrencilerin %61,84’ünün toplu taşıma kullandığı belirtilmiştir. Aynı çalışmada öğrencilerin %70,12’sinin yaşının 20-29 aralığında bulunduğu ve %91,81’inin gelirinin 2000 TL’nin altında olduğu belirtilmiştir. Bu durum göz önüne alındığında, öğrenciler ile çalışma yürütüldüğünde yaş, eğitim seviyesi ve gelir durumu gibi parametrelerin sabit olacağı varsayılarak bu parametreler sabitken kullandıkları ulaşım türü ile güvenlik önlemleri hakkındaki düşünceleri arasındaki ilişkiyi inceleme olanağı ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, anket çalışması farklı bölümlerden seçilmiş toplamda 99 öğrenci ile yüz yüze görüşme yapılarak yürütülmüştür.

Anket cinsiyet, yaş ve gelir durumu ile ilgili demografik bilgilere yönelik sorular içermektedir. Katılımcıların ulaşım tercihlerini öğrenmek adına sürücü belgesi ve özel araç sahipliği, en sık kullanılan ulaşım aracı, toplu taşıma kullanım amacı, süresi ve sıklığını araştıran sorular katılımcılara yöneltilmiştir. Bir sonraki aşamada ise katılımcıların kendilerini korumak için güvenlik önlemi alıp almadıkları sorulmuş, uygulanmakta olan araç içi güvenlik önlemlerini sıralamaları istenmiştir. Bu önlemler kadına özel taşıma araçları, panik butonu, kamera izleme sistemi ve polise haber verilmesi, araç içinde görevli bulunması ve telefon uygulamalarıdır. Son olarak katılımcıların otobüslerdeki güvenlik uygulamalarında cinsiyet temelli bir farklılık algılayıp algılamadıkları sorulmuştur.

#### Anket Verilerinin Analizi

Yaş ortalaması 22.93 olan katılımcıların %56,6’sı kadın, %43,4’ü ise erkek olduğunu belirtmiştir. Gelir seviyesinin ise %84,8’inin 3000 TL’nin altında olduğu görülmüştür. %60 oranındaki sürücü belgesi sahipliğine rağmen katılımcıların %78,8’inin en çok toplu taşıma ile seyahat ettiği anlaşılmıştır. %97’si haftada bir kez veya daha sık toplu

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

taşıma kullanan katılımcıların kullanım amacı olarak işe-okula gitmek ve gezmek öne çıkmıştır.

Katılımcıların %45,5'i otobüslerde kendilerini korumak için önlem aldıklarını belirtmişlerdir (Tablo 1). Önlem alanların %75,6'sının kadın olduğu görülmüştür. Kadınların çoğunluğu (%60,7) önlem aldığını belirtirken erkeklerin %74,4'ü almadığını dile getirmiştir.

Tablo 1 Kadın ve erkek katılımcıların bireysel önlem alma durumu.

		Otobüs kullanırken kendinizi korumak için önlem alıyormusunuz?		
		Hayır	Evet	Toplam
Cinsiyetiniz nedir?	Kadın	22	34	56
	Erkek	32	11	43
Toplam		54	45	99

Cinsiyet faktörünün bireysel önlem alma üzerindeki etkisini araştırmak için Ki-Kare testi yürütülmüştür. Test sonucunda elde edilen P-değeri %5'ten küçük olduğu için kadınlar ile erkekler arasında kayda değer bir farklılık gözlemlendiği söylenebilir (Tablo 2). Bu sonucun literatür ile uyumlu olduğunu söylemek de mümkündür.

Tablo 2 Cinsiyet ile önlem alma ilişkisini gösteren Ki-Kare testi değerleri

Ki-Kare Testi		
Değişken Adı	Pearson Ki-Kare Testi Değeri	P-Değeri
Cinsiyet	12.109	.001

Katılımcıların uygulanan güvenlik önlemlerine verdikleri puanların ortalama değerleri Tablo 3'te sunulmuştur. Altı ölçekli puanlama skalasında 1 en iyi önlem, 6 ise en kötü önlem puanlamak için kullanılmıştır. Sonuçlar, katılımcılar için en iyi önlemin ortalama 2,51 puan ile kamera izleme sistemi ve polise haber verilmesi olduğunu göstermiştir. Buna karşılık en kötü önlem ortalama 4,95 puan ile kadına özel araç uygulaması olmuştur. Katılımcıların %78,9'unun "güvenlik önlemi alınmasına gerek yoktur" maddesine 4 veya daha düşük puan vermesi, önlem alınmasının önemini vurgular niteliktedir.

Tablo 3 Uygulamalara verilen ortalama puanlar.

	N	Ortalama	Std. Sapma
Panik butonu	99	2,65	1,51
Kadına özel araç	99	4,95	1,62
Kamera izleme sistemi ve polise haber verilmesi	99	2,51	1,51

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

Araç içinde görevli bulunması	99	3,56	1,21
Telefon uygulaması	99	2,86	1,23
Güvenlik önlemine gerek yoktur	99	4,48	1,50

Tablo 4-9 incelendiğinde kadın ve erkeklerin her uygulama için verdiği puan dağılımı detaylı bir şekilde gözlemlenebilir. Her iki cinsiyet için en düşük puanlar kadına özel araç uygulamasına ve önlem alınmaması fikrine verilmiştir.

Tablo 4 Panik butonu uygulamasına verilen puanlar.

		Panik Butonu						Toplam
		En iyi	İyi	Ortalama üstü	Ortalama altı	Kötü	En kötü	
Cinsiyetiniz nedir?	Kadın	17	18	7	7	3	4	56
	Erkek	9	12	10	4	6	2	43
Toplam		26	30	17	11	9	6	99

Tablo 5 Kadına özel araç uygulamasına verilen puanlar.

		Kadına Özel Araç						Toplam
		En iyi	İyi	Ortalama üstü	Ortalama altı	Kötü	En kötü	
Cinsiyetiniz nedir?	Kadın	4	7	1	0	15	29	56
	Erkek	2	3	2	2	6	28	43
Toplam		6	10	3	2	21	57	99

Tablo 6 Kamera izleme sistemi ve polise haber verilmesi uygulamasına verilen puanlar.

		Kamera İzleme Sistemi ve Polise Haber Verilmesi						Toplam
		En iyi	İyi	Ortalama üstü	Ortalama altı	Kötü	En kötü	
Cinsiyetiniz nedir?	Kadın	16	15	13	5	3	4	56
	Erkek	17	9	8	2	5	2	43
Toplam		33	24	21	7	8	6	99

Tablo 7 Araç içinde görevli bulunması uygulamasına verilen puanlar.

		Araç İçerisinde Görevli Bulunması						Toplam
		En iyi	İyi	Ortalama üstü	Ortalama altı	Kötü	En kötü	
Cinsiyetiniz nedir?	Kadın	5	3	16	22	10	0	56
	Erkek	6	2	6	19	9	1	43
Toplam		11	5	22	41	19	1	99

Tablo 8 Telefon uygulamalarına verilen puanlar.

		Telefon Uygulamaları						Toplam
		En iyi	İyi	Ortalama üstü	Ortalama altı	Kötü	En kötü	
Cinsiyetiniz nedir?	Kadın	9	11	17	15	2	2	56
	Erkek	6	14	10	9	4	0	42
Toplam		15	25	27	24	6	2	99

Tablo 9 "Güvenlik önlemi alınmasına gerek yoktur" önerisine verilen puanlar

Güvenlik Önlemi Alınmasına Gerek Yoktur							Toplam	
Cinsiyetiniz nedir?		En iyi	İyi	Ortalama üstü	Ortalama altı	Kötü	En kötü	
		Kadın	5	2	2	7	23	17
Erkek	3	3	6	8	13	10	43	
Toplam		8	5	8	15	36	27	99

Katılımcılara sunulan önlemlere verilen puanlamalarda cinsiyet, tercih edilen ulaşım türü ve toplu taşıma kullanım sıklığı faktörlerinin etkisini ölçmek için Bağımsız Grup T-Testi yürütülmüştür. Bu testte öncelikle faktörün grupları arasındaki varyansın eşit olduğu hipotezi test edilmektedir. Test sonucunda kayda değer bir sonuç elde edilmesi durumunda bu hipotez reddedilir ve ortalama değerleri arasında kayda değer bir fark olup olmadığı kontrol edilir. Yapılan testlerde cinsiyetin önlem puanlamaları üzerinde kayda değer bir etkisi bulunmamıştır. Güvenlik uygulamalarının tasarım ve işleyişinde cinsiyet temelli bir farklılık olup olmadığını araştıran soruya hem kadın hem erkek katılımcıların yüksek oranda olmadığına yönelik cevap vermesi de bu durumla bağlantılı olabilir (Tablo 10). Ancak tercih edilen ulaşım türü ve uygulama puanlamasında önemli bir sonuç elde edilmiştir.

Tablo 10 Farklı cinsiyetlerin güvenlik uygulamalarında cinsiyet temelli farklılığa yönelik algısı.

Cinsiyetiniz nedir?	Otobüslerdeki güvenlik uygulamalarında cinsiyet temelli bir farklılık var mıdır?		Toplam
	Hayır	Evet	
	Kadın	40	
Erkek	28	15	43
Toplam	68	31	99

Ulaşım türünün etkisi yalnızca kadınlara özel araç uygulamasında görülmüştür. Araç türüne bağlı verilen ortalama puanlar Tablo 11’de görülebilir. Yürütülen Bağımsız Grup T-Testi sonucunda öncelikle Levene Testi’nde verilen P-değeri kontrol edilmiştir. Bu sayı %5’ten küçük olduğu için iki araç türünün eşit varyansa sahip olduğu hipotezi reddedilmiş ve ortalamaları kontrol edilmiştir (Tablo 12). T-testi sonucunda elde edilen değer (%6,1) %5’e yakın olduğu için kayda değer olarak kabul edilmiştir.

Tablo 11 Sık Kullanılan araç türlerine göre kadına özel araç önleminin puanlanması

Uygulama	Ulaşım Türü	N	Ortalama
Kadına Özel Araç	Özel araç	11	3,73
	Otobüs	78	5,09

Tablo 12 Bağımsız grup T-Testi sonuçları

	Levene Testi		T-Testi	
	P-Değeri	t	P-Değeri (Çift Kuyruklu)	Ortalama Fark
Kadına Özel Araç	.006	-2.719	.008	-1.362
		-2.079	.061	-1.362

## Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada toplu taşıma çeşitlerinden olan otobüs kullanımında güvenlik algısını iyileştirmeye yönelik uygulanan araç içi güvenlik önlemlerinin cinsiyet eşitliği ile arasındaki ilişki incelenmiştir. İnceleme kapsamında yürütülen anket çalışmasında elde edilen bazı bulgular literatürü destekler nitelikte iken bazı bulgular literatürden farklılık göstermiştir. Literatürü destekleyen bulgulardan ilki cinsiyet ile önlem alma arasındaki ilişki olmuş, beklendiği üzere önlem alanların %75,6’sının kadın olduğu görülmüştür. Dünya genelinde toplu taşımada uygulanan başlıca araç içi güvenlik önlemlerinin puanlamasında öne çıkan noktalardan ilki araç içlerinde önlem almama fikrinin büyük oranda olumsuz bulunması olmuştur. Bu durum, literatürü destekleyecek şekilde bu alanda iyileştirmeler yapılması gerektiğini kanıtlar niteliktedir. En iyi puanı kamera izleme sistemi alırken en düşük puanı kadına özel araç uygulaması almıştır. Panik butonu ve telefon uygulamalarının yakın puanlar almalarının sebebi olarak kolay erişilebilir ve düşük maliyetli tamamlayıcı yöntemler olmaları öne sürülebilir. Puanlamaları etkileyen faktörler incelendiğinde cinsiyetin kayda değer bir farklılık göstermediği görülmüştür. Bu durum, anket çalışmasında sunulan önlemlerin uzun süredir uygulanıyor olmasından kaynaklanıyor olabilir. Gelecek çalışmalarda daha çeşitli bir örneklem ile çalışılması veya gelişmekte olan güvenlik uygulamalarının incelenmesi farklı sonuçlar doğurabilir. Tercih edilen ulaşım türü ile kadına özel araç uygulaması arasında gözlenen kayda değer farklılık, otobüsü tercih eden kullanıcıların uygulamadan olumsuz etkileneceğini göstermektedir. Bu sonuçlar alternatif olmayan toplu taşıma kullanıcılarının erişimini kısıtlamak ve kadınları belirli araçlara bağımlı kılmak yerine farklı önlemlerin araştırılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Güvenli bir şekilde seyahat etmek herkesin hakkıdır. Ancak özellikle kadınların toplu taşıma kullanırken maruz kaldıkları olumsuz durumlar güvenlik algılarını zedelemekte ve hareketliliklerini kısıtlamaktadır. Bu bağlamda ulaştırma otoritelerinin toplumda cinsiyet eşitsizliğinden doğan sorunları büyük ölçekte ele alması, yalnızca kadınların değil tüm paydaşların ihtiyaçları düşünülmesi ve tek bir kesime yönelik çözümler üretmekten kaçınılması gerekmektedir. Bu süreçte yaratılan farkındalık yalnızca uygulamaların tasarımına değil ulaşım planlamasının her aşamasına yayılmalıdır.

## Kaynaklar

- Allen, H. (2016) Safe and secure, from London to Lahore and everywhere in between!. Available at: <https://www.fiafoundation.org/blog/2016/march/safe-and-secure-from-london-to-lahore-and-everywhere-in-between>.
- Bayrak, M. (2016) Understanding And Modeling Of Travel Behavior In University Campuses: A Case Study Of Boğaziçi University. Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Beecroft, M. and Pangbourne, K. (2015) Future prospects for personal security in travel by public transport. Transportation Planning and Technology, 38, pp. 131–148.
- Beyazit, E. (2011) Evaluating Social Justice in Transport: Lessons to be Learned from the Capability Approach. Transport Reviews, 31, pp. 117–134.
- Dunckel Graglia, A. (2014) Gendered nature of women’s mobility: a gender perspective for analyzing women’s issues in public transportation in Mexico City, Mexico. 5th International Conference on Women's Issues in Transportation, Women's Issues in Transportation 5th International Conference. Proceedings: Bridging the Gap, 14-16 April, Paris.

- Dunckel-Graglia, A. (2016) Women-Only Transportation: How “Pink” Public Transportation Changes Public Perception of Women’s Mobility. Journal of Public Transportation, 16, pp. 85–105.
- Gekoski, A., Gray, J.M., Horvath, M.A.H., Edwards, S., Emirali, A., Adler, J.R. (2015) “What Works” in Reducing Sexual Harassment and Sexual Offences on Public Transport Nationally and Internationally: A Rapid Evidence Assessment.
- Gökaşar, I.,(2016) Kampüsler Arası Ulaşım. Rektörlük Araştırma Raporu.
- Hamilton, K. and Jenkins, L. (2000) A Gender Audit for Public Transport: A New Policy Tool in the Tackling of Social Exclusion. Urban Studies, 37 (10), pp. 1793-1800.
- Hjorthol, R. (2008) Chapter 13 Daily Mobility of Men and Women – A Barometer of Gender Equality?. Gendered Mobilities, T. P. Uteng, T. Cresswell (Ed.), Ashgate., pp. 193-210.
- Jafarova, T., Campbell, S., and Rojas, W. S. (2014) AZE: Rapid Assessment On Sexual Harassment In The Baku Metro Rail - Final Report. Philippines: Asian Development Bank.
- Jain, T. and Parida, P. (2014) Gender Appraisal of mobility patterns and instances of exclusion for working population in Delhi. 5th International Conference on Women’s Issues in Transportation of the Transportation Research Board, Paris
- Korde, K. (2019) Panic Button and Vehicle Tracking System Now Must on New Buses and Taxis in Mumbai. Hindustan Times.
- Kramer, A. and Goldstein, A. (2015) Meeting the Public’s Need for Transit Options: Characteristics of Socially Equitable Transit Network. ITE Journal, 85 (9).
- Lee, R., I. Sener, and Jones, S. (2017) Understanding the role of equity in active transportation planning in the United States. Transport Reviews, 37 (2), pp. 211–226.
- Litman, T. (2018) Evaluating Transportation Equity Guidance For Incorporating Distributional Impacts in Transportation Planning.
- Loukaitou-Sideris, A. (2008) How Safe is the Ride? Evaluation of Design and Policy Responses to Women’s Fear of Victimization and Crime. University of California Transportation Center.
- Loukaitou-Sideris, A. (2014) Fear and Safety in Transit Environments from the Women’s Perspective. Security Journal, 27 (2), pp. 242-256.
- Lubitow, A., J. Rainer, and Bassett, S. (2017) Exclusion and vulnerability on public transit: experiences of transit dependent riders in Portland, Oregon. Mobilities, 12 (6), pp. 924–937.
- Masoumi, H. E., Fastenmeier, W. (2016) Perceptions of Security in Public Transport Systems of Germany: Prospects for Future Research. Journal of Transportation Security, 9, (1-2), pp. 105-116.
- McCarthy, O.T., Caulfield, B., and O’Mahony, M. (2016) How transport users perceive personal safety apps. Transport Research Part F, 43, pp. 166-182
- Mitra-Sarkar, S. and Partheeban, P. (2009) Abandon All Hope, Ye Who Enter Here Understanding the Problem of “Eve Teasing” in Chennai, India. 4th International Conference on Women’s Issues in Transportation of the Transportation Research Board, Irvine.
- Stark, J. and Meschik, M. (2018) Women’s Everyday Mobility: Frightening Situations and Their Impacts on Travel Behaviour. Transportation Research Part: F, 54, pp. 311-323.
- Tillous, M. and Gillot, G. (2014) Women only cars in the Cairo metro: A response to what problem? 5th International Conference on Women’s Issues in Transportation of the Transportation Research Board, Paris.
- Yavuz, N. and Welch, E.W. (2010) Addressing Fear of Crime in Public Space: Gender Differences in Reaction to Safety Measures in Train Transit. Urban Studies, 47 (12), pp. 2491-2515.

## İstanbul Metrobüs Koridorundaki Trafik Akımlarının GPS Verilerinden Yararlanarak İncelenmesi

Sadullah Göncü<sup>a</sup>, İsmail Şahin<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Haliç Yerleşkesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü  
34445 Beyoğlu/İstanbul  
Tel: (212) 521 81 00 / 4169  
E-Posta: [sgoncu@fsm.edu.tr](mailto:sgoncu@fsm.edu.tr)

<sup>b</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Ulaştırma Anabilim Dalı, 34210 Esenler/İstanbul  
Tel: (212) 383 51 80  
E-Posta: [sahin@yildiz.edu.tr](mailto:sahin@yildiz.edu.tr)

### Öz

Büyük veri çağında trafik mühendisleri artık verileri sahadan bizzat toplamak yerine, veri madenciliği yöntemlerini kullanarak veya veri depolayan kurum/kişilerden temin ederek çalışmalarını yürütmeye başlamıştır. Özellikle ulaştırma mühendisliği alanında trafiğin temel dinamikleri ve ilişkilerinin, bu veriler kullanılarak elde edilebilir olması, çeşitli akıllı ulaştırma sistemi bileşenlerinin geliştirilmesi için olanak sunmaktadır. İstanbul’daki Metrobüs hattı, şehrin en yoğun kullanılan ulaştırma sistemlerinden biridir. Kayıtlara göre sistemi günde yaklaşık 800.000 kişi kullanmaktadır. Metrobüs hattındaki tüm taşıtlara yerleştirilmiş edilmiş GPS cihazları aracılığıyla hat üzerinden zaman ve konum verileri otomatik olarak toplanmaktadır. Bu bakımdan, her bir Metrobüs taşıtı akım içinde birer sonda aracı işlevi görmektedir. Bu makale kapsamında, İETT’den elde edilen GPS verileri kullanılarak İstanbul Metrobüs sistemindeki taşıtların yörüngeleri oluşturulmuş ve buradan trafiğin temel büyüklükleri mikroskobik ve makroskobik ölçeklerde elde edilmiştir. Çalışma kapsamında, ayrıca, büyük veri olan GPS kayıtlarının işlenmesi ve filtre edilmesine yönelik genelleştirilmiş ilkeler önerilmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Toplu taşıma, Metrobüs, GPS verileri, Mikroskobik ve makroskobik trafik büyüklükleri, yol-zaman diyagramı, hız kontur diyagramı

### Giriş

Büyük veri kavramı, araştırma ve uygulama dünyasının birçok alanı için yeni eğilimler oluşturmuştur. Özellikle ulaştırma mühendisliği gibi disiplinler arası bir alanın içerisinde yeni araştırma ve uygulama alanları ortaya çıkartmaktadır. Veri toplamadaki kolaylık, mühendisler için geleneksel trafik etütleri yapmayı kolaylaştırmış veya bu ihtiyacı kısmen ortadan kaldırmıştır. Zira günümüzde, konum bilgisi veren hizmetlerin gelişmesi, büyük hacimli ve hassas veriye erişim imkânı sunmuştur. Bu veriler sayesinde dünyanın çeşitli yerlerinde farklı ulaştırma sistemleri için gerçek zamanlı gözlem, yönetim ve kontrol yöntemleri geliştirilmektedir. Trafik mühendisliği alanında



ise uygun verilerin temin edilebilmesi durumunda, sistemlerin temel dinamikleri bu veriler aracılığı ile incelenmekte ve akıllı ulaştırma sistemleri alanında çeşitli araçlar geliştirilmektedir.

İstanbul'daki Metrobüs hattı, şehrin en yoğun kullanılan toplu taşıma sistemlerinden biridir. Kayıtlara göre sistemi günde yaklaşık 800.000 kişi kullanmaktadır. Metrobüs hattındaki tüm taşıtlara monte edilmiş GPS cihazları aracılığıyla hat üzerinden zaman ve konum verileri otomatik olarak İETT tarafından toplanmaktadır. Bu bildiri kapsamında, GPS verilerinden yararlanılarak yapılan çalışmaların bir kısmına ilişkin kaynakça özeti verilmiştir. Ardından çalışma kapsamında kullanılan veriler hakkında bilgiler sunulmuş ve uygulanan filtreleme adımlarından kısaca bahsedilmiştir. GPS verilerinin işlenmesiyle elde edilen yol-zaman ve hız-zaman (hız-kontur) diyagramları, bu temel diyagramlara dayanarak yapılan analizler izleyen bölümlerde paylaşılmıştır. Çalışma elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve gelecekte yapılabilecek araştırmalara değinilerek sonlandırılmıştır.

### Literatür Özeti

Çeşitli yeni nesil veri tiplerinin trafik akımları ve toplu taşıma sistemlerinin incelenmesine yönelik kullanılması hakkında hem uluslararası literatürde hem de ülkemizde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu kapsamdaki akademik çalışmaları belirli gruplara ayırmak mümkün gözükmemektedir. Bu gruplar, akıllı kart verilerinin kullanılması ile yapılan analizler ve GPS verilerinin kullanılması ile toplu taşıma sistemlerinin verimini artırma, taşıtların demetlenmesini önleme, yolcuları bilgilendirmeye yönelik çalışmalar ve karayolu trafiğinin özelliklerinin analizi, gerçek zamanlı izlenmesi ile yolcu bilgilendirme sistemlerinin geliştirilmesi olarak sınıflandırılabilir. Özuysal ve diğ. (2015)'de İzmir'deki akıllı kart verilerini kullanarak otobüslerin yörüngelerini konum-zaman grafikleri olarak çıkartmış ve planlama çalışmalarında bu verilerden nasıl yararlanabileceği konusunda önerilerde bulunmuştur. Çetinel (2017) GPS verilerini kullanarak kent içi otobüslerin, duraklara yaklaşırken frenleme sebebiyle, geride bıraktıkları yol kesiminde etkiledikleri bölgenin uzunluk cinsinden bulunmasına yönelik bir araştırma yürütmüştür. Otobüslerin duraklara varış zamanları ile seyahat sürelerinin GPS verileri kullanılarak elde edilmesi ile ilgili birçok çalışma akademi çevrelerinde yürütülmektedir (Sun ve diğ., 2008; Choudhary ve diğ., 2017; Amita ve diğ., 2015; Fan ve Gurmu, 2016). Hem akademi hem de toplu taşıma sistemlerini yöneten kurumları meşgul eden, kentiçi otobüslerde görülen demetlenme olgusu ile ilgili GPS verilerine dayalı çalışmalar da mevcuttur. Carlos ve diğ. (2011) GPS verilerini otobüsler arasında iletişim sağlayan teknoloji ile birleştirip demetlenmeyi önleyici matematiksel modeller geliştirmiş ve çeşitli çözüm senaryoları önermişlerdir. Wei ve Asakura (2009), elde edilen GPS konum verileri ile kaza-arıza ve tıkanıklık algılama algoritmaları oluşturmuşlardır. Bu algoritmaları çeşitli istatistiksel performans ölçütleri altında, dünyadaki çeşitli otoyollar üzerinde kullanımda olan konvansiyonel kaza-arıza ve tıkanıklık algılama sistemleri ile karşılaştırmışlardır. Literatür incelendiğinde, özellikle otoyollar üzerinde yapılmış olan çalışmalarda trafiğin temel dinamikleri, veriye dayalı olarak rahatça çıkarılmaktadır. Fakat toplu taşımada kullanılan yöntemler, kentiçi otobüsler ile yapılan toplu taşımanın ötesine nadiren geçmektedir. Ayrıca araç yörüngeleri ise, kentiçi otobüsler için genelde harita eşleme yöntemlerinin iyileştirilmesine yönelik kullanılmaktadır. Bu makale kapsamında, İETT'den elde edilen GPS verileri kullanılarak, İstanbul Metrobüs sistemindeki taşıtların yörüngelerinin oluşturulması ve buradan trafiğin temel büyüklüklerinin elde

edilmesi için bir yöntem önerilmektedir. Metrobüs sistemleri için burada yapılan yol-zaman ve hız-zaman diyagramı çalışmaları, bu gibi izole sistemler için işletim verimliliğini ve hizmet kalitesini arttıran çeşitli çalışmalara yol açabilecektir.

GPS verileri kullanılarak bir Metrobüs veya otobüs sistemindeki taşıt yörüngelerinin yol-zaman diyagramı biçiminde elde edilmesine yönelik çalışmalar çok sınırlı sayıdadır. Bu durumun GPS verilerine erişimdeki zorluktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ham GPS verilerini işlemenin kendi içerisinde bazı zorlukları olduğu, kullanılan GPS datumlarının etkisi ve hatalı verilerin filtre edilmesinin zorlukları göz önüne alınırsa, literatürün bu konuda oldukça sınırlı olmasının nedeni anlaşılmaktadır. Konu ile ilgili yapılmış ender çalışmalardan biri MIT'nin (Massachusetts Institute of Technology) Yapay Zeka ve Bilgisayar Bilimleri laboratuvarı araştırmacılarının çalışmasıdır (Anwar ve diğ., 2013). İlgili çalışma Singapur'daki otobüs hatlarının verileri kullanılarak yapılmış ve çalışma kapsamında bir uygulama geliştirilerek 3 boyutlu uzay zaman küpü içerisinde yol-zaman diyagramları çıkarılmıştır. Anwar ve diğ., (2013), Çin'in Urumçi kentinde işletilmekte olan BRT (Bus Rapid Transit) sisteminin GPS verilerini kullanarak yol-zaman diyagramlarını çıkarmıştır. Çalışma genel olarak yapılan analizlere odaklandığı için, diyagramların çıkarılmasında kullanılan metodoloji hakkında yeterli bilgi vermemiştir. Ancak çalışmada kullanılan veriler, karmaşık filtreleme adımlarına ihtiyaç duyulmadan işlenebilmiştir. Bu durum her veri kümesi için aynı olmamaktadır. Veriler ham hallerinde, işletildikleri yön, aynı koridorda farklı hatlar var ise hat kodu, araçların seferde olup olmadığı, araçların seyir halinde veya durakta bulunma gibi benzeri bilgilerin ham GPS verisinde bulunup bulunmama durumuna göre verilerin işlenmesi ve kullanılması zorlaşmaktadır. Bu bildiri metninde bu hususlara değinilecektir.

### Tanımlar, Veri Filtreleme ve Analize Hazırlık

Makale kapsamındaki çalışma için İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nden (İETT) temin edilmiş veri setleri kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veri seti 25 Ocak 2019 tarihine ait olup, verilerin özellikleri ve içeriği Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 İETT veri setinin özellikleri ve içeriği

Başlık	Açıklama	Başlık	Açıklama
<i>Konum ID</i>	Her bir konum verisi için özel olan bir numara	<i>Boylam</i>	Konum verisine ait boylam bilgisi
<i>Kapı Numarası</i>	Her araç için tek olan bir kod	<i>Enlem</i>	Konum verisine ait enlem bilgisi
<i>Gerçekleşme Zamanı</i>	Sinyalin gönderildiği an (gg/aa/yy – ss/dd/sn)	<i>Hız</i>	GPS cihazı tarafından ölçülen anlık hız (km/sa)
<i>Kayıt Zamanı</i>	Sinyalin, merkezde algılanıp depolandığı an (gg/aa/yy – ss/dd/sn)	<i>Mesafe</i>	Sefer başlangıcından beri kat edilen mesafe (km)

Tablo 1'de görüldüğü gibi kullanılan ham veri setinde, konvansiyonel birçok GPS veri setinde mevcut olan bazı başlıklar eksiktir. Tablo 1 incelendiğinde, yön bilgisi, aracın seferde olup olmadığı, sefer numarası, hat bilgisi, istasyonda olup olmadığı gibi bilgilerin eksik olduğu görülmektedir. Ayrıca çalışma için veri setleri incelendiğinde,

“Mesafe” sütunundaki verilerin kullanılamaz olduğu görülmüştür. Normal şartlar altında, Metrobüs araçlarının şoförleri her yeni sefere başladıklarında önlerindeki otomasyon sisteminde bunu manuel olarak işaretlemek zorundadırlar. Fakat bu işlem düzenli yapılmadığı için birçok veri setinde mesafe sütunundaki değerlerin sıfırlanmadan arttığı görülmüştür. Yukarıda sayılmış olan bu nedenlerle, eksik sütunların veriye eklenmesi gereklidir. İstanbul Metrobüs hattında halen işletilmekte olan hatlar bazı özellikleriyle Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2 İETT Metrobüs hat-güzergah bilgileri

<https://metrobus.iett.istanbul/tr/metrobus/pages/metrobus-hat-sefer-bilgileri/899>

Hat No	Hat-Güzergah	Hat Uzunluğu (km)	Durak Sayısı	Araç Sayısı	Seferler Arası Ortalama Süre (sn)	Günlük Hareket Sayısı	Ortalama Araç Hızı (km/sa)	Sefer Süreleri (Gid./Dön.) (dak)
34	AVCILAR-ZİNCİRLİKUYU	30	27	92	82	1296	34	125
34A	CEVİZLİBAĞ-SÖĞÜTLÜÇEŞME	22	20	22	256	88	30	94
34 AS	AVCILAR-SÖĞÜTLÜÇEŞME	41,5	35	100	97	1188	31	162
34 BZ	BEYLİKDÜZÜ-ZİNCİRLİKUYU	40	39	128	72	1798	31	154
34 C	BEYLİKDÜZÜ-CEVİZLİBAĞ	29	26	70	99	872	35	115
34 G	BEYLİKDÜZÜ-SÖĞÜTLÜÇEŞME	52	44	15	720	75	35	180
34 U	ZİNCİRLİKUYU - UZUNÇAYIR	11	6	38	63	110	38	40
34 Z	ZİNCİRLİKUYU-SÖĞÜTLÜÇEŞME	11,5	8	30	104	1827	31	52

Tablo 2’deki bilgilere göre veri setlerine sırasıyla, yön ataması, hat ataması, sefer sayısı ve kat edilen mesafe sütunlarının eklenmesi gerekmektedir. Ham veri içerisindeki bu eksiklikleri tamamlamak için farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Her yeni algoritma kendi içerisinde bazı hatalar barındırabildiği için, makale kapsamındaki diyagramların ve analizlerin bu hatalardan kısmen de olsa etkilenmesi söz konusudur. Veri setlerine aşağıdaki işlemler uygulanmıştır.

**Veri Ön İşleme.** Veri kümesindeki taşıtlar kapı numaralarına göre sınıflandırılır ve aşağıdaki bilgiler veri kümesine eklenir.

**Hat Atama.** İstanbul’daki Metrobüs koridorunda Tablo 2’de numaraları ve güzergâhları verilen 8 ayrı hat işletilmektedir. Bunlardan 34G hattı sadece gece saatleri tüm Metrobüs koridoru boyunca (52 km) hizmet vermektedir. Bunun dışında diğer 7 hat gün içinde birlikte hizmet vermektedir. Hizmet veren her taşıt bu hatlardan birine başlangıç son durak şartlarına göre atanır.

**Yön Ataması.** Yön bilgisi, ön işleme aşamaları arasında en kritik öneme sahip olan adımdır. Yön atamasının yanlış yapılması, veri satırlarının karışması ve diyagramların beklenen sonucu vermemesi ile sonuçlanacaktır. Yön ataması yaparken incelenen sistemin dinamikleri göz önüne alınmalı ve kullanılacak algoritmanın sistemin hangi dinamiklerinden etkilenebileceği iyi düşünülmelidir. İstanbul’daki Metrobüs hattı için iki yön vardır: Anadolu-Avrupa yönü ve Avrupa-Anadolu yönü.

**Sefer Sayısı.** Yol-Zaman diyagramları sefer bazında çıkarılması gerektiği için, incelenen zaman aralığında aracın seferleri numaralandırılmalıdır. Sefer numarası

normal şartlar altında her yeni sefer başlangıcında şoför tarafından otomasyon sistemi üzerinden işaretlenmesi ile veriye atanmaktadır. Fakat eldeki ham veride sefer numarası bulunmuyorsa, başlangıç ve son duraklara varış şartı kullanarak taşıtın hattaki sefer sayısı ataması yapılabilir.

**Veri Filtreleme.** Seferdeki taşıtlar incelenen koridor kesimindeki yol-zaman diyagramlarını oluşturabilmek için bazı veri filtrelemeleri yapmak uygun olacaktır. Bu filtrelemeler basitçe şu şekilde sıralanabilir: Araçlar sefer halinde değilken, terminallerdeki bekleme süreleri grafiklere dâhil edilmemesi, garajlardaki bekleme süreleri grafiklerde görünmemesi için garajların bulunduğu enlem ve boylamlardan gelen verilerin filtre edilmesi. Araçlar terminallerden sefere başlarken bazı servis yollarını kullanırlar; bu hareketlerin yol-zaman diyagramlarında fazladan mesafe kat edilmiş gibi görünmemesi için, grafiklerin sadece terminal çıkışından itibaren çizdirilmeye başlanması uygun olacaktır. Aksi takdirde terminal içi dönüş manevrası veya servis yollarını kullanım sebebiyle fazladan mesafe kat edilmiş görüntüsü oluşacaktır.

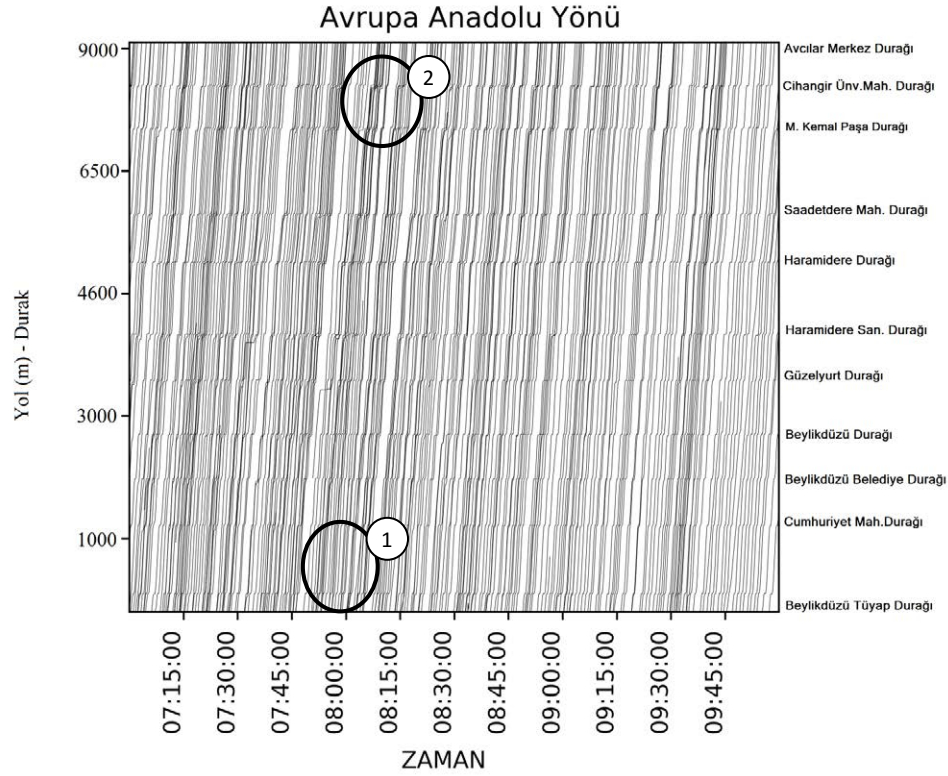
### Diyagramlar ve Analizler

Yol-zaman diyagramları, araçların zaman içerisinde hareketlerini incelemeye yönelik kullanılan yörunge grafikleridir. Bu çalışmada, iki eksenli grafiğin düşey ekseninde yol ve yatay ekseninde zaman işaretlenmiştir. Yol-zaman diyagramları trafik mühendisliği analizlerinde sıkça kullanılan araçlar arasındadır. Bu diyagramlarda temelde taşıt, yol ve zaman asal değişkenleri bir araya getirilir. Trafikğin temel değişkenleri olan akım, hız ve yoğunluk, yol zaman diyagramlarından kolaylıkla elde edilebilmektedir. Çalışma kapsamında, İstanbul’daki Metrobüs hattının Beylikdüzü-Avcılar kesimini kullanan taşıtların 25 Ocak 2019 saat 07:00–10:00 zirve saatleri arasında oluşturulan yol-zaman diyagramları, Avrupa-Anadolu ve Anadolu-Avrupa yönleri için sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir. Diyagramlar oluşturulmadan önce yukarıda anlatılan veri işleme ve filtreleme yöntemleri kullanılmıştır. Grafiği çizdirmek için aşağıdaki işlemler yapılır:

- Her bir veri satırına, yani mevcut sinyalin yönlendiği konuma, taşıtın seyir yönüne göre başlangıç durağından (tüm koridorun başlangıç yerinden) olan uzaklığı işlenir.
- Sefer bazında ardışık konum-zaman verileri doğru parçalarıyla birleştirilerek yörunge grafikleri çizilir.
- İstasyonların yeri grafikte belirtilir.

Bu kesimin aynı zaman aralığındaki hız-zaman grafiklerinin çıkarılmasında Zorer (2007)’de önerilen yöntem kullanılmıştır. Bunun için incelenen hat kesimi, 100’er metrelik kısımlara ayrılmış ve bu kısımlardaki hız ve zaman verileri veri setinden çekilmiştir. Bu veriler, düşey ekseninde zaman ve yatay ekseninde ise kısım/kesim numarası olan bir grafik üzerine belirlenen hız çizelgesine göre kontur olarak renklendirilmiştir. Oluşturulan hız kontur grafikleri, Avrupa-Anadolu ve Anadolu-Avrupa yönleri için sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’te gösterilmiştir.

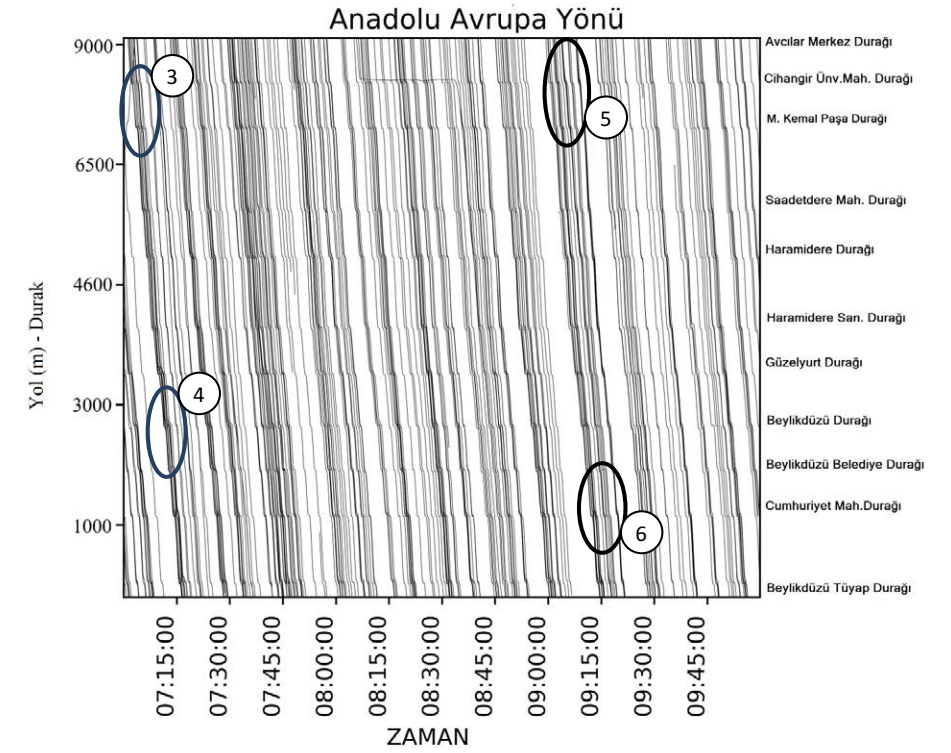
Şekil 1 ve Şekil 2 incelendiğinde, Metrobüsün Beylikdüzü-Avcılar kesiminde her iki yönde de belirgin bir darboğaz göze çarpmamakta, akış düzenli görünmektedir. Hattın Avrupa-Anadolu yönünde daha sık hizmet sunulduğu anlaşılmaktadır. Sabah saatlerinde talebin çok olduğu kesim Beylikdüzü-Avcılar yönü olması nedeniyle, ilgili yönde hizmetin sık olması beklenen bir durumdur. İki yöndeki yol-zaman grafikleri karşılaştırılırsa, takip aralıklarının Avrupa-Anadolu yönünde oldukça kısa, buna karşın Anadolu-Avrupa yönünde ise daha uzun olduğu görülmektedir.



Şekil 1 Avrupa-Anadolu yönü yol-zaman diyagramı

Şekil 2'de taşıtlar arasında demetlenmeler olduğu görülmektedir. Bu demetlenmelerin çeşitli sebepleri olabilir. Perona gelen araçların beklenenden daha uzun süre bu durakta kalması, araçlara binmeye çalışan yolcuların en öndeki aracın kapılarının önüne yığılması ve bu sebeple bu aracın peronda bekleme süresinin çok artması, dolayısıyla arkada bir araç kümesinin oluşması şeklinde açıklanabilir. Taşıtlar demetlenmelerine ilişkin bazı örnekler aşağıda açıklanmıştır.

- Şekil 2'de dikey ekseninde Avcılar Merkez Durağı ile Cihangir Üniv.Mah. Durağı arasındaki kesim 07:00 ile 07:05 zaman aralığı incelenirse (3 nolu elips), bir araç grubunun birbirini yakın takip ettiği görülmektedir. Bu araç grubu veri içerisinde takip edildiğinde, ortalama takip aralığının 16,66 saniye olduğu görülmüştür. Aynı araç grubunun 07:04-07:06 zaman aralığındaki (y=7800 m) ortalama takip aralığının 12,66 saniyeye düştüğü ve bu demetlenmenin daha kısa takip aralığıyla Beylikdüzü'ne kadar devam ettiği görülmektedir (Şekil 2'de 4 nolu elips).
- Aynı araç grubunun Haramidere San. Durağı civarında (y=4700, x=07:06-07:08) ortalama takip aralığı 10,83 saniyeye düşmüştür.
- Aynı taşıtlar grubu demetlenmesinin en sıklaştığı bölge olan Beylikdüzü Durağı civarında ise (y=2700, x=07:11-07:13) takip aralığı ortalama 5 saniye civarında belirlenmiştir (Şekil 2'de 4 nolu elips).



Şekil 2 Anadolu-Anatoliya yönü yol-zaman diyagramı

- Şekil 2'deki benzer bir demetlenmede, 09:03-09:17 arası görülen araç grubunun takip aralıkları, Avcılar Merkez Durağı'nda ortalama 10 saniye civarında başlayıp (5 nolu elips), Beylikdüzü Durağı civarında 7-8 saniyeye düşmekte (6 nolu elips) ve son durağa (Beylikdüzü Tüyap Durağı) varırken 5-6 saniyeye kadar azalmaktadır.
- Şekil 1'de ise demetlenmeler daha az görülmektedir. Takip aralıkları daha homojen, yani taşıtlar akışı daha düzenli görünmektedir. Fakat az sayıda da olsa demetlenme olan bölgelere rastlamak mümkündür. Örneğin, 07:45-08:05 civarı Beylikdüzü Tüyap Durağından hareket etmeye başlayan araç grubunun takip aralığı yaklaşık 40-45 saniye arasında iken (Şekil 1'de 1 nolu elips), Avcılar durağına yaklaştıkça takip aralığı 20-25 saniye civarına düşmektedir (Şekil 1'de 2 nolu elips). Bu durum grafiklerde de demetlenmenin artması olarak kendini göstermektedir. Aynı taşıtlar grubuyla ilişkili olarak, Şekil 3'te 07:36 ile 08:00 arası Haramidere ile Saadetdere Durakları arasında bir şok dalgası kendisini göstermektedir (Kırmızı yuvarlak içine alınmış baklava dilimine benzeyen bölge). Bu bölgenin yukarıda değinilen araç grubunun demetlenmelerin arttığı durumu temsil ettiği düşünülmektedir.

Şekil 3 ve Şekil 4'teki hız kontur grafiklerine ilişkin bazı incelemeler aşağıda sunulmuştur.



Tablo 3 ve Tablo 4'teki hız değerleri incelendiğinde, yolun geometrik özellikleri ile trafik hacimlerinin farklı olması sebebiyle, ortalama hız değerlerinin aynı kesimlerde yönlere göre farklı olduğu görülebilir. Örneğin, Avrupa-Anadolu yönünde Haramidere-Haramidere San. Durakları arasında taşıtlar rampa çıktıkları için ortalama hız 30,91 km/sa olurken, aynı kesimde Anadolu-Avrupa yönünde rampa aşağı inen taşıtların ortalama hızı 47,72 km/sa elde edilmiştir.

Tablo 3 Avrupa-Anadolu yönü için kesimlere göre temel trafik büyüklükleri

Avrupa Anadolu Yönü							
Durak Adı	Ara Meseafe(km)	Durak Adı	q(taşıtlar/saat)	u <sub>ort</sub> (km/sa)	k <sub>hesap</sub> (taşıtlar/km)	Ölçüm Saati	k <sub>ölçülen</sub> (taşıtlar/km)
Cumhuriyet Mahallesi	0.8	Beylikdüzü Belediye	110.57	41.38	2.67	08:00	3.13
Beylikdüzü Belediye	0.6	Beylikdüzü	96.76	31.60	3.06	08:15	3.00
Beylikdüzü	0.8	Güzelyurt	122.01	40.38	3.02	09:00	2.63
Güzelyurt	0.75	Haramidere	142.05	26.72	5.32	<b>Ortalama</b>	2.92
Haramidere	1	Haramidere Sanayi	103.40	30.91	3.35		
Saadetdere Mah	1.2	Mustafa Kemal Paşa	107.31	50.76	2.11		
		<b>Ortalama</b>	113.68	36.96	3.26		

Tablo 4 Anadolu-Avrupa yönü için kesimlere göre temel trafik büyüklükleri

Anadolu Avrupa Yönü							
Durak Adı	Ara Meseafe(km)	Durak Adı	q(taşıtlar/saat)	u <sub>ort</sub> (km/sa)	k <sub>hesap</sub> (taşıtlar/km)	Ölçüm Saati	k <sub>ölçülen</sub> (taşıtlar/km)
Cumhuriyet Mahallesi	0.8	Beylikdüzü Belediye	64.85	33.88	1.91	08:00	2.93
Beylikdüzü Belediye	0.6	Beylikdüzü	97.54	28.25	3.45	08:15	2.25
Beylikdüzü	0.8	Güzelyurt	98.01	32.64	3.00	09:00	2.40
Güzelyurt	0.75	Haramidere	81.39	30.20	2.69	<b>Ortalama</b>	2.53
Haramidere	1	Haramidere Sanayi	76.02	47.72	1.59		
Saadetdere Mah	1.2	Mustafa Kemal Paşa	69.03	56.67	1.22		
		<b>Ortalama</b>	81.14	38.23	2.31		

## Sonuçlar ve Öneriler

Çalışma kapsamında, GPS verileri kullanılarak yol-zaman diyagramlarının nasıl elde edilebileceği ve değerlendirilebileceği ile ilgili genel bir çerçeve çizmek amaçlanmıştır. İstanbul Metrobüs hattında yönlere göre oluşturulan yol-zaman diyagramları ile hız kontur diyagramları karşılaştırılmalı olarak incelenmiş, bazı analizler ve gözlemler yapılmıştır. Literatürde bu konuda sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Büyük ve sağlıklı veriye erişimin kısıtlı olması yanında verilerin işlenmesi ve filtrelenmesindeki zorluklar, bu konudaki araştırma sayısının sınırlı olmasının başlıca nedenleridir.

İstanbul Metrobüs koridorunun Beylikdüzü-Avcılar kesiminde hizmet veren taşıtların Avrupa-Anadolu ve Anadolu-Avrupa yönlerindeki yol-zaman yörüngeleri ile hız kontur diyagramları çizilmiştir. Taşıtların GPS kayıtları kullanılarak oluşturulan diyagramlar aracılığıyla, koridordaki mikroskobik ve makroskobik trafik büyüklükleri hesaplanmıştır. Yönlere göre yapılan incelemelerde, sabah zirve saatlerde Avrupa-Anadolu yönünde hizmet veren akımlar ve hızlar beklendiği gibi diğer yöne göre daha büyük bulunmuştur. Taşıtların demetlenmelerinin zamansal ve mekânsal gelişimi yol-zaman diyagramlarında takip edilebilmiş, taşıtların takip aralıkları ölçülebilmemiş, demetlenme etkisi, ayrıca, hız kontur diyagramlarında konumlandırılabilmiştir. Akım içinde ortaya çıkan şok dalgaları da, akımların düzenli olması sebebiyle, kısmen gözlemlenmiştir. Bir yol-zaman diyagramı olarak taşıtların yörüngeleri, ilgili yol ağındaki trafik akımlarının incelenmesi yanında, işletim verimliliğini artırıcı çeşitli önerilerin geliştirilebilmesinde de kullanılabilir. GPS verileri kullanılarak yapılabilecek çalışmalar arasında, ilgili yol kesimlerindeki darboğazların belirlenmesi ve özelliklerinin araştırılması, trafik akımları içinde ortaya çıkan şok dalgalarının saptanması, kaza ve arıza algılama

algoritmalarının geliştirilmesi ile hız/yolculuk süresi tahmin modelleri geliştirilmesi, takip aralıkları kontrolü ile demetlenmenin önlenmesi gibi çeşitli inceleme ve geliştirme çalışmaları bulunmaktadır.

## Teşekkür

Verilerin temini konusunda bizlere destek veren İETT Bilgi İşlem Daire Başkanlığına teşekkür ederiz. Çalışma kapsamında desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Muhammed Alkan ve Samet Kaya'ya teşekkürü bir borç biliriz.

## Kaynaklar

- Amita, J., Sukhvir Singh, J., & Pradeep Kumar, G. (2015). Prediction of Bus Travel Time Using Artificial Neural Network. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5(4), 410–424. [https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5\(4\).06](https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5(4).06)
- Anwar, A., Zeng, W., & Arisona, S. (2013). The Time Space Diagram Revisited. *TRB Contribution*.
- Çetinel, Y. (2017). *Analysis of Traffic Network Near Bus Stops Using Bus GPS Data*. 105.
- Choudhary, R., Khamparia, A., & Gahier, A. K. (2017). Real time prediction of bus arrival time: A review. *Proceedings on 2016 2nd International Conference on Next Generation Computing Technologies, NGCT 2016*, (October), 25–29. <https://doi.org/10.1109/NGCT.2016.7877384>
- Daganzo, C. F., & Pilachowski, J. (2011). Reducing bunching with bus-to-bus cooperation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(1), 267–277. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2010.06.005>
- Daniel L. Gerlough, & Matthew J. Huber. (1975). *Traffic Flow Theory*. *TRB Special Report 165*. Retrieved from <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr165/165.pdf>
- Fan, W., & Gurmu, Z. (2016). Dynamic Travel Time Prediction Models for Buses Using Only GPS Data. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 4(4), 353–366. [https://doi.org/10.1016/s2046-0430\(16\)30168-x](https://doi.org/10.1016/s2046-0430(16)30168-x)
- Li, F., Yang, D., & Ma, K. (2013). Bus Rapid Transit (BRT) Bunching Analysis with Massive GPS Data. *ICTE 2013*, (2011), 959–965. <https://doi.org/10.1061/9780784413159.141>
- Özuysal M., Deri A., Kalpakçı A., Çalışkanlı P., (2015) Toplu Ulaşım Talebi Analizinde Akıllı Kart Verilerinden Yararlanılması, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, Bildiriler Kitabı, s.425-436, ISBN:978-605-01-0722-7, Mayıs, İstanbul.
- Sun, D., Luo, H., Fu, L., Liu, W., Liao, X., & Zhao, M. (2008). Predicting Bus Arrival Time on the Basis of Global Positioning System Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2034(1), 62–72. <https://doi.org/10.3141/2034-08>
- Wei, C., Iryo, T., & Asakura, Y. (2009). Implementation of Short-Term Travel Time Prediction Model on Urban Expressway. *International Journal of ITS Research*, 7(2), 101–108.
- Zorer, A. (2003). *Katılım Kontrolü Simülasyonu: Boğaziçi Köprüsü ve Çevreyolunda(O-1) Bir Uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

## Kentiçi Ana Toplu Taşıma Sistemlerinin Kümeleme Analizi Yöntemiyle İncelenmesi: Erzurum Örneği

### Ahmet ATALAY

Atatürk Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
25100 Yakutiye/ERZURUM  
Tel:(533)818 50 16  
E-Posta: ahatalay@atauni.edu.tr

### Ömer Faruk BİRCİK

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı  
Erzurum İl Müdürlüğü  
Yapım İşleri Şube Müdürlüğü  
25100 Yakutiye/ERZURUM  
Tel:(531) 893 73 95  
E-Posta: omerfaruk.bircik@gmail.com

### Öz

Sürekli büyüme eğilimi gösteren kent merkezlerinde; artan taşıt sayılarının ulaşım alt yapısının yetersiz bırakması, enerjide dışa bağımlılık ve artan çevre bilinci gibi nedenler kent yöneticileri çözüm arayışlarına yönlendirmiştir. Bu durumda toplu taşıma sistemlerini optimize edilerek verimliliğinin artırılması için çözümler araştırılmaktadır. Bu çalışmada Erzurum kent içinde 33 farklı güzergâhta çalışan ana toplu taşıma hatları (TTH)'nın verimliliklerinin belirlenmesi ve verimliliği artırmak için çözüm önerileri sunulması amaçlanmaktadır.

Çalışmada, TTH'nın hafta içi ve hafta sonu kapasite kullanım oranları kullanılarak hiyerarşik olmayan kümeleme analizi yöntemi ile hatlar kümelerine ayrılmıştır. Analiz sonucu oluşturulan kümeler düşük, orta ve yüksek olmak üzere adlandırılmıştır. Orta kümede yer alan hatların verimliliklerinin ideale yakın olduğu, düşük kümede yer alan hatların kapasitelerinin çok altında, yüksek kümede yer alan hatların da kapasitelerinin üzerinde yolcuya hizmet verdikleri belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda düşük kümede yer alan hatlar ile yüksek kümede yer alan hatlar için çözüm öneri sunulmaktadır. Sunulan çözüm önerileri ile hatların verimlilikleri artırılarak sorunlu olan TTH'nın konfor, ekonomi ve hız yönünden daha iyi duruma gelecektir.

**Anahtar sözcükler:** Kentiçi toplu taşıma, optimum verimlilik, kapasite kullanım oranı, hiyerarşik olmayan kümeleme analizi.

### Giriş

Sürekli büyüme eğilimi gösteren kent merkezlerinde kişisel araç sahipliği sürekli artmaktadır. Bu durum karşısında kent yöneticileri 1980'li yıllara kadar "sınırsız talep artışına sınırsız arz" ilkesinin benimseyerek sürekli artan talebi yeni yollar, şeritler ve

köprüler inşa ederek karşılamaya çalışmışlarsa da bir süre sonra talep artışından dolayı tıkanıklıkların yeniden baş gösterdiği birçok defa görülmüştür(Hatipoğlu ve Öztürk, 2012). Bu durum ülkesel ve özellikle kentsel bazda ulaşımın yapısında ekonomik verimsizlik, kazalarda artış ve çevresel kirlenme gibi toplumun bütün kesimlerini etkileyen olumsuzluklar yaratmaktadır(Elker, 2012).

Kent içi toplu taşımacılık sistemleri, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin hemen hemen tamamında pek çok farklı sorunla karşı karşıya kalmaktadır. Bunların başında teknik uzman ve personel yetersizliği, toplu taşıma planlamasıyla ilgili bilgi eksikliği ve var olan toplu taşıma sistemlerinin iyileştirilememesi gelmektedir(Ceylan vd.,2007). Gelişmekte olan kentlerde kişisel araç kullanımı ile artan trafik tıkanıklığının önüne geçmek ve sürdürülebilir bir toplu taşıma sistemi tesis edebilmek için öncelikle uygun bir kanuni çerçevenin çizilmeli ve toplu taşıma kullanıcıları ile servis sağlayıcıları arasında iletişim ve koordinasyonun sağlanması gerekmektedir(Sohail vd., 2005).

Aksi taktirde tesis edilen toplu taşıma sistemleri, kullanıcılar tarafından daha az tercih edilen, düşük kaliteli ve güvenilir olmayan toplu taşıma sistemleri olacaktır. Benzer şekilde işletmeciler açısından da zarar eden ve sürekli maliyet gerektiren bir yapı söz konusu olacağı açıktır. Bu durum karşısında kent yöneticilerinin kentlerde toplu taşıma yatırımları yapmadan önce, uzmanlar eliyle planlı bir şekilde mevcut toplu taşıma sistemlerini iyileştirerek optimum verimlilikte çalışmalarını öncelemelidirler. Mevcut toplu taşıma sisteminin yetersiz kaldığı anlaşılması halinde ise yeni yatırımlara karar verilmeli ve bu yatırımların saha ve hane halkı anketleri ile yerleşim yerlerindeki nüfus yoğunlukları, öğrenci profili ve sayısı, istihdam alanları gibi ulaşım talep ve arzını doğrudan etkileyen faktörlerin hassasiyetle belirlenerek bu veriler ışığında planlı, esnek, güvenilir ve verimli bir kent içi toplu taşıma ağı tasarlanması gerekmektedir(Bircik, 2019).

Bu çalışmada, Erzurum'da kent içi mevcut ana toplu taşıma sistemi dört senaryo altında irdelenecektir. Kent içi ana toplu taşıma sistemini oluşturan 33 adet hat birinci senaryoda hafta içi kapasite kullanım oranları (KKO), ikinci senaryoda hafta sonu KKO, üçüncü senaryoda hafta içi sabah zirve saatte KKO ve dördüncü senaryoda akşam zirve saatte KKO, SPSS yazılımı kullanılarak kümeleme analizi yöntemiyle düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç farklı kümeye dağıtılacaktır. Orta kümede yer alan hatların kullanılabilir, düşük ve yüksek kümede yer alan hatlar ise müdahale edilerek iyileştirilmesi gereken hatlar olacaktır.

### Verilerin Elde Edilmesi

Çalışma kapsamında, 33 adet kent içi toplu taşıma hattına ait güzergâh uzunlukları, taşınan yolcu sayıları, araç sayıları ve kapasiteleri Erzurum Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Daire Başkanlığı ve Kardelen Kart Koordinasyon Başkanlığından temin edilmiştir. Kent içi ana toplu taşıma sisteminde oturan ve ayakta yolcu toplamı olarak sırasıyla 58 ve 100 kişi kapasiteli iki farklı taşıt kullanılmaktadır. Hatların kapasiteleri, her bir hatta çalışan araç sayılarının o hattaki sefer sayısı ile çarpılmasıyla belirlenmiştir.

$$\text{Hattın kapasitesi} = (58 \times n) + (100 \times m)$$

$n$  : 58 kişi kapasiteli taşıtın sefer sayısı

$m$  : 100 kişi kapasiteli taşıtın sefer sayısı

Ayrıca her bir hattın kapasite kullanım oranları, hafta içi ve hafta sonu ortalama taşınan yolcu sayılarının yine hafta içi ve hafta sonu hat kapasitelerine oranlanarak hesaplanmaktadır(Önder,2011). Bu veriler her iki senaryoda kullanılabilir şekilde Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir(Bircik,2019).

Tablo 1 Hatlara Ait Hafta İçi Veriler.

Hatlar	Uzunlukları (km)	Hafta İçi Ortalama Yolcu Sayısı	Hafta İçi Kapasitesi	Hat	Hafta İçi KKO
B1	46.4	6774	8300		81.61%
B2/A	42.7	1339	1798		74.47%
B2	31.5	6288	8560		73.46%
B3	30.8	7270	8376		86.80%
B4	50.1	98	1600		6.10%
B5	47.5	370	700		52.87%
B6	45.9	2874	3300		87.09%
B7	50.3	4410	4500		98.00%
B8	28.2	2263	5500		41.15%
D1	35.3	1350	1856		72.74%
G1	19.4	9340	9976		93.62%
G2	27.2	497	2500		19.89%
G3	26.3	8146	8392		97.07%
G4	44.5	5489	4002		137.15%
G4/A	67.2	2484	3100		80.12%
G5	21.6	4342	7304		59.45%
G6	33.0	1660	2552		65.05%
G7	20.8	3600	7192		50.05%
G7/A	19.6	2174	3538		61.43%
G8	32.2	923	1740		53.05%
G9	28.9	13445	10658		126.15%
G10	27.2	2935	3248		90.36%
K1	25.4	1638	2792		58.66%
K2	31.2	8245	6032		136.69%
K3	41.7	5370	4764		112.72%
K4	36.3	2628	5200		50.54%
K5	28.5	590	1218		48.41%
K6	29.3	740	1334		55.48%
K7	46.7	3605	4100		87.93%
K7/A	42.0	2425	3600		67.35%
K8	53.7	1051	1500		70.08%
K9	20.1	495	870		56.91%
K10	30.3	1984	3538		56.09%

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

Hatların hafta içi ve hafta sonu güzergâh uzunlukları değişmemektedir. Ancak hatlarda çalışan araç sayıları farklılık gösterdiğinden, hafta içi ve hafta sonu hat kapasiteleri değişmektedir.

Tablo 2 Hatlara Ait Hafta Sonu Verileri.

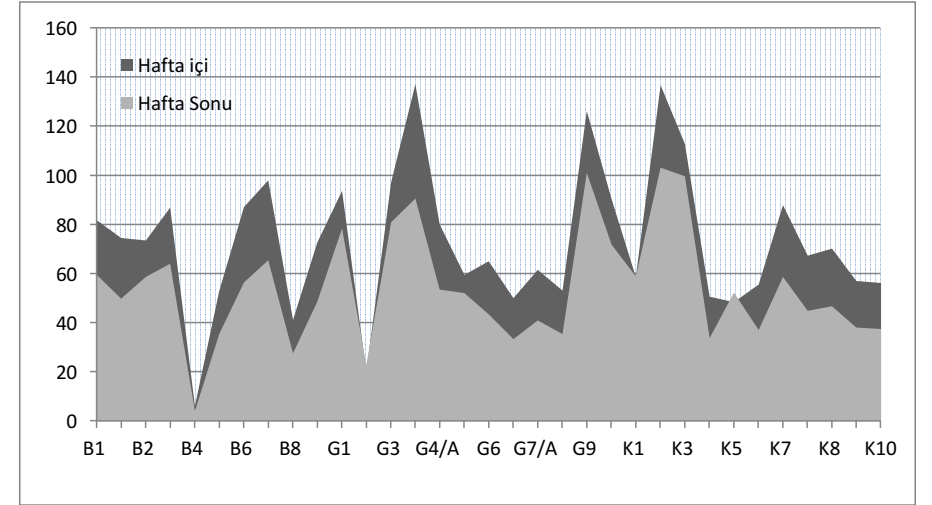
Hatlar	Uzunlukları (km)	Hafta Sonu Ortalama Yolcu Sayısı	Hafta Sonu Hat Kapasitesi	Hafta Sonu KKO
B1	46.4	4522	7600	59.50%
B2/A	42.7	894	1798	49.71%
B2	31.5	4197	7146	58.74%
B3	30.8	4853	7582	64.01%
B4	50.1	65	1600	4.07%
B5	47.5	247	700	35.29%
B6	45.9	1918	3400	56.43%
B7	50.3	2944	4500	65.42%
B8	28.2	1511	5500	27.47%
D1	35.3	901	1856	48.56%
G1	19.4	6235	7946	78.46%
G2	27.2	332	1450	22.89%
G3	26.3	5438	6728	80.82%
G4	44.5	3664	4046	90.56%
G4/A	67.2	1658	3100	53.48%
G5	21.6	2898	5568	52.06%
G6	33.0	1108	2552	43.43%
G7	20.8	2403	7192	33.41%
G7/A	19.6	1451	3538	41.01%
G8	32.2	616	1740	35.41%
G9	28.9	8975	8874	101.14%
G10	27.2	1959	2726	71.87%
K1	25.4	1093	1856	58.91%
K2	31.2	5504	5336	103.14%
K3	41.7	3585	3596	99.68%
K4	36.3	1754	5200	33.74%
K5	28.5	394	754	52.20%
K6	29.3	494	1334	37.03%
K7	46.7	2406	4100	58.69%
K7/A	42.0	1619	3600	44.96%
K8	53.7	702	1500	46.78%
K9	20.1	330	870	37.99%
K10	30.3	1325	3538	37.44%

Tablolarda da görüldüğü üzere, hafta içi ve hafta sonu kapasite kullanım oranları çokça değişkenlik göstermektedir. Afaki derecede düşük olan B4 hattı dışındaki diğer hatlarda, hafta içi KKO %41,15 ile %137,15 arasında, hafta sonu KKO ise %22,89 ile %103,14 arasında olduğu görülmektedir.

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

Ayrıca hafta içi ve hafta sonu KKO karşılaştırıldığında, hafta sonu KKO'nun K5 hattı hariç diğer tüm hatlarda hafta içi KKO'ya göre ciddi bir şekilde azaldığı Şekil 1'de anlaşılmaktadır.



Şekil 1 Hafta İçi ve Hafta Sonu KKO.

Hatlarda hafta içi sabah (07:20 – 08:20) ve akşam (15:30 - 16:30) zirve saatlerde taşınan yolcu sayıları yine bu saatlerdeki hat kapasitelerine oranlanarak zirve saat KKO belirlenerek Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3 Hatlara Ait Hafta İçi Zirve Saat Verileri.

Hatlar	Sabah Zirve Saat KKO	Akşam Zirve Saat KKO
B1	61.43%	97.00%
B2/A	81.03%	103.45%
B2	53.78%	60.98%
B3	54.00%	65.45%
B4	0.00%	0.00%
B5	10.00%	62.00%
B6	100.50%	110.00%
B7	73.00%	72.00%
B8	50.75%	91.25%
D1	76.72%	127.59%
G1	105.69%	144.96%
G2	12.03%	43.67%
G3	58.14%	132.86%
G4	106.21%	143.68%
G4/A	37.67%	25.67%
G5	60.95%	54.22%
G6	62.07%	68.97%
G7	85.22%	97.04%
G7/A	56.90%	139.66%

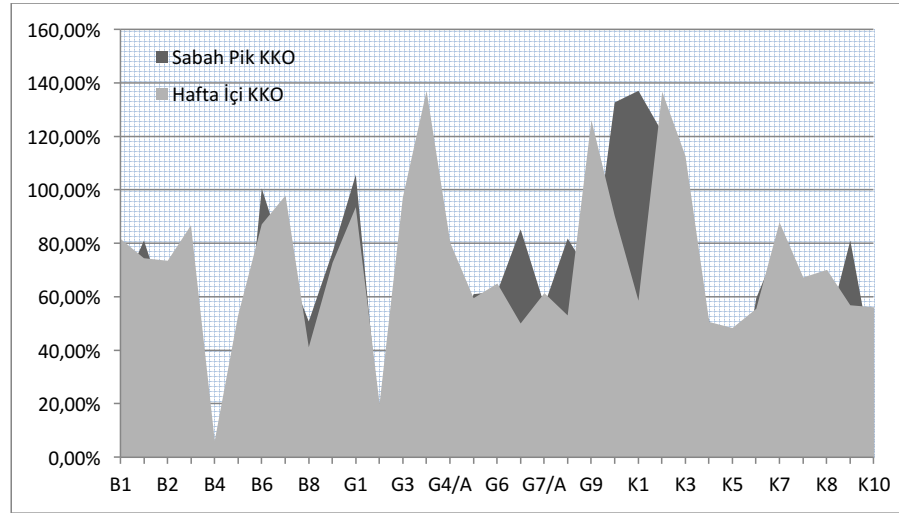


### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

G8	81.90%	0.00%
G9	67.37%	142.04%
G10	132.76%	132.76%
K1	137.07%	136.21%
K2	121.55%	142.72%
K3	75.86%	55.91%
K4	51.00%	133.33%
K5	6.90%	67.24%
K6	59.48%	37.07%
K7	80.67%	106.33%
K7/A	66.67%	57.67%
K8	47.00%	43.50%
K9	81.03%	86.21%
K10	32.76%	69.40%

Tablo 1’de sunulan hafta içi ortalama KKO ile Tablo 3’te sunulan hafta içi sabah ve akşam zirve saat KKO değerleri incelendiğinde, hatların büyük çoğunluğunda akşam zirve saatte KKO’nun sabah zirve saat KKO’dan büyük olduğu görülecektir. Ayrıca bazı hatlarda hafta içi ortalama KKO’nun sabah zirve saat KKO değerinden büyük olduğu göze çarpmaktadır. Hafta içi KKO ile sabah ve akşam zirve saat KKO değerleri Şekil 2 ve Şekil 3’te görülmektedir.

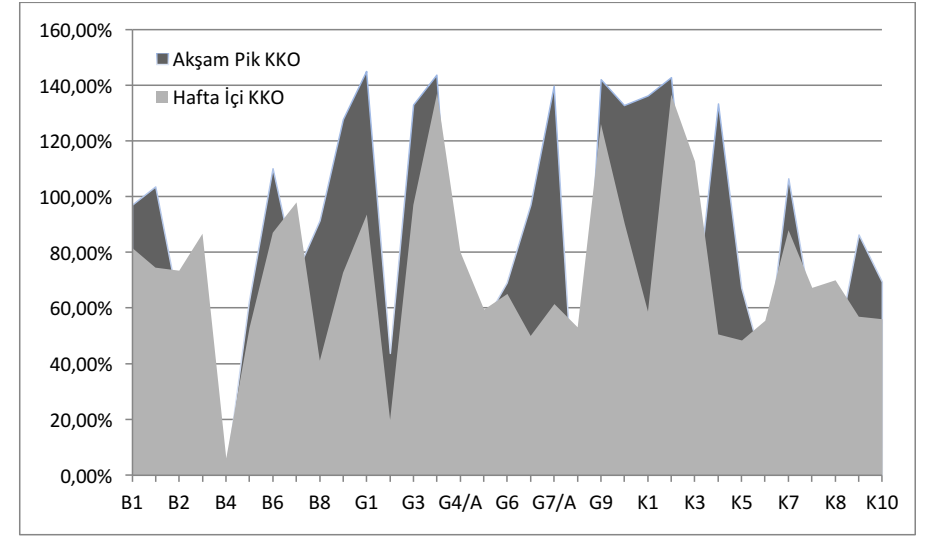


Şekil 2 Hafta İçi ve Sabah Zirve Saat KKO.

Şekil 2’de hatların büyük çoğunluğunda sabah zirve saat KKO, günlük ortalama KKO değerinin altında kalmaktadır. Burada sabah zirve saatte taşınan yolcu sayısının düşük olmasından öte araç frekanslarının gün içerisinde nispeten daha düşük olması ve hat kapasitelerinin yüksek olmasının etkili olması muhtemeldir.

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi



Şekil 3 Hafta İçi ve Akşam Zirve Saat KKO.

Şekil 3’de ise hatların büyük çoğunluğunda akşam zirve saat KKO’nun, günlük ortalama KKO değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Bunda akşam zirve saatte taşınan yolcu sayısı, sabah zirve saatte taşınan yolcu sayısından daha fazla olması ve araç frekanslarının sabah zirve saat araç frekansı kadar yüksek olmayıp gün içi frekans değerine yakın olması akşam zirve saat KKO’nun yüksek olmasında önemli etken olmuştur.

## Yöntem

Belirlenen hafta içi, hafta sonu ortalama, sabah ve akşam zirve saat KKO verileri, istatistiksel analiz yöntemlerinden olan hiyerarşik olmayan kümeleme analizi yöntemi ile IBM SPSS Statistics Version 20 programı kullanılarak incelenecektir. Hatlar dört farklı senaryo altında düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç ayrı kümede dağıtılarak optimal verimlilikle çalışmayan hatlar belirlenecektir.

## Kümeleme Analizi

Kümeleme analizi, nispeten heterojen olan farklı gruplardaki gözlem yapılarını gruplamaya olanak sağlayan ya da nispeten homojen olan grup, küme ve veri setlerinin gözlem sonuçlarını tek parça olarak birleştirmek için kullanılan bir yöntemdir. Sıkça kullanılan diğer çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden farklı olarak normallik, doğrusallık ve homojenlik varsayımları kümeleme analizi yönteminde prensipte kalmakta ve uzaklık değerlerinin normalliği yeterli görülmektedir (Atalay, 2010).

Analizin ana amacı, benzer değişkenleri sahip oldukları karakteristiklere göre görece homojen gruplara toplamak ve gruplar arası heterojenliği maksimize etmektir.

Kümelerin geometrik gösteriminde kümeleme başarılı ise küme içindeki elemanların birbirine yakın olduğu, kümelerin ise birbirine görece uzak yerleştiği görülecektir.

Çalışmada, kümeleme analizinin alt çeşitlerinden olan hiyerarşik olmayan kümeleme analizi yöntemi kullanılacaktır. Bu yöntemi, kümeleme analizinin diğer çeşitlerinden ayıran en önemli yönü küme sayısının kullanıcının belirliyor olmasıdır. Çalışma dâhilinde düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç farklı küme belirlenecektir.

Analiz sonucunda SPSS yazılımı, sonuç küme merkezleri, sonuç küme merkezleri arasındaki mesafe ve her bir kümeye ait hatların yer aldığı küme eleman sayısı tabloları oluşturulacaktır. Sonuç küme merkezleri tablosundan, küme ağırlıkları sonucu yorumlanır ve kümeler düşük-orta-yüksek olarak belirlenir. Sonuç küme merkezleri arasındaki mesafe tablosu da bize, kümelerin kendi aralarında birbirlerine benzeme oranları hakkında fikir verir. En son oluşturulacak olan küme eleman sayısı tabloları, hangi hattın hangi kümede yer aldığını belirler.

## Bulgular

### Birinci Senaryo

Hat numaraları ve Hafta İçi KKO oranları kullanılarak yapılan hiyerarşik olmayan kümeleme analizinde aşağıda verilen bulgular saptanmıştır.

#### Sonuç Küme Merkezleri

Küme sayısı bu çalışmada üç küme olarak belirlenmiştir. Bu kümeler itibariyle kümeleme merkezindeki değerler her kümenin o değişken itibariyle merkezini göstermektedir.

Tablo 3 Sonuç Küme Merkezleri.

	Kümeler		
	1	2	3
H İ KKO	0.22	1.28	0.70

Bu tablo(Tablo 3), Hafta İçi KKO değişkeninin üç kümedeki ortalamalarını verir. Burada hafta içi KKO'nın en yüksek olduğu hatlar 2 numaralı kümede, en düşük olduğu hatlar 1 numaralı kümede toplanmıştır. Buradan 1 numaralı kümede toplanan hatların KKO'nın en düşük seviyede olduğu, 2 numaralı kümede yer alan hatların KKO'nın ise en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Böylece küme1-düşük, küme3-orta ve küme2-yüksek olarak adlandırılacaktır.

#### Sonuç Küme Merkezleri Arasındaki Mesafe

Kümeleme analizinde benzerliklerin ölçümünde özellikle şu üç yöntem önemli bir yer tutmaktadır: Korelasyon ölçümleri, uzaklık ölçümleri ve ortaklık ölçümleridir. Yöntemlerin her biri, veri tiplerine, amaçlara bağlı olarak benzerliğin özel yönünü göstermektedir. Benzerlik/uzaklık ölçümü için ya kategorik verilerden ya da metrik

verilerden yararlanılır. Korelasyon ve uzaklık ölçümlerinde metrik verilere gereksinim duyulurken ortaklık ölçümü için kategorik(metrik olmayan) verilere ihtiyaç vardır. Yüksek korelasyon benzerliğin var olduğunu, düşük korelasyon ise benzerliğin olmadığını göstermektedir. Benzerliğin uzaklık ölçümü kümeleme değişkenleri içindeki değişkenlere yönelik gözlemlerin birbirlerine olan yakınlığı benzerliği göstermektedir. Öklit uzaklığı iki boyutta koordinatları sırasıyla  $(X_1, Y_1)$  ve  $(X_2, Y_2)$  olan iki nokta olduğu varsayılır. Noktalar arasındaki Öklit uzaklığı, gerçek bir üçgenin hipotenüs uzunluğudur. Bu çalışmada kullanılan veriler metrik, uzaklık ölçümü olarak Öklit uzaklığı kullanılmıştır.

Tablo 4 Sonuç Küme Merkezleri Arasındaki Mesafe.

Küme	1	2	3
1		1.059	0.497
2	1.059		0.580
3	0.497	0.580	

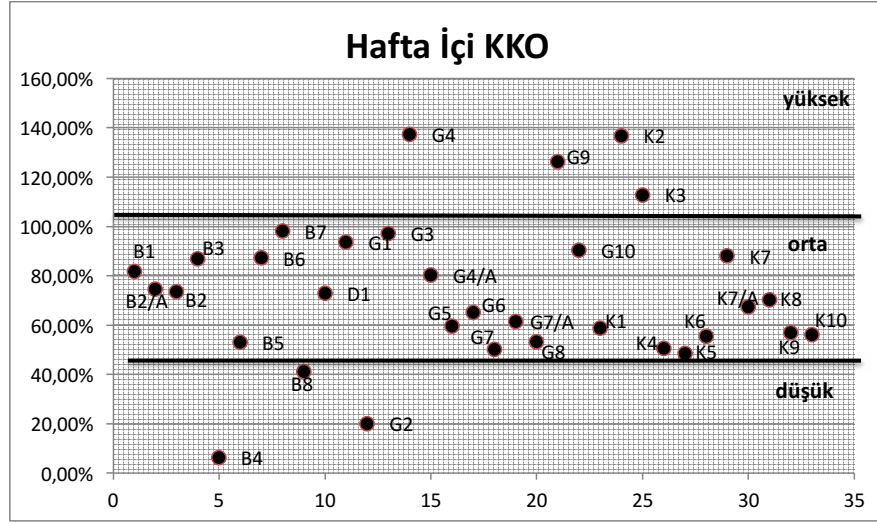
Bu tabloda (Tablo 4) en çok 1. kümeyle 3. kümenin yakın olduğu ve en çok da 1. kümeyle 2. kümenin birbirinde uzak olduğunu anlaşılmaktadır. İki küme arasındaki mesafe değeri ne kadar küçük olursa bu iki küme birbirlerine diğerlerine oranla yakın ve benzerdir. Uzaklık değeri arttıkça benzerlik oranı azalmaktadır. Buradan 3. küme 1. ve 2. kümenin arasında yer aldığı anlaşılmakta ve sonuç küme merkezlerinde kümelerin 1. küme(düşük)-3.küme(orta)- 2.küme(yüksek) sıralamasının doğruluğunu ve anlamlılığını teyit etmektedir.

#### Küme Eleman Sayıları

Tablo 5 Küme Eleman Sayıları.

Kümeler	Küme eleman sayısı	Kümelerdeki hatlar
1 (düşük)	3	B4, B8, G2
2 (yüksek)	4	G4, G9, K2, K3
3 (orta)	26	B1, B2/A, B2, B3, B5, B6, B7, D1, G1, G3, G4/A, G5, G6, G7, G7/A, G8, G10, K1, K4, K5, K6, K7, K7/A, K8, K9, K10
Toplam	33	

Bu tabloda (Tablo 5), her bir kümenin eleman sayısı ve hangi hattın hangi kümede yer aldığı görülmektedir. Hafta içi KKO değerlerine göre 3 adet hattın (B4, B8 ve G2) çok düşük seviyede, 4 adet hattın ise (G4, G9, K2 ve K3) ise çok yüksek seviyede olduğu ve bu hatların iyileştirilmesi gerektiği belirlenmiştir.



Şekil 4 Hat No- Hafta İçi KKO Nokta Dağılım Grafiği.

**İkinci Senaryo**

Hat numaraları ve Hafta Sonu KKO oranları kullanılarak yapılan hiyerarşik olmayan kümeleme analizinde aşağıda verilen bulgular saptanmıştır.

**Sonuç Küme Merkezleri**

Tablo 6 Sonuç Küme Merkezleri.

H S KKO	Küme		
	1	2	3
	0.31	0.54	0.89

Bu tablo (Tablo 6), Hafta Sonu KKO değişkeninin üç kümedeki ortalamalarını verir. Burada hafta sonu KKO'nun en yüksek olduğu hatlar 3 numaralı kümede, en düşük olduğu hatlar 1 numaralı kümede toplanmıştır. Buradan 1 numaralı kümede toplanan hatların KKO'nun en düşük seviyede olduğu, 3 numaralı kümede yer alan hatların KKO'nun ise en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Böylece küme1-düşük, küme2-orta ve küme3-yüksek olarak adlandırılacaktır.

**Sonuç Küme Merkezleri Arasındaki Mesafe**

Tablo 7 Sonuç Küme Merkezleri Arasındaki Mesafe.

Küme	1	2	3
1		0.229	0.582
2	0.229		0.353

3	0.582	0.353	
---	-------	-------	--

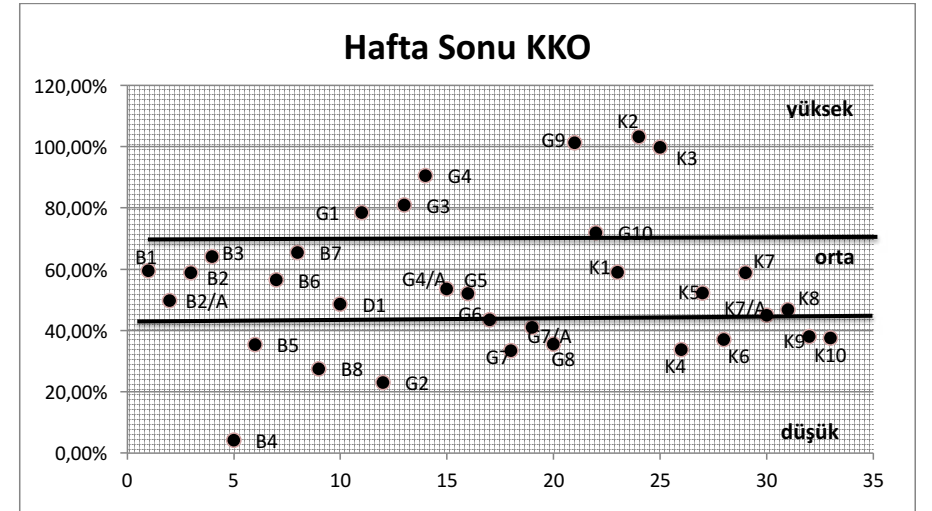
Bu tabloda (Tablo 7) en çok 1. kümeyle 2. kümenin yakın olduğu ve en çok da 1. kümeyle 3. kümenin birbirinde uzak olduğunu anlaşılmaktadır. Buradan 2. küme 1. ve 3. kümenin arasında yer aldığı anlaşılmakta ve sonuç küme merkezlerinde kümelerin 1. küme(düşük)-2.küme(orta)- 3.küme(yüksek) sıralamasının doğruluğunu ve anlamlılığını teyit etmektedir.

**Küme Eleman Sayıları**

Tablo 8 Küme Eleman Sayıları.

Küme	Küme eleman sayısı	Kümelerdeki hatlar
1(düşük)	11	B4, B5, B8, G2, G7, G7/A, G8, K4, K6, K9, K10
2(orta)	15	B1, B2/A, B2, B3, B6, B7, D1, G4/A, G5, G6, K1, K5, K7, K7/A, K8,
3(yüksek)	7	G1, G3, G4, G9, G10, K2, K3
Toplam	33	

Bu tabloda(Tablo 8), her bir kümenin eleman sayısı ve hangi hattın hangi kümede yer aldığı görülmektedir. Hafta sonu KKO değerlerine göre 11 adet hattın çok düşük seviyede, 7 adet hattın ise çok yüksek seviyede olduğu ve bu hatların iyileştirilmesi gerektiği belirlenmiştir.



Şekil 5 Hat No- Hafta Sonu KKO Nokta Dağılım Grafiği.

## Üçüncü Senaryo

Hat numaraları ve Hafta İçi Sabah Zirve Saat KKO kullanılarak yapılan hiyerarşik olmayan kümeleme analizinde aşağıda verilen bulgular saptanmıştır.

## Sonuç Küme Merkezleri

Tablo 9 Sonuç Küme Merkezleri.

	Küme		
	1	2	3
Sabah Pik KKO	65.95	117.30	16.56

Bu tablo (Tablo 9), Hafta İçi Sabah Zirve Saat KKO değişkeninin üç kümedeki ortalamalarını verir. Burada hafta sonu KKO'nun en yüksek olduğu hatlar 2 numaralı kümede, en düşük olduğu hatlar 3 numaralı kümede toplanmıştır. Buradan 3 numaralı kümede toplanan hatların sabah zirve saat KKO'nun en düşük seviyede olduğu, 2 numaralı kümede yer alan hatların sabah zirve saat KKO'nun ise en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Böylece küme1-orta, küme2-yüksek ve küme3-düşük olarak adlandırılacaktır.

## Sonuç Küme Merkezleri Arasındaki Mesafe

Tablo 10 Sonuç Küme Merkezleri Arasındaki Mesafe.

Küme	1	2	3
1		51.346	49.391
2	51.346		100.737
3	49.391	100.737	

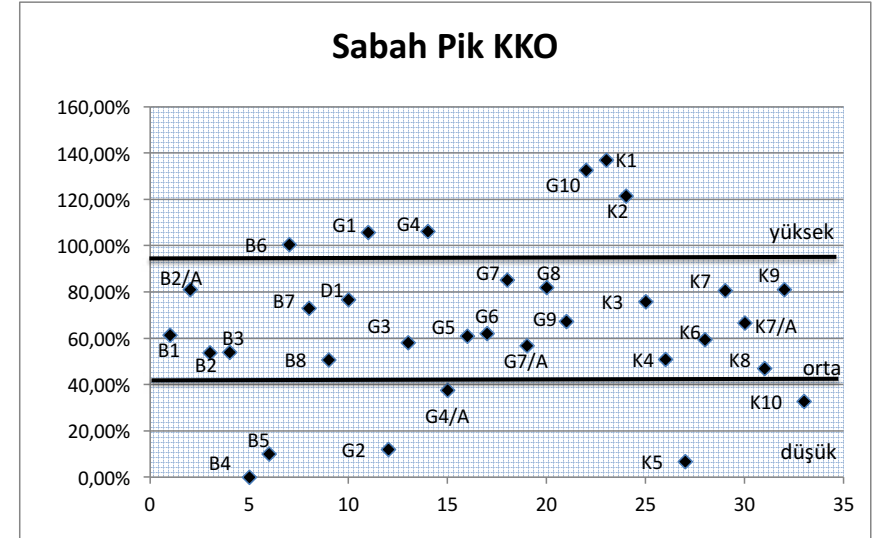
Bu tabloda (Tablo 10) en çok 1. kümeyle 3. kümenin yakın olduğu ve en çok da 2. kümeyle 3. kümenin birbirinde uzak olduğunu anlaşılmaktadır. Buradan 1. küme 2. ve 3. kümenin arasında yer aldığı anlaşılmakta ve sonuç küme merkezlerinde kümelerin 1. küme(orta)-2.küme(yüksek)-3.küme(düşük) sıralamasının doğruluğunu ve anlamlılığını teyit etmektedir.

## Küme Eleman Sayıları

Tablo 11 Küme Eleman Sayıları.

Küme	Küme eleman sayısı	Kümelerdeki hatlar
1(orta)	21	B1, B2/A, B2, B3, B7, B8, D1, G3, G5, G6, G7, G7/A, G8, G9, K3, K4, K6, K7, K7/A, K8, K9
2(yüksek)	6	B6, G1, G4, G10, K1, K2
3(düşük)	6	B4, B5, G2, G4/A, K5, K10
Toplam	33	

Bu tabloda (Tablo 11), her bir kümenin eleman sayısı ve hangi hattın hangi kümede yer aldığı görülmektedir. Hafta sonu KKO değerlerine göre 6 adet hattın çok düşük seviyede, 6 adet hattın ise çok yüksek seviyede olduğu ve bu hatların iyileştirilmesi gerektiği belirlenmiştir.



Şekil 6 Hat No- Hafta İçi Sabah Zirve Saat KKO Nokta Dağılım Grafiği.

## Dördüncü Senaryo

Hat numaraları ve Hafta İçi Akşam Zirve Saat KKO kullanılarak yapılan hiyerarşik olmayan kümeleme analizinde aşağıda verilen bulgular saptanmıştır.

## Sonuç Küme Merkezleri

Tablo 12 Sonuç Küme Merkezleri.

	Küme		
	1	2	3
Akşam Pik KKO	15.69	130.43	68.28

Bu tablo (Tablo 12), hafta içi akşam zirve saat KKO değişkeninin üç kümedeki ortalamalarını verir. Burada hafta sonu KKO'nun en yüksek olduğu hatlar 2 numaralı kümede, en düşük olduğu hatlar 1 numaralı kümede toplanmıştır. Buradan 1 numaralı kümede toplanan hatların KKO'nun en düşük seviyede olduğu, 2 numaralı kümede yer alan hatların KKO'nun ise en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Böylece küme1-düşük, küme2-yüksek ve küme3-orta olarak adlandırılacaktır.

## Sonuç Küme Merkezleri Arasındaki Mesafe

Tablo 13 Sonuç Küme Merkezleri Arasındaki Mesafe.

Küme	1	2	3
1		114.745	52.597
2	114.745		62.148
3	52.597	62.148	

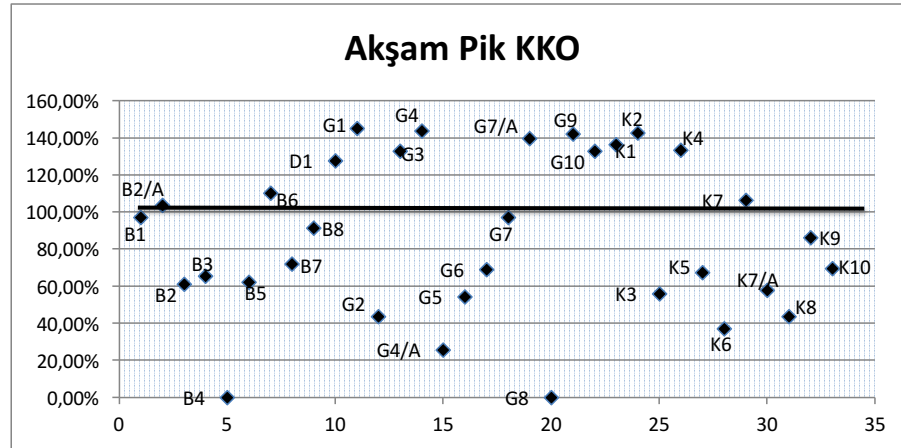
Bu tabloda (Tablo 13) en çok 1. kümeyle 3. kümenin yakın olduğu ve en çok da 1. kümeyle 2. kümenin birbirinde uzak olduğunu anlaşılmaktadır. Buradan 3. küme 1. ve 2. kümenin arasında yer aldığı anlaşılmakta ve sonuç küme merkezlerinde kümelerin 1. küme(düşük)-2.küme(yüksek)-3.küme(orta) sıralamasının doğruluğunu ve anlamlılığını teyit etmektedir.

## Küme Eleman Sayıları

Tablo 14 Küme Eleman Sayıları.

Küme	Küme eleman sayısı	Kümelerdeki hatlar
1(düşük)	4	B4, G4/A, G8, K6
2(yüksek)	13	B2/A, B6, D1, G1, G3, G4, G7/A, G9, G10, K1, K2, K4, K7
3(orta)	16	B1, B2, B3, B5, B7, B8, G2, G5, G6, G7, K3, K5, K7/A, K8, K9, K10
Toplam	33	

Bu tabloda(Tablo 14), hafta içi akşam zirve saat KKO değerlerine göre 4 adet hattın çok düşük seviyede, 13 adet hattın ise çok yüksek seviyede olduğu ve bu hatların iyileştirilmesi gerektiği belirlenmiştir.



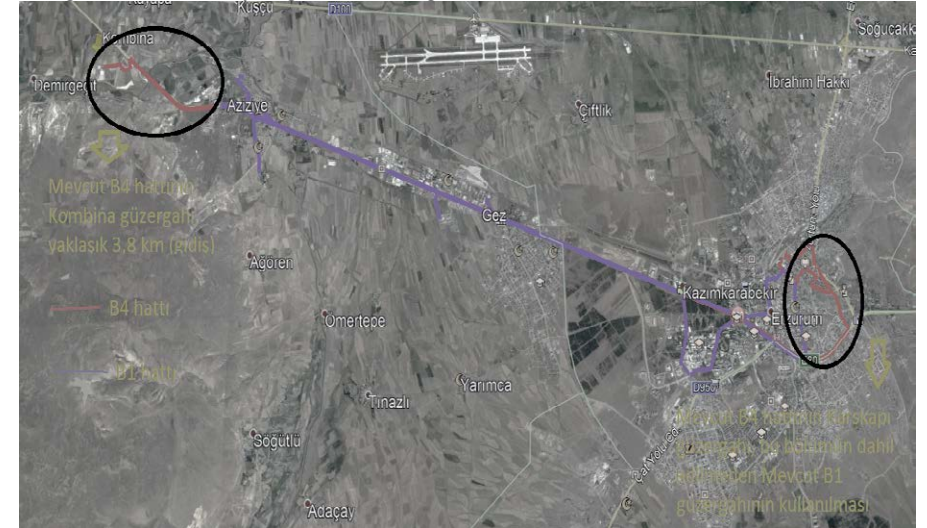
Şekil 7 Hat No- Hafta İçi Akşam Zirve Saat KKO Nokta Dağılım Grafiği.

## İyileştirme Önerileri

Yapılan iki senaryo analiz sonucunda her bir hattın hafta içi ve hafta sonu kapasite kullanım oranları arasındaki ilişkiye göre düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç kümedeki dağılımları belirlenmiştir.

G4, G9, K2 ve K3 hattının yapılan iki senaryoda da yüksek kümesinde, B4, B8 ve G2 hatlarının da düşük kümesinde yer alması görülen ilk çarpıcı sonuçlardır. Düşük ve yüksek kümede yer alan hatların iyileştirilmesi için, KKO ve güzergâh uzunlukları da göz önüne alınarak bazı hatların birleştirilerek tek bir hat oluşturulması, bazı hatların da araç kapasiteleri ve sayılarının yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

Kapasite kullanım oranı en düşük hat olan B4, İstasyon sevk ve idare merkezinden harekete başlayıp şehrin batı yakasına doğru hareket etmektedir. Önemli bir yerleşim yeri olan Dadaşkent'e uğramadan Ilıca üzerinden son durağı olan Kombina'ya varıp aynı güzergâhı takip ederek İstasyon sevk ve idare merkezine geri dönmektedir. İki aracın çalıştığı ve tur sayısının toplamda 16 olduğu hat, yaklaşık 50,1 km olup bu mesafe hatta taşınan yolcu sayısına oranla oldukça yüksektir. B4 ile büyük oranda aynı güzergâhı takip eden, 9 aracın toplamda 83 tur yaptığı ve uzunluğu yaklaşık olarak 46,4 km olan B1 hattı, %82 hafta içi KKO ile B4 hattının yolcu yükünü taşımaya oldukça elverişlidir. Burada yapılması gereken B1 hattının belli zaman aralıklarında B4'ün son durağı olan Kombina'ya uğramasının sağlanmasıdır.



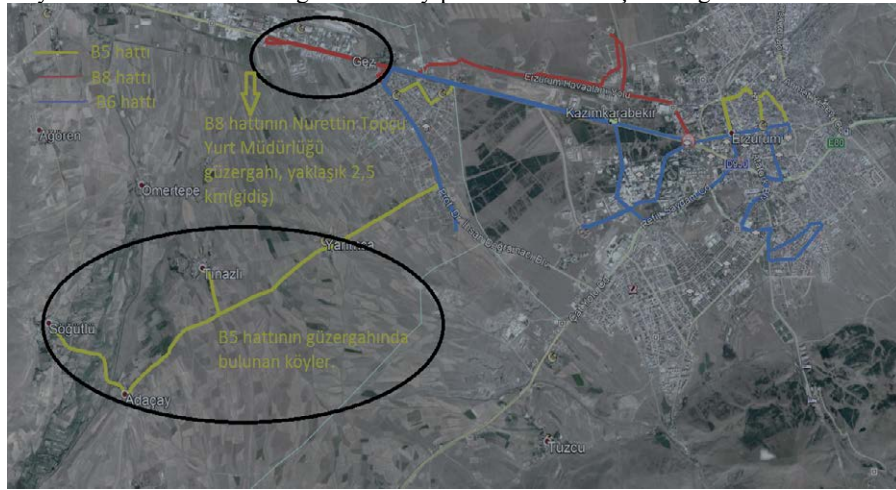
Şekil 8 B1 ve B4 Hattının Birleştirilmesi İçin Güzergâh Önerisi.

Böylece B4 hattına gerek kalmayıp hatta çalışan iki adet araç boşa çıkacak ve ihtiyaç duyulan diğer hatlara ikmal edilebilecektir. Ayrıca günde yapılan her biri 50,1 km'lik 16 tur da yapılmayarak tasarruf edilebilecektir.

Hat No-Hafta İçi KKO ve Hat No-Hafta Sonu KKO analizlerinde düşük kümesinde yer alan B8 hattı, İstasyon sevk ve idare merkezi ile Nurettin Topçu Yurt Müdürlüğü arasında çalışmaktadır. Hattın güzergâhı, büyük oranda B6 hattına ait güzergâhın

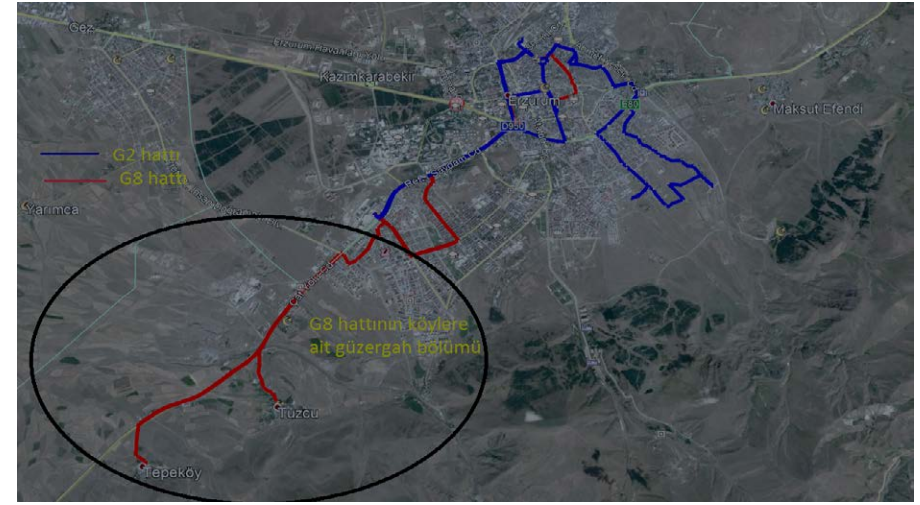
içerisinde yer almaktadır. Temel farklılıklar B6 hattı, üniversite kavşağından doğrudan Dadaşkent'e doğru yol alırken, B8 hattı Erzurum Teknik Üniversitesi ile Kız Yurtlarına uğramakta ve B6 hattı Nurettin Topçu Yurt Müdürlüğüne yaklaşık 2,5 km mesafe kala Dadaşkent'e giriş yapmaktadır. Kapasite kullanım oranı düşük olan B8 hattını, yeniden güzergâhı belirlenmiş B6 hattı içerisinde eriterek daha ideal bir güzergâh tayin etmek gerekmektedir. B6 hattının Erzurum Teknik Üniversitesi ve kız yurtlarına doğru güzergâhının düzenlenmesi ve Dadaşkent'e giriş yapmadan önce Nurettin Topçu Yurt Müdürlüğüne uğraması sağlanması ve B8'den ihtiyaç duyulduğu kadar araç temin edilmelidir.

Benzer şekilde B5 hattına ait güzergâhının büyük bölümü de B6'nın güzergâhı ile çalışmaktadır. B5 hattı %53 KKO ile hafta içi orta kümede yer alsa da düşük kümesine oldukça yakındır. Ayrıca güzergâh uzunluğu, kent merkezinden uzak olan ve büyükşehir yasasından sonra mahalle statüsü kazanan Söğütlü, Adaçay, Tınazlı ve Yarımcı mahallelerine uğradığı için 47,5 km ile en uzun güzergâhlardan biridir. B5 hattında sadece 1 araç çalışmakta olup yukarıda belirtilen mahallelere kadar uğraması hattın verimliliği noktasında handicap oluşturmaktadır. Hattın bu mahallelere sadece talebin en yüksek olduğu zaman dilimlerinde uğraması ya da bu mahalleler için ara toplu taşıma (minibüs) seçeneklerinin masaya yatırılması gerekmektedir. B5 ve B8 hatlarının dahil edildiği B6 hattının, oluşan kapasiteyi karşılaması için bu hatlardan ihtiyaç duyulduğu kadar araç tahsis edilmeli ve taşıt hareket aralıkları azaltılmalıdır. Böylelikle B8 ve B5 hattına gerek kalmayıp B6 daha kullanışlı hale gelecektir.



Şekil 9 B5, B6 ve B8 Hatlarına Ait Güzergâhlar ve Öneriler.

G8 hattı, Hat No- Hafta İçi KKO senaryosunda orta kümede yer alsa da %53 KKO ile düşük kümesine oldukça yakın değerdedir. Ayrıca Hat No-Hafta Sonu KKO senaryosu ile Hat No-Sabah ve Akşam Pik saat senaryolarında düşük kümesinde yer almaktadır. G8 hattı, İstasyon SİM'den harekete başlayarak Tepeköy ve Dutçu Mahallelerine uğrayarak aynı güzergâh üzerinden İstasyon SİM'e geri dönmektedir. Tepeköy ve Dutçu mahalleleri Büyükşehir yasasından önce köy statüsünde yer almaktaydılar ve şehrin yerleşim yerine görece uzakta yer almaktadır. Bu bölgeleri kendi içlerinde ara toplu ulaşım sistemleriyle çözülmesi gerekmektedir.



Şekil 10 G2 ve G8 hatlarına ait güzergâhlar ve öneriler.

Benzer şekilde İstasyon SİM'den harekete başlayan ve Su Deposu mevkiine hareket eden G2 hattı da hafta içi %20, hafta sonu ise %23 KKO ile düşük kümesinde yer almaktadır. Sonuç olarak bu iki hattın güzergâhlarının, Çat yolu üzerindeki mahallelere giden bölümünün iptal edilip kalan kısımlarının mevcut G2 hattını kullanacak şekilde birleştirilerek tek bir hat teşkil edilmesinin daha verimli sonuçlar vereceği açıktır.

## Sonuçlar

Kent içi ulaşım sorunlarına güncel çözümler üretilen yaklaşım anlayışı sürdürülebilir olmamaktadır. Bu çalışmada güzergâhların deneme yanılma yolu ve yıllara dayanan tecrübelerle şekillendiği, güzergâhlara konulan taşıtların sayısı ve kapasitelerinin de yine bu şekilde belirlendiği düşünülmektedir.

Kent içi toplu taşıma sistemlerinin kent yaşamı ve kent gelişimi üzerindeki etkisi bilinen bir gerçektir. Kentlerde kişisel araç kullanımı ile artan trafik sıkışıklığının önüne geçmenin en önemli yolu planlı, verimli, esnek ve sürdürülebilir bir kent içi toplu taşıma sisteminin tesis edilmesidir. Bunun için de saha ve hane halkı anketleri ile yerleşim yerlerindeki nüfus yoğunlukları, öğrenci profili ve sayısı, istihdam alanları gibi ulaşım talep ve arzını doğrudan etkileyen faktörlerin hassasiyetle belirlenerek ve bu veriler ışığında esnek, güvenilir ve verimli bir kent içi toplu taşıma ağı tasarlanması gerekmektedir.

## Teşekkür

Çalışmaya konu verilerin temini ve derlenmesi noktasında ilgi ve desteklerinden dolayı Erzurum Büyükşehir Belediyesi Ulaştırma Daire Başkanlığı ile Kardelen Kart Koordinasyon Merkezi çalışanlarına en içten teşekkürlerimizi sunarız.

**Kaynaklar**

- Atalay, A., 2010. Türkiye’de Trafik Kazalarının Mekansal ve Zamansal Analizi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bircik, Ö.F., 2019. Erzurum Kentiçi Ana Toplu Taşıma Sisteminin Kümeleme Analizi Yöntemiyle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Ceylan, H., Başkan, Ö., Haldenbilen, S., Ceylan, H. (2007). Şehir içi Toplu Taşım Sorunları ve Çözüm Yöntemleri: Denizli Örneği”, 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, Hatay, s. 121-132.
- Hatipoğlu S. ve Arıkan Öztürk E., 2012. Yolculuk Talep Yönetimi Stratejilerinin Kentsel Trafik Yüküne Etkisi Üzerine Bir Uygulama. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16(2), 62-68.
- Kalaycı, Ş., 2005. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri. Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 425 s, Ankara, Türkiye.
- Kılınçaslan, T., Elker, C. ve Babalık Sutcliffe E., 2012. Kentsel Ulaşım. Ninova Yayıncılık Tic. Ltd. Şti., 324 s, İstanbul, Türkiye.
- Önder, B., 2011. Kentiçi Toplu Taşım Türlerinin Performansının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Sohail, M., Maunder, D.A.C. and Cavill, S. (2005) Effective regulation for sustainable public transport in developing countries. Transport Policy,1-14.

## Dinamik Yolculuk Paylaşımı Eşleştirme Algoritmalarında Kullanılan Değişkenlerin Algoritma Performanslarına Etkisinin İncelenmesi

**Ömer Faruk Aydın**

Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34342 Bebek, İstanbul, Türkiye  
Tel: +90 212 359 5400  
E-Posta: faruk.aydin@tau.edu.tr

**İlgin Göktaşar**

Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34342 Bebek, İstanbul, Türkiye  
Tel: +90 212 359 7278  
E-Posta: ilgin.gokasar@boun.edu.tr

### Öz

Şehir içi trafik sıkışıklığı, günümüzde önemini koruyan bir sorundur. Hızla gelişen iletişim sistemleri ve akıllı telefon teknolojileri trafik sıkışıklığının çözümü için dinamik yolculuk paylaşımı gibi alternatif yöntemleri gündeme getirmiştir. Dinamik yolculuk paylaşımı, belli bir yere varmak isteyen yolcularla benzer bir zaman diliminde aynı yönde giden ve aracında paylaşacak yeri bulunan sürücülerini kısa bir zaman içerisinde bir araya getirerek araçlardaki doluluk oranını artırmayı amaçlayan talep yönetim tekniğidir. Son yıllarda yolculuk paylaşımı ile ilgili yapılan çalışmaların sayısında önemli bir artış görülmektedir. Ancak, yolculuk paylaşımı uygulamaları günümüzde istenen seviyeye ulaşmamıştır. Yolculuk eşleştirme algoritmaları, yolculuk paylaşımının günlük hayatta uygulanmasındaki başarısında önemli bir yer tutmaktadır. Literatürde bulunan yolculuk eşleştirme algoritmalarında, algoritmaların amaç fonksiyonu veya kısıtlamalarına bağlı olarak çeşitli değişkenler kullanılmıştır. Bazı çalışmalarda ise algoritmaların başarımını geliştirmek amacıyla belli değişkenler göz ardı edilmiştir. Bu çalışmada, yolculuk eşleştirme algoritmalarında kullanılan bazı değişkenlerin bir yolculuk eşleştirme algoritmasının başarımını üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu değişkenler; sürücü sayısı, yolcu sayısı, araç kapasitesi, beraber yolculuk etmek isteyen yolcu sayısı, ilk eşleşmeyi reddeden yolcu oranı ve yolcuların karakter eşleşmesi puanının sınırlanmasıdır. 2018 yılında Türk-Alman Üniversitesinde toplam 604 öğrenci ve çalışan ile yapılan ulaştırma anketinden alınan veriler ile örnek bir yolculuk eşleştirme algoritması çalıştırılmış ve regresyon analizi kullanılarak bu değişkenlerin algoritmaların başarımına etkisi tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre bu değişkenlerin tamamının algoritmaların başarımına istatistiksel olarak önemli oranda etki ettiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Yolculuk paylaşımı, Yolculuk eşleştirme algoritmaları, Akıllı Ulaşım Sistemleri.

## Giriş

Şehir içi trafik sıkışıklığı, günümüzde önemini koruyan sorunların başında gelmektedir. Trafik sıkışıklığı şehirlerde ekonomik ve sosyal yaşamı da olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple yetkililer trafik yönetme ve trafikteki sıkışıklığı azaltmaya yönelik uygulamalar geliştirmeye çalışmaktadır. Yeni otoyolların yapılması, mevcut ulaşım altyapısının geliştirilmesi ve etkin kullanılması, özel araç kullanımının düşürülmesine yönelik uygulamalar, akıllı ulaşım sistemleri (AUS) uygulanması ve bisiklet gibi alternatif ulaşım yöntemlerinin mevcut sistemlere eklenmesi bu uygulamalara örnek olarak verilebilir (Agatz ve diğ., 2012; Kalan, 2017; Gökaşar ve Aydın, 2013).

Geçmişte yapılan çalışmalar, son yıllarda artan yakıt fiyatları ve trafik sıkışıklığına rağmen özel araç kullanımında artış olduğunu göstermektedir (TÜİK, 2019). Özel araçların büyük çoğunluğu dört kişi taşıyabilirken, Avrupa ülkelerinde ortalama özel araç başına düşen yolcu sayısı 1.45 olarak tespit edilmiştir (EEA, 2015). Bu oranı artırmayı amaçlayan yolculuk paylaşımı, belli bir yere varmak isteyen yolcularla benzer bir zaman diliminde aynı yönde giden ve aracında boş yeri bulunan sürücülerini bir araya getirerek araçlardaki doluluk oranını artırmayı amaçlayan bir ulaştırma yöntemidir. Günümüzde akıllı telefon teknolojilerinin gelişmesiyle dinamik yolculuk paylaşımının mümkün olması sürücü ve yolcuları otomatik eşleştiren algoritmaların önemini artırmıştır (Agatz ve diğ., 2012).

Bu çalışmada, yolculuk eşleştirme algoritmalarında kullanılan bazı değişkenlerin bir yolculuk eşleştirme algoritmasının başarımı üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu değişkenler; sürücü sayısı, yolcu sayısı, araç kapasitesi, beraber yolculuk eden yolcu (BYEY) sayısı, ilk eşleşmeyi reddeden yolcu oranı ve yolcuların karakter eşleşmesi puanının sınırlanmasıdır. 2018 yılında Türk-Alman Üniversitesinde (TAÜ) toplam 604 öğrenci ve çalışan ile yapılan ulaştırma anketinden alınan veriler ile örnek bir yolculuk eşleştirme algoritması çalıştırılmış ve regresyon analizi kullanılarak bu değişkenlerin algoritmaların başarımına etkisi tespit edilmiştir.

Bildirinin devamında çalışmada yolculuk eşleştirme algoritmalarına ait önceki çalışmalar, devam eden bölümde kullanılan yolculuk eşleştirme algoritması sunulmuştur. Sonraki bölümde yapılan anket çalışması ve kullanılan veriler sunulmuştur. Devam eden bölümde algoritmada kullanılan değişkenlerin algoritmanın işlem süresi üzerindeki duyarlılık analizinin sonuçları verilmiştir. Son bölümde sonuçlar tartışılmıştır.

## Yolculuk Eşleştirme Algoritmalarına Ait Önceki Çalışmalar

Yolculuk eşleştirme algoritmaları, yolculuk paylaşımının günlük hayatta uygulanmasındaki başarısında önemli bir yer tutmaktadır. Literatürde bulunan yolculuk eşleştirme algoritmalarında, algoritmaların amaç fonksiyonu veya kısıtlamalarına bağlı olarak çeşitli değişkenler kullanılmıştır. Algoritmalarda kullanılan değişkenler gerçek hayatta karşılaşılabilecek kısıtlamaları algoritmaya dahil ederken, değişken sayısının artması algoritmayı daha karmaşık bir duruma getirerek performansı kötü yönde etkilemektedir.

Literatürde bulunan bazı çalışmalarda algoritmaların başarımını geliştirmek amacıyla bazı değişkenler göz ardı edilmiştir. Örneğin, gerçek hayatta bazı yolcular arkadaşları ile beraber yolculuk etmek isterken Ghoseiri ve diğ. (2011), Masoud ve Jayakrishnan (2017), Najmi ve diğ. (2017), Wang ve diğ. (2017) çalışmalarında bu durum modellerine dahil edilmemiştir. Benzer şekilde, yolcuların birçoğu için büyük önem arz eden sosyal özellikler ve talepler çoğunlukla algoritmaya fazla yük getireceği düşünülerek Masoud ve Jayakrishnan (2017), Najmi ve diğ. (2017), Wang ve diğ. (2017), Stiglic ve diğ. (2015) ve Cheikh ve Hammadi (2016) tarafından modellenen eşleştirme algoritmalarında kullanılmamıştır. Ghoseiri ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada cinsiyet, yaş, evcil hayvan bulundurma ve sigara kullanımını kısıtlama fonksiyonlarında kullanmış olsa da kurdukları modelin çözümü süresini dikkate almamışlardır. Yaptıkları süre ölçümleri kurdukları modelin gerçek hayatta uygulanması için süre bakımından yeterli olmadığını göstermiştir. Ancak sosyal değişkenlerin dahil edildiği başka bir çalışmada (Aydın, 2019) uygun işlem süresi elde edilebilmiştir. Yolculuk eşleştirme algoritmaları ile ilgili literatürde bulunan bazı önemli çalışmalarda kullanılan amaç fonksiyonları, değişkenler ve varsayımlarla ilgili daha kapsamlı inceleme Aydın (2019) çalışmasında verilmiştir.

Bu çalışmada, Aydın (2019) çalışmasında kullanılan biyodizilim algoritması amaç fonksiyonu değiştirilmeksizin, bazı değişkenler ve bağlı kısıtlama fonksiyonlarına değişik değerler atanarak duyarlılık analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, değişkenlerin algoritma performansı üzerine etkilerinin ortaya konularak gelecek çalışmalarda kurulacak modellerde, hangi değişkenlerin kullanılmasına karar verme aşamasında araştırmacılara yardımcı olunması hedeflenmiştir.

## Yolculuk Eşleştirme Algoritması

Bu bölümde çalışmada kullanılan yolculuk eşleştirme algoritması anlatılmıştır. Bu çalışmada kullanılan algoritma bir sürücü ile bir veya birden çok yolcunun eşleşmesinin mümkün kılan, sürücü ve yolcuların seyahat sürelerini, başlangıç ve varış yerlerini ve sosyal özelliklerini dikkate alan bir algoritmadır (Aydın, 2019). Algoritma, sürücü ve yolcuların sosyal özellikleri ve tercihlerindeki uyumluluğu en iyiye çıkarmayı amaçlamaktadır.

Kullanılan algoritmanın amaç fonksiyonu, bulunan eşleşmelerle Eşitlik 1'de verilen sosyal uyumluluk puanını (SUP) maksimize etmektir. Bulunan bir eşleşmenin uygun kabul edilebilmesi için kısıtlamalar şöyledir: (a) Seyahat edecekleri zaman aralığının kesişmesi, (b) yolcunun başlangıç ve varış yerlerinin sürücünün rotası üzerinde bulunması ve (c) sürücünün aracında yeterli yer bulunması. Bu algoritmada sosyal uyumluluk ile ilgili bir kısıt bulunmamaktadır; ancak, böyle bir kısıtlama koymanın algoritmanın başarımına olan etkisi de incelenmiştir. Sürücü ve yolcular arasındaki SUP şu eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$\gamma^{rd} = x_g^{rd} \gamma_g^r \gamma_g^d + x_a^{rd} \gamma_a^r \gamma_a^d + x_w^{rd} \gamma_w^r \gamma_w^d + x_\sigma^{rd} \gamma_\sigma^r \gamma_\sigma^d. \quad (1)$$

Bu eşitlikte yolcu  $r$  ve sürücü  $d$  için SUP  $\gamma_{rd}$  sosyal değişkenlere verdikleri ağırlıklar çarpılarak bulunmuştur. Bu eşitlikte kullanılan sosyal değişkenler, cinsiyet  $\gamma_g$ , yaş  $\gamma_a$ , çalıştığı yer  $\gamma_w$  ve sosyalleşmeye yatkınlık  $\gamma_\sigma$  olarak verilmiştir.  $x$  değişkeni verilen

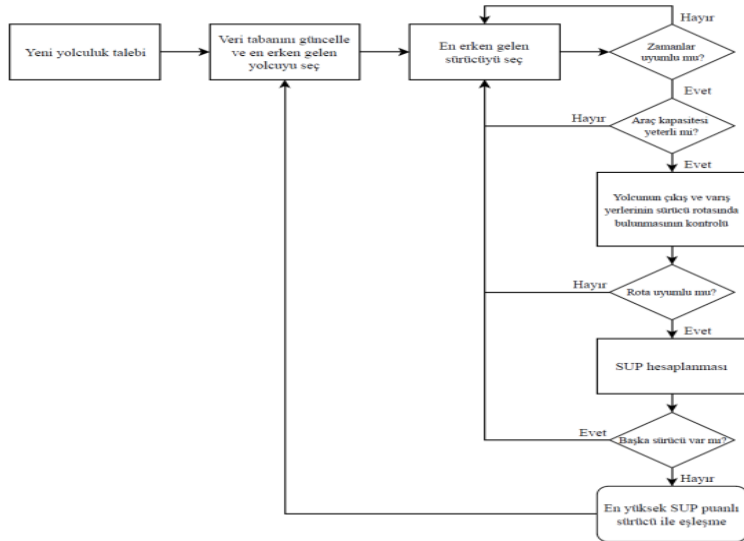


sosyal değişkenler eşitse artı bir, değilse eksi bir olarak hesaplanmaktadır. Örnek bir SUP hesaplaması Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1 Örnek SUP Hesaplanması.

	Sürücü d1		Yolcu r1		x	Puan
	Özellik	Ağırlık	Özellik	Ağırlık		
Cinsiyet	erkek	1	kadın	5	-1	-5
Yaş	18-25	3	25-40	4	-1	-12
Çalışma yeri	TAÜ	4	TAÜ	4	1	16
Sosyallik	evet	5	evet	3	1	15
Toplam puan						14

Tablo 1’de bir sürücü d1 ve yolcu r1 için örnek SUP hesaplanması gösterilmiştir. Her katılımcı özelliklerini ve bu özelliklerin kendileri için yolculuk eşleşmesindeki önemini 0-5 arasında puanlamıştır. Örnekte d1 erkek bir sürücüdür ve cinsiyetin yolculuk paylaşımındaki önemi bir puandır. Benzer şekilde r1 kadın bir yolcudur ve cinsiyetin yolculuk paylaşımındaki önemi beş puandır. Örnekteki sürücü ve yolcunun cinsiyetleri farklı olduğu için x değişkeni eksi bir olarak hesaplanmıştır. Ağırlıkların birbiriyle ve x değişkeniyle çarpılması sonucu eksi beş puan bulunmuştur. Diğer sosyal özellikler için aynı işlemin tekrarlanması ve sonunda hepsinin toplanmasıyla bu sürücü ve yolcu için SUP 14 olarak bulunmuştur.



Şekil 1 Yolculuk eşleştirme algoritması akış şeması.

Kullanılan algoritmada bir sürücünün birden fazla yolcu ile eşleştirilebilmesi için sürücülerin kullanacağı rotalar başlangıç ve varış yerleri dikkate alınarak önceden belirlenmiş ve sabit kalacağı kabul edilmiştir. Yolcuların başlangıç ve varış yerlerinin sürücü rotası üzerinde bulunması Needleman-Wunsch isimli bir biyodizilim algoritması kullanılarak tespit edilmiştir. Bu algoritma biyoinformatik alanında harf dizilimleri ile ifade edilen bir aminoasit diziliminin hangi proteine ait olduğunu tespit edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır (Needleman ve Wunsch, 1970). Bu çalışmada verilen yolculuk eşleştirme algoritması bir yolcu için uygun sürücü ararken öncelikle seyahat edilecek

zaman aralığını ve rotayı kontrol ettikten sonra uygun yolcularla sürücü arasında SUP hesaplamakta, yolcu eşleştirdikten sonra diğer yolcular için uygun eşleşme aramaktadır. Bu algoritmanın akış şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.

### Veri Toplanması ve Analizi

Bu çalışmada kullanılan veriler 2018 yılında TAÜ öğrencileri ve çalışanları ile yapılan, toplam 604 kişinin katıldığı ulaştırma anketinden elde edilmiştir. Bu anket katılımcıların ulaşım davranışları ve sosyal özellikleri ile birlikte yolculuk paylaşımına olan bakışlarını tespit edebilmek üzerine sorular sorulmuştur. Yerleşke, İstanbul’un Beykoz ilçesinde toplu ulaşımın diğer bölgelere kıyasla daha kısıtlı olduğu bir bölgede bulunmaktadır. Bu sebeple otobüslerin yanı sıra otostop da öğrenciler tarafından sıkça tercih edilen bir ulaşım yoludur. Yapılan anketten elde edilen sonuçlardan bazıları Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2 Anket Sonuçlarının Özeti.

	Öğrenci	Akademik	İdari	Diğer çalışan	Toplam
Katılımcı sayısı	497	32	2	17	548
Kendi veya ailesine ait özel araç sahibi sayısı	44	16	0	9	69
Özel araç sahiplerinin toplam katılımcıya oranı	8,85%	50,00%	0,00%	52,94%	12,59%
Araç olmayan katılımcı sayısı	453	16	2	8	479
Araç olmayanların toplam katılımcı sayısına oranı	91,15%	50,00%	100,00%	47,06%	87,41%
Ortalama seyahat süresi (dk)	58,23	37,72	17,5	19,76	55,69

Tablo 2’de üniversiteye varmak için gereken ortalama seyahat süresinin 55 dakika olduğu görülmektedir. Katılımcıların çoğunluğu özel araç sahibi olmadığından dolayı yolculuk eşleştirme algoritmasında aile aracına sahip katılımcılar da sürücü sınıfında kabul edilmiştir. Yaş sınıfları 18-25, 25-40 ve 40 yaş üzeri olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma öğrenciler, genç çalışanlar ve kıdemli çalışanlar düşünülerek oluşturulmuştur. Çalışma yerleri anket katılımcıları için aynı olduğundan sınıflandırma öğrenci, akademisyen, idari çalışanlar ve diğer çalışanlar olarak yapılmıştır. Sosyalleşmeye yatkınlık değişkeni, katılımcıların yolculuk esnasında yeni insanlarla tanışma isteğinin getireceği olumlu etki düşünülerek algoritmaya eklenmiştir. Anket verilerinden algoritmayı deneyebilmek için gerekli seyahat talepleri şu varsayımlarla oluşturulmuştur:

- Tüm katılımcılar evlerine en yakın buluşma noktalarından Türk-Alman Üniversitesine seyahat etmek istemektedir.
- Tüm katılımcılar aynı anda kampüse varmak istemektedir.
- Bir katılımcı eşlendiği takdirde sürücünün gelmesini beklemeyi kabul etmektedir.
- Kendisine veya ailesine ait aracı olan katılımcılar sürücü olarak sisteme katılır.
- Kendisine veya ailesine ait aracı olmayan katılımcılar yolcu olarak sisteme katılır.

## Değişkenlerin Algoritma Performansına Etkisi

Bu bölümde kullanılan değişkenlerin algoritma performansına olan etkisi incelenmiştir. Değişkenlerin algoritma sonucuna etkisini tespit edebilmek için doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Yolcu sayısı, sürücü sayısı, araç kapasiteleri, BYEY sayısı, ilk eşleşmesini kabul etmeyen yolcu sayısı ve SUP sınırı değişkenlerine farklı değerler atanarak 123 farklı durum beşer defa tekrarlanarak toplam 615 deneme ile işlem süreleri sonuçları analiz edilmiştir. Algoritmanın modellenmesi Python 2.7 ortamında yapılarak testler i5 2.7 GHz işlemci ve 8 GB RAM belleğe sahip bir bilgisayarda tamamlanmıştır. Regresyon modellemesinde SPSS istatistik analiz programı kullanılmıştır. Yapılan regresyon analiz model özeti Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3 Regresyon Analizi Model Özeti.

Model	R	R <sup>2</sup>	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	Std. Hata
1	0,980	0,961	0,961	1,7758

Tablo 3'te gösterilen yüksek R<sup>2</sup> değeri, regresyon modelinin, işlem süresi ve bağımsız değişkenler olan yolcu sayısı, sürücü sayısı, araç kapasiteleri, BYEY sayısı, ilk eşleşmeyi kabul etmeyen yolcu sayısı ve SUP sınırı arasındaki ilişkiyi iyi bir oranda yansıttığını göstermektedir. Ayrıca yapılan varyans analizi (ANOVA) sonucunda yeterince yüksek F değeri (2496,803) ve 0,000 önem değeri bulunmuştur. Bu değerler algoritmanın işlem süresini tahmin etmede istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir. Regresyon analizi sonucunda işlem süresinin tahmininde bağımsız değişkenlerin önemini ve katsayılarını gösteren sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4 Bağımsız Değişkenlerin Katsayıları.

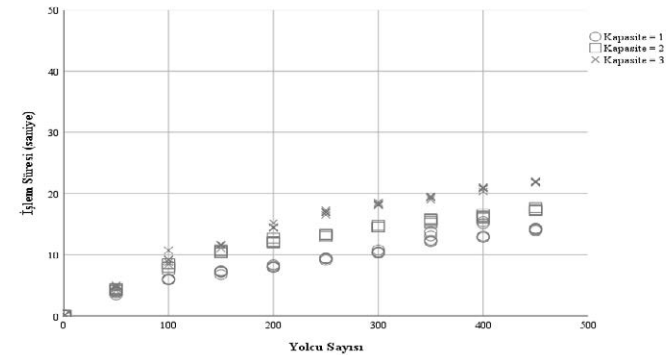
Model	B (Katsayı)	Std. Hata	Beta	t	Önem
(Sabit)	-2,334	0,553		-4,222	0,000
Yolcu sayısı	0,031	0,001	0,494	50,549	0,000
Sürücü sayısı	0,242	0,004	0,613	61,504	0,000
Araç kapasitesi	1,922	0,109	0,173	17,665	0,000
BYEY	-3,955	0,207	-0,181	-19,068	0,000
İlk eşleşmeyi reddeden yolcu sayısı	0,006	0,001	0,051	5,589	0,000
SUP sınırı	0,105	0,002	0,450	47,819	0,000

Regresyon analizinin sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

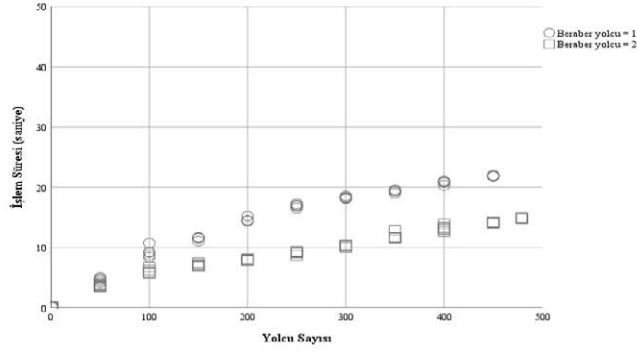
- Tablo 4'te işlem süresinin sıfırın altında olması mümkün olmadığı halde sabit değer sıfırdan küçük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi işlem sürelerinin verilen değişkenlere bağlı olarak doğrusal çizgiye tam oturmaması ile açıklanabilir.
- Yolcu sayıları işlem süresi için istatistiksel olarak önemli bir değişkendir. Şekil 2 ve 3'te görüldüğü üzere farklı araç kapasiteleri ve farklı BYEY için hesaplanan işlem süreleri yolcu sayısı ile doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Bu şekillerde araç kapasiteleri açıklamada "kapasite", BYEY sayısı "beraber yolcu" olarak gösterilmiştir. Bu ilişkinin sebebi, daha fazla yolcunun daha fazla işlem gerektirmesi olarak değerlendirilebilir. Aynı sebepten, Şekil 2'de araç kapasitesinin artışına bağlı olarak işlem sürelerinin arttığı görülmektedir. Şekil 3'te BYEY sayısındaki artışın işlem sürelerini azalttığı görülmektedir. Her yolcunun yanında başka bir yolcu ile seyahat etmek istediği durumda araç

kapasitelerinin dolması ilk durumdan daha az işlem gerektirdiğinden dolayı işlem sayısındaki düşüşün işlem süresini kısalttığı sonucuna varılabilir.

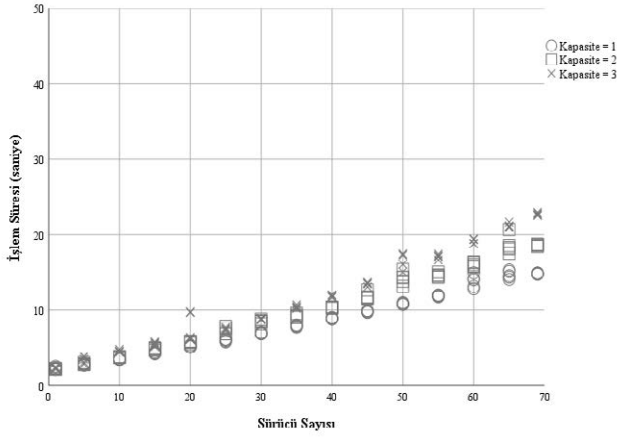
- Sürücü sayıları işlem süreleri için istatistiksel olarak önemli bir değişkendir. Şekil 4 ve 5'te verildiği gibi artan sürücü sayısı işlem sürelerinde artışa neden olmaktadır. Bu şekillerde araç kapasiteleri açıklamada "kapasite", BYEY sayısı "beraber yolcu" olarak gösterilmiştir. Yolcu sayılarında olduğu gibi bu ilişkinin sebebi sürücü sayısının artışına bağlı olarak algoritma tarafından yapılan işlem sayısının artışı olarak açıklanabilir. Benzer şekilde Şekil 4'te kapasite artışı işlem süresini artırırken, Şekil 5'te BYEY artışının gerekli işlem sayısını azaltmasıyla işlem sürelerinin kısalacağı gözlemlenebilir. Tablo 4'te gösterilen katsayı değerleri karşılaştırıldığında sürücü sayılarının etkisi yolcu sayısından önemli oranda fazla olduğu görülmektedir. Diğer bir değişle sürücü sayısındaki artış aynı orandaki yolcu sayısındaki artışa kıyasla işlem süresini 7,8 kat daha fazla artırmaktadır. Bu değişimin bir kısmı araçların kapasitelerinin birden fazla oluşu ile açıklansa da farkın tamamını açıklayamamaktadır. Bu artış sürücü sayısının olması gerekenden çok daha az olması ve sürücü sayısındaki artışın işlem süresinde doğrudan artışa neden olması ile açıklanabilir. Yolcu sayısındaki artışın sürücü sayısındaki artışla aynı etkiye sahip olmaması, araç kapasitelerinin tüm yolcular değerlendirilmeden önce dolması ile açıklanabilir.
- Şekil 6'da görüldüğü gibi ilk eşleşmesini kabul etmeyen ancak ikinci eşleşmesini kabul eden yolcu sayısındaki artış işlem sürelerini küçük miktarda artırmıştır. İlk eşleşmesini kabul etmeyen yolcular için tekrar eşleşme aranması işlem sayısını artırarak işlem süresini artırmaktadır.
- Şekil 7'de görüldüğü üzere SUP için sınır şartı getirilmesi işlem süresinde artışa neden olmaktadır. Algoritma tarafından eşleşme aranmayan bir yolcu için yeterli SUP değerini veren sürücü bulunmaması durumunda başka yolcu için eşleşme aranmaya başlanmaktadır. Yolcu sayısının sürücü sayısına oranla daha fazla olmasından dolayı ilk durumda tüm yolcular taranmazken, SUP sınırı uygulandığında daha fazla yolcu için işlem yapılmakta oluşu ile bu artış açıklanabilir.



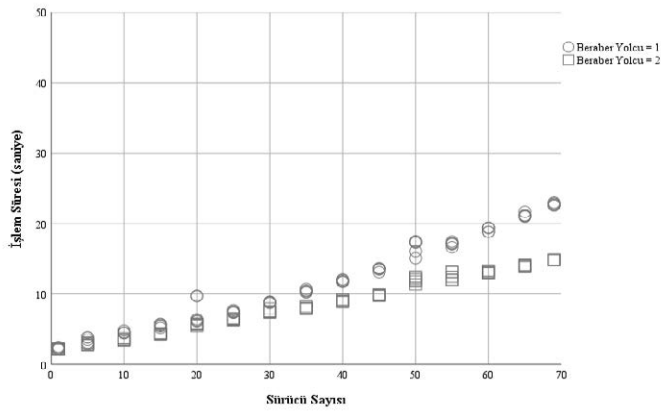
Şekil 2 İşlem süresinin araç kapasitelerine göre yolcu sayısına bağlı değişimi.



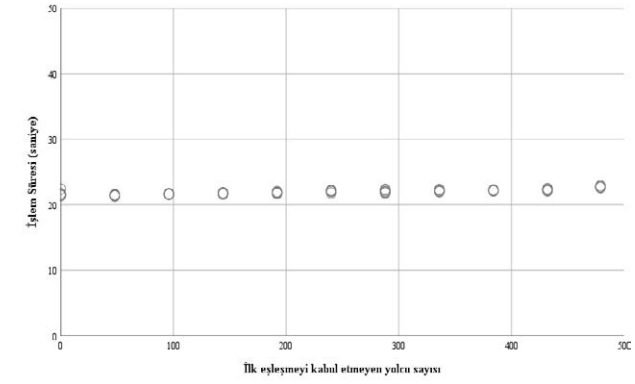
Şekil 3 İşlem süresinin BYEY sayılarına göre yolcu sayısına bağlı değişimi.



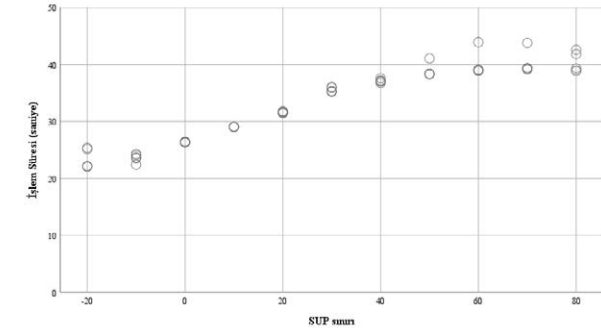
Şekil 4 İşlem süresinin araç kapasitelerine göre sürücü sayısına bağlı değişimi.



Şekil 5 İşlem süresinin BYEY sayılarına göre sürücü sayısına bağlı değişimi.



Şekil 6 İşlem süresinin ilk eşleşmeyi kabul etmeyen yolcu sayısına bağlı değişimi.



Şekil 7 İşlem süresinin SUP sınırına bağlı değişimi.

## Sonuçlar

Son yıllarda özellikle akıllı telefon teknolojilerindeki gelişmeler yolculuk paylaşımı alanında önemli kazançlar sağlamıştır. Bu gelişmelerle dinamik yolculuk paylaşımının mümkün olması, otomatik yolculuk eşleştirme algoritmalarının önemini artırmıştır. Ancak, bu eşleştirme algoritmalarında istenen performansa erişilememiştir. Bu konuda literatürde yapılan çalışmalar geliştirilmeye devam etmektedir. Yolculuk eşleştirme algoritmalarının performansını geliştirmek için literatürde kullanılan bazı algoritmalarda katılımcıların sosyal özellikleri ve talepleri gibi bazı parametreler algoritmalara dahil edilmeyerek sorun basitleştirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada 2018 yılında Türk-Alman Üniversitesinde öğrenciler ve çalışanlarla yapılan bir ulaştırma anketinden elde edilen veriler ve bir yolculuk eşleştirme algoritması kullanılarak kullanılan değişkenlerin algoritmanın işlem süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışmada, yolcu sayısı, sürücü sayısı, araç kapasiteleri, beraber yolculuk eden yolcu sayısı, ilk eşleşmesini kabul etmeyen yolcu sayısı ve SUP sınırı değişkenleri değiştirilerek farklı durumlarda algoritma denenmiştir. Yapılan regresyon analizi sonucunda bu bağımsız değişkenlerin işlem süresi üzerinde istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. İşlem süresinin eşleştirme için gereken işlem

sayısıyla doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, sürücü sayısının gerekenden az olmasından dolayı sürücü sayısı ve araç kapasitelerindeki artışın işlem süresini diğer değişkenlere oranla daha fazla artırdığı sonucuna varılmıştır. Eşleştirmeler için sürücü ve yolcu arasındaki sosyal uyumluluk puanını (SUP) sınırlandırmanın işlem süresini uzattığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca SUP sınırı uygulamanın eşleşen yolcu ve sürücü sayısını azalttığı tespit edilmiştir; ancak, eşleşmelerdeki sosyal uyumluluğun artışı gerçek hayatta daha çok insanın yolculuk paylaşım sistemine katılmak istemesine neden olabilir (Aydın ve Gökaşar, 2019). Sonuç olarak, işlem sürelerinin işlem sayısı ile doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Ancak, işlem sürelerinin algoritmanın gerçek hayattaki başarımındaki yeri incelenmelidir. Hangi değişkenlerin gerekli olduğu ve algoritmaya dahil edilmesi gerektiği üzerine araştırma yapılarak mevcut algoritmaların geliştirilmesi mümkün olacaktır.

### Kaynaklar

Agatz, N., A. Erera, M. Savelsbergh and X. Wang. (2012) Optimization for dynamic ride-sharing: A review, *European Journal of Operational Research*, Vol. 223, No. 2, pp. 295.

Aydın, Ö. F. (2019) A Biosequence Based Ride-Matching Algorithm that Takes into Account Social Factors. Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Cheikh, S., B. and Hammadi, S. (2016) Multi-Hop Ridematching optimization problem: Intelligent chromosome agent-driven approach, *Expert Systems With Applications*, 62, 161–176.

European Environment Agency, EEA (2015) Occupancy rates of passenger vehicles, European Environment Agency.

Ghoseiri, K., Haghani, A., Hamed, M. (2011) Real-Time Rideshare Matching Problem, Ph.D. thesis, University of Maryland, Department of Civil and Environmental Engineering.

Gokasar and Aydın (2013) Dünya’da ve İstanbul’da Trafik İzleme Sistemleri, 4. Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyumu, Ankara, Türkiye.

Kalan, O. (2017) The Relationship Between Economic Growth and Road Infrastructure: Evidence from Turkey. Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Masoud, N. and Jayakrishnan, R. (2017) A decomposition algorithm to solve the multi-hop Peer-to-Peer ridematching problem, *Transportation Research Part B*, 99, 1–29.

Najmi, A., Rey, D., Rashidi, T. H. (2017) Novel dynamic formulations for real-time ride-sharing systems, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 108, 122–140.

Needleman, S. B. and C. D. Wunsch (1970) A general method applicable to the search for similarities in the amino acid sequence of two proteins, *J. of Molecular Biology*, Vol.48, No.3, pp. 443 – 453.

Stiglic, M., Agatz, N., Savelsbergh, M., Gradisar, M. (2015) The benefits of meeting points in ride-sharing systems, *Transportation Research Part B*, 82, 36–53.

Türkiye İstatistik Kurumu, TÜİK (2019) Motorlu Kara Taşıt Sayısı. Erişim adresi [http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab\\_id=1581](http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1581)

Wang, X., Agatz, N., Erera, A. (2017) Stable matching for dynamic ridesharing systems, *Transportation Science*, 52, 850–867.

## **Toplu Ulaşım Sisteminde Geleneksel Otobüslerle Elektrikli Otobüslerin Karşılaştırılması : Manisa Merkez - Muradiye Mahallesi – Celal Bayar Üniversitesi Ana Kampüsü Ulaşım Hattı Özeli**

**Havva İnal, Tülin Çetin**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Ulaştırma Anabilim Yüksek Lisans Öğrencisi  
havva.inal35@gmail.com

Manisa Celal Bayar Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Ulaştırma Anabilim Dalı Başkanı

B Blok-226, Şehit Prof.Dr.İlhan Varank Kampüsü, 45140, Yunusemre, Manisa

Tel: +90 (236) 201 2337

E-posta: tulin.cetin@cbu.edu.tr

### **ÖZ**

Dünyadaki nüfus artışı ulaşım sorununu da ön plana çıkarmıştır. Enerji verimliliğinin çeşitlenmesine yönelik adımlar atılmasına rağmen fosil kaynaklı yakıtlara olan bağımlılık giderek artmaktadır. Artan ulaşım çeşidi ile birlikte sera gazındaki artış giderek yaşamımızı tehdit etmektedir. Sera gazı emisyon değerleri nedeni ile çevre kirliliği üzerinde olumsuz etkisi bulunan içten yanmalı motorlara sahip geleneksel ulaşım sistemleri yerine enerji ihtiyacının alternatif enerji kaynakları ile karşılanabildiği sürdürülebilir çevreci ulaşım sistemlerine geçilmelidir. Bu çalışma da ulaşımda çevre dostu ve insan odaklı yaklaşım dikkate alınarak; hava kalitesini iyileştirmek, sera gazı emisyon seviyelerini düşürmek için alternatif enerji kaynaklı ulaşım sistemlerinden olan elektrikli otobüslere yer verilmiştir. Elektrikli otobüsler duman kokusu, diğer otobüslerin ürettikleri ısı, gürültü ve emisyonlara son vermesi, düşük işletme maliyetlerinin yanı sıra insan sağlığı için hava ve ses kirliliğine sebep olmaması açısından da ön plana çıkmaktadır. Çalışmaya konu olarak Manisa Celal Bayar Üniversitesi'nin Mühendislik Fakültesinin de yer aldığı ana kampüs olan Muradiye kampüsünün de içinde bulunduğu, Manisa merkezinin yaklaşık 20 km. dışındaki Muradiye mahallesindeki toplu taşıma hattının hem geleneksel mazotlu otobüslerle hem de elektrikli otobüslerle sağlanması durumu ile ilgili karşılaştırmaları seçilmiştir. 2018-2019 yılına ait veriler alınarak mevcut durum analizi ile beraber toplu taşıma hatlarının yolcu potansiyeli ile araç sayıları ve araçların yolcu kapasiteleri uyumlu hale getirilerek geleneksel ve elektrikli otobüslerle yeni bir toplu taşıma hattı oluşturulmuş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda toplu ulaşımda gelişme sağlayarak yeniliklerle uygun seçim yapılmış ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Geleneksel Otobüs, Elektrikli Otobüs, Otobüs Seçimi, Çevre Dostu, Sürdürülebilir Enerji.

## GİRİŞ

Günümüzdeki nüfus artışı ulaşım sorununu da beraberinde getirmektedir. Kullanılan özel araçların yanı sıra toplu taşıma sistemleri de doğada önemli tahribata neden olmaktadır. Sera gazı emisyon değerleri nedeni ile çevre kirliliği üzerinde olumsuz etkisi bulunan içten yanmalı motorlara sahip geleneksel ulaşım sistemleri yerine enerji ihtiyacının alternatif enerji kaynakları ile karşılanabildiği sürdürülebilir çevreci ulaşım sistemlerine geçilmelidir. Böylece maliyet, enerji verimliliği, çevreyi koruma gibi yaklaşımlarda uygun bir sonuca varılabilir.

Yoğun şehir trafiğinde çalışan araçlar, yüksek oranda karbondioksit (CO<sub>2</sub>), hidrokarbon ve diğer parçacıklarla beraber yoğun hava kirliliğine neden olmaktadır. Ulaşım sektörünün enerji tüketimi ve emisyon artışlarına olumsuz etkileri şehirlerin kalabalıklaşmasıyla ve yoğunlaşan şehir trafiği ile beraber günden güne daha da artmaktadır. Dünyada genel olarak tüketilen enerjinin yaklaşık %20-25 kadarı ve toplam petrol tüketiminin ise %50'si deniz, hava ve kara taşımacılığında gerçekleşmektedir. Taşıtlar tarafından üretilen ve çevre kirliliğine neden olan gürültünün ve egzoz gazlarındaki zehirli bileşenlerin toplam kirlilikteki oranı şehirlerde %60'ı bulmuştur. Ülkemizde ise salınan CO<sub>2</sub>'nin yaklaşık %14'ünün karayolu araçları tarafından üretildiği belirtilmektedir. (Otomotiv Teknolojileri Platformu (Otep), 2011)

Ulaşımında çevre dostu ve insan odaklı yaklaşım dikkate alınarak; hava kalitesini iyileştirmek, sera gazı emisyon seviyelerini düşürmek ve yakıt için kullanılan ham maddenin sürdürülebilirliği göz önüne alınarak; temiz çevre ve sürdürülebilir yakıtlar ile daha verimli toplu taşıma imkânı sağlamak için elektrikli tahrik sistemine sahip toplu taşıma araçları kullanımı artırılmalıdır. Elektrikli otobüsler duman kokusu, diğer otobüslerin ürettikleri ısı, gürültü ve emisyonlara son vermesi, düşük işletme maliyetlerinin yanı sıra insan sağlığı için hava ve ses kirliliğine sebep olmaması açısından da ön plana çıkmaktadır.

Ulaşım sistemlerinde önceki yıllarda benzer çalışmalar yapılmıştır. Aydemir (2014) çalışmasında fosil kaynaklı yakıtların rezervleri ve günümüzdeki durumları ile atmosfere ve çevreye verdiği zararlardan bahsederek, elektrikli ve hibrit otomobillerle duyulan ihtiyacı verilerle ortaya koymuştur. Varol (2017) çalışmasında, toplu taşıma araçlarının tamamının ve özel araçlarında tamamının olmasa da büyük çoğunluğunun elektrikli sisteme geçtiği bir durumda ulaşımdan kaynaklı kent içi emisyonların azalacağını belirtmiştir. Uysal (2019), elektriğin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebildiği ülkelerde, elektrikli araç emisyon değerlerinin sifira yaklaştığını ve enerji üretiminin tüm mevcut olanakları dikkate alındığında, elektrikli araçların kilometrede ortalama 60 gram ile içten yanmalı motorlu araçlara göre daha düşük karbondioksit emisyonuna sahip olduğunu ortaya koymuştur. Elektrikli otobüsler sadece hava emisyon seviyelerini değil gürültü seviyelerini de azaltmaktadır.(Öngel vd. 2017).

Son zamanların en büyük sorunu olan çevre kirliliği, ulaşım sistemlerinde de önem verilmesi gereken bir sorundur. Literatürde yer alan benzer çalışmalarda özellikle bu düşünce ele alınmıştır. Elektrikli otobüslerin kullanım esnasında CO<sub>2</sub> salınımına sebebiyet vermemesine rağmen kullandıkları enerji kaynağına göre üretim esnasında çevreye salınımları olması kaçınılmazdır. Yenilenebilir enerji kaynakların elde edilen elektrik enerjisinin ortalama km başına 20 gr CO<sub>2</sub> salınımına sebebiyet verdiği

hesaplanmıştır. Fakat bilindiği üzere her bölgede veya her ülkede üretilen enerjinin tamamı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanamamaktadır. Bundan dolayı Avrupa'da elektrik enerjisi üretiminde bütün kaynakların açığa çıkardığı salınımlardan oluşan bir karma değer belirlenmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu'ndan elde edilen bilgilere göre, 2014 yılında ulaştırma sektöründen kaynaklı olarak 72.200 bin ton CO<sub>2</sub> salınımı meydana gelmiştir. Bu konu başka bir açıdan ele alınırsa, bir ağaç bir yılda 22 kg CO<sub>2</sub> absorbe edebilir. Bir hektar alanda ise yaklaşık olarak 400 adet ağaç bulunmaktadır. Basit olarak düşünüldüğünde yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beslenen elektrikli otobüslerin kullanılması durumunda her yıl 7100 hektarlık alanda bulunan ağacın absorbe edeceği kadar CO<sub>2</sub> 'e denk gelmektedir. Elektrikli otobüs kullanımıyla çevreye verilen zarar en az miktara indirgenebilir. İnsan solunumunu ve sağlığını da yakından ilgilendiren bu konu da çevreye verilen zararı en aza indirgeyen ulaşım sistemi seçilmelidir.(Bora, 2017)

Çalışmamızda literatürde yer alan benzer örneklerdeki gibi güzergâhta verimli bir işletmecilikle beraber çevre dostu, konforlu ve güvenilir yolculukla ulaşım sistemi araştırılmıştır.

### Manisa'da Kullanılan Otobüsler ve Manisa – Muradiye Hattı

Muradiye Mahallesi, Manisa'nın Yunusemre ilçesine bağlı olup Manisa merkezinin yaklaşık 20 km. dışında yer almaktadır. 2018 yılı sayımlarına göre 22.348 kişilik nüfusa sahiptir. (TÜİK) Manisa sanayi bölgesine ve İzmir iline yakınlığı, tren istasyonu ve Celal Bayar Üniversitesi'nin ana kampüsünde içinde yer alması gibi önemli faktörlerden dolayı Muradiye Mahallesi ulaşım açısından çok kullanılan güzergâhtadır. Üniversitede öğrenim gören öğrencilerden 23.380 'i Muradiye'de yer alan ana kampüste eğitim görmekte ve bu öğrenciler Muradiye-Manisa arası güzergâhı kullanmaktadır. Yerleşkede Kredi ve Yurtlar Kurumuna ait kız ve erkek öğrenci yurtları ile ağırlıklı olarak üniversite çalışanlarının oturduğu TOKİ konutları bulunmaktadır. TOKİ Konutlarında ise yaklaşık 1.276 nüfus yaşadığı öğrenilmiştir. (MCBÜ) Kampüse özel araç harici ulaşım, servis araçları haricinde sadece belediyeye ait mazotlu otobüslerle yapılmaktadır. Manisa şehir sınırları içinde elektrikli otobüsler kullanılmaya başlanmış olsa da, kampüse henüz sadece geleneksel mazotlu otobüslerle ulaşım sağlanmaktadır.

Manisa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı'ndan otobüs hatlarındaki araçların yolcu taşıma kapasiteleri, sefere başlama ve bitirme saatleri, sefer - zaman çizelgeleri, hattın uzunluğu, gün içinde yapılan tur sayısı, toplam yapılan tur sayısı, bir turun toplam süresi, ortalama ticari hız, araç başı yapılan km, araç başı tur sayısı, aracın seferde kaldığı süre, aracın toplam çalışma süresi, tur başına yolcu, araç başına yolcu, toplam yolcu, km. başına düşen yolcu sayısı gibi bilgiler alınmıştır. Bu verileri kullanarak çalışma kapsamında, Manisa-Muradiye arasında kullanılan 6 hattın üniversite kampüsüne uğrayan 2 hattı (21 ve 22 no.lu hatlar) için mevcut yolcu sayısı, yolcu potansiyeli ve sefer süreleri tespit edilerek yolcu – zaman analizleri ve hem mazotlu hem de elektrikli otobüslerle ilgili yeni sefer düzenlemeleri yapılmıştır.

### Manisa – Muradiye Arası Kullanılan Mazotlu Otobüs Özellikleri

MBB Ulaştırma Daire Başkanlığından alınan bilgilere göre kullandıkları 8 m. boyundaki 57 kişi kapasiteli mazotlu otobüslerin fiyatı 350.000,- TL'dir. Belediyede kullanılan mazotlu otobüslerin yakıt giderleri ile ilgili Ulaştırma Daire Başkanlığının

yaptığı çalışmaya göre, otobüslerin km başı mazot masrafları 2019 yılı itibariyle 1,75-TL'dir.

#### Manisa - Muradiye Arası Kullanılması Planlanan Elektrikli Otobüs Özellikleri

MBB Ulaştırma Daire Başkanlığından alınan bilgilere göre şu an şehir içinde kullanılan 18 m. boyundaki 125 kişi kapasiteli elektrikli otobüslerin birim fiyatları 2.760.655,-TL'dir. Elektrikli otobüslerin terminallerinde otobüsleri şarj etmek için kullanılan şarj ünitelerinin adet fiyatı 376.691,- TL'dir. Bu birim fiyatlar, belediyenin elektrikli otobüslerle ilgili alım bedelleridir. Elektrikli otobüslerin yakıt yani elektrik masrafı km başına 1,- TL'dir.

Tablo 1'de, MBB Ulaştırma Daire Başkanlığından alınmış olan Manisa şehir içinde kullanılan elektrikli otobüslerle yapılan seferler sonucu tüketim verileri görülmektedir. Elektrikli otobüslerin katalog verilerindeki menzil değerleri, güzergâhın fiziki özelliklerine göre farklılık gösterir. Saha verilerinde otobüsün dur-kalk sayısı, bölgenin fiziki özellikleri, klimanın açık/kapalı olma durumu gibi etkenler sonuca yansımaktadır.

Tablo 1 Elektrikli Otobüslerin Elektrik Tüketimleri.

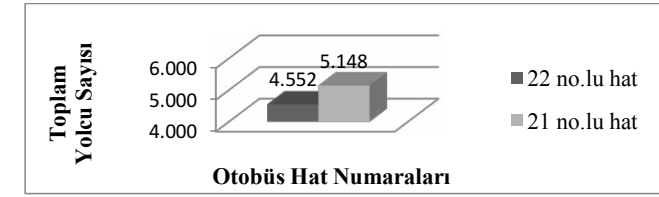
	ARAÇ AĞIRLIĞI (ton)	SPESİFİK ENERJİ TÜKETİMİ (kwh/km)	MENZİL (km)	SAHA VERİSİ (km)
BOŞ ARAÇ	19,3	1,10	363	300
DOLU ARAÇ	28,0	1,25	320	270
BOŞ ARAÇ (KLİMA AÇIK)	19,3	1,10	300	250
DOLU ARAÇ (KLİMA AÇIK)	28,0	1,25	264	220

#### Manisa – Muradiye Kampüsü Toplu Taşıma Hatları Mevcut Durum Analizi

Çalışma kapsamında eğitim dönemi içinde yer alan ve Manisa–Muradiye hattında yolcu sayısının en fazla olduğu, güncel verilere sahip olan 2019 yılı mart ayının verileri kullanılmıştır. Manisa Celal Bayar Üniversitesi ana yerleşkesi olan Muradiye Kampüsüne 21 ve 22 no.lu hatlar giriş yapmaktadır. Bu iki hat, güzergâh nedeniyle diğer hatlardan daha fazla yolcu sayısına sahiptir. Seçilen 21 ve 22 no.lu hatlardan, 21 no.lu hat tüm seferlerinde üniversite kampüsüne uğrarken, 22 no.lu hat ise sadece belli seferlerinde kampüse uğramaktadır.

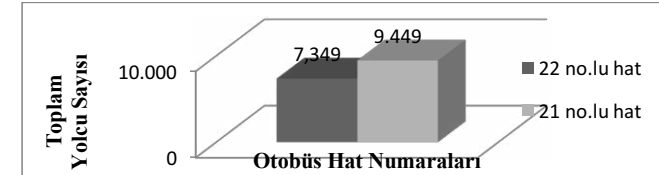
Hafta içi ve hafta sonu yolcu sayısı farklarını görebilmek amacıyla hafta içi ve sonundan en yoğun birer gün seçilerek, ilgili veriler aşağıda değerlendirilmiştir. MBB Ulaşım Daire Başkanlığı'ndan alınan verilere göre hafta içinde en yoğun günün pazartesi, hafta sonunda ise pazar günü olduğu görülmüştür. Mevcutta Manisa–Muradiye güzergâhında 57 yolcu taşıma kapasiteli mazotlu 48 otobüs, 2 hat boyunca toplu taşıma hizmeti vermektedir. MBB Ulaşım Daire Başkanlığı'ndan sefer saatleri ve yolcu adedi verileri alınarak, hangi saatlerde yolcuların seferleri daha yoğun kullandığı belirlenmiştir.

Şekil 1'de, 17.Mart.2019 pazar günü 21 ve 22 no.lu hatların yolcu sayıları bulunmaktadır. Hafta sonu verilerine göre 21 no.lu hattı daha fazla yolcu kullanmaktadır. Bunun bir nedeni de hafta sonu 22 no.lu hattın kampüse daha seyrek uğruyor olmasıdır.



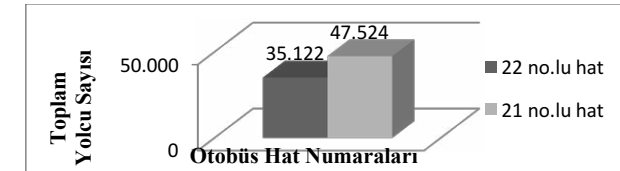
Şekil 1 17.Mart.2019 (Pazar) Günlük Yolcu Sayım Verileri Karşılaştırılması.

Şekil 2'de, 18.Mart.2019 pazartesi günü 21 ve 22 no.lu hatların yolcu sayıları bulunmaktadır. Pazartesi günü hafta içi yani üniversitede eğitimin sürdüğü bir günde elde edilen verilere dayanmaktadır. Şekilden de görüleceği üzere, 21 no.lu hat, 22 no.lu hatta kıyasla daha yoğun olarak kullanılmaktadır. Bunun da nedeni olarak, 22 no.lu hattın kampüsten ziyade civar mahallelere daha fazla uğruyor olması ve öğrencilerin bu mahallelerde değil şehir bağlantılı olarak ikamet ediyor olmaları gösterilebilir. Ayrıca Şekil 1 ve Şekil 2 bir arada değerlendirildiğinde, hatları kullanan yolcu sayısının hafta içi hafta sonuna kıyasla neredeyse iki misline çıktığını ortaya koymaktadır.



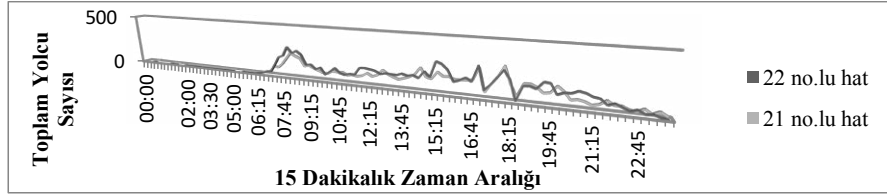
Şekil 2 18.Mart.2019 (Pazartesi) Günlük Yolcu Sayım Verileri Karşılaştırılması.

Şekil 3'te 18-22.Mart.2019 tarihleri arasında hafta içi verilerine göre ortalama yolcu sayısı değerleri gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde en fazla yolcu sayısının her seferinde kampüse uğrayan 21 no.lu hatta olduğu görülmektedir.



Şekil 3 18-22.Mart.2019 Hafta İçi Ortalama Yolcu Sayım Verileri Karşılaştırılması.

21 ve 22 no.lu hatlar mazotlu otobüslerle Manisa Yeni Terminal ile Muradiye - Yağcılar arasında çalışmaktadır. 21 no.lu güzergâh 50 km iken sefer süresi 60 dakika tutmaktadır. Benzer şekilde 22 no.lu güzergâh ise 34 km olup sefer süresi 40 dakikadır. Şekil 1 ve Şekil 2 'de yer alan günlük yolcu sayıları detaylı incelenerek, 15 dakikalık zaman aralıklarına göre yolcu yoğunluğu çıkarılmış ve Şekil 4'te gösterilmektedir. Yolcu yoğunluk değerlerine, hat sefer sürelerine ve her bir hat için sefer arası mola süresine göre, her bir hatta bir aracın yapabileceği maksimum sefer sayısı çıkarılmıştır. Belirlenen maksimum sefer sayılarına göre her bir hattın sefer saatleri, sefer sıklıkları ve araç sayıları belirlenmiştir. Günlük 45 adet mazotlu araç kullanılmasının yeterli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4 18-22.Mart.2019 Hafta İçi Ortalama Yolcu Sayım Verileri Karşılaştırılması.

### Hatlarda Mazotlu ve Elektrikli Otobüs Kullanımı İçin Kapasite Belirleme

MBB Ulaştırma Daire Başkanlığından alınan 18.Mart.2019 tarihli alınan günlük yolcu sayım verilerine göre 21 ve 22 no.lu güzergâh boyunca kullanılan otobüs sayısına göre araç başına düşen yolcu sayısı, Eşitlik.1'de gösterilen şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Araç Başına Yolcu Sayısı} = \text{Günlük Yolcu Sayısı} / \text{Araç Sayısı} \quad (1)$$

Hatlar için belirlenen araç sayıları ve maksimum sefer sayılarına göre, hatların günlük yolcu taşıma kapasiteleri Eşitlik.2'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır. Hesaplama kullanılan araçların yolcu kapasiteleri 57'dir.

$$\text{Günlük Yolcu Taşıma Kap.} = \text{Araç Kap.} \times \text{Araç Sayısı} \times \text{Max. Sefer Sayısı} \quad (2)$$

5 günlük otobüs sefer sayıları Eşitlik.3'te gösterildiği şekilde hesaplanmıştır. Bu formül mevcut durumda kullanılan mazotlu otobüsler için kullanılırken araç yolcu kapasitesi 57 olarak alınmıştır.

$$\text{Otobüs Sefer Sayısı} = \text{Yolcu Sayısı} / \text{Otobüsün Kapasitesi} \quad (3)$$

Eşitlik.4 ile hesaplanan toplam otobüs sefer sayıları ile hatlarda kullanılması planlanan 45 adet otobüs dikkate alındığında, Eşitlik.4 ile otobüs başına düşen günlük sefer sayısı hesaplanmıştır.

$$\text{Gerçekleştirilmesi Gereken Sefer Sayısı} = \text{Otobüs Sefer Sayısı} / \text{Otobüs Sayısı} \quad (4)$$

Alınan verilerle ve verilen formüllere göre 21 ve 22 no.lu hatlarla ilgili hesaplanan yolcu kapasite değerleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 1 21 ve 22 No.lu Hatların Yolcu Kapasiteleri.

HAT NO	GÜNLÜK YOLCU SAYISI	ARAÇ SAYISI	ARAÇ BAŞINA YOLCU SAYISI	GÜNLÜK YOLCU TAŞIMA KAPASİTESİ
21 No.lu	9.449	25	393	9.576
22 No.lu	7.349	20	386	7.581

Tablo 2'de de görüldüğü gibi günlük toplam yolcu sayımız 16.798 kişidir.

Alınan verilerle ve verilen bilgilere göre Manisa – Muradiye mevcut durum analizindeki mazotlu otobüsler ile elektrikli otobüsler için 21 ve 22 no.lu hatlarla ilgili hesaplanan gerçekleştirilmesi gereken sefer sayıları Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3 21 ve 22 No.lu Hatların Sefer Sayıları.

	Kişi S.	Kapasite S.	Sefer S.	Otobüs S.	Gerçekleştirilmesi Gereken Sefer Sayısı	21no.lu Hat S.S.	22no.lu Hat S.S.
Mazotlu Ar.	16.798	57	301	45	7	175	140
Elektrikli Ot.	16.798	125	134	10	14		

### Manisa – Muradiye Hattında Mazotlu ve Elektrikli Otobüs Kullanımına Göre Maliyet Karşılaştırılması

#### Yalnızca Mazotlu Otobüs Kullanılırsa Maliyet Hesabı:

Ülkemizde mazot, benzin gibi akaryakıt türlerine KDV'nin dışında uygulanan yüksek orandaki özel tüketim vergisi (ÖTV) nedeniyle söz konusu yakıtların piyasa fiyatları dünya ortalamasının çok üstündedir. Bu nedenle mazot kullanımına dayalı toplu taşıma sistemlerinde yakıt giderleri, diğer yakıt türlerini kullanan toplu taşıma sistemlerine göre daha yüksektir.

MBB Ulaştırma Daire Başkanlığından alınan 2019 yılı mart ayı verilerine göre mazotlu otobüslerle ilgili günlük giderler Tablo 4'te verilmektedir. Hem mazotlu hem elektrikli otobüslerde şoför maaşları medeni duruma, çocuk sayısına ve eşin iş durumuna bakılarak farklılık göstermektedir. Şoförler ortalama 2.523,- TL maaş almaktadır. Belediyenin kullandığı mazotlu otobüslerin alım maliyeti 350.000,- TL ve km başı yakıt masrafı 1,75- TL'dir. Mazotlu araçların 20.000 km. 'de bir periyodik bakımlarının yapılması gereklidir ve bu bakımın maliyeti 1.500,- TL'dir. Mazotlu otobüsün motorlu taşıtlar vergisi (MTV) 6 aylık 1.300,-TL'dir. Tüm gider değerleri günlüğe çevrilerek, Tablo 4'te gösterilmiştir.

MBB Ulaştırma Daire Başkanlığından alınan 18.Mart.2019 tarihli alınan günlük yolcu sayım verilerine göre 21 ve 22 no.lu güzergâh boyunca kullanılan otobüs sayısına göre toplam otobüs alım maliyeti (TOAM) Eşitlik.5'te, günlük şoför maaş ücreti (ŞMÜ) Eşitlik.6'da,günlük yakıt masrafı (GYM) Eşitlik.7'de, günlük periyodik bakım masrafı (PBM) Eşitlik.8'de ve toplam gider maliyeti (TGM) ise Eşitlik.9'da gösterilen şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{TOAM} = (\text{Otobüs Alım Maliyeti} / \text{Faydalı Ömür (5yıl)} / \text{Gün}) \times \text{Araç Sayısı}(45) \quad (5)$$

$$\text{ŞMÜ} = (\text{Şoför Aylık Maaş} / 30) \times \text{Araç Sayısı} \quad (6)$$

$$\text{GYM} = (21 \text{ no.lu hat}) \text{ Yakıt km. bedeli } (1,75) \times 50 \times \text{Günlük Sefer Sayısı}(25 \times 7) + (22 \text{ no.lu hat}) \text{ Yakıt km. bedeli } (1,75) \times 34 \times \text{Günlük Sefer Sayısı}(20 \times 7) \quad (7)$$

$$\text{PBM} = (((21 \text{ no.lu hat günlük sefer sayısı}) 168 \times 50 \text{ Km} + (22 \text{ no.lu hat günlük sefer sayısı}) 133 \times 34 \text{ Km}) \times 1500) / 20.000 \quad (8)$$

$$\text{TGM} = \text{Vergi Ücreti} + \text{TOAM} + \text{ŞMÜ} + \text{GYM} + \text{PBM} \quad (9)$$



### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

Tablo 4 Günlük Mazotlu Otobüs Giderleri.

MTV	Top.Oto. Alım Maliyeti	Şoför Maliyeti	Yakıt Maliyeti	Günlük Periyodik Bakım	Toplam Gider
325	8.630,1	3.784,7	23.642,5	1.519,2	37.901,5

#### Yalnızca Elektrikli Otobüs Kullanılırsa Maliyet Hesabı:

Elektrikli otobüs kullanmanın getirdiği en önemli ekonomik avantajlar; bakım maliyetlerinin az olması ve yakıt maliyetini azaltmaya katkısıdır. Doğrudan ekonomik avantaj olarak değerlendirilirse bile, elektrikli otobüslerin çevreye olan katkısı da, önemli kullanım avantajlarından biridir. Çalışmada dikkate alınan güzergâhta elektrikli otobüsler için sadece başlangıç noktasındaki şarj istasyonu, otobüslerin menzilleri dikkate alındığında şarj dolumu için yeterlidir. Bu nedenle göz önüne alınan maliyette sadece 1 adet şarj ünitesi dikkate alınmıştır. 1 adet şarj ünitesi 376.691,- TL'dir. Tablo 5'te elektrikli otobüsün günlük gider maliyeti gösterilmektedir.

Tablo 5 Günlük Elektrikli Otobüs Giderleri.

Top.Oto. Alım Maliyeti	Şoför Maliyeti	Enerji Maliyeti	Şarj Cihazı Bedeli	Toplam Gider
15.126,8	841	700	2,06	16.669,86

Eşitlik.10'da Toplam Kilometre Gideri (TKG) hesaplanmıştır. Elektrikli otobüslerde 21 no.lu hattın uzunluğu olan 50 km uzunluğundaki yol tercih edilmiştir.

$$\text{Toplam Km. Gideri} = \text{Sefer Sayısı} \times 50 \times 1 \quad (10)$$

Eşitlik.11'de Şarj Cihazı Maliyeti hesaplanmıştır.

$$\text{Şarj Cihazı Maliyeti} = (\text{Şarj Cihazı Maly.} / \text{Faydalı Ömür (5yıl)} / \text{Gün}) \times \text{Araç Sayısı} \quad (11)$$

Eşitlik.12'de Toplam Gider Maliyeti hesaplanmıştır.

$$\text{TGM} = \text{TOAM} + \text{ŞMÜ} + \text{Toplam Km. Gideri} + \text{Şarj Cihazı Maliyeti} \quad (12)$$

#### Yarısı Mazotlu Yarısı Elektrikli Otobüs Olarak Kullanılırsa Maliyet Hesabı:

Toplam 16.798 kişinin yarısının geleneksel mazotlu otobüslerle yarısının ise elektrikli otobüslerle taşınması durumu için maliyet hesabı çıkarılmıştır. Tablo 6'da ulaşımda yarısı mazotlu elektrikli otobüs tercih edilirse, otobüslerin ve sefer sayılarının nasıl olacağı gösterilmiştir.

Tablo 6 Mazotlu ve Elektrikli Otobüslerin Adet ve Sefer Sayıları.

	Kişi S.	Kapasite S.	Sefer S.	Otobüs S.	Gerçekleştirilmesi Gereken Sefer Sayısı	21no.lu Hat S.S.	22no.lu Hat S.S.
Mazotlu Ar.	8.399	57	147	11	14	6	5
Elektrikli Ot.	8.399	125	67	10	7		

Otobüs Seçimlerine Göre Maliyet Hesabı Kıyaslaması:

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

Tablo 7'de güzergâhta yolcuların yarısı mazotlu otobüslerle yarısı elektrikli otobüslerle taşınırsa, otobüslerin gider maliyetlerinin nasıl olacağı gösterilmiştir.

Tablo 7 Mazotlu ve Elektrikli Otobüslerin Gider Maliyetleri.

	MTV	Top.Oto. Alım Maliyeti	Şoför Maliyeti	Yakıt Maliyeti	Günlük Periyodik Bakım	Şarj Cihazı	Toplam Gider
Mazotlu O.	79,42	2.109,5	925,1	822,5	52,8	-	3.989,32
Elektrikli O.	-	10.588,8	336,4	500,0	-	1.444,8	12.870

Yapılan hesaplamalar sonucunda sadece mazotlu ve elektrikli otobüsler kullanıldığında, elektrikli otobüsün gider maliyeti daha düşük çıkmaktadır. Bu çalışmalar sadece günlük veriler göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

### Sonuç

Bu çalışmada Manisa Celal Bayar Üniversitesi'nin Mühendislik Fakültesinin de yer aldığı ana kampüs olan Muradiye kampüsünün de içinde bulunduğu, Muradiye mahallesindeki toplu taşıma hattının geleneksel mazotlu otobüslerle ve / veya elektrikli otobüslerle sağlanması durumu ile ilgili analizler yapılmıştır.

Elektrikli otobüsler çevre dostudur ve sürdürülebilirdir. Elektrikli araç sistemlerinin kullanımı ile, hem yakıt tüketiminin azaltılmasıyla maddi olarak kazanç sağlanmakta hem de emisyon salınımları minimum seviyeye çekilmektedir. Emisyon değerlerinin en düşük seviyede olması için en önemli husus, elektrik enerjisinin üretim kaynağıdır. Kömür ve mazot gibi tükenbilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi hem maliyetli hem de çevreye zararlıdır. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi, tükenbilir enerji kaynaklarının aksine maliyeti ucuz ve çevrecidir. Neredeyse sifıra yakın CO<sub>2</sub> salınımı sayesinde çevreye zehirli gaz salınımı minimize edilmiş olur.

Seçilen güzergâhta otobüs tiplerine göre ayrı ayrı maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Yarısı mazotlu yarısı elektrikli otobüsle sağlanan ulaşım ise yalnızca mazotlu ve yalnızca elektrikli araç kullanımı ile sağlanan ulaşımdan mali açıdan daha avantajlıdır. Yarısı mazotlu yarısı elektrikli otobüsle sağlanan ulaşım, yalnızca elektrikli otobüs kullanımı ile sağlanan ulaşımdan 189,46 TL daha avantajlıdır. Yalnızca mazotlu otobüs kullanımı mali açıdan en yüksek gidere sahiptir.

Çalışma sonucunda güzergâhta yalnızca elektrikli otobüs kullanılması çevre temizliği, gürültü kirliliği, bakım/onarım kolaylığı açısından, yarısı mazotlu yarısı elektrikli otobüs kullanımı ise mali açıdan avantajlıdır.

### Teşekkür

Çalışmamız boyunca verilerin sağlanması, yardımları ve destekleri için, Manisa Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığına teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

Aydemir T. (2014), Elektrikli Araçların Çevresel Etkilerinin ve Yakıt Avantajlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bora Y. (2017), Elektrikli Araç Sistemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[http://ogrencisleri.cbu.edu.tr/db\\_images/file/ogrencisayilari/2018-2019%20e%4%9fitim-%c3%96%4%9fretim%20y%4%b1%20%3%96%4%9frenci%20say%4%b1lar%4%b1.pdf](http://ogrencisleri.cbu.edu.tr/db_images/file/ogrencisayilari/2018-2019%20e%4%9fitim-%c3%96%4%9fretim%20y%4%b1%20%3%96%4%9frenci%20say%4%b1lar%4%b1.pdf).

Manisa Celal Bayar Üniversitesi (MCBÜ)

Otomotiv Teknolojileri Platformu (Otep), “Stratejik Araştırma Programı Raporu”, 06.2011, s. 1-2.

Öngel A., Ergin E., Camkesen N., Sağlam İ., Yalçın Y., (2017), Elektrikli Araçların Çevre ve Sağlık Avantajları, Transist Akademik Bildiri Kitabı, Sayfa 541-551,2-4 Kasım, İstanbul.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK).

Varol S. (2017), İstanbul Karayolu Yolcu Taşımacılığında Elektrikli Araç Kullanımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Uysal L.K., (2019), Kampüs İçi Kullanım Amaçlı Bir Elektrikli Araç Tasarımı ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

### Ulaştırmada Erişim ve Sürdürülebilirlik Ortak Paydası Olarak Yürünebilirlik: Davutpaşa Yerleşkesi Örneği

**Berna AKSOY**

Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü-İstanbul  
Tel: (0 212) 383 51 87, E-Posta: [baksoy@yildiz.edu.tr](mailto:baksoy@yildiz.edu.tr)

### Öz

Yürünebilirlik; kentsel alan ulaştırma ağının temelini oluşturan, fiziki çevre ve bireysel tepkilerin etkileşiminden ortaya çıkan bir olgudur. Yayalar için güvenli, konforlu ve estetik algılarına hitap eden bir biçimde erişimin sağlandığı alanlar ‘yürünebilir alanlar’ olarak tanımlanır. Yürünebilirliğin yüksek olduğu bir toplu ulaşım ağı; herhangi bir topluluğun tasarlayabileceği, inşa edebileceği ve koruyabileceği en uygun sistemdir. Yürünebilirliğin yüksek olması, kentsel bölgelerde doğal ve ekonomik kaynakların sürdürülebilirliğini destekler. Ek olarak insan etkileşimini, fiziksel sağlığı ve artırılmış güvenliği de beraberinde getiren bir sosyal bileşen olarak göze çarpar. Üniversite yerleşkeleri-özellikle şehrin içinde yer alan üniversite yerleşkeleri- küçük ölçekte birer kentsel yaşam alanıdır. Bu bağlamda, üniversite yerleşkelerinin de erişim bakımından güvenlik, konfor ve estetik anlamlarda değerlendirilmeleri yürünebilirliğin farklı yansımalarının incelenmesi için önem taşır. Bu çalışma kapsamında amaç, Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesi’nin erişim ve sürdürülebilirlik ortak paydasında yürünebilirliğinin araştırılmasıdır. Öğrencilerden oluşan bir örneklem kümesi belirlenmiş; bu kümeye ulaştırma türü tercihleri, yürüme alanı yeterlilikleri ve güvenlik algıları, yürüme tercihlerine etki eden unsurlar, yerleşke içi yatay/düsey işaretlemeler ile yerleşke içi sürücü davranışlarına ilişkin sorular sorulmuştur. Elde edilen sonuçlar neticesinde Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesi’nde yaya erişim sorunları ortaya konulmuştur. Ortaya çıkarılan erişim sorunlarının yanı sıra, söz konusu alan güvenlik, yürüme konforu ve estetik algıları bakımından değerlendirilmiş ve sürdürülebilir ulaştırmanın en güçlü ve büyük bileşeni olan yürüme türünün geliştirilmesi için bir takım önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Yaya erişimi, Yürünebilirlik, Küresel Yürünebilirlik İndeksi.

### Giriş

Ulaştırma planlamasında sunu-talep dengesi, üzerinde uzun yıllardır çalışılan bir konudur. Ulaştırma hizmetlerinde yeni altyapı sunumu, beraberinde kendi talebini de getireceği için, özellikle ön görülenden fazla ve dolayısıyla çarpık bir biçimde büyüyen şehirlerde, taşıt sahipliğini artırır. Bu nedenle, 21. yüzyıl koşullarında yeni altyapı sunumu sürdürülebilir bir ‘hizmet iyileştirme yöntemi’ olmamaktadır. Gelişimini sürdüren şehirlerde, yaya yolculukları tüm yolculuk türleri içerisinde önemli bir oranı simgelemesine rağmen, yaya altyapıları yerel yönetimler tarafından planlama ve

özellikle bütçe ayırma aşamalarında sıklıkla ihmal edilmektedirler (Krambeck, 2006). Oysa bugün, özellikle anakent haline gelmiş kentlerde, trafik sorununun çözülebilmesinde geçerli tek yöntemin sürdürülebilir ulaşırma türlerini geliştirmek olduğu tüm ulaşırma uzmanları tarafından kabul edilmektedir. Ek olarak, gelişmiş ülkelerde son yılların gündeminde en çok yer oluşturan konulardan biri de 'herkes için tasarım' konusudur. Toplumun tüm bireyleri için tam ve fiziksel yeterliliğın geçici bir durum olduğu düşünöldüğünde, dış mekan tasarımlarının evrensel tasarım ilkelerine göre yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Esasında bir 'fiziksel engelli çevre' sorunu olarak ele alınan engelli erişilebilirliğindeki bazı konular, sürdürülebilir ulaşırmanın 'yürünebilirlik' unsuru ile kesişmektedir. Bu bakımdan, yürünebilirlikte meydana getirilecek iyileştirmelerin engelli erişilebilirliğine de yadsınamaz katkıları olacaktır (Ergenoğlu, 2013).

Tüm yolculuklar, ilk taşıt kullanım noktasına ulaşmak üzere yürüme ile başlar ve kapıdan kapıya yolculuğun son adımında yine yürüme ile biter. Yani kullanılacak olan ulaşırma türü ne olursa olsun, yolculuk yürümeye elvermeyecek kadar uzun olsa bile, tüm yolculuklar için yürüme vazgeçilmez bir türdür (Krambeck, 2006). Bu vazgeçilmezliğinin yanı sıra, yürüme türü çevreyle dost, insan sağlığına faydalı, sürdürülebilir ve toplu taşımayı destekleyici türlerden olmaktadır (Özgün ve Ögüt, 2017). Yine sürdürülebilir ulaşırma türlerinden olan bisiklet türü, Hollanda şehirleri gibi topografik olarak uygun olan şehirlerde yaygın bir sürdürülebilir çözüm olurken, topografik engellerin ön plana çıktığı İstanbul gibi şehirlerde diğer türlerle rekabet edememektedir. Bisikletin yaygınlaşırılmadığı bir kent olarak İstanbul'da, yeterli koşulların sağlanmasıyla artırılabilir bir 'yürünebilirlik', en azından toplu taşıma türlerini kullanmayı destekleyici etkisi ile sürdürülebilir çözümlere bir katkı sağlayacaktır.

Günümüzde özellikle kentlerin içinde kalan üniversite yerleşkelerinin de erişim ve yürünebilirlik ortak paydasında değerlendirilmesi ve durumlarının ortaya konarak yürüme türünün cazip hale getirilmesi amacıyla hareket edilmeye başlanmıştır. Çalışmanın amacı; kent içerisinde kalan bir yerleşke olan Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesi'nde yaya erişim sorunlarını ortaya koymak, söz konusu alanı güvenlik, yürüme konforu ve estetik mekansal algıları bakımından değerlendirmektir. Bu küçük çaplı saha araştırmasında, eksiklerin gün yüzüne çıkarılması ve yapılan çıkarımlar neticesinde yürüme türünün geliştirilmesi için öneriler getirilmesi umulmaktadır.

### Önceki Çalışmalar

Artan iklim sorunları ile birlikte dünyada genel eğilim; yürüme, bisiklet kullanımı, araç paylaşımı ve toplu taşıma kullanımını artırma yönündedir. Yürüme, insan yaşamının köşe taşı olarak görülebilir. Yürüyüş hem fiziksel ve zihinsel sağlığı hem de sosyal etkileşimi arttırmaya yardımcı olan fiziksel bir etkinliktir. (Bassett, D. ve diğ., 2008). Ancak geleneksel trafik araştırmaları birçok yaya etkinliğini görmezden gelme eğilimindedir. 2001 yılında Amerika'da yapılan bir hane halkı anketi çalışması kişisel yolculukların %8,6 sının yürüme ile yapıldığını ortaya koymuştur (BTS, 2001). Oysa yapılan bir başka çalışma (Rietveld, 2000), motorlu taşıtlar ile gerçekleştirilmeyen yolculukların gerçek sayısının geleneksel araştırmalarda belirtilenden altı kat daha fazla

olduğu sonucuna ulaşmıştır. Kentsel alanlarda yürüyenlerin oranını küçümsemek, otomobil merkezli bir karayolu ile ödünleşmeye gitme olasılığına işaret eder. Örneğin; yerel yönetimler yanlış bir politika olarak, kaldırım genişliğini artırmak yerine, yolun genişliğini daha fazla araca izin verecek şekilde artıracaktır. Geniş yollar, yüksek trafik hızları ve geniş park olanakları yürüme engelleri oluşturur, bu nedenle düşük yürünebilirlik otomobile bağımlı topluluklar oluşturma eğilimindedir.

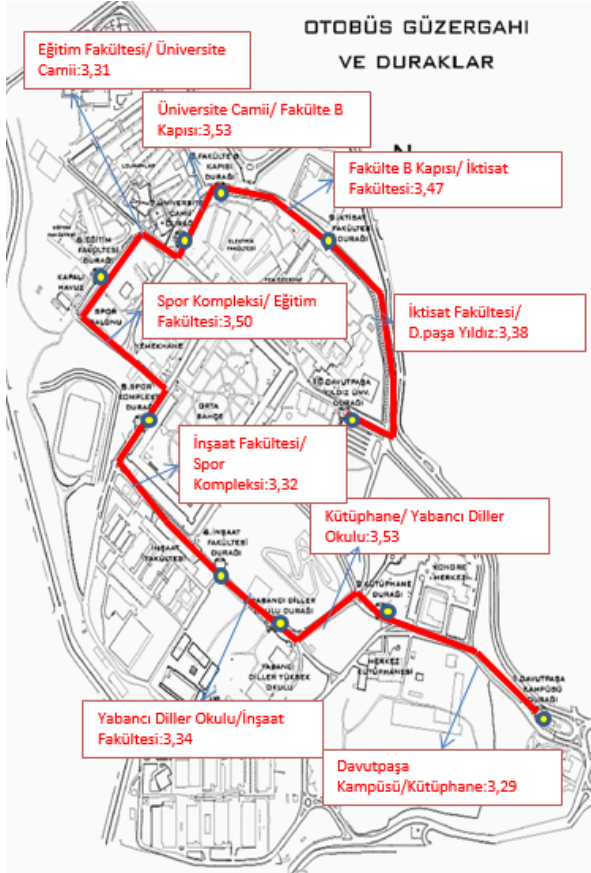
2006 yılında Krambeck tarafından yapılan yüksek lisans çalışması, Dünya Bankası tarafından desteklenmiş ve şehir plancılarına şehirlerdeki yerel yaya koşullarının durumunu ortaya koyarak yardımcı olmayı, tüm şehirler için genelleştirilebilecek sayısallaştırılmış bir yürünebilirlik indeksi oluşturmayı amaçlamıştır (Krambeck, 2006). Çünkü artan yürünebilirlik, toplu taşıma verimliliğini de arttırmaktadır. Dönüşen dünyada, kentsel alanlarda daha yüksek bir yaya ve bisiklet taşımacılığı kapasitesine izin verecek şekilde otomobil hacmini azaltmaya yönelik yöntemler uygulanmaya çalışılmaktadır. Şehir plancıları son yıllarda tasarımın 3D'si üzerine çalışmaktadırlar: Density (yoğunluk), design (tasarım) ve diversity (çeşitlilik). Büyük şehirlerde, şimdilik üzerinde en çok durulan konu kuşkusuz yoğunluktur ve şehir plancıları özellikle, inşa edilen alanları yoğunlaştırma ve yürüme dostu tasarımları artırma çabasındadırlar. Yürüme dostu alanların artırılması, toplulaştırılmış ve merkezleştirilmiş mimariye işaret eder ve ayrıca gürültü yalıtımı için gereken tampon alanları da ortadan kaldırır. Dolayısıyla, alan kullanım verimliliğini de artırır. Alan kullanım verimliliğinin artması, ulaşırmada fiziki anlamda özel önlemlere ihtiyaç duyan insanlar (örneğin engelli bireyler) için erişilebilirliğin de artması demektir. Yürünebilirliğin ve alan kullanım verimliliğinin artması, tüm doğrudan faydaları yanında, yol ve park tesislerinde ihtiyaç duyulan alanları yani 'ısı adası' etkilerini, enerji tüketimi ve kirlilik salımlarını da azaltmaktadır. Bu bakımdan yürünebilirlik, şehir plancılığı ile ulaşırma mühendisliği meslek dallarının ortak olarak çalıştığı konulardan olmaktadır (Minhas P. ve Podder A., 2017)

Geçmişte yapılan yürünebilirlik değerlendirmeleri, bir alanın çevresinin ve sağlıklılığının nasıl iyileştirilebileceğini anlamaya yardımcı olmuştur. 2001 yılında Ontario'da yapılan bir yürünebilirlik değerlendirmesi, ilkokuldan itibaren 6 düzey öğrenci anketini bir araya getirmiş, Ontario'daki 78 ilköğretim okulunda çocukların okula erişimlerindeki zorlukları ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlara göre, yolların ve kaldırımların bakımı, peyzaj çalışmaları ve ilerideki çalışmalar için bir takım öneriler yapmak mümkün olmuştur (Christian S. ve diğ., 2010).

Üniversite yerleşkelerinde yerleşke içi hareketleri 'yeşil' hale getirme, çevresel farkındalığı ve sürdürülebilirliği geliştirme fikri yeni değildir. Dalhousie Üniversitesi Studley Yerleşkesi'nde, en yaygın tür olan yürüme için 2010 yılında bir yürünebilirlik çalışması yapılmış (Christian S. ve diğ., 2010), yerleşke güvenli ve tehlikeli yürüme bölgelerine ayrılarak haritalandırılmıştır. Bu çalışma aynı zamanda kaldırımların ve yaya geçitlerinin korunması ve iyileştirilmesi, trafiğin denetlenmesi için önerilerde bulunmaya imkan sağlamıştır. Sonuçlar, Studley Yerleşkesi'ndeki üç ana konutta yaşayan öğrencilere uygulanan anketlerden elde edilmiştir. Uygulanan 312 ankete göre elde edilen sonuçlar, öğrencilerin %20'sinin yerleşkede yürümek için yeterli/uygun alan olmadığını hissettiğini göstermiştir. Bu öğrencilerin %50'si kırılmış/çatlamış kaldırımlardan şikayetçi olmuş, %40,5'i ise kaldırımlarda süresizliklerden söz etmiştir.

Anket sonuçlarına dayanarak, Studley Yerleşkesi'nde iyileştirilmesi gereken alanları gösteren bir yeşil harita tasarlanmıştır. Çevrenin iyileştirilmesine yönelik dünya çapında artan kaygılar göz önüne alındığında, üniversitelerin de ana planlarına "sürdürülebilirlik" konusunu eklemelerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Çalışmanın bu bağlamda katkı sağlayacak bir çalışma olması umulmaktadır.

### Davutpaşa Yerleşkesi Hakkında Genel Bilgiler ve İzlenen Yöntem



Şekil 1. Davutpaşa Yerleşkesi Durum Planı

Davutpaşa Yerleşkesi, 'şehrin içinde şehirden bağımsız' bir yerleşkedir ve adeta büyük ölçekte bir kasaba kadar geniş bir alandır. İstanbul'daki pek çok üniversiteden daha üstün konumda olan bu yerleşkede, 2019 yılı verilerine göre 30.000'i aşkın öğrenci eğitim görmektedir. Gerek dünyada gerekse ülkemizde yürütülen çalışmalar, artık üniversite yerleşkelerinin de erişilebilirlik ve sürdürülebilirlik anlamında ele alınması gereken ölçekte alanlar olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma kapsamında Dünya Bankası tarafından desteklenen ve Holly Krambeck tarafından geliştirilen, tüm dünyada en geçerli ve yaygın indeks olan Küresel Yürünebilirlik İndeksi (KYİ) kullanılmıştır. Anket temelli olan bu indeksin üç bileşeni vardır: Güvenlik, Uygunluk ve Kamusal

Desteklenme Oranı. Kamusal Desteklenme Oranı, kamudaki uzmanlara yönlendirilebilecek sorulara yönelik bilgiler içerdiğinden hazırlanan ankette bu bileşen kullanılmamıştır. Yerleşke içerisindeki ana yol ağı, daha önce Halaskargazi Caddesi'nde yapılan (Özgün ve Ögüt, 2017) bir çalışmada olduğu gibi İETT durakları arası uzaklıklar esas alınacak biçimde, yerleşke içerisinde 10 adet İETT durağı bulunması nedeniyle dokuz parçaya ayrılmıştır. Davutpaşa Yerleşkesi öğrencilerine çeşitli ayırt edici niteliksel özellikleri de bulunduran anket yöneltilmiş ve yerleşkenin sürekli kullanıcılarından seçilen yüz anket değerlendirme kapsamına alınmıştır. 2019 yılı verilerine göre 30.000 öğrencilik ana kütleliyi oluşturan Davutpaşa Yerleşkesi için basit bir istatistiksel yaklaşımla, %8 lik hata kabulü ve %95 güven aralığı ile yaklaşık olarak 100 anket, örneklem kümesi olarak seçilebilmektedir. Hata kabulü düşük düzeylerde olmamasına rağmen, ileriki çalışmalara altlık olmak üzere betimleme gücü yüksek bir geri besleme alma umudu doğurmaktadır. Elde edilecek olan sonuçların, ileride yapılabilecek daha kapsamlı yürünebilirlik çalışmalarında kullanılabilir olacak göstergeler ve üniversite yönetiminin de karar alırken göz önünde bulundurabileceği bilgiler vermesi amaçlanmıştır.

### Bir Saha Araştırması Olarak Davutpaşa Yerleşkesi Yürünebilirliği

Çalışma kapsamında yapılan anket örneği Şekil 2'de verilmiştir.

Yazınız ( ) Cinsiyetiniz ( )		Ölçeklendirme: 1:çok kötü 2:kötü 3:orta 4:iyi 5:çok iyi									
Anket hangi durak aralığında yapılıyor?		1-Davutpaşa Kampüsü	2-Kütüphane	3-Yabancı Diller Okulu	4-İnşaat Fakültesi	5-Spor Kompleksi	6-Eğitim Fakültesi	7-Üniversite Camii	8-Fakülte B Kapısı	9-İktisat Fakültesi	10-Davutpaşa Yıldız Üniversitesi
<b>Emniyet ve Güvenlik</b>											
1-Yerleşke içerisinde kendinizi taşıt çarpmasına karşı ne kadar güvende hissediyorsunuz?	1	2	3	4	5						
2-Yerleşke içerisinde kendinizi suça karşı ne kadar güvende hissediyorsunuz?	1	2	3	4	5						
3-Yerleşke içi sürücü davranışları size ne kadar güvenlidir? En sık hangi sorunu karşılaşıyorsunuz?	1	2	3	4	5						
A-karşidan karşıya geçenlere yol vermemeye B-ayrın hızı araç sürme											
4-Yerleşke sınırlarının 'yaya öncelikli yol' kapsamında olduğunu biliyor musunuz?	E	H									
<b>Rahatlık ve Çekicilik</b>											
1-Yerleşke içinden yürüyerek anayola ulaşmak size ne kadar kolaydır? Bu yürüyüşte harcadığınız zaman takriben kaç dakikadır? ( )	1	2	3	4	5						
2-Yerleşke içerisindeki yollarda olası hava durumu değişikliklerinden etkilenmemeyi sağlayacak kapalı alanlar ne kadar yeterlidir? Bunların varlığından (ğ kadar memnunsunuz?) (Otobüs durakları, saşak altları, gardaklar vs.)	1	2	3	4	5						
3-Yerleşke içi yollarda erişimi kolaycıo illegal parklanmalardan, telefon/elektrik direkleri, uygunsuz yerleştirilmiş kent mobilyalarının (çöp kutuları, direkler, babalar, beton sakallar, bankalar) varlığından, yamı yürürme korforuzundan ne derece memnunsunuz?	1	2	3	4	5						
4-Araçların genişliğinden, sürekliliğinden ve bakım/bemirliğinden ne kadar memnunsunuz?	1	2	3	4	5						
5-Sıgılandırılmadan ve uygun olarak kullanıma sunulmuş kent mobilyalarından (bank, gardak) (ğ kadar memnunsunuz?	1	2	3	4	5						

### Şekil 2. Çalışma Kapsamında Yapılan Anket Örneği

İndeks hesaplaması, i kadar sorunun j kadar kesime ayrılmış bir yolda, k kadar katılımcıya sorularak puanlandırılması, daha sonra bu puanların kesim uzunlukları ve kesimi kullanan yaya sayılarına göre ağırlıklandırılması ve tercihen sorulara da uzman görüşüne dayanan bir önem ağırlığı verilmesi temeline dayanır. Bu çalışmada, kesimleri kullanan yaya sayılarının homojen olduğu kabulü yapılmış ve puan ağırlıklandırılması

yalnızca kesim uzunluklarına göre yapılmıştır. Çalışma kapsamında uzman görüşüne dayanan soru önem ağırlıklandırması işlemi ise tercih edilmemiştir. Yöntemde, tıpkı Halaskargazi örneğinde olduğu gibi (Özgün ve Ögüt, 2017), öncelikle i sayıda soru, j kadar kesime ayrılmış yolda k sayıda katılımcıya sorularak puanlandırılmış (Denklem 1), her kesimin puanı kesim uzunluğuyla çarpılarak her sorunun tüm kesimlere ait olan puanları belirlenmiş (Denklem 2) ve ardından n sayıda soru için aritmetik ortalama alınarak Küresel Yürünebilirlik İndeksi (KYİ) değeri hesaplanmıştır (Denklem 3).

$$\overline{x_{ij}} = \frac{\sum_{k=1}^p x_{ijk}}{p} \quad (1)$$

$$\overline{x_i} = \frac{\sum_{j=1}^n \overline{x_{ij}} * m_j}{\sum_{j=1}^n m_j} \quad (2)$$

$$KYI = \frac{\sum_{i=1}^n \overline{x_i}}{n} \quad (3)$$

Kesim numaralandırmaları durak isimlerine göre yapılmıştır (Tablo 1).

**Tablo 1. Durak Numaraları ve İsimleri**

1-Davutpaşa Kampüsü	6-Eğitim Fakültesi
2-Kütüphane	7-Üniversite Camii
3-Yabancı Diller Yüksek Okulu	8-Fakülte B Kapısı
4-İnşaat Fakültesi	9-İktisat Fakültesi
5-Spor Kompleksi	10-Davutpaşa Yıldız Üniversitesi

Bunlara göre elde edilen her bir kesime ait küresel yürünebilirlik indeksi değerleri, Tablo 2’de verilmiştir. Sorular için elde edilen yolun tamamına ait değerler ve yol kesimlerinin uzunlukları sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4’te verilmiştir.

**Tablo 2. Her Soru ve Kesim İçin Küresel Yürünebilirlik İndeksi Değerleri**

Kesim/ Soru	1.soru	2.soru	3.soru	5.soru	6.soru	7.soru	8.soru	9.soru
	Yerleşke içerisinde kendinizi taşıt çarpmasına karşı ne kadar güvende hissediyorsunuz?	Yerleşke içerisinde kendinizi suça karşı ne kadar güvende hissediyorsunuz?	Yerleşke içi sürücü davranışları sizce ne kadar güvenlidir?	Yerleşke içinden yürüyerek anayola ulaşmak sizce ne kadar kolaydır?	Yerleşke içerisindeki yollarda olası hava durumu değişikliklerinden etkilenmemeyi sağlayacak kapalı alanlar ne kadar yeterlidir? Bunların varlığından ne kadar memnunsunuz?	Yerleşke içi yollarda erişimi kısıtlayıcı illegal parklanmalardan, telefon/elektrik direkleri, uygunsuz yerleştirilmiş kent mobilyalarının (çöp kutuları, direkler, babalar, beton saksılar, banklar) varlığından, yani yürüme konforunuzdan ne derece memnunsunuz?	Kaldırımların genişliğinden, sürekliliğinden ve bakım/temizliğinden ne kadar memnunsunuz?	Işıklılandırma ve uygun olarak kullanılan mobilyalardan (bank, çardak) ne kadar memnunsunuz?
1 ve 2	3,42	3,75	3,00	3,83	1,75	3,83	3,25	3,50
2 ve 3	3,67	4,83	3,08	3,92	2,00	4,00	3,42	3,33
3 ve 4	3,67	4,25	3,25	3,83	1,58	3,50	3,00	3,67
4 ve 5	3,81	4,25	3,25	3,69	1,69	3,44	3,31	3,13
5 ve 6	3,78	4,44	3,33	4,11	1,67	3,56	3,56	3,56
6 ve 7	3,22	3,78	3,44	3,67	1,89	3,78	3,00	3,67
7 ve 8	3,11	4,22	3,33	4,00	1,89	3,89	3,67	4,11
8 ve 9	3,64	4,09	3,36	3,73	2,36	3,55	3,18	3,82
9 ve 10	3,90	4,30	3,30	4,20	1,40	3,70	3,30	2,90

**Tablo 3. Yolun Tamamına Ait Küresel Yürünebilirlik İndeksi Değerleri**

1.soru	2.soru	3.soru	5.soru	6.soru	7.soru	8.soru	9.soru
3,65	4,18	3,25	3,91	1,72	3,67	3,29	3,38

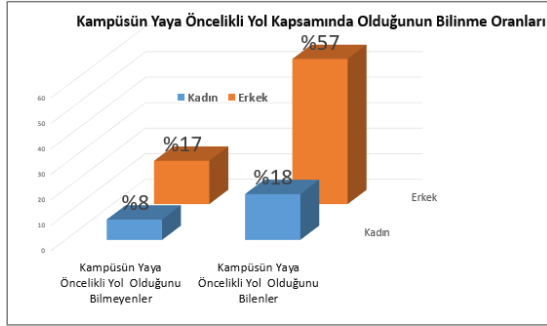
**Tablo 4. Yol Kesimlerinin Uzunlukları**

Durak Aralıkları (km)								
1 ve 2	2 ve 3	3 ve 4	4 ve 5	5 ve 6	6 ve 7	7 ve 8	8 ve 9	9 ve 10
0,5	0,17	0,21	0,5	0,3	0,26	0,15	0,26	0,7

## Sonuçlar

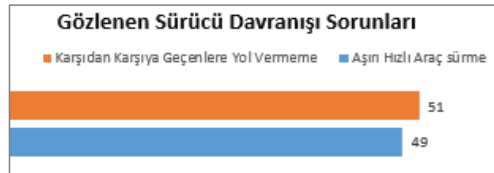
Ankete katılanların %26’sı kadın ve %74’ü erkektir. Sayısal hesaplamalara ek olarak, öğrencilere nitelik soruları da sorulmuş ve alınan yanıtlara göre, öğrencilerin %25’lik kesiminin yerleşke yollarının ‘yaya öncelikli yol’ kapsamında olduğunu bilmedikleri

ortaya çıkmıştır (Şekil 3). Bu durum, öğrencilerin dörtte birinin yerleşke içerisindeki trafik haklarından haberdar olmadığı anlamına gelmektedir. Öğrencilerde farkındalığın artırılması için, ‘yaya öncelikli yol’ kavramına dair bilgilendirmelerin artırılmasına çalışılmalıdır. Bu farkındalığın yükselmesi ile yerleşke içerisinde sürücü kaynaklı hak ihlallerinin bir miktar azalması söz konusu olabilecektir.



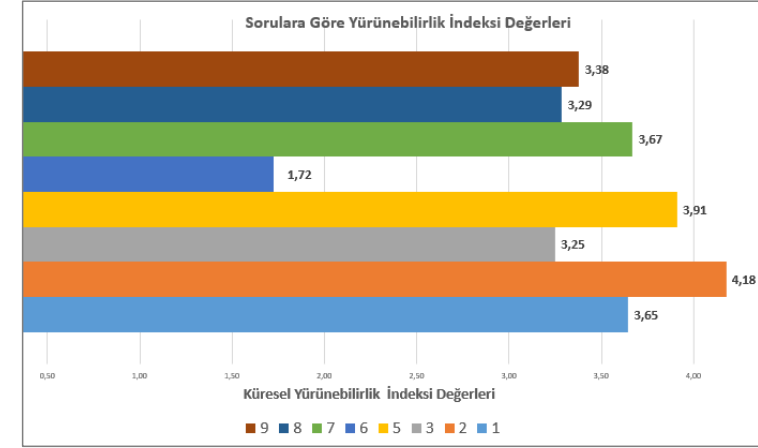
Şekil 3. Yaya Öncelikli Yol Kapsamının Bilinme Oranı

Sorunlu sürücü davranışları sınıflandırılmak istendiğinde, en sorunlu sürücü davranışını karşıdan karşıya geçene yol vermeme olarak yanıtlayanlar ile aşırı hızlı araç sürme olarak yanıtlayanların oranı birbirine çok yakın çıkmıştır (Şekil 4). Bu durum, eğitim seviyesi çok yüksek olan bir üniversite yerleşkesinde bile ‘sıradan’ sayılabilecek trafik sorunlarının yaşandığını göstermektedir. Öğrencilerin %49’u aşırı hızlı araç sürme gibi bir sorunu ‘algılamışlardır’. Bir cadde kesitinde olduğu gibi, üniversite yerleşkesi içerisinde de kabul edilemez olan bu durum hız ölçümleri ile doğrulanmalı, hız ihlallerinin önlenmesi için gerekirse yönetimler tarafından cezai yaptırımlar uygulanmalıdır.



Şekil 4. Gözlenen Sürücü Davranış Sorunları

Sorulara göre belirlenen yürünebilirlik indeksi değerlerine göre, ilgi çekici bir takım sonuçlar elde edilmiştir. En düşük puanlar, yerleşke içerisindeki ani hava durumu değişikliklerinden etkilenmemeyi sağlayacak kapalı alanların yeterliliğini araştırma soruya gelmiştir. En yüksek puanlar ise yerleşke içerisinde suça karşı güven duygusunu araştırma soruya gelmiştir. Buradan hareketle, öğrencilerin yerleşke içi kapalı mekanları yetersiz bulduğu, ancak yerleşke içerisinde kendilerini suça karşı güvende hissettiği sonucuna varılabilir (Şekil 5). Kesim düzeyinde bakıldığında, öğrencilerin kendilerini taşıt çarpmasına karşı en az güvende hissettikleri kesimin üniversite camii ve B kapısı arasındaki kesim olduğu ortaya çıkmaktadır (Tablo 2). Yürünebilirlik indeksinin kesimlere göre aritmetik ortalamaları durum planı üzerine işlenmiştir. Buna göre, yerleşke içerisindeki tüm kesimlerde yürünebilirlik seviyesi orta-iyi arasında kalmaktadır (Şekil 1).



Şekil 5. Yürünebilirlik İndeksi Değerleri

Tüm bunlardan çıkarılabilecek önemli sonuçlar bulunmaktadır. Üniversite yerleşkelerinde yapılan yürünebilirlik araştırmaları, yerleşkelerin fiziki olarak ortaya çıkmamış ya da görünür olmayan sorunlarını ortaya koymakta üniversite yönetimlerine yardımcı olabilir. Örneğin çalışma özelinde, öğrencilerin yerleşke içerisinde kendilerini suça karşı güvende hissetmeleri, yerleşkenin güvenli alan olarak algılandığını ortaya koyarken; yerleşkede kapalı mekan eksikliği sorununun algılanıyor olması ise yürüme alanlarının iyileştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda kritik kesitlerde estetik çardakların oluşturulması, kapalı mekanların sıklaştırılması, hatta en basit çözüm olarak kapalı otobüs durağının yer almadığı yerlerde kapalı otobüs duraklarının oluşturulması bile sorunları büyük oranda çözecektir. Taşıt çarpmasına karşı en güvensiz kesimde, bu mekânsal algıya sebep olan sorunlar saptanabilir. Kusurlu tasarımların (örneğin yanlış bir kavşak tasarımı gibi) düzeltilmesine ya da iyileştirilmesine yönelik çalışmaların yapılması mekânsal algılamalarda iyileştirici bir unsur olacaktır. Yerleşke yollarının yaya öncelikli yol kapsamında olduğunun hangi düzeyde bilindiği ise, öğrencilerin farkındalık düzeylerinin anlaşılması bakımından önemlidir. Farkındalığın artırılması hak ihlallerini azaltacaktır. Algılanan aşırı hızlı araç sürme sorunu, ölçümlerle doğrulanmalıdır. Bu kadar kalabalık bir alanda yaşanacak olası bir kazanın geri dönüşsüz etkileri olacaktır ve bu durumun mutlaka önüne geçilmelidir. Genişletilebilecek bu tür çalışmalarda, engelli birey gruplarına yöneltilen sorularla, yerleşke yürünebilirliği daha detaylı anlaşılabilir. Yürünebilirlik, başlı başına erişimi kolaylaştıran bir unsur olmasına rağmen fiziksel engelli çevreler düzeyinde ele alınması çok daha kapsamlı sonuçlar almaya da yardımcı olabilecektir.

**Teşekkür** Bu çalışmada kullanılan vaziyet planı için (Şekil 1) Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dr. Öğr. Üyesi Selin YILDIZ’a teşekkür ederiz.

**Kaynaklar**

Bassett, D., Pucher, J., Buehler, R., Thompson, D., & Crouter, S. (2008). Walking, cycling, and obesity rates in Europe, North America, and Australia . Journal of Physical Activity and Health , 5, pp. 795-814.

Bureau of Transportation Statistics (2001) [https://www.bts.gov/archive/publications/highlights\\_of\\_the\\_2001\\_national\\_household\\_travel\\_survey/figure\\_06](https://www.bts.gov/archive/publications/highlights_of_the_2001_national_household_travel_survey/figure_06), erişim: 08.09.2019

Christian S., Cochrane S., Creelman M., d'Apollonia L., Talbot G., & Wiggins M. (2010) Studley Campus Walkability Assessment EVNS 3502: Final Report, 13.04.2010

Dalhousie University. (2010). Dalhousie University Sustainability Plan. Retrieved from [http://office.sustainability.dal.ca/Files/Dalhousie\\_University\\_Sustainability\\_Plan\\_Jan.pdf](http://office.sustainability.dal.ca/Files/Dalhousie_University_Sustainability_Plan_Jan.pdf)

Davutpaşa Kampüsü Öğrenci İstatistikleri, <http://www.ogi.yildiz.edu.tr/ogi/1/%C3%96%C4%9Frenci-%C4%B0statistikleri/75>

Ergenoğlu, Aslı S. (2013) Mimarlıkta Kapsayıcılık: Herkes İçin Tasarım, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları

Krambeck, Holly V. (2006) The Global Walkability Index, Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts Institute of Technology

Minhas P. ve Poddar A. (2017) Walkability Index By Global Walkability Index Method, International Research Journal of Engineering and Technology, July 2017, Volume 4, Issue 07, e-ISSN: 2395-0056.

Özgün S. ve Öğüt K. S. (2017) Küresel Yürünebilirlik İndeksinin Ölçülmesi: Halaskargazi Caddesi Örneği 12. Ulaştırma Kongresi, 24-26 Mayıs 2017, Adana

Rietveld, P. (2000). Nonmotorized Modes in Transport System, Transportation Research, 31-36.

**Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Engelli Bireylere Yönelik Uygulamaları**

**Emre Kuşkan<sup>1</sup>, K. Diler Alemdar<sup>2</sup>, Ömer Kaya<sup>3</sup>, M. Yasin Çodur<sup>4</sup>**  
Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği  
Bölümü Yakutiye/ERZURUM 25000  
<sup>1,2,3,4</sup> Tel: 444 5 3888

<sup>1</sup>emre.kuskapan@erzurum.edu.tr

<sup>2</sup>mycodur@erzurum.edu.tr

<sup>3</sup>kadir.alemdar@erzurum.edu.tr

<sup>4</sup>omer.kaya@erzurum.edu.tr

**Ahmet Tortum<sup>1</sup>**

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Yakutiye/ERZURUM 25050

<sup>1</sup>Tel: 442 231 4793

<sup>1</sup>atortum@atauni.edu.tr

**Öz**

Dünya Sağlık Örgütü'nün raporuna göre, 1 milyardan fazla insanda herhangi bir engellilik durumu bulunmakta ve bu sayı Dünya nüfusunun yaklaşık yüzde 15'ini oluşturmaktadır. Engelli insan oranı oldukça yüksek olmasına rağmen, günlük yaşamda az sayıda engelli ile karşılaşmaktadır. Bu durum engelli bireylerin toplumla bir araya gelme olanaklarının iyi olmadığını göstermektedir. Bireylerin toplumla iç içe olmalarına engel olan sebeplerden birisi olarak engellilere gerekli ulaşım olanaklarının sağlanmaması söylenebilmektedir. Özellikle Ülkemizde engelli bireyler, ulaşım noktasında yaşadıkları problemlerden ötürü toplumdaki uzak kalmaktadırlar. Son yıllarda engelli yolları, akıllı trafik ışıkları ve toplu taşımada çeşitli kolaylıklar sağlanmış olsa da engelli ulaşımı konusunda gelişmiş birçok ülkenin gerisinde kalmış bulunmaktayız. Engellilerin ulaşım sorunlarına bir çözüm olarak, Dünya genelinde akıllı ulaşım sistemi uygulamaları kullanılarak bazı çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalarda görme engelli bireyleri yönlendirme ve tekerlekli sandalye kullanan bireylerin istedikleri yerlere ulaşımının sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca bazı uygulamalar sayesinde taşıt kullanan engelli bireylere pozitif ayırım oluşturacak şekilde otopark alanlarında öncelikli park etme imkânı sunulmaktadır. Bu çalışmada, engelli insanların yaşadıkları ulaşım sorunlarından bahsedilerek Dünya genelinde uygulanmakta olan çalışmalar incelenmiştir. Bu bağlamda Türkiye için engelli ulaşımına yönelik çeşitli çözüm önerileri sunulmuştur. Çalışmanın amacı farkındalığı artırıp engelli bireylere yönelik bu çözümleri evrensel hale getirmektir. Bu sayede engelli bireylerin ulaşım konusunda yaşadığı zorlukların en aza indirilmesi planlanmaktadır.

**Anahtar sözcükler:** Akıllı ulaşım sistemi, Engelli bireyler, Ulaşım sorunları, Farkındalık, Türkiye

## Giriş

Dünya nüfusunun önemli bir kısmını engelli bireyler oluşturmaktadır. Yaklaşık bir milyar insanda herhangi bir engellilik durumu bulunmakta ve bu sayı toplam nüfusun yaklaşık % 15'ini temsil etmektedir (The World Bank, 2019). Ülkemizde ise yaklaşık 8,5 milyon engelli birey bulunmaktadır (Engelsiz Yaşama Derneği, 2017). Bu bireyler günlük hayatta birçok imkândan kısıtlı olarak faydalanabilmektedir. Eğitim, sağlık, istihdam ve ulaşım gibi önemli konularda sosyal ve ekonomik yönden birçok problemle karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu olumsuz durumlara rağmen engelli haklarını korumak için çeşitli dernekler ve sivil toplum kuruluşları bulunmaktadır. Ayrıca devletler tarafından bakanlıklar bünyesinde engelli bireylere daha yaşanabilir imkânlar sunmak için çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Dünya genelinde teknolojinin gelişmesi ve çeşitli kurumların desteği ile birlikte, engelli bireyler için birçok farklı alanda teknolojik yenilikler sunulmaktadır. Engellilerin yaşamını kolaylaştırmak için önemli çalışmalar yapıldığı noktalardan biri ise ulaşım alanıdır. Akıllı ulaşım sistemlerine (AUS) yönelik uygulamalardaki artış sayesinde engelli insanlara kolay bir ulaşım imkânı sağlanabilmektedir. Engelli bireylere yönelik teknolojik gelişmeler ile birçok akademik çalışma ortaya çıkmıştır. Örneğin, Ferrari ve diğ. (2014) çalışmalarında, engelli insanlar için kentsel ulaşım ağlarının için erişilebilirliğini geliştirmek için akıllı kartı modellemişlerdir. Bu kartla değişim farklılıklarına ve seyahat sürelerine odaklanan bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntemde, otobüs duraklarına erişilebilir olmayan yollar arasındaki mesafeyi azaltacak şekilde sıralamak için zamansal ve uzaysal ağ bilimi analizi kullanılmıştır. Sze ve Christensen (2017) yaşlılar ve engelliler için erişilebilir ulaşım tasarımına ilişkin mevcut uygulamaları ve kılavuzları gözden geçirmişlerdir. Özellikle, Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık ve Hong Kong'taki çalışmaları ayrıntılı olarak incelenmişlerdir. Ulaştırma faaliyetleri içerisinde; yaşam kalitesini, erişilebilirliği ve güvenliği gibi kavramları değerlendirmişlerdir. Çalışmanın sonunda bu bireyler için uzun vadede faydalı olabilecek önerilerde bulunulmuştur. Başka bir çalışmada ise Mitchell (1997) Kanada'daki yaşlı ve engelli bireylerin daha iyi imkânlar ile yolculuk yapabilmesi için AUS hakkında çalışmalar yürütmüştür. Yaptığı tahminlere göre 2025 yılına kadar, Kanada nüfusunun yüzde 23'ü yaşlı ve yüzde 21'i engelli olacağına değinmiştir. Bu bakımdan, AUS ile ilgili çalışmalar, yaşlı ve engellilerin durumunu dikkate alacak şekilde tasarlanması amacıyla birtakım önerilerde bulunulmuştur. Bu önerilerde; yakın gelecekteki vizyon gelişimi, yol rehberliği ve acil durum uyarısı gibi ekipmanlar, yaşlanmanın fizyolojik etkilerini kısmen telafi etme ve yaşlı sürücülerin güvenliğini ve hareketliliğini geliştirme potansiyelini içermektedir. Ek olarak, akıllı seyir kontrolü, çarpışma uyarısı, otomatik şerit izleme ve sonuçta otomatik otoyol gibi gelişmeler, şu anda yaşlı insanların sürüşüne devam etmesini engelleyen durumların çoğunu ortadan kaldırma potansiyeline sahip olduğunu vurgulamıştır. Sonuç olarak AUS'un toplu taşıma kullanıcılarına ve yayalara yardımcı olma konusunda önemli bir potansiyele sahip olması sebebiyle; konuşma işaretleri, görsel gösterimler ve el ile tutulan yer ve sesli duyurular, yayalar gibi rehberlik sistemlerinin geliştirilmesi gerekliliğine değinilmiştir. Jakubauskas (2008) ise yaptığı çalışmada engelli insanlar için şehir içi ulaşımını iyileştirmek için incelemeler yapmıştır. Bu sistemlerin bilgi, altyapı ve araç dağıtımını olmak üzere üç konuya ihtiyaç olduğunu vurgulamış ve bu durum ile ilgili örnekler vermiştir. Çalışmanın sonuç kısmında ise Avrupa Birliği

ulaştırma politikasının desteklediği ve Litvanya şehir içi ulaşım sisteminde uygulanabilecek bir yöntem sunulmuştur. Bir başka çalışmada, yerel yönetimlerin kentsel yaşamdaki engellerin aşılmasındaki rolü vurgulanmıştır. Engelsiz bir şehir için ana tema erişilebilirlik olarak tanımlanmıştır. Engelliler için erişebilme haklarını güvence altına almak amacıyla pek çok yasal metinden bahsedilmiştir. Bu metinlerin örnekleri, Birleşmiş Milletler Engellilerin Hakları Sözleşmesi ve Avrupa Kentsel Şartı gibi resmi kararlarda verilmektedir. Bu doğrultuda engelli bireyler için yerel yönetimlerin daha fazla faaliyette bulunması gerekliliğine değinilmiştir (Fırat, 2009). Kaplan ve Ulvi'nin yaptığı bir çalışmada, farklı engelli gruplarının araç ve kazalardan kaynaklanan kaza riskleri hakkında bilgi verilmiştir. Kentsel seyahatte engelli kişilerin karşılaştığı fiziksel, psikolojik ve ekonomik engellerden bahsetmiştir. Ek olarak, ulaşım gereklilikleri bağlamında, engelli kişilerin karşılaştığı fiziksel engellerin, normal kişi ve düşünceden çok daha fazla olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, engelliler için iyileştirmeler yapılmalıdır. Bu durumun düzeltilmesi birincil durum olarak görülmelidir (Kaplan ve Ulvi, 2009).

Yapılan bu çalışmada ise günlük yaşamda engelli bireylerin ulaşım konusunda yaşadığı sorunlara değinilerek farkındalığın artırılması amaçlanmıştır. Dünya genelinde engelli bireylerin ulaşımına yönelik mevcut AUS uygulamaları incelenerek bu uygulamaların Ülkemizdeki durumları değerlendirilmiştir. Engelli bireylerin günlük yaşamda minimum düzeyde sorunla karşılaşabilmesi için eğitim konusundaki aksaklıklardan bahsedilmiştir. Ayrıca bu bireylere yönelik AUS konusunda yapılan çalışmalarda geliştirilmesi gereken hususlar hakkında birtakım önerilerde bulunulmuştur.

## Araştırma Bulguları

Engelli bireyler günlük hayatta birçok problemle karşı karşıya kalmaktadır. Bu problemlerin en önemlilerden birisi ulaşım konusunda yaşadıkları problemlerdir. Bireyler ulaşım noktasında problem yaşadığı takdirde halktan uzaklaşmış durumda kalmaktadırlar. Bu durum ise engelli bireylerin dışlanması ve bu bireylerde manevi sorunları beraberinde getirebilmektedir. Engellilik durumu ise yapısı itibarıyla çeşitlilik gösterebilmektedir. Bireylerdeki bazı engellilik durumları başkasına ihtiyaç duyulmadan kendi ulaşımını sağlamasına engel değildir. Fakat bazı engellilik durumlarında ise bireyin başkasından yardım alması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple engellilik durumunun ne düzeyde olduğu önemli bir durumdur. Aşağıda Tablo 1'de Türkiye'deki engelli bireylerin engellilik durumları belirtilmiştir.

Tablo 1 Ülkemizde engellilik durumuna göre engelli birey oranları (TÜİK, 2010).

Engellilik durumu	Oran (%)
Görme engelli	8,4
İşitme engelli	5,9
Dil ve konuşma engelli	0,2
Ortopedik engelli	8,8
Zihinsel engelli	29,2
Ruhsal ve duygusal engelli	3,9
Kronik hastalık	25,6
Çoklu engellilik	18



Ülkemizdeki engelli bireylerin oranları incelendiğinde; %29,2 ile önemli bir kısmını zihinsel engelli bireylerin oluşturduğu görülmektedir. Bu bireylerin birçoğu ulaşım noktasında başka insanlara ihtiyaç duymaktadırlar. Öte yandan %25,6 ile en büyük ikinci orana sahip engellilik durumu ise kronik hastalıklar olduğu görülmektedir. Kronik hastalıklardan oluşan engellilik durumu ve çoklu engellilik durumu benzer şekilde çok çeşitlilik gösterebilmektedirler. Bu bireylerin bazıları önemli herhangi bir problem yaşamadan ulaşımını sağlayabilmektedirler. Fakat ulaşım noktasında en büyük problemi yaşayan bireylerin görme engelli bireyler olduğu söylenebilir. Bu bireyler sesli, uyarıcı ve yönlendirici sistemler sayesinde ulaşım sağlayabilmektedir. Ulaşım noktasında en büyük problem yaşayan bir diğer engellilik durumu ise ortopedik engelliliktir. Özellikle tekerlekli sandalye ile yaşamını sürdüren bireylerde hareketi kısıtlayıcı birçok faktör günlük hayatta karşılarına çıkabilmektedir. Bu sebeplerle tüm engelli bireylerin ulaşım konusunda yaşadıkları problemleri detaylı inceleyebilmek için bu sorunları sınıflandırmak gerekmektedir. Bu problemler şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Yüksek ve rampasız kaldırımlar
- Bozuk yüzeyli yaya yolları
- Uygun geçiş genişliğini kapatacak biçimde yerleştirilmiş banklar, aydınlatma direkleri, posta ve çöp kutuları, telefon kulübeleri
- Taşıtların yaya kaldırımına park etmelerini önleyebilmek adına yapılan koruyucu mantarlar ve zincirli demirler
- Yaya yollarına gelişigüzel yerleştirilerek bu yolları kullanılamaz duruma getiren satış büfeleri, bilet gişeleri, reklam panoları ve taksi durakları
- Standartta uygun ölçü ve nitelikte yapılmayan rampalar
- Yanlış yere dikilen ağaçlar
- Yaya geçitlerinde rampa, işaretleme, sesli sinyalizasyon gibi uygun düzenlemelerin bulunmaması
- Güvenlik önlemleri alınmayan altyapı çalışmaları
- Yetersiz genişlik ve yükseklikteki toplu taşıma araçları
- Taşıtlarda basamak bulunması
- Dar kapılar
- Toplu taşıma araçlarında koltukların uygun düzende yerleştirilmemesi
- Durak konumu ile ilgili bilginin görülmemesi ya da duyulmaması
- Durak tasarımının ve yerinin uygun olmaması (Kısa Bilgiler, 2018)

Belirlenen sorunlar incelendiğinde problemin engelli bireylerin engellilik durumlarından daha çok yapısal aksaklıklardan kaynaklı olduğu görülmektedir. Özellikle bireylerin hareket alanını kısıtlayan birçok sorun bulunmaktadır. Bir bölgede ulaşım planlaması yapılırken tekerlekli sandalye kullanan bireyler için uygun koşullar oluşturulmaması sebebiyle bu tür sorunlarla sıkça karşılaşmaktadır. Bunların dışındaki sorunların ise teknolojik yöntemlerle çok kolay şekilde çözülmesi mümkündür. Bu doğrultuda AUS sayesinde engelli bireylere yönelik ulaşım noktasında çeşitli çözümler sunulmaktadır.

### Engellilere Yönelik AUS Uygulamaları

Teknolojinin gelişmesi ve AUS'un kullanım alanının genişlemesiyle beraber engelli bireylere yönelik yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Özellikle görme ve bedensel engelli bireyler için yapılan çalışmalara yoğunluk verilmektedir. Son yıllarda oldukça ön plana çıkan nesnelere interneti birçok nesnenin bir şekilde internete erişip, diğer cihazlarla iletişim halinde olmasını sağlayarak engelli bireylerin ulaşım imkânlarını oldukça kolaylaştırmıştır (Haberself, 2018). Bu teknolojik gelişmelerden biri olan Beacon teknolojisi; kullanıcıların konumlarına bağlı olarak içerik ve bildirim sunma imkânı sağlayan, konum etkileşimli içeriklerin sunulmasının yanı sıra, GPS sinyalinin ulaşmadığı kapalı alanlarda kullanıcının konumu üzerinden navigasyon / yönlendirme gibi hizmetleri de beraberinde sunan bir yapıdır. Bir Beacon teknolojisi olan Fizmon adlı çalışma; görme engellilere özel olarak geliştirdiği navigasyon çözümü ile engelli olan vatandaşların belirli bir mekân içerisinde gitmek istedikleri yere ulaşmalarını sağlayan yönlendirmeleri sesli olarak sağlamaktadır. Fizmon destekli mekân uygulamasına sesli olarak gitmek istediği konumu söyleyen kullanıcıya, bulunduğu konumdan ulaşmak istediği hedefe kadar sesli yönlendirmeler yapan sistem, engelli kullanıcının mekân içerisinde özgürce hareket etmesini amaçlamaktadır.



Şekil 1 Fizmon görme engelliler için özel navigasyon ve sesli bilgilendirme çözümleri (Fizmon, 2019).

Nesnelerin interneti sayesinde Şekil 1'de belirtilmiş olan Fizmon yapısına benzer birçok akıllı sistem geliştirilebilmektedir. Bu uygulamalar engelli bireylerin günlük yaşamdaki faaliyetlerinin önüne geçen problemleri ortadan kaldırabilmektedir. Bunların yanında daha kapsamlı olmamakla birlikte yine engelli bireyler için günlük hayatta çeşitli kolaylıklar sağlayan birçok AUS uygulaması mevcuttur. Aşağıda verilmiş olan Tablo 2'de engelli bireyler için ulaşım noktasında çeşitli kolaylıklar sağlayan AUS uygulamaları verilmiştir. Bu uygulamaların Türkiye'de hangi boyutta uygulandığı ve kullanım durumu hakkında bilgiler verilmiştir.

Tablo 2 Dünya genelindeki çeşitli AUS uygulamaları ve Ülkemizdeki durumu.

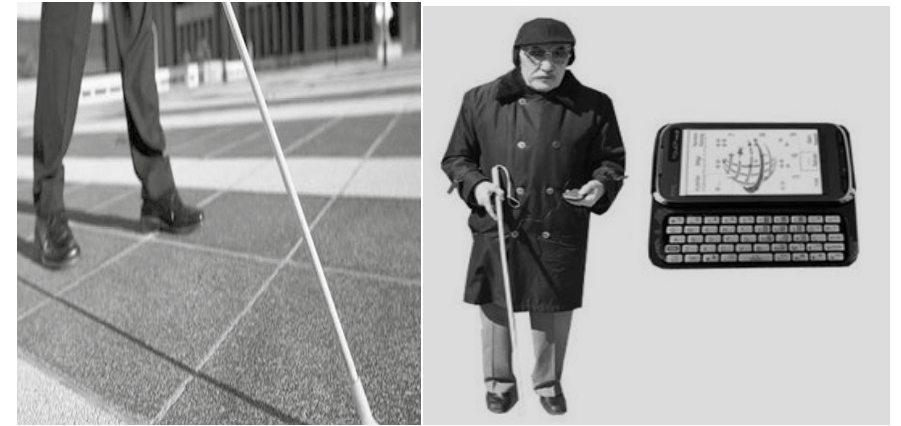
Dünya Genelindeki Çeşitli AUS Uygulamaları	Ülkemizdeki Durumu
Titreşimli görme engelli gözlüğü (Engelli Marketi, 2018)	Büyük bir çoğunluğu ithal olduğu için yüksek maliyeti nedeniyle bireylerin sahip olması zorlaşmaktadır. Teknik arzuları olabilmeleri tercih edilme durumunu azaltmaktadır. Fakat Ülkemizde yürütülen Ar-Ge çalışmaları sayesinde yerli üretimi yaygınlaştığı takdirde engelli bireyler daha uygun fiyatlara temin edebilirler.
Engelli otomobili (Uber, 2019)	Ülkemizde tekerlekli sandalye kullanan bireyler için akülü engelli araçları yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat tekerlekli sandalye ile binecekleri otomobil şeklinde olan modeller Ülkemizde yok denecek kadar azdır. Bu durumun haricinde engelli bireylerin normal araç kullanımında indirim sağlanması sebebiyle otomobil alımı çokça tercih edilmektedir.
Engellilere trafik ışıklarında pozitif ayrımcılık oluşturan engelli kartları (The Guardian, 2018)	Ülke genelinde kullanım alanı kısıtlı olmakla birlikte tüm bireylerin kullanılması amaçlı trafik ışıklarında butonlar bulunmaktadır. Başta Konya olmak üzere birkaç ilde alt ve üst geçitler için engelli kartları ile asansör kullanım imkânı da sağlanmaktadır.
Konuşan trafik ışıkları (Ntv, 2009)	Son yıllarda birçok ilde önemli noktalarda kullanılmakta olup bazı trafik ışıklarında buton sayesinde yayalara öncelik tanınması da mümkündür. Bu duruma ilaveten özellikle görme engelliler için sesli komut sayesinde yayaların karşıya geçişleri güvenli şekilde sağlanabilmektedir.
Tekerlekli sandalye kullanan engelliler için tasarlanmış taksitler (Trthaber, 2019)	Başta İstanbul ve Kocaeli olmak üzere genel olarak belediyeler bünyesinde ve engelli haklarını korumak için kurulan derneklerin girişimleri sayesinde bazı illerimizde mevcuttur. Bu taksitler çağrı merkezleri aracılığı ile hizmet talep edilen noktalara yönlendirilerek engelli bireylerin ulaşımı sağlanmaktadır.
Otobüslerde biniş ve iniş için kullanılan engelli rampaları (Bianet, 2013)	Tekerlekli sandalye kullanan engelli bireylerin geçmişte otobüsle yolculuk yapmaları imkânsız denecek boyutta iken engelliler için özel tasarlanmış olan yeni otobüsler sayesinde bu bireylerin otobüse binmeleri ve otobüs içinde kendilerine ayrılan özel alanlar temin etmeleri mümkündür. Bu imkanlar benzer şekilde tramvay ve metro ile ulaşım da sağlanmaktadır.
Otomobil kullanan engelliler için park yeri ayıran otopark mekanizması (Akşam, 2017)	Halka açık otoparklarda her 20 park yerinden birinin engelli işareti konularak engelliler için ayrılması zorunludur (Otopark yönetmeliği, 2018). Fakat insanların bilimsiz davranması ve kurallara uymamasından kaynaklı olarak engelli bireyler için ayrılmış olan park yerlerinin işgal edilmesine sıkça rastlanılmaktadır. Geliştirilen bir AUS uygulaması ile engelli taşıt park yerine geldiğinde park alanındaki mekanizmayı kumanda yardımıyla açarak aracını park etmesi mümkündür. Bu sistem başta İstanbul olmak üzere bazı illerimizde küçük çaplı olarak kullanılmaktadır.
Aktüli tekerlekli sandalyeler için mobil şarj istasyonları (Kioks, 2018)	Aktüli araçlarla yolculuk yapan bireyler için birçok şehirde akülü şarj istasyonları mevcuttur. Bu istasyonlar şehrin önemli noktalarına konularak engelli bireylerin faydalanmasını sağlamaktadır.
Görme engelli bireyler için konuşan duraklar (Teknoyo, 2017)	İlk olarak Ankara ve İstanbul'daki bazı üniversiteler tarafından proje niteliğinde başlanmış olan bu duraklar artık aktif olarak kullanılmaktadır. Duraklarda bulunan cihaz sayesinde görme engelli yolcular otobüslerin tahmini varış süreleri hakkında sesli bilgilendirme yapılabildiği gibi, tüm yolculara canlı operatör desteği de verilmektedir.
Navigasyonlu baston (Yeni Şafak, 2016)	Bu bastonlar Sistem Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi (RFID) demilen ve navigasyon teknolojileriyle çalışmaktadır. Akıllı bastondaki okuyucular, yoldaki bu bilgileri bluetooth teknolojisiyle cep telefonuna veya özel bir analiz cihazına aktarmaktadır. Aynı zamanda sesli komut desteği bulunmaktadır. Yüksek maliyeti nedeniyle tercih edilme durumu azdır. Ülkemizde görme engelli bireyler için "Gören Göz" ve "Beyaz Baston" projeleri devlet desteği ile yürütülmektedir.

### Beyaz Baston Projesi

1921 yılından beri Dünya genelinde kullanılan ve görme engellilerin bağımsız hareketini sağlayan herhangi bir elektronik donanımı bulunmayan katlanabilir pratik araca beyaz baston denir. Geceleri trafikte daha kolay görünebilmeleri amacıyla beyaz renkte üretilmiş olan bu bastonlar görmeyenler için adeta bağımsızlığın simgesi haline gelmiştir. Bastonun işlevi kullanıcısının önündeki zemine dokunmasını ve yolu üstündeki iniş çıkışları fark etmesini sağlamaktır. Zeminin pürüzlü olup olmadığı ve hatta su birikintileri bile baston yardımıyla fark edilebilir. Bu niteliğiyle beyaz bastonu körlerin yere dokunan uzatılmış parmakları gibi düşünmek mümkündür. Beyaz baston düzgün zeminde sola sağa kaydırılarak, pürüzlü zeminde ise yerden kaldırılıp sağa sola dokundurularak kullanılır. Merdiven çıkış/inişleri için ya da yere düşürülen bir cisim bulmak amacıyla özel teknikler geliştirilmiştir. Ülkemizde engelli bireylere proje kapsamında çeşitli vakıf ve dernekler vasıtasıyla ücretsiz olarak temin edilebilmektedir (Engelsiz Erişim, 2006).

### Gören Göz Projesi

Bu proje Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı ile Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı iş birliğinde, görme engelli vatandaşların gitmek istedikleri yere ulaşmalarını sağlayarak bağımsız hareket edebilmelerine destek olmak amacıyla yürütülmektedir. Cihaz, görme engellilerin ulaşmak istediği yere sesli komutlar yardımıyla yürüyerek veya otobüs, metro gibi toplu taşıma araçlarını kullanarak gidebilmesi amacıyla tasarlanmış bir sistemi içerisinde barındırmaktadır. Gören göz yazılımının yüklenmiş olduğu ve GPS alıcısına gelen koordinat bilgilerinin sayısal harita yardımıyla işlenmesiyle görme engelliye sesle veya tuşla gitmek istediği adrese doğru yönlendirecek bir akıllı telefon cihazı olan "Gören Göz" sahip olduğu navigasyon özelliği sayesinde görme engellilerin erişilebilirliğini kolaylaştırmaktadır (Şekil 2). 2018 yılı içerisinde 41 ilde ücretsiz dağıtılmak üzere 5.000 adet cihaz temin edilerek engelli vatandaşlarımızın kullanımına sunulmuştur. Engelli bireyler beyaz baston ve gören göz uygulamasını birlikte kullanmaktadır (Görengöz, 2014).



Şekil 2 Beyaz Baston ve Gören Göz Uygulaması.

Ulaşım konusunda engelli bireylere yönelik teknolojik uygulamalar incelendiğinde; bu bireyler için çeşitli avantaj sağlayan birçok uygulamanın bulunduğu görülmektedir. Fakat bu uygulamaların bazıları yüksek teknolojik yapıya sahip olduğu için çeşitli teknik aksaklıklar yaşayabilmektedir. Özellikle görme engellilere yönelik yapılmış olan teknolojik cihazlarda çeşitli aksaklıklar meydana gelmektedir. Ayrıca bu cihazlardan bazıları engelli bireyi hedefine yönlendirme amacı güderken bazıları ise hareket esnasında engellere çarpmamayı sağlamaktadır. Dünya genelinde kullanılmakta olan titreşimli gözlük ve navigasyonlu bastonda engele yaklaşık iki metre kala titreşim sağlanarak kullanıcının engele çarpmaması için uyarıda bulunulmaktadır. Fakat baston yer seviyesindeki engellere duyarlı iken gözlük yüksek mesafeli engellere karşı duyarlıdır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılmakta olan beyaz bastonda ise böyle bir elektronik özellik bulunmaması itibarıyla bu ihtiyacı karşılamamaktadır. Gören göz uygulamasında ise telefon içeriğine sahip olmasına rağmen navigasyon harici diğer özelliklerin devre dışı bırakılmış olması engelli bireyler için olumsuz durum oluşturmaktadır. Bu durum bireylerin yönlendirilmesi haricinde önemli iletişim ve teknolojik uygulamalardan faydalanamamasına sebep olunmuştur. Tüm bu incelemelere ilaveten üzerinde durulması gereken en önemli husus; insanların bilinçlenmesi durumunda bazı akıllı uygulamalara ihtiyaç duyulmadan sorunların çözümlenmesidir. Örneğin otopark alanlarında engelli bireylere yönelik araç park yerlerine insanların park etmeme alışkanlığının gelişmesi ile bu noktalarda herhangi bir AUS uygulamasına ihtiyaç duyulmadan sorun giderilmiş olacaktır.

### Sonuçlar ve Öneriler

Engelli bireylerin günlük hayatta ulaşımı rahat sağlamaları için sürdürülen AUS çalışmalarının yanında insanların da bilinçli davranması gerekmektedir. Ülkemizde herhangi bir bölgede ulaşım planlaması yapılırken engelli bireylerin varlığının göz ardı edilmemesi durumunda birçok problem ortadan kalkmış olacaktır. Bu doğrultuda bireylerin hareket alanını kısıtlayacak ve engelli yollarını kapatacak tüm yapılardan kaçınılması gerekmektedir. Buna ilaveten Ülkemizde engelli bireylerin ulaşımı için yapılmış olan AUS uygulamalarında herhangi bir aksaklık olması durumunda sorununu gidermek adına kamu kuruluşları tarafından kontrol mekanizmaları bulunması gerekmektedir. Ayrıca tekerlekli sandalye kullanan engelli bireyler için kullanılan hizmet araçlarının da yaygınlaşması ile bu bireyler için sorunlar en aza indirilmiş olacaktır. Ülkemizde görme engellilere yönelik yürütülen projelerde ise yüksek verim alınması için engelli bireylerin görüşlerine de danışılması gerekmektedir. Ayrıca navigasyon sisteminin geliştirilerek yerleştirilecek olan sensör sayesinde hem üst hem de alt mesafelerden çarpma tehlikesinin önlenmesi için bireyin titreşimle uyarılması sağlanabilir. Bu kapsamda tüm fiziksel engellilere çözüm sunmak amacıyla navigasyon sisteminin sadece görme engellileri değil tüm engellileri kapsayacak şekilde geliştirilmesi önerilebilir. Örneğin bu sistem engelli rampaları, engelli asansörleri ve yaya geçitleri gibi önemli ulaşım noktalarının belirtildiği ve engellilerin bu noktalara erişimini sağlayacak yönlendirmeleri içeren bir çalışma şeklinde düzenlenebilir. Son olarak engelli bireylerin halk içerisinde dışlanmaması ve yüksek moralle yaşamlarını sürdürebilmeleri için ilkökul çağlarından başlamak kaydıyla çocuklara engelli bireylere

nasil davranılması gerektiği ve onlar için daha yaşanabilir bir ortam sağlanması amacıyla uygulamalı eğitimler verilmelidir. Bu sayede farkındalığı artırarak bu çözümler evrenselleştirilmiş ve engelli bireylerin yaşadığı zorluklar en aza indirilmiş olur.

### Kaynaklar

- Akşam (2017) Engelli park alanları işgal edilmesin. Son Erişim Tarihi: 05.11.2018. <https://www.aksam.com.tr/pazar/engelli-park-alanlari-igal-edilmesin/haber-658945>
- Bianet (2013) Engelliyi Almayan Otobüs Şoförü İETT'ye Şikâyet Edilecek. Son Erişim Tarihi: 05.02.2019. <https://m.bianet.org/bianet/toplum/148725-engelliyi-almayan-otobus-soforu-iett-ye-sikayet-edilecek>
- Engelli Marketi (2018) Titreşimli Görme Engelli Gözlüğü. Son Erişim Tarihi: 24.11.2018. <https://www.engellilermarketi.com/iglasses-titresimli-gozluk-001013009>
- Engelsiz Erişim (2006) Görme Özürlüler İçin Baston Kullanmanın Önemi ve Tarihiçesi. Erişim Tarihi: 26.03.2019. <https://www.engelsizerisim.com/detay/gorme-ozurluler-icin-baston-kullanmanin-onemi-ve-tarihcesi/>
- Engelsiz Yaşam Derneği (2017) Sayılarla Dünya'da ve Türkiye'de Engellilik. Son Erişim Tarihi: 22.11.2018. <https://ey-der.com/ana-sayfa/turkiye-ve-dunyada-engelliler/>
- Ferrari, L., Berlingiero, M., Calabrese, F. and Reades, J. (2014) Improving the Accessibility of Urban Transportation Networks for People with Disabilities. Transportation Research Part C. 45, pp. 27–40.
- Fırat, S. (2009) Engelsiz Bir Kent Tasarlamada Yerel Politikaların Önemi. *Toplum ve Sosyal Hizmet*. 20 (2), s.57-68.
- Fizmon (2019) Beacon Teknolojisi Destekli Dijital Mekân Çözümü. Son Erişim Tarihi: 04.02.2019. <https://blog.fizmon.com/post/146305033890/beacon-teknolojisi-destekli-dijital-mekan-%C3%A7%C3%B6z%C3%BCm%C3%BC>
- Görengöz (2014) Görengöz Görme Engellilerin Hayatını Kolaylaştırıyor. Son Erişim Tarihi: 09.12.2018. <http://www.gorengoz.net/>
- Haberself (2018) Görme Engellilerin Hayatını Kolaylaştıracak 11 Ürün. Son Erişim Tarihi: 03.04.2019. <http://www.haberself.com/h/40964/>
- Jakubauskas, G. (2008) Improvement of Urban Transport Accessibility for the Passengers with Reduced Mobility by Applying Intelligent Transport Systems and Services. The 8th International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication. pp. 102-108. 15-18 October 2008, Riga, Latvia.
- Kaplan, H. ve Ulvi, H. (2009) Engellilerin Kaldırım ve Yaya Geçitlerinde Karşılaştıkları Kaza Riskleri: Konya Kent Merkezi Örnekleme. Öz-Veri. 6 (2), s 1483-1512.

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

#### Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

Kısa Bilgiler (2018) Engellilerin Trafikte Karşılaştığı Sorunlar. Son Erişim Tarihi: 19.02.2019. <https://www.kisabilgi.org/engellilerin-trafikte-karsilastigi-sorunlar>

Kioks (2018) Akülü Engelli Arabaları İçin Şarj İstasyonu. Son Erişim Tarihi: 17.02.2019. <http://www.engellisarjistasyonu.com/tr/neden-kioks>

Mitchell, C.G.B. (1997) Intelligent Transportation Systems (ITS) Applications for Improving Transportation for Elderly and Disabled Travellers. Transportation Development Centre. Transport Canada Publication, No:TP 12925E.

Ntv (2009) Trafik Lambası Özürlüler İçin Konuşuyor. Son Erişim Tarihi: 04.01.2019. [https://www.ntv.com.tr/yasam/trafik-lambasi-ozurluler-icin-konusuyor,c1YPHqrA70W\\_7ohvavMOKQ](https://www.ntv.com.tr/yasam/trafik-lambasi-ozurluler-icin-konusuyor,c1YPHqrA70W_7ohvavMOKQ)

Otopark Yönetmeliği (2018) . Erişim Tarihi: 15.12.2018. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/02/20180222-7.htm>

Sze, N.N., and Christensen, K.M. (2017) Access to Urban Transportation System for Individuals with Disabilities. IATSS Research, 41, pp. 66–73.

Teknoyo (2017) Görme Engelliler İçin Toplu Taşıma Uygulaması: Sesli Durak. Son Erişim Tarihi: 11.01.2019. <http://teknoyo.com/gorme-engelliler-icin-sesli-durak-uygulamasi/>

The Guardian (2018) A Rolling Walking Stick: Why Do So Many Disabled People Cycle in Cambridge?. Last Accessed: 10.02.2019. <https://www.theguardian.com/cities/2018/jan/02/cambridge-disabled-people-cycling-rolling-walking-stick>

The World Bank (2019) Disability Inclusion. Last Accessed: 15.05.2019. <https://www.worldbank.org/en/topic/disability>

Trthaber (2019) Engelsiz Taksiler Hizmette Sınır Tanımıyor. Son Erişim Tarihi: 21.03.2019. <https://www.trthaber.com/haber/yasam/engelsiz-taksiler-hizmette-sinir-tanimiyor-405418.html>

Türkiye İstatistik Kurumu (2010) Türkiye’de Engellilerin Engellilik Durumuna Göre Dağılımı. Son Erişim Tarihi: 17.02.2019. <http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?altid=1017>

Uber (2019) Accessibility at Uber. Last Accessed: 24.05.2019. <https://accessibility.uber.com/>

Vimeo, <https://vimeo.com/162902735>. Last Accessed 2018/11/29.

Yeni Şafak (2016) Görme Engelliler İçin Akıllı Baston Üretildi. Son Erişim Tarihi: 03.12.2018. <https://www.yenisafak.com/teknoloji/gorme-engelliler-icin-akilli-baston-uretildi-2553019>

## ÜNİVERSİTE YERLEŞKELERİNDE YAYA ERİŞİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI: PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN, Prof. Dr. Halim CEYLAN,  
Posta Adresi: Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Tel: (506) 545 52 40, (533) 712 93 94

E-Posta: [shaldenbilen@pau.edu.tr](mailto:shaldenbilen@pau.edu.tr), [hceylan@pau.edu.tr](mailto:hceylan@pau.edu.tr)

Öğr. Gör. Dr. Görkem GÜLHAN

Posta Adresi: Pamukkale Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama  
Tel: (535) 218 48 16

E-Posta: [ggulhan@pau.edu.tr](mailto:ggulhan@pau.edu.tr)

Halil İbrahim YİĞİT, Yasin GÖKA

Posta Adresi: Pamukkale Üniversitesi Teknokent Giriş Kat B Blok No:10 Trafik Analiz  
Merkezi Müh. Ve Dan. San. Tic. Ltd. Şti

Tel: (543) 391 57 93, (554) 518 54 36

E-Posta: [hyigit@tamulasim.com](mailto:hyigit@tamulasim.com), [yasingoka@gmail.com](mailto:yasingoka@gmail.com)

### ÖZET

Erişilebilirlik, yayaların ulaşım konforunun yükseltilmesinde, yaya ulaşımının toplam hareketlilik içerisinde aldığı payın artırılmasında ve kent planlamasının niteliğinin yükseltilmesinde en temel unsurlardan birisidir. Bu çalışmada, eğitim yerleşkelerinde birimler arası yaya erişilebilirliği araştırılmıştır. Denizli ilinde yer alan Pamukkale Üniversitesi yerleşke düzeyinde irdelenmiştir. Ülkemizdeki üniversite yerleşkelerinin yaya erişilebilirliklerinin değerlendirilmesi ve erişilebilirliğin artırılabilmesi amacı ile yapılabilecekler araştırılmıştır. Ayrıca, yeni planlanacak yerleşkeler içinde bir değişirge olarak yaya erişilebilirliğinin dikkate alınması gerekliliği vurgulanmıştır. Ülkemizde birçok üniversite, etkinliklerini sınırları belirlenmiş yerleşke alanlarında sürdürmektedir. Yerleşkelere erişim genellikle özel araç, toplu taşıma araçları vb. şekilde gerçekleştirilmektedir. Ancak bunun ardından içerideki birimlere erişim ayrı bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada amaç, yerleşke içi birimler arasındaki erişilebilirliğin ölçülmesi ve yaya trafiğinde uzaklık ve süre tabanlı erişilebilirlik algı düzeylerinin belirlenmesidir. Çalışmada örnek olarak, Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi seçilmiştir. Giriş-çıkış kapılarında yayalara anketler uygulanarak eğitim gördükleri birime ve bu birim dışında en sık gittikleri birimlere olan yürüme uzaklık ve süreleri sorulmuştur. Elde edilen algılanmış uzaklık ve süre değerleri, gerçek uzaklık ve süre değerleri ile karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, yerleşim planının yaya erişilebilirliği açısından değerlendirilmesi yapılmış ve özel araç ile girişlerin yasaklanması durumunda erişilebilirliği en üst düzeyde tutacak otopark alanları belirlenmiştir. Ayrıca yemekhane, kütüphane gibi ortak kullanım alanları için değerlendirmeler yapılarak yerleşkenin yaya erişim başarımı ortaya konmuştur.

## 1.Giriş

Erişilebilirlik kavramı son yıllarda ulaşım ve kentsel planlama süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Erişilebilirlik ulaşım planlaması, şehir planlama ve coğrafya gibi pek çok alanda kullanılmış bir kavram olup karar süreçlerinde önemli rol oynamaktadır (Geurs ve Van Wee, 2004). Kentsel arazi kullanım kararları ile uyumlu biçimde, yayaların nitelikli ulaşımının sağlanabilmesi ve motorlu taşıtlara olan gereksinimin azaltılması, çağdaş planlamanın temel amaçlarından biridir. Erişilebilirlik, olanaklar olarak tanımlanan ürünlere, hizmetlere, etkinliklere ve hedeflere ulaşım kolaylığını temsil etmektedir. Etkileşim ve karşılıklı alıp verme için olası olarak da tanımlanabilir (Litman, 2010). Litman'ın bu görüşü yerleşelerde farklı dallardaki bilgilerin karşılıklı olarak yayılması ve bilginin toplumsallaşması açısından erişilebilirliğin önemini altını çizmektedir.

İnsanın yaşam kalitesini, eğitim, sağlık, güvenlik ve refahını en üst düzeyde karşılaması açısından yerleşke bünyesindeki mekânların tasarımı (Fakülte binaları, derslikler, laboratuvarlar, sosyal ve kültürel tesisler vb.) ne kadar önemli ise bu mekânlara kişilerin kolay, hızlı ve güvenli bir şekilde erişebiliyor olması da bir o kadar önemlidir. Erişilebilirlik, farklı gereksinimleri olan kişilerin yaşadığı binalardan çıkabilmeleri, çeşitli mekânlara başkalarına ihtiyaç duymadan ulaşabilmeleri ve bu binaları kullanabilmeleridir. Yerleşkedeki bütün bireylerin toplumsal hayata katılabilmesi ve bütün mekânlardan faydalanabilmesi açısından erişilebilirlik, tüm mühendislik ve mimari önlemlerin alınmasını kapsar. Bu nedenle yerleşelerde yayaların erişilebilirliği, bilginin üretimini ve toplumsallaşmasını etkileyen önemli bir unsurdur.

Ülkemizde de birçok yüksek öğretim kurumu yerleşke şeklinde yapılandırılmıştır. Genellikle kentlerin çeperinde yapılandırılan yerleşkeler zamanla kentle entegre olmuşlar hatta bazıları kentsel alanlarla iç içe girmiştir. Yerel yönetimlerin ve yerleşke yöneticilerinin girişimleri sonucunda yerleşkelere erişim noktasında farklı çözümler üretilerek kentsel konuma göre yerleşkelerin erişilebilirlikleri belirli noktalara getirilmiştir. Ancak yerleşke içi planlamalarda erişilebilirlikten öte arazi topografyası, zemin koşulları ve tasarımcıların bilgileri seviyesinde kararlar alınmıştır. Yerleşke içinde yer alan eğitim ve hizmet birimlerinin birbiri ile etkileşimleri planlama süreçlerinde dikkate alınsa da iç erişilebilirlik değişirgesel olarak tüm yerleşkeyi kapsayacak şekilde ölçülmüştür. Bu çalışmanın amacı Pamukkale Üniversitesi Yerleşkesi özelinden yola çıkarak ülkemizdeki üniversitelerin arazi kullanım yapılarına bağlı olarak yaya erişilebilirliğinde mevcut durumun tespiti ve belirlenen sorunların çözümüne yönelik alınabilecek önlemlerin ortaya konması olarak açıklanabilir. Çalışma 5 bölüme ayrılmıştır. 1. bölümde erişilebilirlik kavramı ve nasıl ölçüldüğü konusunda bilgiler sunulmuştur. 2. bölümde erişilebilirlik kavramı ve nasıl ölçüldüğü konusunda bilgiler sunulmuştur. 3. bölümde çalışma bölgesi olarak seçilen Pamukkale Üniversitesi Yerleşkesi ve çalışma yöntemi açıklanmıştır. 4. bölümde analizler ve bulgular ortaya konarak son bölümde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

Araştırmalar sonucunda erişilebilirlik konusunda algılanan sürenin eğitim ile ilişkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Mevcut durumda bazı iyileştirmeler yapıldığı gözlemlenince de kişiler ile yapılan anketin sonucu, bu iyileştirmelerin yeterli olmadığı ve yerleşkede yayaların erişilebilirliği için yeni iyileştirme önlemlerinin alınması gerektiğini göstermiştir.

## 2. Yerleşke Planlaması ve Erişilebilirlik

Kendi içinde bir kent olarak planlanan üniversite yerleşkeleri; eğitim-öğretim etkinliklerinin yanında sosyal ve kültürel yapısıyla da bilginin üretimi ve toplumsallaşmasına katkı sağlamaktadır. Bu anlamda, yerleşke planlaması sosyo-kültürel, ekonomik ve politik bir kavramdır. Dinamik bir yapıya sahip olan üniversitelerin, gelişme ve büyümelere açık olarak esnek bir yapıda tasarlanması ve yerleşke içi yaya-taşıt trafiğinin belirli ölçütler doğrultusunda planlanması güvenlik, ekonomiklik ve hızlı erişim açısından büyük önem arz etmektedir.

Yerleşkelerde en sık kullanılan kapılar, binalar ve mekânlara olan yaya erişilebilirliğini etkileyen birçok unsur vardır. Mevcut yaya yollarının fiziksel durumları (eğim, yüzey kaplamaları, birimler arası uzaklıklar) yaya hareketini etkilemekte ve buna bağlı olarak üniversitelerin erişilebilirlik ve ulaşılabilirlik konusundaki hedeflerine doğrudan etkide bulunmaktadır. Bu bağlamda yerleşke içi erişilebilirlik, hizmetlerinin istenilen düzeyde kişiye ulaşmasında büyük önem taşımaktadır. Aşağıda kısaca erişilebilirlik kavramı ve ölçülme şekilleri özetlenmiştir.

Literatürde pek çok araştırmacı belirli bakış açılarından bakarak erişilebilirliği sorgulamış ve araştırmışlardır. Song (1996), Handy ve Niemmer (1997) erişilebilirlik kavramını konum erişilebilirliği bakış açısında, Kwan (1998) erişilebilirlik kavramını bireysel erişilebilirlik bakış açısında ve Koeing (1980), Handy ve Niemmer (1997) erişilebilirlik kavramını erişilebilirliğin ekonomik faydaları bakış açısında incelemiştir. Anılan bakış açılarının temel hedefi erişilebilirlik ölçütlerinin kullanılabilirliğini hem arazi kullanımı, hem de ulaşım değişimleri açısından değerlendirerek, sosyal ve ekonomik etkileri açıklamaktır. Erişilebilirlik kavramı, erişilebilirlik bileşenleri, erişilebilirlik temelleri ve erişilebilirlik ölçütleri açılarından tanımlanmış ve açıklanmıştır.

Erişilebilirliğin tanımlanmasında ve ölçülmesinde, temel bileşenler arazi kullanım bileşeni, ulaşım bileşeni, geçici bileşen ve bireysel bileşen olarak literatürde adlandırılmaktadır. Günümüzde erişilebilirlik bileşenleri için çeşitli ölçütler geliştirilmiş olup bu ölçütler tam bir birlik içermemekle birlikte genelde dört temel ölçütten oluşmaktadır. Ulaşım altyapısı temelli ölçütler, konum temelli ölçütler, kişi temelli ölçütler ve fayda temelli ölçütler olarak sınıflama yapılmaktadır. Konum temelli ölçütler uzaklık ve izokronal ölçütleri (çizgisel tabanlı) içinde barındırmasıyla günümüzde en çok başvurulan ölçüt biçimlerindedir. Erişilebilirlik temelleri kuramsal temel, uygulamaya koyabilirlik, yorumlanabilirlik/iletişebilirlik ve sosyal ve ekonomik hesaplarda kullanılabilirlik açılarından değerlendirilmektedir (Gulhan, 2014).

## 3. Çalışma Alanı ve Yöntem

Çalışma bölgesi olarak Denizli'de 1992 yılında kurulan Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi seçilmiştir. Pamukkale Üniversitesi 50.000'i aşan öğrenci ve 4000'e yakın çalışan sayısı, 16 fakülte, 17 meslek yüksek okulu, 3 yüksek okul ve 6 adet enstitü ile eğitim öğretim etkinliklerini sürdürmektedir. Mevcut yapılanmanın büyük bir bölümü araştırma bölgesi olarak seçilen yerleşkede bulunmaktadır. Şekil 1'de çalışma bölgesi ve birimlerin konumları verilmiştir. İlk yıllarda kent çeperi olarak tanımlanabilecek bir konumda iken günümüzde kentle bütünleşmiş bir konumdadır. Yerleşkeye kamu ve özel lastik tekerlekli toplu taşıma hizmeti ile erişim olanaklıdır. Yerleşke içine özel araçla

giriş çıkışlar kontrollü şekilde gerçekleştirilmektedir. Öğrenci ve çalışanlar yıllık abonelik yaptırarak elektronik geçiş sistemi ile giriş sağlayabilmektedirler.



Şekil 1. Mevcut arazi kullanım yapısı ve birimler

Yerleşkenin genel yapısı incelendiğinde 3 giriş kapısı olduğu ve yaya girişlerinin de kontrollü bir şekilde sağlandığı görülmektedir. Şekil 2’de yerleşke içinde hizmet veren belediye otobüslerinin geçkisi, sadece yaya yolları ve karışık trafikteki yaya kaldırımlarının konumları verilmiştir.



Şekil 2. Yerleşke içindeki yaya ve taşıt yollarının genel durumu

Çalışma kapsamında elektronik harita tabanlı ölçümler yapılarak birimler arası kuşçuşu uzaklıklar ile yaya yolları üzerinden erişim yapılması durumunda kat edilmesi gerekli uzaklıklar ve bunların bilgisayar tabanlı süre tahminleri ölçülmüştür. Ayrıca yaya yollarının eğimleri de ölçülerek belirlenmiştir. Çalışmada yayaların yürüme uzaklıklarının ve sürelerinin gerçek ve algılanan değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Yayaların yürüme uzaklık ve sürelerinin belirlenmesi amacı ile yerleşke giriş kapılarında anketler yapılarak yayalara çeşitli sorular sorulmuştur. Yerleşkede bulunan 3 giriş kapısında, öğrencilere, hangi birime gittikleri, yaya olarak kat ettikleri uzaklık ve süreler sorulmuştur. Ayrıca gün içinde eğitim gördükleri birim dışında yaya olarak en çok seyahat ettikleri birimler ve bu birimlere olan erişimleri hakkında veriler toplanmıştır. Toplamda %2 oranına denk gelen 1000 adet anket yapılmış ve bu anketler 4. bölümde analiz edilmiştir.

#### 4. Analizler ve Bulgular

Yukarıda özetlendiği gibi çalışma kapsamında iki farklı ölçüm yapılmış ve ölçülen değerler ile algılanan değerler karşılaştırılarak analizler yapılmıştır. Tablo 1’de 3 giriş kapısı ve 16 birimden oluşan yerleşke için, 19x9 matris formatında, uzaklık tabanlı kuşçuşu yaya yolu uzaklıkları ile bu değerlerin oranları verilmiştir. Uzaklık tabanlı erişilebilirlik değerleri incelendiğinde, birimler arası yürüme uzaklığının (dolaylı uzaklık) kuşçuşu uzaklığa (doğrudan uzaklık) oranının ortalama olarak 1,33 olduğu hesaplanmıştır. En yüksek değer yaklaşık 4 kat ile ibadethane ile eğitim fakültesi arasında hesaplanmıştır. Tablo 2’de analiz edilen 19 birimin yürüme uzaklığı ve kuşçuşu oranlarına bağlı olarak başarımları verilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda uzaklık tabanlı erişilebilirlik dikkate alındığında Yemekhane ve Kongre ve Kültür Merkezi’nin 1,12 değeri ile en iyi erişilebilirlik değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 1. Birimler arası uzaklık değerleri (m)

BİRİM	KUŞ UÇUŞU UZAKLIKLAR (Doğrudan uzaklık)																			
	Müh. Fak.	FEF	İBBF	Tıp	Eğitim fak.	Spor Salonu	KYK	Dev. Tiy.	Teknoloji fak.	Teknokent	FTR-İlahiyat	Yemekhane	Rektörlük	İbadethane	YDYO	Kongre	Giriş 2	Giriş 1	Giriş 3	
Müh. Fak.	-																			
FEF	125	-																		
İBBF	584	494	-																	
Tıp	683	631	235	-																
Eğitim Fak.	150	187	545	545	-															
Spor Sal.	460	550	1092	828	597	-														
KYK	271	400	853	828	320	395	-													
Devlet Tiy.	85	218	716	738	220	395	191	-												
Tek. Fak.	322	350	890	955	436	203	337	245	-											
Teknokent	678	765	1300	1350	844	325	620	621	418	-										
FTR-İlahiyat	258	326	608	557	137	640	289	273	513	893	-									
Yemekhane	168	90	468	510	120	624	400	250	428	840	245	-								
Rektörlük	357	268	280	380	283	805	596	450	617	1026	383	185	-							
İbadethane	421	505	790	679	140	687	290	390	620	1025	197	452	584	-						
YDYO	250	147	400	471	205	700	507	337	503	910	330	95	110	550	-					
Kongre	510	450	200	154	400	980	700	590	795	1200	439	361	225	603	313	-				
Giriş 2	256	513	685	557	329	802	414	462	702	1040	213	440	520	150	505	490	-			
Giriş 1	626	645	559	366	483	1050	695	670	911	1270	411	540	530	420	567	380	260	-		
Giriş 3	539	645	1175	1178	647	187	365	450	355	322	647	700	890	641	788	1035	782	1031	-	
YÜRÜME UZAKLIKLARI (Dolaylı Uzaklık)																				
Müh. Fak.	-																			
FEF	168	-																		
İBBF	707	575	-																	
Tıp	792	755	322	-																
Eğitim Fak.	176	245	677	641	-															
Spor Sal.	523	654	1163	1962	705	-														
KYK	320	445	1000	981	457	595	-													
Devlet Tiy.	93	267	853	793	255	446	378	-												
Tek. Fak.	394	478	1034	1047	520	298	445	307	-											
Teknokent	932	1051	1120	1731	1100	192	1022	839	876	-										



öğrencilerin kat ettikleri uzaklıkları doğrusal uzaklık (kuş uçuşu uzaklık) açısından algılamaya yatkın oldukları değerlendirilmektedir.

**Tablo 4.** Giriş kapılarına göre algılanan birimlere erişim süreleri (dakika)

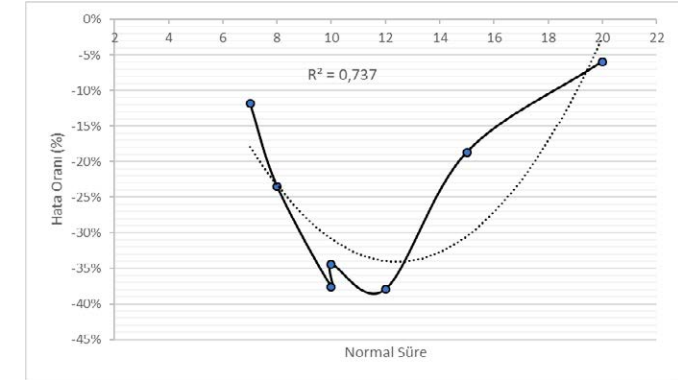
ALGILANAN ERİŞİM SÜRELERİ									
KAPILAR	Eğitim	Fen Edebiyat	FTR -İlahiyat	İİBF	Müh. Fak	Teknoloji Fak.	Tıp	YDYO	Ortalama
Ana Kapı (Giriş 2)	5,38	9,26	4,42	10,49	11,01	14,65	8,72	8,00	<b>8,23</b>
Çamlık Kapısı (Giriş 3)	7,45	7,28	9,08	12,47	6,48	6,26	18,89	8,70	<b>7,68</b>
Kalp Merkezi Kapısı (Giriş 1)	7,74	13,09	8,50	9,15	14,22	20,30	6,90	10,91	<b>10,34</b>
<b>Ortalama</b>	<b>6,35</b>	<b>10,44</b>	<b>5,40</b>	<b>9,82</b>	<b>9,46</b>	<b>11,04</b>	<b>8,13</b>	<b>8,99</b>	
HESAPLANAN ERİŞİM SÜRELERİ									
Ana Kapı (Giriş 2)	6,00	15,00	4,00	11,00	11,00	13,00	10,00	15,00	<b>10,63</b>
Çamlık Kapısı (Giriş 3)	9,00	10,00	10,00	15,00	8,00	7,00	20,00	12,00	<b>11,38</b>
Kalp Merkezi Kapısı (Giriş 1)	10,00	16,00	7,00	9,00	14,00	17,00	7,00	15,00	<b>11,88</b>
<b>Ortalama</b>	<b>8,33</b>	<b>13,67</b>	<b>7,00</b>	<b>11,67</b>	<b>11,00</b>	<b>12,33</b>	<b>12,33</b>	<b>14,00</b>	
ALGILANAN ERİŞİM SÜRELERİ / HESAPLANAN ERİŞİM SÜRELERİ									
KAPILAR	Eğitim	Fen Edebiyat	FTR -İlahiyat	İİBF	Müh. Fak	Teknoloji Fak.	Tıp	YDYO	Ortalama
Ana Kapı (Giriş 2)	0,90	0,62	1,11	0,95	1,00	1,13	0,87	0,53	<b>0,89</b>
Çamlık Kapısı (Giriş 3)	0,83	0,73	0,91	0,83	0,81	0,89	0,94	0,73	<b>0,83</b>
Kalp Merkezi Kapısı (Giriş 1)	0,77	0,82	1,21	1,02	1,02	1,19	0,99	0,73	<b>0,97</b>
<b>Ortalama</b>	<b>0,83</b>	<b>0,72</b>	<b>1,08</b>	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>	<b>1,07</b>	<b>0,93</b>	<b>0,66</b>	<b>0,90</b>

Yine öğrencilerin yerleşke içinde eğitim gördükleri birim dışında gittikleri yerler ve ortalama seyahat süreleri incelendiğinde Tablo 5'deki durum ortaya çıkmaktadır. 408 öğrenci (%41) ile yemekhane en çok gidilen birimler arasında yer almaktadır. Farklı birimlerden gelen kişiler dikkate alındığında yemekhaneye erişim süresi yaklaşık 6 dakikadır. Tüm birimlerin ortalama erişim süresi 7,63 dakika olup, öğrencilerin eğitim gördükleri birim dışında 4,91-11,06 dakika uzaklıktaki birimlere gitmeyi tercih ettikleri görülmüştür. Hareket halindeki öğrenci sayılarına bağlı olarak hesaplanan ağırlıklı ortalama değer ise 6,57 dakikadır.

**Tablo 5.** Öğrencilerin eğitim gördükleri birim dışı hareketlilikleri

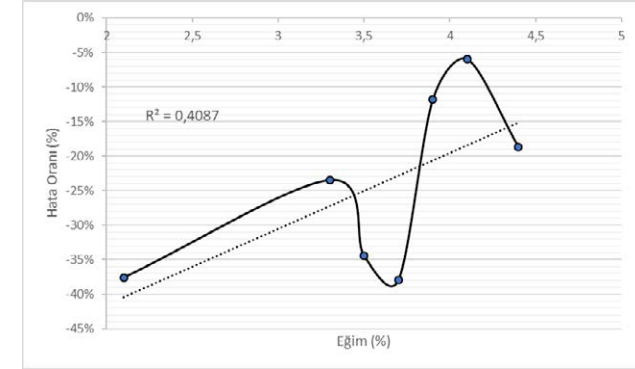
	Devlet Tiyatrosu	Eğitim Fak.	Fen Edebiyat Fak.	FTR	İbadethane	İİBF	Kongre Merkezi	KYK	Mühendislik Fak.	Rektörlük	Spor Merkezi	Teknokent	Teknoloji Fak.	Tıp Fak.	YDYO	Yemekhane
Süre	8,80	5,60	5,94	6,45	8,00	10,2	4,91	9,06	8,00	6,72	9,73	7,60	11,10	8,69	5,77	5,59
Kişi	10	62	34	11	10	26	91	88	26	142	41	10	15	13	13	408

Algılanan seyahat süresi ile ilgili olarak yapılan analizde ana kapıdan giriş yapan 400 öğrencinin eğitim gördükleri birimler arasında hesaplanan ve algılanan ortalama erişim süreleri arasındaki hata oranları incelendiğinde Şekil 5'deki sonuçlar elde edilmiştir.



**Şekil 5.** Ana kapı (Giriş 2) için hesaplanan ve algılanan seyahat süresi ilişkisi

Şekil 6'da ise yaya olarak erişim sağlanan yoldaki eğime bağlı olarak hesaplanan ve algılanan süre arasındaki hata oranları verilmiştir.



**Şekil 6.** Uzaklık ve eğime göre algılanan seyahat süresi ilişkisi

Şekil 5 incelendiğinde yayaların tamamının kampüs içinde hesaplanan süreden daha az yürüdüklerini algıladıkları görülmektedir ve yürünen süre az yada çok ise hata oranı azalırken 10-14 dakika arasındaki yürüme sürelerinde hata oranının arttığı belirlenmiştir. Benzer şekilde yürünülen yolun eğiminin algılama süresine etkisi incelendiğinde eğim arttıkça algılanan süredeki hata oranının azaldığı belirlenmiştir.

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada üniversite yerleşkelerinde yaya erişilebilirlikleri doğrudan ve dolaylı uzaklık bilgileri hesaplanarak değerlendirilmiş ve öğrencilerin yürüme sürelerine yönelik algılamalarının eğim ve uzaklık ile olan ilişkileri incelenmiştir.

Uzaklık tabanlı erişilebilirlik analiz edildiğinde birimler arası dolaylı uzaklığının doğrudan uzaklığa oranının ortalama olarak 1,33 olduğu hesaplanmıştır. En yüksek değer yaklaşık 4 kat ile ibadethane ile eğitim fakültesi arasında hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda uzaklık tabanlı erişilebilirlik dikkate alındığında yemekhane ve kongre merkezinin 1,12 değeri ile en iyi erişilebilirlik değerine sahip olduğu



belirlenmiştir. Bu aşamada kampüs içi yaya yolları planlanırken mümkün olan en kısa aksların belirlenmesinin faydalı olacağı söylenebilir. Pamukkale Üniversitesi kampüsünde birimlere erişilebilirlik ortalama 1,26 olarak hesaplanmıştır. Buradan yayaların herhangi bir birime erişimi için kuş uçuşu mesafenin %26 fazlası bir uzunluğuktaki yolu yürümeleri gerektiği söylenebilir.

Harita tabanlı hesaplamalar ile yapılan bu analiz çalışmalarının ardından 1000 öğrenciye uygulanan anket çalışmaları kullanılarak süre tabanlı erişilebilirlik değerlendirmeleri yapılmıştır. Yerleşke içinde birimler arası hesaplanan ortalama yürüme uzaklığı 10,8 dakika olup yürüme uzaklığının 2-26 dakika arasında değiştiği hesaplanmıştır. Birimlere erişilebilirliği en yüksek kapı çamlık kapısı (giriş 3) olarak belirlenmiştir. Ankete katılan öğrencilerin yürüme sürelerini ortalama olarak %10 daha düşük algıladıkları görülmüştür. Yine öğrencilerin yerleşke içinde eğitim gördükleri birim dışında gittikleri yerler ve ortalama seyahat süreleri incelendiğinde, 408 öğrenci ile yemekhane en çok gidilen birimler arasında yer almaktadır. Farklı birimlerden gelen kişiler dikkate alındığında yemekhaneye erişim süresi yaklaşık 6 dakikadır. Tüm birimlerin ortalama erişim süresi 7,63 dakika olup, öğrencilerin eğitim gördükleri birim dışında 4,91-11,06 dakika uzaklıktaki birimlere gitmeyi tercih ettikleri görülmüştür. Hareket halindeki öğrenci sayılarına bağlı olarak hesaplanan ağırlıklı ortalama değer ise 6,57 dakikadır.

Kat edilen uzaklık ve yolun eğimine bağlı olarak algılanan seyahat süresinin hesaplanan seyahat süresine oranı incelendiğinde uzaklık ve eğim arttıkça algılanan seyahat süresi ile hesaplanan seyahat süresi arasındaki hata oranının azaldığı görülmüştür.

Sonuç olarak diğer yerleşkelerle bir karşılaştırma yapılmasa da Pamukkale Üniversitesi yerleşkesinde yaya erişilebilirliğinin süre ve uzaklık bakımından çok kötü durumda olmadığı, yayaların mevsim koşullarından etkilenmemesi için önlemler alınabileceği görülmüştür. Bu çalışmanın ülke genelindeki yerleşkelerde de yaygınlaştırılarak geniş kapsamlı bir proje ile genelleştirilmesi ve yerleşkeler için yerleşim planı hazırlanması konusunda bir kılavuz oluşturulması, önümüzdeki çalışmalar kapsamında değerlendirilebilir.

## 6.KAYNAKLAR

Geurs, K.T. and Van Wee, B., (2004) Accessibility Evaluation of Land-use and Transport Strategies: Review and Research Directions. *Journal of Transport Geography*, 12, 127–140

Gulhan, G., (2014) Toplu taşıma planlaması ve ağ tasarımında Erişilebilirlik ölçütlerinin kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli

Handy, S.L., Niemeier, D.A., 1997. Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives. *Environment and Planning A* 29, 1175–1194.

Koenig, J.G., 1980. Indicators of urban accessibility: theory and applications. *Transportation* 9, 145–172.

Kwan, M.-P., 1998. Space–time and integral measures of individual accessibility: a comparative analysis using a point-based framework. *Geographical Analysis* 30 (3), 191–216.

Litman, T. (2010) *Evaluating Accessibility for Transportation Planning*, Victoria Transport Policy Institute, Canada.

Song, S., 1996. Some tests of alternative accessibility measures: a population density approach. *Land Economics* 72 (4), 474–482.

## Işıksız Kavşaklarda Farklı Yaya Gecikme Modellerinin İncelenmesi

**Kübra Alagoz<sup>1</sup>, Serhan Tanyel<sup>2</sup>, Ilgin Gökaşar<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir  
Tel: (232) 301 70 38

E-Posta: [kubraalagoz@gmail.com](mailto:kubraalagoz@gmail.com)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir  
Tel: (232) 301 70 18

E-Posta: [serhan.tanyel@deu.edu.tr](mailto:serhan.tanyel@deu.edu.tr)

<sup>3</sup> Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bebek İstanbul.  
Tel: (212) 359 72 78 / 4879

E-Posta: [ilgin.gokasar@boun.edu.tr](mailto:ilgin.gokasar@boun.edu.tr)

**Selim Dündar<sup>4</sup>, Ali Topal<sup>5</sup>, Burak Şengöz<sup>6</sup>**

<sup>4</sup> Okan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tuzla, İstanbul.  
Tel: (216) 677 16 30 / 2436

E-Posta: [selim.dundar@okan.edu.tr](mailto:selim.dundar@okan.edu.tr)

<sup>5</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir  
Tel: (232) 301 70 40

E-Posta: [ali.topal@deu.edu.tr](mailto:ali.topal@deu.edu.tr)

<sup>6</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir  
Tel: (232) 301 70 72

E-Posta: [burak.sengoz@deu.edu.tr](mailto:burak.sengoz@deu.edu.tr)

### Öz

Çalışmada, özellikle ışıksız kavşaklardaki yaya gecikmeleri için farklı araştırmacılar tarafından önerilmiş olan gecikme bağıntıları irdelenmiştir. Adams tarafından 20. Yüzyılın başlarında önerilen gecikme bağıntısında, taşıtların takip aralıklarının negatif üstel dağılıma uyduğu kabul edilmiştir. Literatürdeki farklı çalışmalarda ise yayaların kavşağa gelişlerinin rastgele olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada İzmir kent merkezinde bulunan ışıksız kavşaklarda yapılan gözlemlerden yararlanarak, önerilmiş olan yöntemlerin kullanılabilirliği tartışılmıştır. Kavşaklarda, taşıtların takip aralıkları verileri toplanarak, negatif üstel dağılım haricinde farklı istatistiksel dağılımların kullanılabilirliği irdelenmiştir. Yayaların kavşağa geliş özellikleri, yaya hızları gibi bilgiler toplanarak farklı modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, yayaların ve sürücülerin incelenen kavşaklardaki etkileşimleri gözlemlenerek kaza olasılıkları üzerine de bir tartışma yapılmıştır. Taşıt hızlarının, yayaların kavşağa girişleri üzerindeki etkileri de çalışma kapsamında incelenen konular arasında yer almaktadır. Bu özün ilk cümlesidir. . . .

**Anahtar sözcükler:** Adams gecikmesi, yaya, ışıksız kavşaklar, kritik aralık kabul yöntemi, Cowan M3 dağılımı

## Giriş

Özellikle kent merkezlerinde ve yerleşim bölgelerinde bulunan kavşaklarda veya iki kavşak arasında yer alan yol kesimlerinde karşıdan karşıya geçmek isteyen yayalar çoğu zaman motorlu taşıtlarla etkileşime geçmek zorunda kalırlar. Bu gibi durumlarda yayalar, kaldırım kenarlarında veya kendilerine ayrılmış alanlarda bekleyerek, taşıtlar arasında kendileri için güvenli olduğunu düşündükleri bir zaman ve ya mesafe aralığında karşıdan karşıya geçeceklerdir. Bu aralığı bekledikleri süre, yayaların gecikmesi olarak tanımlanabilir. Aslında bu süreç, denetimsiz veya ışısız kavşaklarda yanyolda bekleyen sürücülerin davranışları ile büyük bir benzerlik göstermektedir.

20. yüzyılın ilk yarısında Adams (1936) ilk kez yayaların karşılaştıkları gecikmeyi modellemiştir. Adams (1936) çalışmasında, yayaların ve taşıtların gelişlerinin tamamen rastgele olduğunu kabul etmiş ve buna bağlı olarak yayaların gecikmelerini tahmin etmek amacıyla aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$E(D) = \frac{e^{-qT}}{q} - T \quad (1)$$

Bağıntıda  $E(D)$ , yayaların karşılaştıkları ortalama gecikmeyi (saniye);  $q$ , yoldaki engelleyici trafik akımını (taşıtlar/saniye) ve  $T$  yayaların taşıtlar arasında kabul edecekleri varsayılan en küçük takip aralığı değerini (kritik kabul aralığı) (saniye) ifade etmektedir. Adams (1936) tarafından önerilmiş olan bu yaklaşım özellikle ışısız kavşakların kapasite ve başarımları üzerine yapılmış olan birçok araştırma için öncü olmuş ve (1) bağıntısı ile ifade edilen gecikme tanımı, ışısız bir kavşakta yanyolda bekleyen taşıt sürücülerinin karşılaştıkları en küçük gecikme (servis gecikmesi) olarak tanımlanmış ve literatürde ADAMS GECİKMESİ olarak adlandırılmaya başlanmıştır.

Sonraki yıllarda Adams bağıntısının geliştirilmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır (Tanner, 1951; Cowan, 1975, 1984; Troutbeck, 1986). Bu çalışmaların önemli bir kısmında özellikle anayoldaki taşıtların takip aralıklarının çoğu zaman rastgele olmadığı vurgulanmış ve Adams (1936) tarafından kullanılmış olan negatif üstel dağılım yerine farklı dağılımlar önerilmiştir. Bu dağılımlardan özellikle ötelenmiş negatif üstel ve Richard Cowan (1975) tarafından önerilmiş olan Cowan M3 dağılımı kritik aralık kabulü yönteminde önemli bir kullanım alanına sahip olmuşlardır. Her iki dağılımın olasılık dağılım fonksiyonları aşağıda verilmektedir:

$$\text{Ötelenmiş Negatif üstel} \quad F(t) = 1 - e^{-\theta(t-\Delta)} \quad (2)$$

$$\text{Cowan M3} \quad F(t) = 1 - \alpha e^{-\lambda(t-\Delta)} \quad (3)$$

Bağıntılarda,  $\theta$ , ötelenmiş negatif üstel dağılıma;  $\lambda$ , Cowan M3 dağılımına ait birer katsayıyı;  $\alpha$ , trafik akımı içerisindeki serbest taşıt oranını;  $\Delta$  ise, anaakım içerisindeki taşıtlar arasındaki en küçük takip aralığını (saniye) ifade etmektedir. Tanner (1962) trafik akımı içerisindeki zaman cinsinden takip aralıklarının ötelenmiş negatif üstel dağılıma uyduğu kabulü ile en küçük gecikme değerinin hesaplanması için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir:

$$D = \frac{e^{-q(T-\Delta)}}{q(1-\Delta q)} - T - \frac{1-\Delta q + \Delta^2 q^2}{q(1-\Delta q)} + \frac{1/2 \Delta^2 q}{(1-\Delta q)^2} \quad (4)$$

Benzer şekilde Troutbeck (1986, 1991), Cowan M3 dağılımını kullanarak bağıntı (5)'i önermiştir:

$$D = \frac{e^{\lambda(T-\Delta)}}{\alpha q} - T - \frac{1}{\lambda} + \frac{\lambda \Delta^2 - 2\Delta + 2\Delta \alpha}{2(\lambda \Delta + \alpha)} \quad (5)$$

Bu çalışmalarda, yayaların aralık bekledikleri trafik akımının özellikleri ön planda tutulurken özellikle son yıllarda sürücülerin yayalara yol verme eğilimleri de incelenmeye başlanmıştır (Sun v.d., 2003; Schroeder, 2008). Bu yönde geliştirilmiş en önemli yöntemlerden birisi Highway Capacity Manual 2010 (Yolların Kapasitesi 2010; HCM2010) tarafından önerilmiş olan yöntemdir (TRB, 2010). Bu yöntemde yayalara ait kritik aralık kabul değeri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$T = \frac{L}{S_p} + T_c \quad (6)$$

Bağıntıda  $L$ , yayanın geçiş uzaklığını (m);  $S_p$ , yayaların ortalama hızlarını (m/san) ve  $T_c$  ise 3 saniye olarak önerilen bir yayaya ait başlama ve son temizleme (start-up and end clearance time) süresidir. Bir yayanın uygun bir aralık beklemek için harcadığı zaman ( $D_g$ ) ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir:

$$D_g = \frac{1}{q} (e^{qT} - qT - 1) \quad (7)$$

Bu değer, yayanın yoldaki taşıtlar tarafından engellenme olasılığı hesaplanarak düzeltilir. Bu amaçla ilk önce taşıtlardan kaynaklı bir engellenme (blok) oluşması olasılığı ( $P_b$ ) hesaplanır:

$$P_b = 1 - e^{-\frac{qT}{L}} \quad (8)$$

Sonra yayanın bekleme olasılığı ( $P_d$ ) hesaplanır ve  $D_g$  değeri düzeltilir:

$$P_d = 1 - (1 - P_b)^L \quad (9)$$

$$D_{gd} = \frac{D_g}{P_d} \quad (10)$$

Son olarak, yaya gecikmesi aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

$$D = \sum_{i=1}^n \bar{t}(i-0,5)P(Y_i) + \left( P_d - \sum_{i=1}^n P(Y_i) \right) D_{gd} \quad (11)$$

Burada  $P(Y_i)$ , sürücülerin yol verme olasılığını;  $n$ , bir yayanın uygun bir aralık bulmadan önünden geçen taşıt sayısını ve  $\bar{t}$  ise, anayoldaki taşıtlar arasındaki ortalama zaman cinsinden takip aralığı değerini (saniye) göstermektedir.  $P(Y_i)$  anayolda tek şerit bulunması koşulu için aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$P(Y_i) = P_d M_y (1 - M_y)^{i-1} \quad (12)$$

Burada  $M_j$ , sürücülerin yol verme oranı olup, bu çalışmada trafik hızının düşük, yol işaretlerinin görünür olduğu ve yayaların tek bir seferde geçiş yaptığı koşul için önerilmiş olan %90 değeri kullanılmıştır.

Bu çalışmada, İzmir Buca ilçesinde yer alan Çevik Bir Meydanı'nda yapılmış gözlemlerden yararlanarak ışsız kavşaklarda yaya gecikmeleri için önerilmiş bazı bağıntıların kullanılabilirliğinin tartışılması amaçlanmıştır.

### Gözlem Verilerinin Toplanması

Çalışmada İzmir ili Buca İlçesi'nde yer alan Çevik bir Meydanı'nın Özmen Caddesi ile uğur Mumcu Caddelerinin kesiştiği yaklaşımlarda yer alan iki yaya geçidi incelenmiştir (Şekil 1). Gözlemler sabah zirve saatinde video kamera ile yapılmış; veriler daha sonra büro ortamında toplanmıştır. Video çekimlerinden aşağıdaki veriler elde edilmiştir:

1. Yayaların kaldırım kenarına geliş zamanları,
2. Kaldırımda bekleme süreleri,
3. Yayaların karşıdan karşıya geçiş hızları,
4. Taşıt sayıları;
5. Taşıtlar arasındaki zaman cinsinden takip aralıkları,
6. Yayaların kabul ve reddettikleri takip aralığı değerleri.

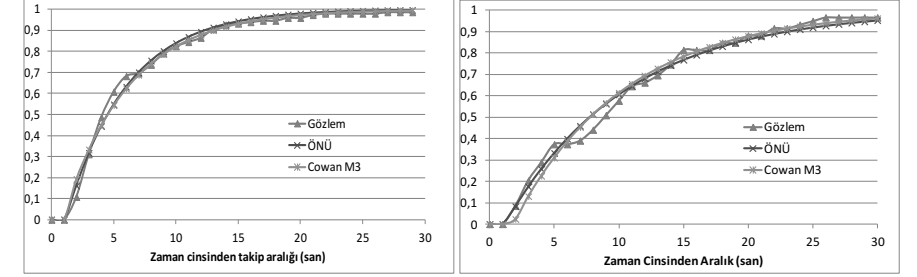


Şekil 1 Buca Çevik Bir Meydanı ve gözlem noktaları

### Zaman Cinsinden Takip Aralıklarının Modellenmesi

Daha önce de belirtildiği gibi zaman cinsinden takip aralıklarının negatif üstel dağılıma uygun olmayacağı, bunun için farklı dağılımların önerildiği belirtilmişti. Bu çalışmada, literatürde oldukça fazla kabul gören ötelenmiş negatif üstel ve Cowan M3 dağılımlarının uygunlukları irdelenmiştir. Bu amaçla öncelikle I ve II nolu gözlem noktalarından elde edilen zaman cinsinden takip aralıkları 15'er dakikalık veri gruplarına ayrılarak çözümlenmeler yapılmıştır. Elde edilen veri gruplarında eğilim

(trend), içsel bağımlılık ve rastgelelik testleri yapılmıştır. Bunun sonucunda 5 adet kullanılabilir veri grubu elde edilmiştir. Bu veri gruplarının ötelenmiş negatif üstel ve Cowan M3 dağılımına uygunlukları araştırılmış ve tüm veri gruplarının her iki istatistiksel dağılım tarafından tanımlanabileceği bulunmuştur (Şekil 2).



(a) I no'lu bölge

(b) II no'lu bölge

Şekil 2 Cowan M3 ve ötelenmiş negatif üstel dağılım ile gözlemlenen verilerin olasılık dağılım fonksiyonları

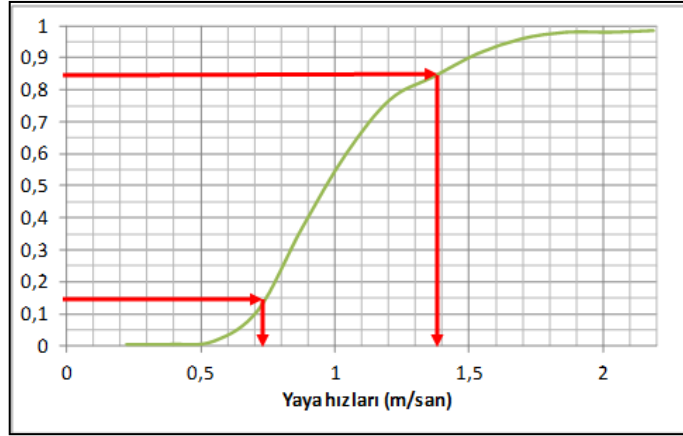
Cowan M3 dağılımında yer alan serbest taşıt oranı " $\alpha$ " parametresi, farklı ülke, şehir veya sistemler arasındaki sürücü davranışlarındaki değişiklikleri tanımlamak amacıyla kullanılabilen bir parametredir. Literatürde " $\alpha$ " parametresi için birçok bağıntı önerilmiştir. Bu çalışmada gözlemlerden elde edilmiş olan " $\alpha$ " değerlerinin, Çalışkanelli ve Tanyel (2010) tarafından İzmir'deki kentiçi arterler için ölçümlendirilmiş olan Akçelik (2003) bağıntısı kullanılmıştır.

$$\alpha = \frac{1 - q\Delta}{1 - (1 - 0,53)q\Delta} \quad (13)$$

### Yaya Hızları

Çalışmada I nolu gözlem alanından 98, II nolu gözlem alanından ise 97 yaya verisi toplanmıştır. I nolu bölgede yayaların ortalama hızları 1,03 m/san, hızların standart sapması ise 0,34 olarak hesaplanmıştır. II nolu bölgede ise ortalama yaya hızı 1,05 m/san; standart sapma ise 0,32 olarak bulunmuştur. Buradan da görülebileceği gibi her iki bölgede de yaya hızları birbirlerine çok yakındır. Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde ise ortalama hız değeri 1,04 m/san ve standart sapma 0,33 olarak tespit edilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda, yayaların %15 persantil hız değeri 0,72 m/san, %85 persantil hız değerleri ise 1,4 m/san'dir (Şekil 3). Bu değerler, Çevik Bir Meydanı'nı kullanan yayaların nispeten düşük hızlarda hareket ettiklerini göstermektedir.



Şekil 3 Yayaların %15 ve %85 persantil hızları

### Kritik Aralık Kabul Değerleri

Yayaların karşılaştıkları gecikme değerlerinin tahmininde, yayaların anayoldaki taşıtlar arasında kabul veya red edecekleri aralıkların belirlenmesi de büyük önem taşımaktadır. Literatürde kabul ve red aralıklarının sağa çarpık bir dağılıma uydukları ve Erlang veya lognormal dağılımı ile modellenebilecekleri belirtilmektedir (Gedizlioğlu, 1979). Tablo 1'de, her iki gözlem kesiminden elde edilen kabul ve red aralıklarının ortalama ve standart sapma değerleri ile uydukları istatistiksel dağılımlar görülmektedir. Tablo'dan da görülebileceği gibi, I nolu gözlem alanındaki yayaların kabul aralıkları, II nolu gözlem alanına göre daha kısadır. Bunun sebebi, I nolu alanda gözlem yapılan kesitte yayalar sadece Özmen Caddesi'nden Uğur Mumcu Caddesi'ne sağa dönüş yapan taşıtlardan etkilenmektedir ve bu taşıtların hızı nispeten daha düşüktür. II nolu alanda ise doğru geçiş yapan taşıtların etkisi sebebiyle yayalar daha fazla tedirgin olmakta ve daha uzun aralıkları kabul etmektedirler.

**Tablo 1** İki gözlem kesiminden elde edilen kabul ve red aralıklarının ortalama ve standart sapma değerleri ile uydukları istatistiksel dağılımlar

Gözlem Alanı	Kabul Edilen Aralıklar			Reddedilen Aralıklar		
	Ortalama	Standart Sapma	Dağılım	Ortalama	Standart Sapma	Dağılım
I	4,87	4,23	Lognormal	3,66	5,23	Lognormal
II	8,96	4,61	Weibull	4,54	2,86	Öt.Neg.Üstel.

Kritik aralık kabul değerlerinin hesaplanmasında kullanılacak birçok yöntem olmakla beraber Ashworth (1968) tarafından önerilmiş olan yaklaşım etkin bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Troutbeck ve Brilon, 1995):

$$T = \bar{K} - q\sigma_K^2 \quad (14)$$

Bağıntıda  $\bar{K}$ , kabule dilen aralıkların ortalamasını ve  $\sigma_K^2$  ise varyansını ifade etmektedir. Buna göre, I nolu gözlem alanına ait kritik aralık kabul değeri 2,53 saniye; II nolu alan için ise 6,23 saniye olarak bulunmuştur.

### Yaya Gecikme Modellerinin Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi

Literatürde yer alan farklı gecikme bağıntılarının ve/veya yöntemlerinin uygulanabilirliğinin irdelenmesi çalışmanın ana hedefi olarak öne çıkmaktadır. Bu amaçla önceki bölümde de belirtildiği gibi İzmir Buca Çevik Bir Kavşağı'nda yapılan gözlemler kullanılmıştır. Gecikme çözümleme çalışmalarında genel yaklaşım 15 dakikalık veri gruplarının kullanılması şeklindedir (Troutbeck, 1990). Ancak bir saatlik bir gözlem süresi 15 dakikalık veri gruplarına bölündüğünde oldukça sınırlı sayıda veriye ulaşılabilmektedir. Çözümlemede kullanılan veri sayısının artırılması için farklı bir yaklaşım tercih edilmiştir. Bu amaçla ilk önce KYTE v.d. (1991) tarafından önerilmiş ve daha sonra Chandra v.d. (2009) ve Tanyel v.d. (2013)'nin çalışmalarında da kullanılmış olan aşağıdaki yöntem kullanılmıştır:

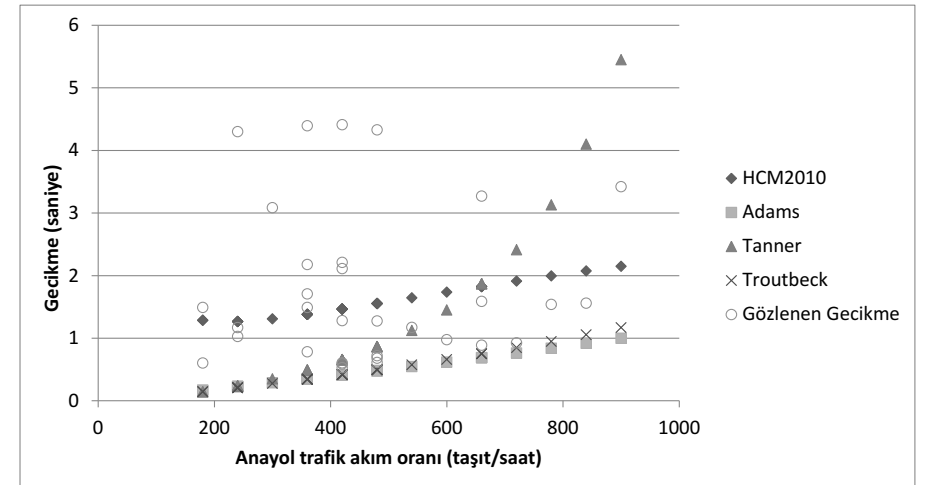
Bir yayanın kaldırım kenarına geldikleri an  $t_0$ , karşıdan karşıya geçmeye başladıkları an ise  $t_d$  adlandırılırsa yayanın gecikmesi

$$D = t_d - t_0 \quad (15)$$

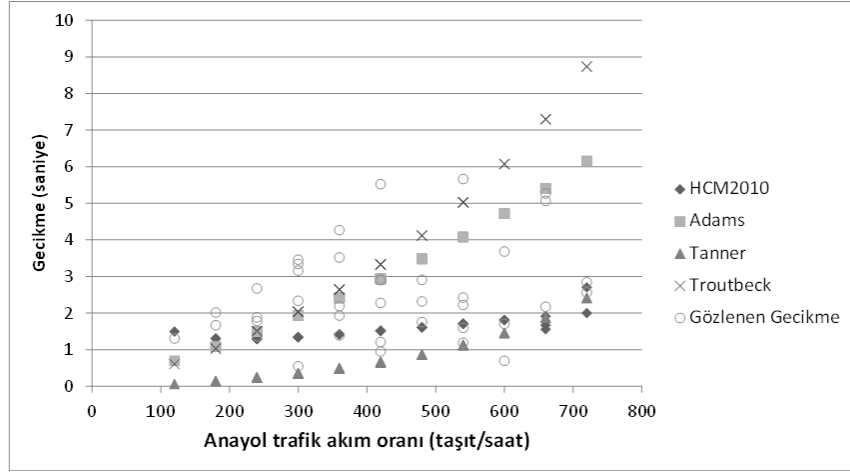
bağıntısı ile bulunabilir. Yayanın beklediği süre boyunca yoldan geçen taşıt sayısı " $N$ ",  $N$ 'inci taşıtın yoldan geçtiği an ise  $t_N$  ile tanımlanırsa yayanın geciktiği süre boyunca karşılaştığı engelleyici akım değeri aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$Engelleyiciakım = \frac{N}{t_N - t_0} \quad (16)$$

Böylece, veri sayısı artırılarak daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir. Çalışmada, I nolu gözlem alanından 33, II nolu çalışma alanından 38 kullanılabilir veri elde edilmiştir. Gözlemlerden elde edilen veriler kullanılarak Adams (1936), Tanner (1962), Troutbeck (1986, 1991) ve HCM2010 (TRB,2010) modellerinin kullanılabilirliği irdelenmiştir. Sonuçlar Şekil 4 ve Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 4 I nolu gözlem alanına ait çözümleme sonuçları



Şekil 5 II nolu gözlem alanına ait çözümleme sonuçları

Şekiller incelendiğinde, yöntemlerin genel olarak hiçbirinin gözlem verileriyle tam olarak örtüşmediği anlaşılmaktadır. Sadece bazı yöntemler diğerlerine göre verileri nispeten daha iyi temsil edebilmektedirler. Ancak, her iki gözlem alanı için bu yöntemler birbirlerinden farklıdır. I nolu gözlem alanında Tanner modeli verilerin genel eğilimini daha iyi temsil ederken; II nolu gözlem alanında ise Troutbeck ve Adams yöntemlerinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Gözlenen gecikme verileri genel olarak dağınık bir yapıya sahiptir. Bunun en önemli sebebinin, yayaların karşıdan karşıya geçme hareketi sırasında çok farklı unsurlardan etkilenmeleri olduğu söylenebilir. Çalışma kapsamında I nolu gözlem alanında yayaların %41'inin, II nolu gözlem alanında ise %18'inin karşıdan karşıya geçerken yolun tam olarak boşalmasını beklemedikleri ve kazaya karışabilecekleri gözlemlenmiştir. Bu sonuç ayrıca, I nolu gözlem alanındaki yayaların kritik aralık kabulü değerinin neden daha düşük olduğu yönünde de bir fikir verebilmektedir.

### Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada İzmir kent merkezinde bulunan ışısız kavşaklarda yapılan gözlemlerden yararlanarak, farklı araştırmacılar tarafından önerilmiş olan yay gecikme modellerinin kullanılabilirliği tartışılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Işıksız kavşaklarda yay gecikmelerinin hesaplanması amacıyla negatif üstel dağılım dışında ötelenmiş negatif üstel dağılım ve Cowan M3 dağılımının kullanılması uygun bir yaklaşım olarak kabul edilebilir.
- Gözlemlerden, yayaların ortalama hızlarının 1,03 m/san gibi düşük bir değer olduğu anlaşılmaktadır. Bu değer, literatürde yer alan 1,20 m/san değerinin oldukça altındadır (Utku, 2008).
- Çalışmada incelenen yöntemlerin farklı alanlarda farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Buna bağlı olarak, ilerideki çalışmalarda yöntemlerin hangi koşullar altında daha iyi sonuç verdiği irdelenebilir ve yeni bir gecikme bağıntısı geliştirilebilir.

- Çalışmanın önemli sonuçlarından birisi de, yayaların bazı durumlarda çok kısa zaman aralıklarını kabul ederek tehlikeli bir biçimde karşıdan karşıya geçmeye çalıştıklarını göstermektedir. Bu konu, özellikle trafik güvenliği araştırmalarında mutlaka ele alınması gereken bir husustur.

**Teşekkür** Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik araştırma Grubu'nun desteklediği 218M637 no.lu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya verdikleri destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

Adams, W.F. (1936). Road traffic considered as a random series. *Journal of the Institution of Civil Engineers*, 4(1): 121-130.

Akçelik, R. (2003) Speed-flow and bunching relationships for uninterrupted flows. *Proceedings of 25th Conference of Australian Institute of Transportation Research (CAITR 2003)*, University of South Australia, Adelaide, Australia.

Ashworth, R. (1968). A Note on the Selection of Gap Acceptance Criteria for Traffic Simulation Studies. *Transportation Research*, 2, pp. 171- 175.

Chandra, S., Agrawal, A., and Rajamma, A. (2009). Microscopic analysis of service delay at uncontrolled intersections in mixed traffic conditions. *Journal of Transportation Engineering*, 135(6): 323-329.

Cowan, R.J. (1975) Usefull headway models, *Transportation Research*, 9, 371-375.

Cowan, R.J. (1984) Adams' formula revised, *Traffic Engineering and Control* 25(5).

Çalışkanelli, S.P. ve Tanyel, S., (2010) Investigation of vehicle bunching at signalized arterials in Turkey, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(3), 380-388, 2010.

Gedizlioğlu, E., (1979) *Denetimsiz kavşaklarda yanyol sürücülerinin davranışlarına göre pratik kapasite saptanması için bir yöntem*, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mühendislik Fakültesi, İstanbul.

Kyte, M., Clemow, C., Mahfood, N., Lall, B.K., and Khisty, C.J. (1991). Capacity and delay characteristics of two-way stop-controlled intersections. *Transportation Research Record 1320*, *Transportation Research Board*, National Research Council, Washington, D.C. pp. 160-167.

Schroeder, B.J. (2008) *Crossing solutions at roundabouts and channalized turn lanes for pedestrians with vision disabilities*, Transportation Research Board

Sun, D.; Ukkusuri, S.V.S.K.; Benekokal, R.H.; Waller, S.T. (2003) Modeling of Motorist-Pedestrian Interaction at Uncontrolled Mid-block Crosswalks, *Transportation*

Research record, CD Rom, Transportation Research Board of the National Academies, 2003 Annual Meeting.

Tanner, J.C. (1951) The delay to pedestrians crossing a road, *Biometrika*, 38 (3-4), 383-392.

Tanner, J.C. (1962). A theoretical analysis of delays at an uncontrolled intersection. *Biometrika*, 49(1-2): 163-170.

Tanyel, S., Celik, K., Özuysal, M. and Çalışkanelli S. P. (2013). Different approaches to minimum delay prediction at single-lane traffic circles in İzmir, Turkey. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 40(3), pp. 274-284.

Transportation Research Board (TRB). (2010). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.

Troutbeck, R., and Brilon, W. (1995). Unsignalized intersection theory. In *Traffic Flow Theory A State of Art Report*, 8-1-8-44. Edited by N. Gartner, C.J. Messer, and A.K. Rathi.

Troutbeck, R.J. (1986). Average delay at an unsignalized intersection with two major streams each having a dichotomized headway. *Transportation Science*, 20(4): 272-286.

Troutbeck, R.J. (1990). Traffic interactions at traffic circles. Conference of the Australian Road Research Board, 5, *Traffic Engineering and Planning*, pp. 17-42.

Troutbeck, R.J. (1991). Unsignalized intersections and roundabouts in Australia. Recent developments, *Intersections Without Traffic Signals II*, Bochum, Germany. pp. 238-257.

Utku, S.B. (2008) *Sinyalize kavşaklarda yaya hareketliliğinin ve güvenliğinin irdelenmesi*, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

## Kış Kentlerinde Bisiklet Kullanımının İncelenmesi: Erzurum İli Örneği

**M. Yasin Çodur<sup>1</sup>, Emre Kuşkapan<sup>2</sup>, K. Diler Alemdar<sup>3</sup>, Ömer Kaya<sup>4</sup>**  
Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

Bölümü Yakutiye/ERZURUM 25000

<sup>1,2,3,4</sup>Tel: 444 5 388

<sup>1</sup>mycodur@erzurum.edu.tr

<sup>2</sup>emre.kuskapan@erzurum.edu.tr

<sup>3</sup>kadir.alemdar@erzurum.edu.tr

<sup>4</sup>omer.kaya@erzurum.edu.tr

**Ahmet Tortum<sup>5</sup>**

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yakutiye/ERZURUM 25050

<sup>5</sup>Tel: 442 231 4793

<sup>5</sup>atortum@atauni.edu.tr

Motorlu kara taşıtları karbon gazı salınımı ile hava kirliliğini artırmakla birlikte petrol kaynaklarının kullanımıyla enerji kaynaklarının hızlıca tükenmesine sebep olmaktadır. Daha yaşanabilir kentler oluşturabilmek amacıyla motorlu taşıtlara alternatif olarak kullanılan bisikletler ise bu olumsuz durumlara engel olmakla birlikte insan metabolizmasını hızlandırır, kas dokusunu kuvvetlendirir, vücut direncini artırır ve kullanıcıya ekonomik kazanç sağlar. Tüm bu avantajlarının yanında bisiklet kullanımının hava koşullarına da bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma, soğuk ve karlı havalarda bisiklet kullanımına odaklanmakta ve bu havalarda bisiklete binme davranışları hakkında bir anlayış geliştirmeyi amaçlamaktadır. Avrupa'da kış aylarında da devam eden bisiklet kullanımının Türkiye'de yok denecek kadar az olmasının sebepleri incelenmiş olup bisiklet yolları üzerinde birtakım incelemelerde bulunulmuştur. Kış şartlarının yoğun yaşandığı Erzurum iline ait bisiklet yollarındaki problemler incelenmiştir. Son olarak kış aylarında bisikletin kullanımının yaygınlaşması ve altyapısının oluşturulması amacıyla birtakım önerilerde bulunulmuştur. Bu çalışmanın soğuk iklimi veya uzun kış mevsimi olan bölgelerde yapılacak olan planlamalara ve politikalara yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Bisiklet kullanımı, Çevre dostu, Kış kentleri, Yaşanabilir kentler, Ulaşım politikaları

## Giriş

Dünya genelinde bisiklet kullanımı motorlu kara taşıtlarına önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Özellikle kentlerde motorlu kara taşıt yoğunluğunun beraberinde getirdiği trafik sıkışıklığı, hava kirliliği ve gürültü kirliliği önemli bir problem haline gelmiştir. Motorlu kara taşıtlarının dezavantajlarının yanı sıra bisiklet kullanımı önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajların başında; petrol tüketimini azaltması, kullanıcının vücut direncini artırması ve çevreye zarar vermemesi en önemlileri olarak

söylenilmektedir. Bu doğrultuda; gelişmiş birçok ülkede bisiklet kullanımı büyük oranlara sahipken ülkemizde bu durum oldukça düşüktür. Örneğin bisiklet kullanımının yaygın olduğu ülkelerden biri olan Hollanda'da halkın yaklaşık %80'i bisiklet kullanmakta iken ülkemizde bu oran yaklaşık %5 düzeyindedir (Anadolu Ajansı, 2019; Sosyal Eğitim Platformu, 2019). Öte yandan kış şartlarının yoğun şekilde yaşandığı Norveç, Finlandiya ve Danimarka gibi ülkelerde bisiklet kullanımı oldukça yaygın durumdadır (Anadolu Ajansı, 2017). Oysa ülkemizde kış aylarında çeşitli sebepler neticesinde bisiklet kullanımı yok denecek kadar azdır.

Bisiklet kullanımının Dünya genelinde yaygınlaşması ve kış aylarında bisiklet kullanım durumunun incelenmesi amacıyla çeşitli birçok akademik çalışma bulunmaktadır. Örneğin Noland ve Kunreuther (1995) Philadelphia kentinde bireylerin işe gidip gelirken bisiklet kullanımını tercih etmesi amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Kent içerisinde yapılan anketler neticesinde bisiklet kullanımının otomobile göre daha güvenli ve daha elverişli olduğu belirlenmiştir. Buna ilaveten otomobil ve bisiklet kullanımı ekonomik yönden karşılaştırılarak birim mesafede elde edilecek tasarruflar tespit edilmiştir. Nankervis (1999) Avustralya'nın Melbourne kentindeki bazı yükseköğretim öğrencilerinin bisiklet kullanım durumları için hem kısa vadeli hava koşullarının hem de uzun vadeli mevsimsel değişimin etkisi hakkında çalışma yapmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda; kış mevsiminde bisiklet kullanımının yaklaşık % 30, yağmurlu günlerde yaklaşık % 40 oranında azaldığı, ancak buz ve kar durumunda ise bu oranın % 66'yı bulduğu belirlenmiştir. Winters ve diğ. (2007) kentsel alanlarda bisiklet kullanımının artırılması, hava ve gürültü kirliliğini azaltmanın, fiziksel aktiviteyi artırmanın ve kronik hastalık riskini azaltmanın önemli bir yolu olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebeple Kanada'ya ait bazı şehirlerde ulaşım ve halk sağlığı politikalarını bilgilendirmek için bisiklet kullanma durumunu araştırmışlardır. Yaş ve gelir düzeyine göre bisiklet kullanım oranının fazla değişmediği sadece donma sıcaklıklarının olduğu gün sayısının bisiklet kullanımını etkilediği belirlenmiştir. Başka bir çalışmada; Dill (2009) günlük olarak bisiklet kullanımının ulaşım ve sağlık konusunda ne gibi etkiler oluşturduğuna dair bir çalışma yapmıştır. Portland kentinde bulunan 166 bisiklet üzerine yerleştirilen GPS cihazları kullanılarak bisiklet kullanıcılarının davranışları incelenmiştir. Haftalık elde edilen veriler neticesinde bisiklet kullanımının kent içerisinde ulaşım noktasında sağladığı avantajlar ve kullanıcılara sağlık yönünden etkileri yorumlanmıştır. Flynn ve diğ. (2012) hava koşullarının bisiklet kullanan bireyler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kuzey Amerika'da yetişkin bireylerin mevsimsel hava değişim sürecinde bisiklet kullanım durumları raporlanmıştır. Bisiklet kullanımının normal hava koşullarına oranla karlı, rüzgârlı ve yüksek sıcaklık olduğu dönemlerdeki değişim durumları belirlenmiştir. Amiri ve Sadeghpour (2014) bisiklet kullanımının otomobile önemli bir alternatif olduğundan ve sera gazı emisyonunu azaltmada en etkili yöntem olduğundan bahsetmişlerdir. Bununla birlikte, bisiklet kullanımının hava koşullarına da bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Bu sebeple yaptıkları çalışmada, soğuk havalarda bisiklet kullanmaya odaklanmışlar ve soğuk havalarda bisiklete binme davranışları hakkında bir anlayış geliştirmeyi amaçlamışlardır. Kanada'da kış aylarında bisiklet kullanımı ile ilgili anketler düzenlenmiştir. Anket verilerinin çapraz tablololu analizi ile farklı değişkenler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tanımlanmıştır. Bu ilişki kış için bisikletin kullanım durumunu tespit edebilmek için önemli temel bilgiler sunmuştur. Elde edilen

sonuçların ülkede bisiklet kullanım politikası adına önemli bir kaynak olacağı belirtilmiştir. Gökaşar ve diğ. (2015) ise yaptıkları çalışmada Dünya'da bisikletli ulaşımın en iyi şekilde sağlandığı kentleri tespit ederek bu kentlerde bisiklet kullanımını sağladığı avantajlardan bahsetmişlerdir. Öte yandan Türkiye'de bisiklet kullanım durumunun çok az olması ve bu durumun sebepleri belirlenmiştir. Belirlenen sebeplerle birlikte Boğaziçi Üniversitesi'nde düzenlenen anketler doğrultusunda kampüs içerisindeki bisiklet kullanımının yaygınlaşması için birtakım önerilerde bulunulmuştur.

Yapılan bu çalışmada ise Erzurum ili içerisindeki bisiklet yolları incelenerek Ülkemizdeki bisiklet kullanım oranının artırılması ve bu kullanımın sadece sıcak mevsimler ile sınırlı kalmayıp tüm yıla yayılabilmesi için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Ayrıca bisiklet kullanımının sadece hobi ve spor amaçlı olmasından ziyade insanların günlük ulaşım ihtiyaçlarını karşılaması için gerekli koşullar ele alınmıştır. Elde edilen araştırmalar neticesinde kış aylarında bisiklet kullanımının yaygınlaşması, sürücüler için güvenlik tedbirlerinin artırılması ve soğuk iklimden daha az etkilenmesi amacıyla dünya genelinde yapılan uygulamalar incelenmiştir. Bu doğrultuda bisiklet kullanıcısının soğuk hava şartlarından en düşük düzeyde etkilenmesi ve bisiklet yollarında buzlanmanın önüne geçilmesi için birtakım önerilerde bulunulmuştur.

### Materyal ve Metot

Ülkemizin özellikle Doğu Anadolu Bölgesi başta olmak üzere kış aylarında ülkenin bir bölümünde sert iklim ve kar yağışı görülmektedir. Sert iklim ve kar yağışı günlük hayatı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etkinin en büyük yansımalarından biri de trafikte gözlemlenmektedir. Özellikle motorlu kara taşıtlarının çokça kullanıldığı ülkemizde kış şartlarıyla mücadelede kullanılan yöntemler teknoloji ile birlikte her geçen gün gelişmektedir. Ancak hem yayalar hem de bisiklet gibi motorsuz kara taşıtları açısından kış şartları ile mücadele pek gelişmemiştir. Bu yüzden kış aylarında hem yaya hem de motorsuz kara taşıtlarının ulaşımı konusunda önemli engeller oluşmaktadır. Kış aylarında bisiklet kullanımı neredeyse tamamen olanaksız durumdadır. Motorlu kara taşıtlarına göre daha sağlıklı ve çevreye saygılı ulaşım sistemi olan bisikletin kullanılması için öncelikle bisiklet yollarının ülke genelinde hızlıca yaygınlaşması gerekmektedir. Bisiklet yolları yaygınlaşırken, bu yolların bütün mevsimlerde kullanılabilmesi için çeşitli önlemler alınmalıdır. Bu önlemler, karayollarında uygulanan kış şartları ile mücadele yöntemlerinin bisiklet yollarında da uygulanması olabilir. Özellikle ülkemizin en soğuk iklimine sahip Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan önemli kentlerinden biri olan Erzurum'da da bu sorunlar ile sıkça karşılaşmaktadır. Erzurum ilini diğer kış kentlerinden ayıran en önemli özelliği, iki devlet üniversitesine sahip olması ve bundan dolayı potansiyel bisiklet kullanıcısı sayısının fazla olmasıdır. Bu iki üniversite bisiklet kullanımını artırma konusunda lokomotif görevi görmekte ve kampüslerdeki mevcut bisiklet yolları Şekil 1'de sunulmaktadır (Ekmekeçyan ve diğ., 2015)..

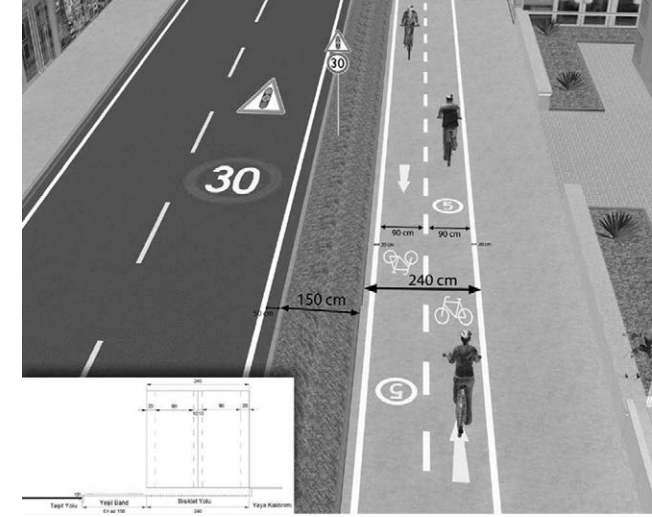




Şekil 1 Erzurum Teknik Üniversitesi ve Atatürk Üniversitesi kampüs alanı bisiklet yolları.

Kampüsler dışında Erzurum'un sahip olduğu iki önemli bisiklet yol ağıda mevcuttur. Bunlar Şükrüpaşa ve Dadaşkent yol ağlarıdır. Özellikle 3,5 km uzunluğundaki Yıldızkent - Dadaşkent bağlantı yolunda bulunan bisiklet yolunun diğer bisiklet yollarına bağlantısının bulunmaması yani bir bütünlüğün olmaması önemli ölçüde kullanımı etkilemektedir. Yani bireylerin bahse konu bölgeler arasında bisiklet ile ulaşımını sağlayacak bağlantı yolları mevcut değildir. Şehir içerisinde bisiklet yollarının bulunmaması insanların ev iş, ev okul arası veya tersi gibi yolculuklarını bu ulaşım türüyle yapmalarını oldukça zorlaştırmaktadır. Bu durum da bisiklet kullanımının hobi veya spor amacı ile yapılmasıyla kısıtlı kalmaktadır.

Genel olarak yapılan bu yollar yönetmeliğe uygun olarak tasarlanmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ilk olarak 3 Kasım 2015'te yayımlanmış olduğu bisiklet yolu yönetmeliğine göre bisiklet yolunun şerit genişliği minimum 130 cm olmalıdır. Bu yolların tasarımında dikkate alınması gereken diğer bir husus ise motorlu taşıt şeridi ile bisiklet yolu bariyeri arasında en az 60 cm olmalıdır. Şekil 2'de İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin yayımlanmış olduğu bisiklet yolu tasarımı sunulmuştur (İBB, 2019).



Şekil 2 Bisiklet yolu tasarımı örneği.

Kar yağışı ve buzlanma olaylarının sıkça görüldüğü Erzurum kenti gibi bölgelerde kar ve buzla mücadelede kullanılan en yaygın yöntemler tuzlama, kumlama ve solüsyon yöntemleridir. Tuzlama yöntemi kullanılarak suyun donma noktasını düşürmek amaçlanmakta ve kısmen de başarılı olmaktadır. Fakat şunu belirtmek gerekir ki, tuzlama yönteminin yol yüzeyine ve yol kaplamasına verdiği zararlar bilinmektedir. Özellikle bazı bölgelerde beton ile yapılan bisiklet yollarında tuzun etkisi daha fazla olacağından bu tip malzemelere vereceği zarar daha fazladır. Tuzlamanın betona verdiği zarar Şekil 3'de görülmektedir (İnsapedia, 2019).



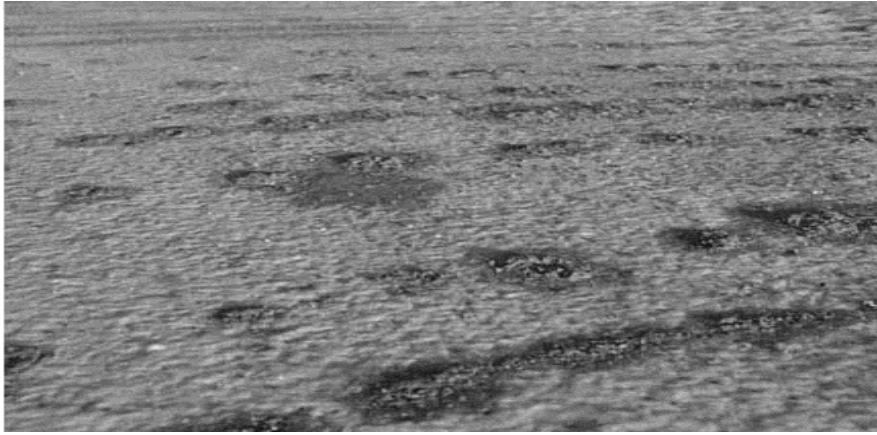
Şekil 3 Tuz kullanımının betona etkisi.

Solüsyon yönteminde ise çeşitli kimyasal maddeler yağış öncesi veya yağış sonrası uygulama yüzeyine püskürtülen kimyasallarla kar tanelerinin uygulama yüzeyleri arasında bağ kuvvetlerini zayıflatmaktadır. Kumlama yönteminde ise amaç buzlanma sonucunda azalan sürtünme katsayısını artırarak trafik güvenliğini sağlamaktır. Bu yöntemin dezavantajı ise artan sıcaklıklarla beraber buzların erimesi ile birlikte kum

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

#### Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

tanelerinin yol yüzeyinde kalarak görüntü ve çevre kirliliğine yol açmasıdır. Bu olumsuzlukların önüne geçebilmek için bazı ülkeler yeni yöntemler geliştirmiştir. Bu yöntemlerden birisi de sıcak ıslatılmış kumlama yöntemidir. Bu yöntemde su bir haznenin içerisinde belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp kum ile yapışması sağlanarak yol yüzeyine püskürtücü vasıtası ile püskürtülmektedir. Püskürtülen bu su kum karışımı Şekil 4’de görülmektedir (VTI, 2013). Buzlu yüzeye yapışarak trafik güvenliğinin artmasını sağlamaktadır. Bu yöntemde kullanılan kum özelliği (tane boyutu çok küçük olduğundan) geleneksel olarak kullanılan kumlama yöntemi gibi çevre kirliliği sonuçlarını ortaya çıkarmamaktadır. Sıcak ıslatılmış kumlama yönteminin bisiklet ve yaya ulaşım yollarında kullanımını gösteren görsel Şekil 5’de sunulmuştur (VTI, 2013). Ayrıca bisiklet ile ulaşım sistemine ve bisiklet yollarına ayrılan bütçenin daha yüksek olması durumundan elektrikli ısıtma sistemleri ve buzlanmayı algılayıcı-önleyici sistemlerin bisikletli ulaşım sistemi için entegre edilmesi düşünülebilir.



Şekil 4 Sıcak ıslatılmış kumlama yönteminin uygulaması.



Şekil 5 Sıcak ıslatılmış kumlama yönteminin bisiklet ve yaya yollarına uygulanması.

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

#### Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

Kış kentlerinde bisiklet kullanımının yaygınlaşması için hem bisikletin hem de bisiklet kullanıcısının donanımlarının kış şartlarına uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. Kullanıcı açısından soğuk hava şartlarından ve düşmeye bağlı darbelerden korunmak için özel giysiler tasarlanmaktadır. Bu donanımların kış kentlerindeki pazar payı artırılarak kış mevsiminde bisiklet kullanımı için bir olanak oluşturulabilir. Bisiklet donanımı açısından kış şartlarının etkin olduğu ülkelerde görülen çeşitli uygulamaların hayata geçirilmesi bisiklet kullanımını artırabilir. Norveç’te uygulanan eğimli arazilerde bisiklet kullanımına yardımcı olmak için geliştirilen sistemin kış şartlarının etkili olduğu kentlerde yaygınlaşması ile bisiklet kullanımı daha kolay hale gelebilir. Norveç’te uygulanan “bisiklet asansörü” olarak adlandırılan sistemin görseli Şekil 6’de sunulmuştur (Yeşilist, 2014).



Şekil 6 Bisiklet asansörü.

Bu asansör sistemi kış şartları ile uyumlu hale getirilerek kış kentlerinde bisiklet kullanımı yaygınlaştırılabilir. Kayak merkezlerinde kullanılan yürüyen bantların kentlerin kritik noktalarında konumlandırılması ile yine bisiklet kullanımını artırmak hedeflenebilir. Bunun yanında yol yüzeyinde herhangi bir geometrik düzenleme yapmadan bisiklet donanımları ile kış şartlarıyla mücadele daha etkin bir hale getirilebilir. Yine kış şartlarının etkili olduğu bölgelerde kullanılan bisikletler ile bisiklet kullanımı hem daha kolay hem de daha zevkli bir hale gelebilir. Bu durum kullanıcıları teşviki açısından önemlidir. Kış kentlerinde kullanılan bisiklet donanımlarına örnek olarak Şekil 7’de bir görsel sunulmuştur (Cdn, 2018).



Şekil 7 Kış şartlarına uygun donatılan bisiklet.

### Sonuçlar

Bisikletin gelişmiş ülkelere göre Ülkemizde daha az kullanılmasının nedeni olarak bisiklet altyapısının doğru ve yeterli planlanmış olmaması gösterilebilir. Erzurum ili özelinde yapılan incelemelerde bisiklet altyapısının kentsel planlamalarda yer almadığı için daha sonra entegre edilen altyapı çeşitli problemlere neden olmaktadır. Örneğin kent içi yollar inşa edilirken, bisiklet yolları ve altyapısı göz önüne alınmadığından daha sonra bisiklet yollarının trafik ile entegrasyonunda güvenlik, konfor ve ekonomiklik açısından problemler meydana gelmektedir. Ayrıca bisiklet yollarının birçoğu bireylerin günlük ihtiyaçlarını içeren ev-iş-okul ve sosyal alanlar gibi güzergâhları barındırmadığı belirlenmiştir. Kış ayları özelinde ise bisiklet için kapalı park alanlarının bulunmaması ve bisiklet yollarında kar ve buzlanmanın engellenmesi için yapılan çalışmaların yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Bu tür sorunlar düşünüldüğünde kullanıcı açısından çeşitli endişeler oluşmaktadır. Bu sıkıntılara ek olarak kış kentlerinde hem altyapı durumu hem de hava şartlarının elverişli olmamasından dolayı bisiklet kullanımı oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır. Kullanımın artırılması açısından bisiklet yol ağlarının kent içinde yaygınlaştırılması, belediyeler tarafından bisiklet kiralama merkezlerinin yaygınlaştırılarak kullanım maliyetini düşürülmesi ve sosyal alanlar ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca çalışmada belirtilen bisiklet donanımlarının kış kentlerinde kullanımı için yerel yönetimlerin destekleyici kararlar alması kullanımı artırabilir.

### Kaynaklar

- Amiri, M. and Sadeghpour, F. (2014) Cycling Characteristics in Cities With Cold Weather. *Sustainable Cities and Society*, No:14, pp. 397–403.
- Anadolu Ajansı. (2017) Bisiklette Hedef 'Kopenhag' Sistemi. Erişim Tarihi: 22.03.2019. <https://www.aa.com.tr/tr/spor/bisiklette-hedef-kopenhag-sistemi/939871>
- Anadolu Ajansı. (2018) Hollanda'da Bisiklet Yaşam Biçimi. Erişim Tarihi: 26.01.2019. <https://www.aa.com.tr/tr/dunya/hollandada-bisiklet-yasam-bicimi/1323697>
- Cdn. (2018) Erişim Tarihi: 01.06.2019. [https://cdn.blessthisstuff.com /images/stuff/img\\_ktrack\\_2.jpg](https://cdn.blessthisstuff.com /images/stuff/img_ktrack_2.jpg).
- Dill J. (2009) Bicycling for Transportation and Health: The Role of Infrastructure. *Journal of Public Health Policy*, No: 30, pp. 95–110.
- Flynn, B.S., Dana G.S., Sears J. and Aultman-Hall L. (2012) Weather Factor Impacts on Commuting to Work by Bicycle. *Preventive Medicine*, No:54, pp. 122–124.
- Göktaşar I., Bayrak M. ve Kalan O. (2015) Boğaziçi Üniversitesi'nde Bisiklet Kullanımının Yaygınlaştırılması. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 11. Ulaştırma Kongresi, İstanbul Şubesi, Bildiriler Kitabı, s. 539-548, 27-29 Mayıs, İstanbul.
- İnsapedia (2015) Betonda tuz etkisi. Erişim Tarihi: 29.05.2019 <https://insapedia.com/betonda-tuz-etkisi/>
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi (2019). Erişim Tarihi: 29.05.2019 <https://www.istka.org.tr/media/20860/%C4%B0istanbul-da-g%C3%BCvenli-bisiklet-yollar%C4%B1-uygulama-k%C4%B1lavuzu.pdf>
- Nankervis M. (1999) The Effect of Weather and Climate on Bicycle Commuting. *Transportation Research Part A*, No 33, pp. 417-431.
- Noland, R.B. and Kunreuther, H. (1995) Short-run and Long-Run Policies for Increasing Bicycle Transportation for Daily Commuter Trips. *Transport Policy*, Vol. 2, No:1, pp. 67 -79.
- Sosyal Eğitim Bilgileri Platformu (2019) Türkiye'de Bisiklet Kullanımı. Erişim Tarihi: 20.06.2019. <https://www.sosyalevren.com/egitim/turkiyede-bisiklet-kullanimi.html>
- Thomas T., Jaarsma R. and Tutert B. (2013) Exploring Temporal Fluctuations of Daily Cycling Demand on Dutch Cycle Paths: The Influence of Weather on Cycling. *Transportation*, No:40, pp 1-22.

Torun F.E., Çodur M.Y. ve Bingül Z. (2015) Ulaşımında Bisikletin Yeri ve Erzurum Teknik Üniversitesi Kampüs Alanı Bisiklet Yolu Önerisi. *Turkish Journal of Scientific Reviews*, 1, sayfa 62-66.

Vti (2013) Warm Wetted Sand for Skid Control on Bike Paths. Erişim Tarihi: 28.05.2019 [http://www.ibikeoulu.com/presentations/oulu\\_2013\\_warm\\_wetted\\_sand\\_anis\\_ka.pdf](http://www.ibikeoulu.com/presentations/oulu_2013_warm_wetted_sand_anis_ka.pdf).

Winters M., Friesen M.C., Koehoorn M. and Teschke K. (2007) Utilitarian Bicycling A Multilevel Analysis of Climate and Personal Influences. *American Journal of Preventive Medicine*, 32(1), pp. 52-58.

Yeşilist (2014) Dünyanın İlk Bisiklet Asansörü Norveç'ten. Erişim Tarihi: 03.06.2019. <https://www.yesilist.com/dunyanin-ilk-bisiklet-asansoru-norvecten/>

## Eskişehir'deki Kent İçi Bisiklet Kazalarının İncelenmesi

**Kadir Berkhan AKALIN, Çağdaş KARA, Abdulkadir ÖZDEN,  
Murat KARACASU**

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir  
Tel: (222) 239 3750 – Dâhili: 3237, 3215, 3211  
E-posta: kbakalin@ogu.edu.tr, ckara@ogu.edu.tr, aozden@ogu.edu.tr,  
muratk@ogu.edu.tr

### Öz

Gelişmiş ülkelerde, sürdürülebilir kentleşmenin sağlanması için, özellikle kent merkezlerine olan ulaşım talebinin, motorlu taşıtlar yerine toplu taşıma, motorsuz taşıt ve yaya ulaşımı ile güvenli, hızlı ve güvenilir bir şekilde karşılanabilmesi hususunda birçok çalışma yapılmaktadır. Böylece hem kent merkezlerindeki trafik sıkışıklığı hem de trafik kazaları ile hava ve gürültü kirliliğinin azaltılması sağlanabilmektedir. Gelişen teknolojiler ışığında bisikletlerin elektrikli bataryalar ile donatılması ve akıllı bisiklet kiralama istasyonlarının yaygınlaşması, sportif ve ekonomik bir ulaşım aracı olan bisikletin kullanımının artmasını sağlamıştır. Özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde kent içi ulaşımında bisikletli ulaşımın payı sürekli olarak artmaktadır. Artan bisiklet ulaşımı kapsamında karar vericiler ve politika geliştiriciler, meydana gelebilecek kazaların önüne geçmek ve sürdürülebilir ulaşımı da desteklemek için uygulamalar geliştirmektedir.

Bu çalışma kapsamında, 2014-2018 yılları arasında Eskişehir'de meydana gelen bisiklet kazalarına ait veriler incelenmiş ve bu verilerden faydalanılarak bisiklet kazalarına neden olan etkenler ve oluş şekilleri araştırılmıştır. Kazalar, ölümlü, yaralanmalı ve sağlam olmak üzere üç farklı sınıfta irdelenmiştir. Bu kapsamda kaza verisindeki, oluş şekilleri, yol yüzeyinin durumu, gün durumu, hava durumu, yol geometrisi, kazaya karışan kişilerin yaş ve cinsiyetleri gibi parametreler incelenmiştir. Ayrıca Eskişehir'de bisiklet güvenliği anketi uygulanarak sonuçlar kaza verileriyle birlikte yorumlanmış ve kazaların azaltılması için çözüm önerileri sunulmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Bisiklet ulaşımı, Kaza analizi, Trafik kazaları, Bisiklet kazaları, Sürdürülebilir ulaşım.

### Giriş

Gelişen şehirlerde hızlı nüfus artışının bir sonucu olarak trafik yoğunluğu artmaktadır. Şehir içindeki trafik yoğunluğu, beraberinde trafik güvenliği ve ulaşım problemleri, trafik kazaları gibi olumsuz etkileri beraberinde getirmektedir. Bu kapsamda, trafik yoğunluğunun azaltılmasına yönelik olarak bazı alternatif ulaşım araçlarının kullanılması kent ve trafik planlamasında üzerinde durulması gereken konulardan biri olarak ortaya çıkmaktadır (Durduran ve Fatih, 2011).

Yol ve otomotiv teknolojisinde kaydedilen ilerlemeler, gelişmiş güvenlik ekipmanları, artan uyarıcılar, ceza ve eğitim faaliyetlerine rağmen trafik kazaları sonucunda meydana gelen sakatlanmalar, can kayıpları, yaralanmalar, ekonomik kayıplar ve iş gücü kayıpları giderek artmaktadır (Koçak ve diğ., 2010).

Trafik yoğunluğunu azaltmada etkin bir rol oynayan, çevreci ve sürdürülebilir bir alternatif ulaşım aracı olan bisikletin kullanımı birçok kentimizde arazi kullanımına uygun olarak yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Bisiklete kullanımı, bisikletli için fiziksel ve zihinsel olarak faydalı olduğu kadar genel olarak toplum için de birçok fayda sağlamaktadır (Wipfli ve diğ., 2011; Morris ve Guerra, 2015). Özellikle düz topografyaya sahip olan şehirlerde, yoğun trafik içerisinde bisikletli ulaşımın payı artmaktadır. Bisikletli ulaşım, ekonomik ve çevreci olmasına karşın, ölümlü ve yaralanmalı kaza riskini arttıran bir ulaşım türü olması sebebiyle, aktif bisiklet kullanımı olan illerde planlama aşamasında ilgili güvenlik önlemlerinin dikkate alınmasını zorunlu haline getirmektedir (Schieber ve Sacks, 2001).

Dünyada bisiklet kullanımı ile ilgili çalışmalar kapsamını giderek arttırmaktadır (Pai, 2011; Poulos ve diğ., 2012; Billot-Grasset ve diğ., 2016). Fransa'da yapılan bir araştırmaya göre, motosiklet veya bisiklet sürücüleri diğer taşıt sürücülerine göre, trafikte geçirdikleri eşit zamanda yaralanma risklerinin 8 kat daha yüksek olduğu bildirilmektedir (Blaizot ve diğ., 2013). Diğer bir araştırmada her 100.000 nüfus için, her yıl Fransa yollarında bisiklet sürerken 70 kişinin yaralandığı ifade edilmektedir (Amoros ve diğ., 2008).

Norveç'te yapılan bir çalışmada, bisiklet kazaları sonucu meydana gelen yaralanmalar ve bu yaralanmaların toplam maliyeti araştırılmıştır. Norveç'teki şehirlerden alınan hastane verileri ile yaralanmalı kazalara ait polis tutanakları arasındaki farklılıklar ve ilişkilerin dağılımları tahmin edilmiştir. Maliyetler, kaza şiddeti seviyeleri için parasal değerler kullanılarak değerlendirilmiştir. Bunun yanında maddi kayıplar ve kazaların azaltılması için alınan önlemler için oluşan maliyetler gibi bir takım maliyetler de analizlerde kullanılmıştır. Sonuç olarak, yıllık bisikletli yaralanma maliyetleri çok yüksek çıkmış ve bu maliyetlerin sağlık, çevre ve güvenlik önlemleri maliyeti gibi maliyetlerle dengelenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bisiklet kaza yaralanmalarının azaltılması için kaza raporlarının ve veri tabanlarının geliştirilmesi gerektiği ifade edilmiştir (Veisten ve diğ., 2007).

Diğer bir çalışmada, bisiklet ve motosikletli sürücülerin karıştığı trafik kazaları sonucu acil kliniğine başvuran hastaların epidemiyolojik özellikleri araştırılmıştır. Veriler Selçuk Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi acil kliniğine gelen 57 hastaya yapılan anketlerden elde edilmiştir. Ki-kare yöntemi ve Mann-Whitney U testi kullanılarak yapılan istatistiksel analizler sonucunda, bölgedeki bisiklet ve motosiklet kazalarından genç yaştaki erkeklerin daha çok etkilendiği belirlenmiştir. Genel olarak kişisel koruyucu donanım kullanımı konusunda zafiyet yaşandığı ve kazaya karışanların %60'ının sürücü belgelerinin olmadığı saptanmıştır (Koçak ve diğ., 2010).

Bisiklet kullanıcılarına ait özellikler ve yapılan hatalarla birlikte, kazaya sebep olabilecek durumların detaylı olarak incelendiği diğer bir çalışmada, bisiklet sürücülerindeki dikkat eksikliğinin, çarpışmada yaralanma riskini arttırdığı düşüncesi desteklenmektedir. Yüksek görünürlüğe sahip giysilerin kullanımının, bisiklet

güvenliğini büyük ölçüde arttıran basit bir çözüm olduğu belirtilmiştir (Thornley ve diğ., 2008).

Düzce il sınırında kalan D100/11 karayolundaki kaydedilen kazalardaki kaza oluş şekli ve kullanılan araç türleri ile kaza sonuçları arasındaki ilişkilerin analizinin yapıldığı bir çalışmada, 2000-2004 yılları arasında meydana gelmiş 783 trafik kaza raporu incelenmiştir. Her bir kazaya ait araç türleri, kazanın oluş şekli, yaralı ve ölü sayıları belirlenmiştir. Elde edilen veri seti ile çoklu doğrusal regresyon, varyans ve korelasyon analizleri yapılmıştır. Kazaya karışan araç tipleri arasında bisiklet kullanıcılarının, genel olarak kazaya en az etkisi olan grupta yer aldığı görülmüştür (Ozgan, 2008).

2007 yılında yapılan bir çalışmada, çok terimli lojit model kullanarak bisiklet ile motorlu araç arasında meydana gelen kazalarda, kaza şiddetine etki eden faktörler araştırılmıştır. Analizler 1997 ve 2002 yılları arasında ABD'nin Kuzey Carolina Eyaleti'nden polis tarafından bildirilen kaza verilerine dayanmaktadır. Sonuçlara göre, ölümcül kazalara en çok alkollü araç kullanımı, aydınlatması olmayan veya yetersiz aydınlatmalı yol, kamyonların dâhil olduğu kazalar ve kafa kafaya çarpışmanın etkili olduğu görülmüştür (Kim ve diğ., 2007).

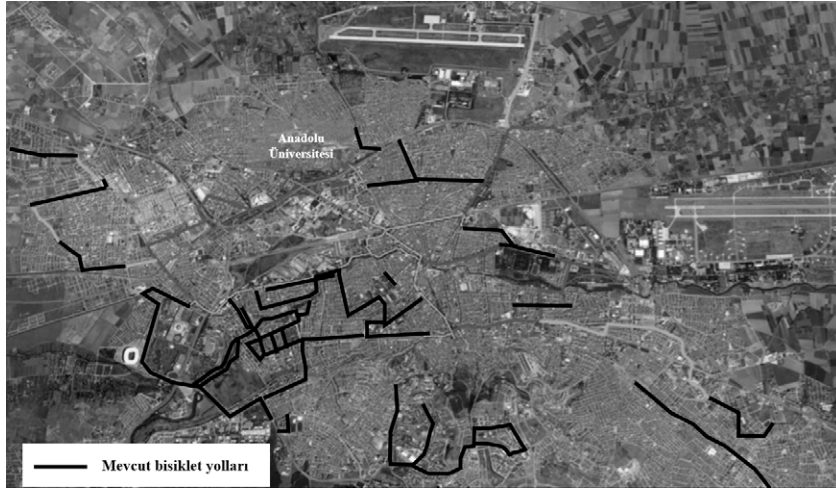
Karayolu ve bisiklet yolu özelliklerinin bisiklet kazalarındaki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada 2014-2017 yılları arasındaki, 32.444 kavşak noktası ve Avustralya'nın iç kesimleri için karayolu ağını temsil eden 57.285 sokaktan oluşan bir veri seti derlenmiştir. Bağımlı değişken, herhangi bir bisiklet kazasının olup olmadığı şeklinde ikili ölçütü gösteren bir parametre kullanılmıştır. Bağımsız değişken olarak ise, bisiklet şeritleri (özel bisiklet şeritleri, paylaşılan bisiklet ve park şeritleri, işaretli geniş kaldırım kenarı şeritleri ve kaldırım kenarı bisiklet şeritleri) ve diğer karayolu özelliklerine (hız sınırı, otobüs güzergâhları, tramvay rotaları, köprüler, tek yönlü olup olmadığı, trafik şeridi genişliği) ait parametreleri kullanılmıştır. Bayesian şartlı otoregressif lojit model kullanılarak yapılan analizler sonucunda, özel bisiklet yollarının olduğu, hızların daha yüksek olduğu, otobüs güzergâhlarının ve tramvay duraklarının bulunduğu ve trafik şeritlerinin daraldığı bölgelerde kaza oranlarının azaldığı tespit edilmiştir (Morrison ve diğ., 2019).

Bu çalışma kapsamında, 2014-2018 yılları arasında Eskişehir'de meydana gelen bisiklet kazalarına ait veriler incelenmiş ve bu verilerden faydalanılarak bisiklet kazalarına neden olan etkenler ve oluş şekilleri araştırılmıştır. Kazalar, ölümlü, yaralanmalı ve sağlam olmak üzere üç farklı sınıfta irdelenmiştir. Bu kapsamda kaza verisindeki, kaza oluş şekilleri, yol yüzeyinin durumu, gün durumu, hava durumu, yol geometrisi, kazaya karışan kişilerin yaş ve cinsiyetleri gibi parametreler incelenmiştir. Ayrıca Eskişehir'de bisiklet güvenliği anketi uygulanarak sonuçlar kaza verileriyle birlikte yorumlanmış ve kazaların azaltılması için çözüm önerileri sunulmuştur.

### Eskişehir Kent İçi Bisiklet Kazası Verileri

2015 yılı verilerine göre yapılan Eskişehir Ulaşım Ana Planı (EUAP) çalışması kapsamında yapılmış olan hane halkı anket sonuçlarına göre, Eskişehir'de günlük yolculukların yalnızca %1,2'si bisiklet ile yapılmaktadır. Evden işe ve işten eve yapılan yolculuklarda bisiklet kullanımı oranı ise %1,7'dir (Öğüt ve diğ., 2017).

EUAP 2017 sonuç raporuna bakıldığında mevcut bisiklet yolları 2017 yılında toplamda 12 km uzunluğa erişmiştir (Şekil 1). Kısa dönemde (2015-2020) toplam 10.760 m, orta dönemde (2020-2025) toplam 12.160 m, uzun dönemde toplam 7.453 m olmak üzere Eskişehir'in 2035 yılına kadar toplamda 42 km'lik bisiklet yol ağına sahip olacağı planlanmaktadır (Öğüt ve diğ., 2017).



Şekil 1 2017 yılı itibarıyla Eskişehir ili mevcut bisiklet yolları.

Bu çalışma kapsamında 2014-2018 yılları arasında Eskişehir'de meydana gelen kazalardan kayıt altına alınan 464 bisikletli kaza verisi incelenmiştir. Veri setine ait yoğunluk haritası Şekil 1'de verilmiştir. Kaza yoğunluk haritası incelendiğinde kazaların şehir içinde farklı noktalara yayıldığı gözlemlenmekte, ancak merkezi iş alanının olduğu bölge ve öğrencilerin kampüsünde sadece yaya olarak ulaşım sağladıkları Anadolu Üniversitesi Yunussemre Kampüsü civarında yoğunlaştığı söylenebilir. Eskişehir'in mevcut bisiklet yolu ağı ele alındığında, kaza yoğunluk haritasında görülen, kazaların sıklıkla meydana geldiği bölgelerde bisiklet yollarının bulunmadığı açıkça görülmektedir.



Şekil 2 2014-2018 yılları arasında Eskişehir'de meydana gelen bisiklet kazalarına ait yoğunluk haritası

Bu çalışma kapsamında incelenen 2014-2018 yılları arasında Eskişehir'de meydana gelen bisiklet kazalarına ait verilerden faydalanılarak bisiklet kazalarına neden olan etkenler araştırılmıştır. Kazalar, ölümlü, yaralanmalı ve sağlam olmak üzere üç farklı sınıfta irdelenmiştir. Veriler incelendiğinde 464 kazanın 448 tanesi yaralanmalı, 13 tanesi sağlam ve 3 tanesi ölümlü olarak sonuçlanmıştır. Yol tipi ile ölümlü, yaralanmalı ve sağlam olmak üzere üç sınıfta toplanan kaza şiddetine göre kaza sayıları Tablo 1'de verilmiştir. Tablodaki veriler kazanın gündüz ve gece aydınlatmanın olup olmaması durumuna göre sınıflandırılmıştır. Tablo 1 incelendiğinde, kazaların %51,5'inin bölünmüş iki yönlü yol, %32,8'inin bölünmüş yol, %14'ünün bölünmemiş tek yönlü yol ve %1,7'lik kısmının tanımlanmamış diğer yol tipi üzerinde meydana geldiği görülmektedir.

Tablo 1 Yol Tipi ve Kaza Şiddetine Göre Kaza Sayıları.

KAZA ŞİDDETİ*	GÜNDÜZ			GECE VEYA ALACAKARANLIK									TOPLAM
	Ö	Y	S	AYDINLATMA VAR			AYDINLATMA VAR-BOZUK			AYDINLATMA YOK			
	Ö	Y	S	Ö	Y	S	Ö	Y	S	Ö	Y	S	
BÖLÜNMÜŞ YOL	1	127	4	-	15	-	-	5	-	-	-	-	152
İKİ YÖNLÜ YOL	1	174	1	-	44	2	-	4	-	-	13	-	239
TEK YÖNLÜ YOL	1	42	1	-	17	1	-	1	-	-	2	-	65
DİĞER	-	1	4	-	2	-	-	-	-	-	1	-	8
<b>TOPLAM</b>	<b>3</b>	<b>344</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>78</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>464</b>

\*Ö: Ölümlü, Y: Yaralanmalı, S: Sağlam olarak sonuçlanmış kazaları ifade etmektedir.

Kaza verisindeki, oluş şekli, yol yüzeyinin durumu, gün durumu, hava durumu, yol geometrisi, kazaya karışan kişilerin yaş ve cinsiyetleri gibi parametreler hakkında bilgiler ve payları Şekil 3'te verilmiştir.

Gün durumuna, hava durumuna ve bisikletli hariç kazaya karışan araç sayısına göre üç farklı kategoride sınıflandırılmış olarak, kaza oluş şekline göre kaza sayıları Tablo 2'de verilmiştir. Veri setindeki ölümlü ve sağlam olarak sonuçlanan kazaların oldukça az sayıda olması sebebiyle, yalnızca kaza sayıları dikkate alınarak tablo irdelenmiştir.

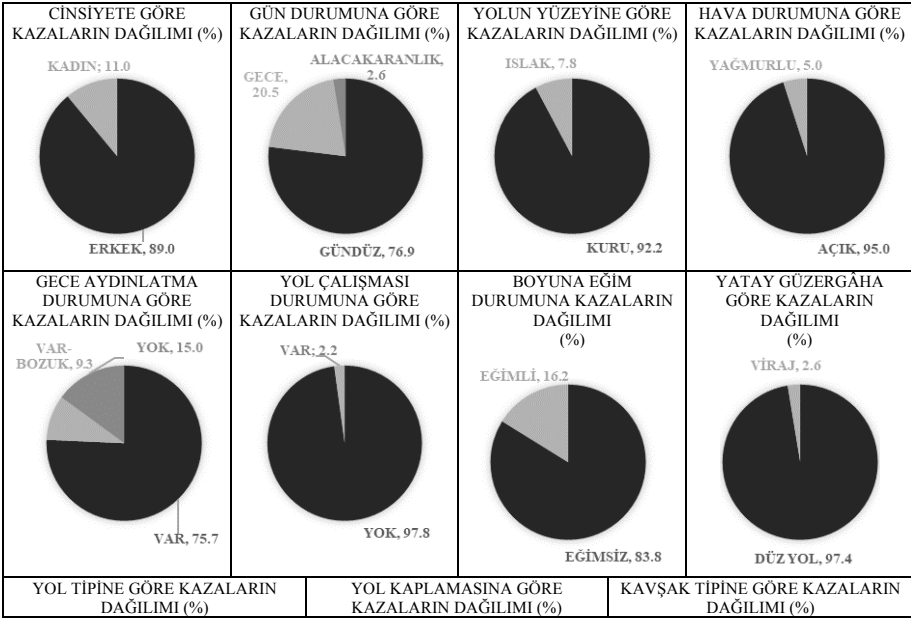
### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

Tablo 2 incelendiğinde, toplam kazaların %77,2'si yandan çarpma şeklinde rapor edilmiştir. Gün durumu, hava durumu veya kazaya karışan araç sayısına göre bu oluş şekli eğiliminin değişmediği gözlemlenmektedir. Toplam 464 kazanın sadece 5 tanesinde bir bisikletlinin yayaya çarptığı kayıt edilmiştir. Toplam 20 yayaya çarpma kazasından 15 tanesi ise bir başka aracın hem yaya hem bisikletliye çarpması sonucu gerçekleşmiştir. Kayıt edilen kazalardan yalnızca 3 tanesinde bisikletlinin kendi kendine yaptığı kaza rapor edilmiştir. Bu durum aslında bu tür kazaların az olmasının değil, rapor edilmediğinin göstergesidir.

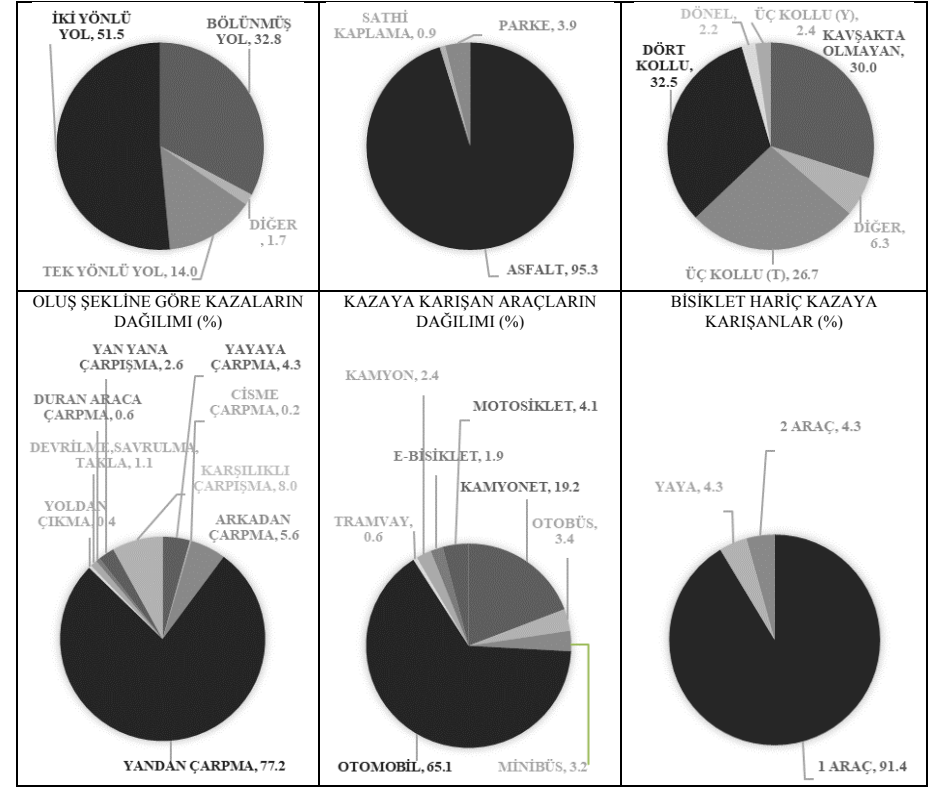
Gün durumuna, hava durumuna ve bisikletli hariç kazaya karışan araç sayısına göre üç farklı kategoride sınıflandırılmış olarak kazanın meydana geldiği kavşak tipine göre kaza sayıları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3 incelendiğinde, kazaların %32,5'ini oluşturan büyük kısmı dört kollu kavşakta meydana gelmiştir. Kazaların büyük bir kısmının yandan çarpma şeklinde meydana geldiği göz önünde bulundurulursa, bisikletli kazalarının genellikle dört kollu kavşaktan karşıdan karşıya geçerken gerçekleştiği söylenebilir.



### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi



Şekil 3 2014-2018 yılları arasında Eskişehir'de meydana gelen bisiklet kazalarına ait parametreler ve payları.

Tablo 2 Kaza Oluş Şekline Göre Kaza Sayıları.

	GÜN DURUMU			HAVA DURUMU		BİSİKLETLİ HARIÇ KAZAYA KARIŞAN ARAÇ SAYISI			TOPLAM
	GÜNDÜZ	AYD. VAR	AYD. YOK VEYA BOZUK	AÇIK	YAĞIŞLI	-	1	2	
YANDAN ÇARPMA	278	61	19	340	18	1	344	13	358
KARŞILIKLI ÇARPIŞMA	25	7	5	34	3	-	36	1	37
ARKADAN ÇARPMA	20	5	1	25	1	1	23	2	26
YAYAYA ÇARPMA	15	5	-	20	-	5	15	-	20
YAN YANA ÇARPIŞMA	10	1	1	11	1	-	12	-	12
DEVİRİLME, SAVRULMA, TAKLA	3	2	-	5	-	3	1	1	5
DURAN ARAÇ ÇARPMA	3	-	-	3	-	-	2	1	3
YOLDAN ÇIKMA	2	-	-	2	-	-	-	2	2
CİSME ÇARPIŞMA	1	-	-	1	-	-	1	-	1
<b>TOPLAM</b>	<b>357</b>	<b>81</b>	<b>26</b>	<b>441</b>	<b>23</b>	<b>10</b>	<b>434</b>	<b>20</b>	<b>464</b>

\*AYD: Aydınlatma durumu ifade etmektedir.

Tablo 3 Kazanın Meydana Geldiği Kavşak Tipine Göre Kaza Sayıları.

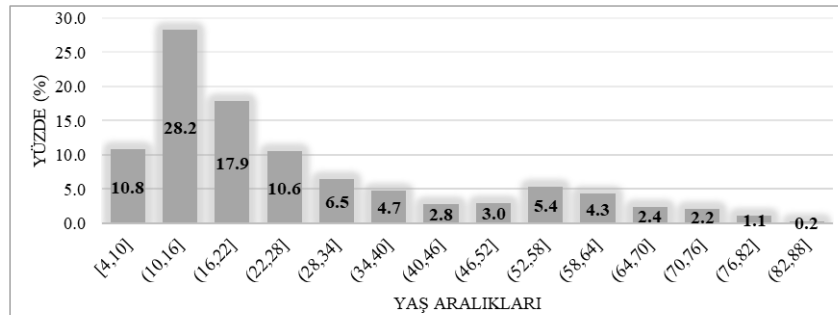
GÜN DURUMU	HAVA DURUMU	BİSİKLETLİ HARIÇ KAZAYA KARIŞAN	TOPLAM
------------	-------------	---------------------------------	--------

	GÜNDÜZ	GECE		AÇIK	YAĞIŞLI	ARAÇ SAYISI			
		AYD. VAR	AYD. YOK VEYA BOZUK			-	1	2	
DÖRT KOLLU	110	32	9	146	5	1	114	36	151
KAVŞAKTA OLMAYAN	104	26	9	131	8	13	118	8	139
ÜÇ KOLLU (T)	99	19	6	117	7	5	116	3	124
DİĞER	25	2	2	27	2	-	25	4	29
ÜÇ KOLLU (Y)	10	1	-	10	1	-	11	-	11
DÖNEL	9	1	-	10	-	1	9	-	10
TOPLAM	357	81	26	441	23	20	393	51	464
		464		464		464			

\*AYD: Aydınlatma durumunu ifade etmektedir.

Yağmurlu havalarda bisiklet kaza sayılarında düşüş olduğu gözlenmektedir. Bunun sebebi olarak olumsuz hava şartlarında bisiklet kullanımının ve araçların kavşak yaklaşma hızlarının azalması gösterilebilir. Yağışlı havalarda meydana gelen kazaların %34,8'lik en fazla sahip olan kısmı kavşakta meydana gelmemiştir. Bu durum hem bir önceki cümleyi desteklemekte hem de kazaların büyük bir kısmının yandan çarpma şeklinde meydana geldiği düşünülürse, yağışlı havalarda araç sürücülerinin yolun en sağ tarafında seyir halindeki bisikletlileri fark etmelerinde zorluk yaşadıklarını göstermektedir.

Kazaya karışan bisiklet sürücülerinin yaş gruplarına göre dağılımları Şekil 4'te verilmiştir. Veriler incelendiğinde, bisiklet kazalarının büyük bir kısmını (%39) 16 yaş altı bireylerin oluşturduğu gözlemlenmektedir. Özellikle %10,8'lik payı oluşturan 10 yaş ve altındaki, henüz refleksleri tam olarak gelişmemiş ve trafik hakkında bilgisi neredeyse olmayan bireylerin kazalara karışmış olması, araç sürücülerinin yüksek hızda seyretmesi veya bisikletli bireyler hakkında yeterli farkındalığa sahip olmaması sebebiyle gerçekleşen kazaların oldukça fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 4 Bisiklet kazası verilerine göre bisikletlilerin yaş gruplarına göre dağılımları.

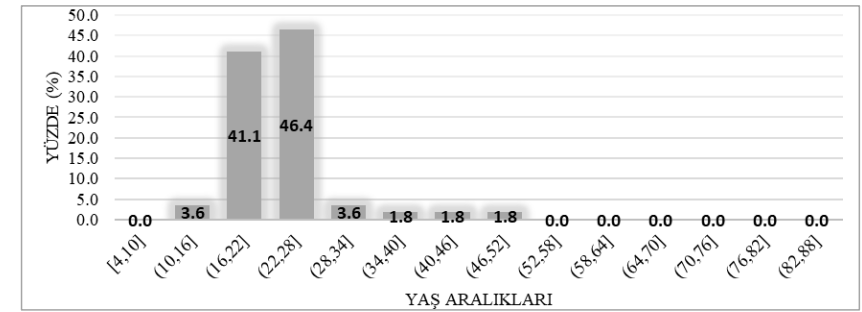
### Eskişehir Kent İçi Bisikletli Ulaşım Güvenliği Anketi

Çalışma kapsamında Eskişehir kent merkezinde ve bisiklet kullanımının yoğun olduğu bölgelerde 112 kişiye anket yapılarak, kent içi bisiklet kullanımı ve güvenliği ile ilgili sorular yöneltilmiştir. Şekil 4'te gösterilen kazaya karışan bisiklet sürücülerinin yaş gruplarına göre sınıflandırılmış bisiklet anketi katılımcılarının yaşlarının dağılımları

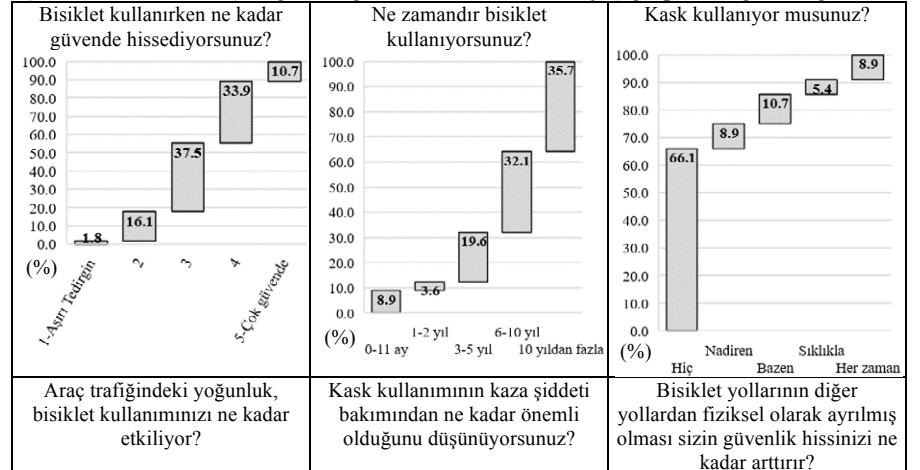
Şekil 5'te verilmiştir. Bisikletlilere yöneltilen bisiklet güvenliği ile ilgili sorular ve alınan cevapların dağılımları Şekil 6'da verilmiştir.

Ankete katılan bireylerin verdiği yanıtlara göre, öncelikle dikkati çeken unsurun, bisiklet sürücülerinin çok büyük bir kısmını oluşturan %66'1'i hiç kask kullanmamasına rağmen, aynı bireylerin yine %75 kadarı kask kullanımının kaza şiddetini çok fazla etkilediğini düşünmektedir. Bireylerin %75'i araç trafiğindeki yoğunluğun bisiklet kullanımını fazlaca etkilediğini düşünmekte ve %76,8'i bisiklet yollarının diğer yollardan fiziksel olarak ayrılmış olmasının güvenlik hissini önemli derecede arttırdığını ifade etmektedir.

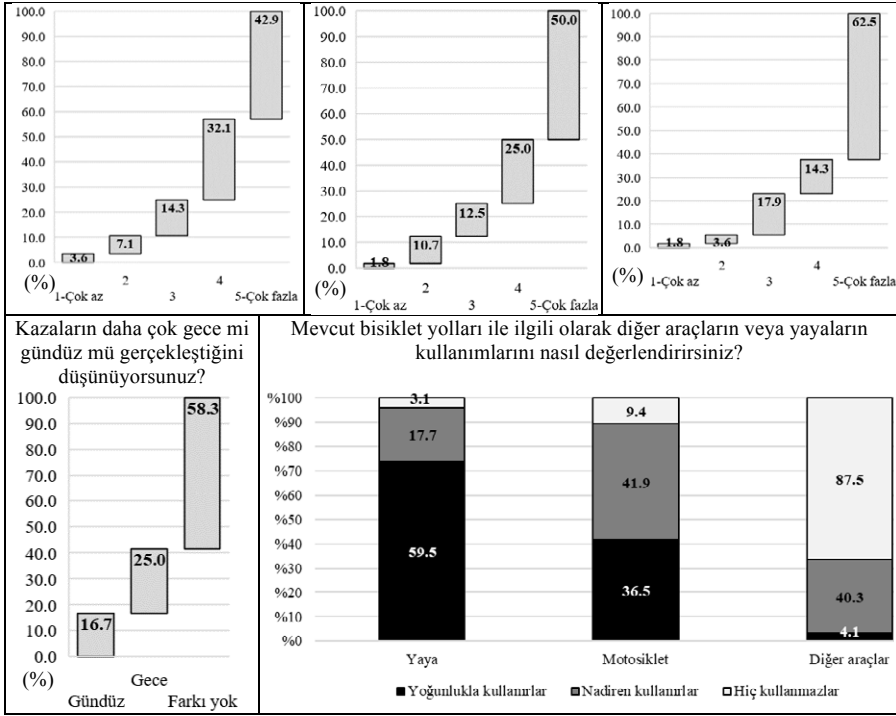
Grafikler incelendiğinde, bireylerin çok büyük bir kısmı (%58,3), kazaların gün durumundan, dolaylı olarak aydınlatma durumundan etkilenmediğini düşünmektedir. Bireylerin mevcut bisiklet yollarını değerlendirmeleri istendiğinde, %59,5'i yayaların bisiklet yollarını sıklıkla kullandıklarını ifade etmiştir. Bireylerin %36,5'i motosiklet veya mopedlerin (e-bisiklet dâhil) bisiklet yollarını sıklıkla, %41,9'u ise nadiren de olsa kullandığını belirtmiştir. Parklanma için de olsa motorlu araçların bisiklet yollarını sıklıkla kullandığını söyleyenlerin payı %4,1, nadiren kullandığını söyleyenlerin payı ise azımsanmayacak bir seviye olan %40,3'tür.



Şekil 5 Bisikletli ulaşım güvenliği anketine katılanların yaş gruplarına göre dağılımları.

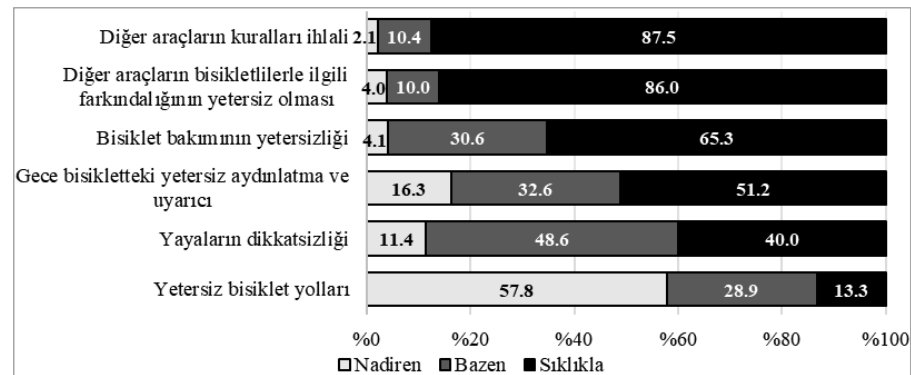






Şekil 6 Bisiklet güvenliği anketi soruları ve alınan cevapların dağılımları.

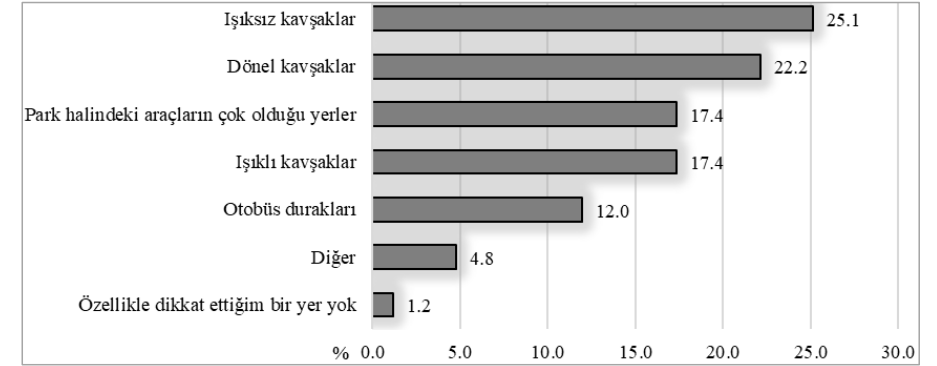
Bireylerin kazaya sebep oldukları faktörlerin dağılımı Şekil 7’de verilmiştir. Buna göre bireylerin büyük çoğunluğu, diğer araçların kural ihlalleri ve diğer araç sürücülerinin bisikletlilerle ilgili farkındalığının yetersiz olmasının, bisiklet kazalarına sıklıkla sebep olduğunu düşünmektedir. Yetersiz bisiklet yollarının ise %57,8 oranında nadiren kazaya sebep olduğu belirtilmiştir.



Şekil 7 ‘Hangilerinin kazalara daha çok sebep olduğunu düşünüyorsunuz?’ sorusuna verilen cevapların dağılımları.

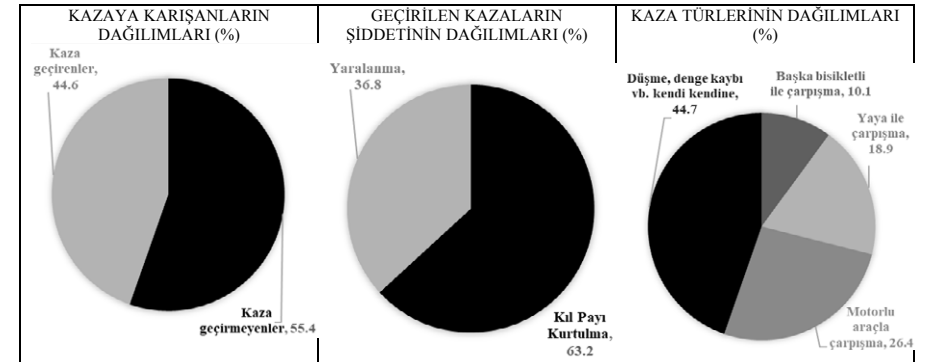
Katılımcıların bisiklet kullanırken geçiş yaparken normalden daha fazla dikkat ettikleri bölgelerin dağılımları Şekil 8’de gösterildiği gibidir. Bireylerin %25,1’inin oluşturan

büyük çoğunluğu ışsız kavşaklardan ve %22,2’si dönel kavşaklardan geçiş yaparken normalden fazla dikkat ettiğini belirtmiştir. Kaza verilerine bakıldığında da kazaların genelde bu bölgelerde gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 8 ‘Geçiş yaparken, normalden daha fazla dikkat ettiğiniz yerler hangileridir?’ sorusuna verilen cevapların dağılımları.

Ankete katılanların %44,6’sı kaza geçirmiş, kaza geçirenlerin %36,8’i bu kazalarda yaralanmış, %63,2’si ise kazalardan sağlam olarak kurtulmuştur. Kaza geçirenlerin bildirdiği kaza türlerine göre dağılımlara bakıldığında, kazaların en büyük payı olan %44,7’sini düşme, denge kaybı vb. kendi kendine yapılan kazalar, ardından sırasıyla %26,4’ünü motorlu araçla çarpışma, %18,9’unu yayaya çarpma ve %10,1’ini başka bir bisikletli ile çarpışma oluşturmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9 Ankete katılanlardan kaza geçirenler ile kaza türleri ve şiddetinin dağılımları.

## Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, özellikle gelişmiş ülkelerde, emisyon, kentsel hareketlilik, finansal anlamda karşılanabilirlik, sağlık ve gürültü gibi konularda pozitif faydası olan ve en sürdürülebilir ulaşım türü olan bisiklet ulaşımının güvenliği konusu ele alınmıştır. Bu kapsamda 2014-2018 yılları arasında Eskişehir’de meydana gelen 464 kaza verisi incelenmiş ve Eskişehir kent merkezinde ve bisiklet kullanımının yoğun olduğu bölgelerde 112 kişiye anket yapılmıştır. Kaza verisi ve anket yanıtları birlikte incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- Kayıt altına alınan şiddeti yüksek (yaralanma veya ölüm) kazaların büyük bir çoğunluğunu (%39) 16 yaş altı bireyler oluşturmaktadır.
- Kazaların büyük kısmı (%32,5) dört kollu kavşaklarda meydana gelmiştir. Yandan çarpma kazalarının (%77,2) sıklıkla meydana geldiği dikkate alındığında, bisikletli kazalarının genellikle kavşaktan karşıdan karşıya geçerken gerçekleştiği söylenebilir. Ankete katılan bireylerin sırasıyla %25,1 ve %22,2’sinin ışiksiz ve dönel kavşaklardan geçiş yaparken normalden fazla dikkat ettiğini söylemeleri de bu sonucu desteklemektedir.
- Anket katılımcılarının büyük bir kısmını (%66’1) hiç kask kullanmamasına rağmen, aynı bireylerin yine %75’i kask kullanımının kaza şiddeti üzerinde çok büyük etkisi olduğunu düşünmektedir.
- Ankete katılan bireylerin %75’i bisiklet kullanımının araç trafiğindeki yoğunluktan fazlaca etkilendiğini düşünmekte ve %76,8’i bisiklet yollarının diğer yollardan fiziksel olarak ayrılmış olmasının güvenlik hissini önemli derecede arttırdığını belirtmektedir.
- Bireylerin %59,5’i yayaların, %36,5’i motosikletlerin (moped ve e-bisiklet dâhil) bisiklet yollarını sıklıkla işgal ettiklerini belirtmiştir.
- Dikkat çeken bir diğer konu ise, bireylerin büyük çoğunluğunun, diğer araçların kural ihlalleri (%87,5) ve diğer araç sürücülerinin bisikletlilerle ilgili farkındalığının yetersiz olmasının (%86), bisiklet kazalarına sıklıkla sebep olduğunu düşünmesidir.

Bu sonuçlara göre,

- Araç sürücülerini ve yayaları için gerekli olan eğitim politikası geliştirilmesi, bisikletlilerin de trafikte haklarının olduğunu anlatılması gerekmektedir. Aynı şekilde bisikletlilerin trafik kuralları ve bisiklet güvenliği hakkında bilgilendirilmesi ve eğitilmesi gerekmektedir.
- Bisiklet kullanıcılarına kask kullanımını zorunlu kılan yaptırımlar veya uygulamalar getirilmesi de düşünülmesi gereken bir unsurdur.
- Yaya ve bisiklet trafiğinin yoğun olarak kesiştiği yerlerde mevcut alanın uygunluğuna göre renk farkı, kot farkı ve fiziksel ayırıcılar ile yaya ve bisiklet yolları birbirinden belirgin şekilde ayrılmalıdır. Mopedler de dâhil olmak üzere her türlü motosikletin bisiklet yolunu kullanması durumunda sürücü hakkında cezai işlem uygulanmalıdır.
- Kazaların yoğun olduğu yerlerde algılayıcı ve kameralardan faydalanılarak bisikletliler için uyarıcı ve önleyici sistemlerin geliştirilmesi düşünülmelidir.
- Özellikle kavşakta olmayan ve yandan çarpma kaza sayısının yüksek olması dikkate alındığında, yol kenarında, banket üzerinde veya fiziksel olarak ayrılmamış bisiklet yollarında seyreden bisikletlilerin tehlike içinde olduğu görülmektedir. Bu kapsamda bisiklet yollarının kesintisiz ve araç trafiğinden fiziksel olarak ayrılması gerektiği açıktır.

### Kaynaklar

- Amoros, E., Martin, J. L. ve Laumon, B. (2008) Estimation de la morbidité routière, France, 1996-2004. Bulletin épidémiologique hebdomadaire, 19, 157-160.
- Billot-Grasset, A., Amoros, E. ve Hours, M. (2016) How cyclist behavior affects bicycle accident configurations?. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, 41, 261-276.
- Blaizot, S., Papon, F., Haddak, M. M. ve Amoros, E. (2013) Injury incidence rates of cyclists compared to pedestrians, car occupants and powered two-wheeler riders, using a medical registry and mobility data, Rhône County, France. Accident Analysis & Prevention, 58, 35-45.
- Durduran, S. S. ve Fatih, S. (2011) Konya İlinde Meydana Gelen Bisiklet Kazalarının Karar Destek Sistemleri Yardımıyla Web Tabanlı Mekânsal Analizi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 26, 1, 23-32.
- Kim, J. K., Kim, S., Ulfarsson, G. F. ve Porrello, L. A. (2007) Bicyclist injury severities in bicycle-motor vehicle accidents. Accident Analysis & Prevention, 39(2), 238-251.
- Koçak, S., Uçar, K., Bayır, A. ve Ertekin, B. (2010) Acil servise başvuran motorsiklet ve bisiklet kazası olgularının karakteristikleri. Türkiye Acil Tıp Dergisi, 10(3), 112-118.
- Morris, E. A. ve Guerra, E. (2015) Mood and mode: does how we travel affect how we feel?. Transportation, 42(1), 25-43.
- Morrison, C. N., Thompson, J., Kondo, M. C. ve Beck, B. (2019) On-road bicycle lane types, roadway characteristics, and risks for bicycle crashes, Accident Analysis & Prevention, 123, 123-131.
- Ozgan, E. (2008) Karayolu Araç Tipi ve Kaza Şekli ile Kaza Sonuçları Arasındaki İlişkilerin Analizi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, 1.
- Öğüt, K. S., Tezcan, H. O., Sarısoy, G., Terzi, F., Gerçek, H. ve diğ. (2017) Eskişehir Ulaşım Ana Planı (EUAP) Sonuç Raporu, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Pai, C. W. (2011) Overtaking, rear-end, and door crashes involving bicycles: An empirical investigation. Accident Analysis & Prevention, 43(3), 1228-1235.
- Poulos, R. G., Hatfield, J., Rissel, C., Grzebieta, R. Ve McIntosh, A. S. (2012) Exposure-based cycling crash, near miss and injury rates: The Safer Cycling Prospective Cohort Study protocol. Injury prevention, 18(1).
- Schieber, R. A. ve Sacks, J. J. (2001) Measuring Community Bicycle Helmet Use Among Children, Public Health Reports, 116, 2, 113.
- Thornley, S. J., Woodward, A., Langley, J. D., Ameratunga, S. N. ve Rodgers, A. (2008). Conspicuity and bicycle crashes: preliminary findings of the Taupo Bicycle Study. Injury Prevention, 14(1), 11-18.

Veisten, K., Sælensminde, K., Alvær, K., Bjørnskau, T., Elvik, R., Schistad, T. ve Ytterstad, B. (2007). Total costs of bicycle injuries in Norway: Correcting injury figures and indicating data needs. *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1162-1169.

Wipfli, B., Landers, D., Nagoshi, C. ve Ringenbach, S. (2011). An examination of serotonin and psychological variables in the relationship between exercise and mental health. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(3), 474-481.

## İSTANBUL ÇEVRE YOLLARINDA YAĞMURUN SERBEST AKIM HIZI VE KAPASİTEYE ETKİSİNİN İRDELENMESİ

Göker AKSOY<sup>1</sup>, Kemal Selçuk ÖĞÜT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Işık Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, e-mail: goker.aksoy@isikun.edu.tr

<sup>2</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, e-mail: oguts@itu.edu.tr

### ÖZ

Trafik tıkanıklığının en çok yaşandığı kentimiz, 15 milyondan fazla nüfusuyla şüphesiz İstanbul'dur. İki önemli anayolu (D100 Karayolu ve O2, O3, O4 Otoyolları) üzerinde, zirve saatlerde yapılan yolculukların daha uzun sürdüğü sürücüler tarafından benimsenmiş bir gerçektir. Aynı zamanda, yağmur gibi sürücü davranışını değiştirebilen çevresel bir dış etmenin tıkanıklığın etkilerini daha da arttırdığı tecrübe edilen bir durumdur. Ayrıca, otoyol gibi yüksek hızların yapıldığı yerlerde, diğer taşıtların sebep olduğu ıslak yol yüzeyinden havaya kalkan yağmur suları da görüşü olumsuz etkileyerek sürücülerin benzer şekilde tepki vermesine neden olur. Kısacası, insan algısının bir sonucu olarak izleme aralıkları yağmur etkisiyle artar, hızlar düşer. Kuşkusuz her sürücü benzer tepkiyi vermeyeceğinden, yolu kullanan taşıtlar arasındaki hız farkları yağışsız günlere göre daha da artacak ve artan hız farklarıyla yol daha güvensiz olacaktır.

Bu çalışmada, İstanbul'un önemli çevre yolları olan, O2, O3, O4 Otoyolları ve D100 Karayolu üzerinde trafik akımının yağmur etkisi altındaki değişimi incelenmiştir. Çalışma alanı kent içi bölgede kalan, kapasite akımının ölçüldüğü, tıkanıklık sorunun yaşandığı bölgelerle sınırlanmış ve otoyollarda 50, D100 Karayolu'nda ise 62 km'lik bir bölge incelenmiştir. Trafik algılayıcılarıyla toplanan trafik akım verileri, meteorolojik verilerle birlikte değerlendirilmiştir. Toplam 7 farklı meteoroloji istasyonu ölçümleri 25 farklı trafik algılayıcısı ölçümleriyle eşleştirilmiş ve çözümlemelerde yer almıştır. Güneşli ve yağmurlu günler arasında trafik akımındaki farklılıklar açığa çıkarılmıştır. Yağmur etkisi altında, otoyollarda serbest akım hızı (SAH) %8,61, D100 Karayolu'nda ise %8,16 azalmış; kapasitenin ise sırasıyla %7,88 ve %9,07 oranlarında azaldığı bulunmuştur. Ayrıca boyuna eğimin artması her iki yol tipinde de SAH'ı azaltmakta, kapasite ise artan boyuna eğim ile birlikte yalnızca otoyollarda azalmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Serbest Akım Hızı, Kapasite, Yağmur, Trafik Akımı, Kent İçi Trafiki

### Giriş

İstanbul kent içi yolları, herhangi bir olumsuz hava etkisi olmadığında bile, yüksek talep karşısında yeterli kapasite sunamadığından tıkanıklık sorunu ile hemen her gün karşı karşıya kalmaktadır. Yağmur gibi, yolun fiziksel özelliklerini ve dolayısıyla insanların algısını etkileyen dış etmenlerin de olmasıyla trafik tıkanıklığı ve trafikte kaybolan zaman daha da artmaktadır. Sürücüler kötü hava şartlarında güvenli sürüş için daha düşük hız ve daha büyük izleme aralığı seçme eğiliminde olduğundan trafik akımı üzerinde değişim olması kaçınılmazdır. Bu çalışmada, İstanbul kent içi yollarında, sürücü ve farklı yol özellikleri birleşiminde ölçülen trafik akım verileri kullanılarak, serbest akım hızı (SAH) ve kapasitenin yağmur etkisi altında değişiminin açığa çıkarılması amaçlanmıştır.

Trafik yönetim çalışmalarına temel olan, elverişsiz hava koşullarının trafik akımı üzerinde yarattığı değişimin açıklandığı birçok uluslararası araştırmaya rastlanmaktadır. Hava durumunun olası etkilerinin araştırıldığı en eski çalışma Tanner (1952) tarafından İngiltere’de trafik hacmindeki değişimin incelenmesiyle yapılmış, yağmurlu günlerdeki trafik hacminin güneşli günlere göre hafta içi %1,3, hafta sonu da %3,1 azaldığı bulunmuştur.

Karayolu Kapasite El Kitabı (Highway Capacity Manual), güneşli ve kuru havalarda 120 km/sa olan SAH’a göre, yapılmış çalışmaların sonucu olarak, SAH’ın hafif yağmur ya da karda 10 km/sa, sağanak yağmurda 20 km/sa ve yoğun kar yağışında ise 50 km/sa azaldığını belirtmektedir (TRB, 2010). Yağışın niceliğine göre Jia ve diğ. (2014) SAH’ta %2-%11 arasında, Wang ve Luo (2017) %4,4-%10,6 arasında, Dhaliwal ve diğ. (2017) ise %5,7-%8,6 arasında azalma bulmuşlardır. Yağmurun etkisinin yanında, ıslak ve kuru yol yüzeylerinin hızlar üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmaların bazılarında, ıslak yol yüzeyinin hızlarda anlamlı bir düşüş yaratmadığı (Stohner, 1956; Olson ve diğ., 1984; Lamm ve diğ., 1990) bazılarında ise ıslak yol yüzeylerinde hızlarda anlamlı azalmaların ölçüldüğü (Galın, 1981; Holdener, 1998) görülmektedir.

Yağmur etkisi altında hızlardaki değişimin incelendiği çalışmalar olduğu gibi, kapasite değişimlerinin de incelendiği çalışmalara rastlanmaktadır. Jones ve Goolsby (1969) yağmur etkisi altında otoyol kapasitesinin %14-%19 arasında; Kleitsch ve Cleveland (1971) ise katılım kontrolü yapılan bir otoyolda, yağış altında otoyol kapasitesinin yağmursuz günlere göre %8 azaldığını belirtmektedir. İbrahim ve Hall (1994), elverişsiz hava şartlarında sürücülerin daha büyük yanıl açıklık ve daha uzun izleme aralığı seçmesinden dolayı, yoğun yağmurda %10-%20, yoğun karda %30, hafif karda ise %10 kapasite azalması bulmuştur. Alhassan ve Ben-Edigbe (2011), yağmur etkisi altında kapasitede %42,3 azalma olduğunu ifade etmektedir. Jia ve diğ. (2014) kapasitenin yağış niceliğine göre %5 ile %25 arasında, Wang ve Luo (2017) %15,7 ile %32,5 arasında, Dhaliwal ve diğ. (2017) ise %8,6 ile %15,3 arasında azaldığını belirtmektedirler.

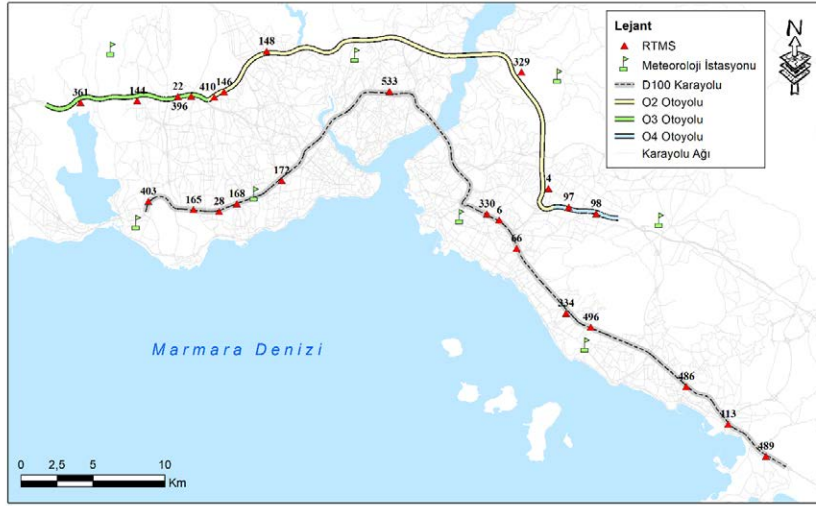
Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar, değişik ülkelerdeki yol standartlarına ve farklı iklim koşullarının olduğu bölgeleri kapsadığından, ülkemiz şartlarındaki sürücü davranışları da göz önünde bulundurulduğunda geçerliliği ve uygulanabilirliği sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, ülkemiz yol ve kullanıcı özelliklerinin belirlediği trafik akımında yağmur etkisiyle meydana gelen değişiklikler konu edilmiştir.

### Çalışma Alanı ve Veriler

Kapasite akımlarının ölçülebildiği ve hava koşullarının yarattığı olumsuzlukların trafik akımını etkilediği, İstanbul’un doğu-batı yönünde uzanan iki önemli yolu, D100 Karayolu ve O2, O3, O4 Otoyolları bu çalışma kapsamında incelenmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), Ulaşım Yönetim Merkezi (UYM) tarafından İstanbul genelindeki birçok yolda olduğu gibi bu iki önemli yol da trafik algılayıcılarıyla sürekli izlenmektedir. Yol kenarına yerleştirilmiş, UYM denetimindeki RTMS (*Remote Traffic Microwave Sensor*)’ler, başka bir deyişle trafik algılayıcıları ile trafik akımına ait bilgiler sürekli toplanmaktadır. Aynı zamanda İstanbul’un iki yakasında yer alan hava durumu gözlem istasyonlarıyla da yağış bilgileri toplandığından, hava durumunun trafik akımına olan etkilerinin incelenmesinde, İstanbul kent içi yolları uygun bir çalışma alanı olarak öne çıkmaktadır.

Trafik akımının yalnızca olumsuz hava şartlarındaki değişiminin anlaşılabilmesi için güneşli ve yağmurlu hava şartları karşılaştırılmış ve bu tarihler birbirine yakın olarak belirlenmiştir. Başka bir deyişle, trafik talebindeki yaz ve kış aylarındaki değişken yapının çözümlenmesi etkilememesi için, yağışlı günlere en yakın güneşli günler çalışmada kullanılmıştır. Bu bağlamda, 01.11.2015 ile 29.02.2016 tarihleri arasındaki dört aylık süre için hem trafik akım verisi hem de meteorolojik veri çalışmada kullanılmak üzere elde edilmiştir. Bu dört aylık süre içerisinde kullanılacak yağışlı günlere en yakın güneşli ve kuru yol koşulları belirlenmiştir. Böylece, güneşli gün ölçümleri de yaz mevsiminde değil, belirtilen dört aylık süre içerisinde seçilerek kullanılmıştır. Her bir trafik algılayıcısında 15 güneşli, 15 yağmurlu gün belirlenerek çözümlenmeler yapılmıştır.

Çalışmada, kapasite akımlarının gözlemlendiği ve güvenilir trafik ölçümü yapabilen otoyollar üzerinde 11, D100 Karayolu’nda ise 14 olmak üzere toplamda 25 RTMS verisi kullanılmıştır. Trafik akım verileri, her şerit için hız, işgal, uzunluklarına göre ayrılmış taşıt sayılarından oluşmaktadır. Çözümlenelerde uzun taşıtların trafiğe olan etkisi 1,5 katsayısı ile birim otomobil (bo) eşdeğerliliğine çevrilerek yer almıştır (TSE, 2013). Böylece akım değeri bo cinsinden çalışmada kullanılmıştır. Meteorolojik veriler ise 4’ü Avrupa, 3’ü de Anadolu yakasında olmak üzere 7 farklı istasyondan sağlanmış, kuş uçuşu uzaklığı en kısa olan RTMS ile eşleştirilerek analizlerde yer almıştır. Hava sıcaklığı, nem, rüzgâr hızı ve yağış niceliği gibi birçok veri toplayabilen bu algılayıcılardan çalışma kapsamında yalnızca yağış nicelik verisi değerlendirmeye alınmıştır. Yağış niceliği istasyonlar tarafından 0,2 mm/m<sup>2</sup>/dk hassasiyetinde, başka bir deyişle bir dakikada bir metrekaareye 0,2 kg olarak toplanabilmektedir. Kullanılan RTMS ve meteoroloji istasyonlarının konumları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1 Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları ve RTMS konumları.

RTMS'ler 2 dk'lık aralıklarla, meteoroloji istasyonları ise 1 dk'lık aralıklarla veri toplamaktadır. Bu iki verinin çözümlenmelerde birlikte kullanılabilmesi için ortak bir zaman aralığında eşleştirilmesi gereklidir. Bu bağlamda, çalışmada kullanılması için uygun zaman aralığı önceki çalışmalarda da sıkça karşılaşılan (Elefteriadou ve Lertworawanich, 2003; Oh ve Yeo, 2012; Jia ve diğ., 2010) 15 dk olarak belirlenmiştir. Hem hava durumu hem de trafik verileri 15 dk'lık aralıklarla yeniden düzenlenerek çözümlenmelerde yer almıştır. Hava durumu verilerinin eşleştirilmesinden sonra, trafik akım ölçümlerinde hangi zaman aralığına ne kadar yağış etki ettiği bilgisine de erişilebilir olmaktadır. Böylece, yağışın olmadığı zaman aralıkları bilindiğinden, yalnızca yağmurun trafik akımına etki ettiği ölçümler çalışma kapsamında değerlendirilebilmiştir.

Yağışın etkisinin yanında, ıslak yol yüzeyinin de trafik akımına etkisi çalışma kapsamında yer almıştır. Bu amaç için yağmur durduktan sonra bir zaman aralığı (15 dk) boyunca yol yüzeyinin ıslak olduğu kabul edilmiş, bu zaman aralıklarında yapılan trafik ölçümleri de yağmurlu gözlemlerle beraber değerlendirilmiştir.

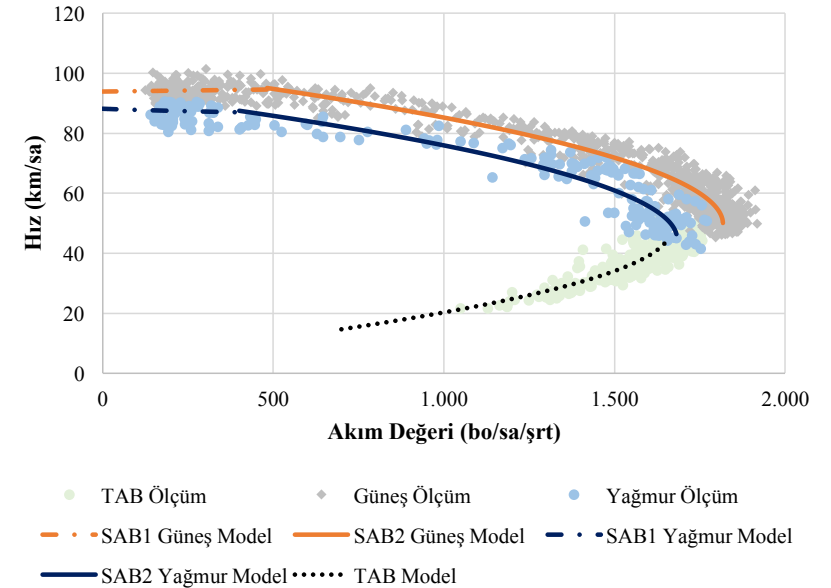
### Verilerin Değerlendirilmesi

Yağışın trafik akımı üzerinde yol açtığı etkilerin, serbest ve tıkalı akım bölgeleri için ayrı ayrı incelenmesi planlanmıştır. Tıkalı akım koşulları altında, sürücüler kendi arzu ettikleri hızları seçemediğinden, tıkalı akım bölgesindeki yağmur etkisinin sınırlı olabileceği öngörülmüştür. Ayrıca işletme bakımından önemli olan SAH ve kapasite değerlerinin belirlenmesi için serbest akım koşullarının kullanılması gereklidir. Her trafik algılayıcısında güneşli ve yağmurlu günler için serbest ve tıkalı akım koşulları ayrımı, zaman-hız ve ölçeklendirilmiş yığılımlı taşıt sayısı grafikleri kullanılarak yapılmıştır. Hızlarda azalma ve artışın olduğu zaman dilimlerinde ölçeklenmiş taşıt sayısı-zaman grafiğinin eğimin değiştiği noktalar sırasıyla tıkanıklığın başlangıcı ve bitişi olarak değerlendirilmiştir (Aksoy, 2018).

Tıkalı ve serbest akım bölgelerinin ayırt edilmesi, çözümlenmelerin gerçekleştirilmesi ve modellerin bulunması için tek başına yeterli değildir. Tıkalı akım bölgesi tek bir eğri ya da doğrusal denebilecek bir yapıda değişim gösterse de, serbest akım bölgesinde aslında kendi içerisinde iki bölgeden oluşmaktadır. Serbest akım bölgesindeki bu iki bölge

arasındaki ayırım noktası, hızın hacimden etkilendiği sınır ya da kısaca kırılma akım değeri olarak isimlendirilmiştir. Hiçbir hava olayı etkisi altında olmayan, farklı SAH'a sahip temel otoyol kesimleri için TRB (2000) tarafından verilen hız-hacim ilişkilerinde, kırılma akım değerine kadar hızın sabit olduğu, kırılma akım değerinden sonra ise kapasite değerine kadar (kapasite yoğunluğu 28 bo/km/şrt olmak üzere) değişimin eğrisel yapıda olduğu önerilmektedir. Bu kırılma akım değerinin tam olarak belirlenmesinin sabit bir yöntemle yapılması çalışmanın tutarlılığı açısından da gereklidir. Böylece hem güneşli hem de yağmurlu günler için öngörülecek modellerde bu sınırın aynı yaklaşımla belirlenmesi sağlanmıştır. Bu sınır akım değeri, Tanış (2013) tarafından kullanılan korelasyon yöntemi ile tüm gözlem grupları için ayrı ayrı bulunmuştur. Kırılma akım değeri, serbest akım koşullarında artık taşıtların birbirlerini etkilemeye başladıkları, bunun sonucunda da hızlarda azalmaların yaşanmaya başladığı akım değeri olarak değerlendirilebilir.

Değinen yaklaşımlar sonucu hız-akım değeri ilişkisi tıkalı akım bölgesi (TAB) ve serbest akım bölgesi olmak üzere önce iki bölgeye, ardından serbest akım bölgesi de kendi içerisinde serbest akım bölgesi 1 (SAB1) ve serbest akım bölgesi 2 (SAB2) olmak üzere ikiye bölünmüştür. Toplamda üç farklı bölge oluşturularak her bölge için modeller öngörülüp her bir RTMS için güneşli ve yağmurlu ölçümler için SAH ve kapasite belirlenmiştir. Her bölge için modeller Aksoy (2018) tarafından önerilen hız ile akım değeri arasında var olduğu kanıtlanan kareköklü modelleme yaklaşımı ile hesaplanmıştır. D100 Karayolu üzerinde yer alan, 3 şeritli ve boyuna eğimin +%2,64 olduğu 334 No'lu RTMS için yağmurlu ve güneşli gün ölçümleriyle önerilen modelleme yaklaşımı ile bulunan modeller örnek olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. TAB'da yer alan gözlemler yağmur ve güneş için bir farklılık içermedikleri için tek model bulunmuştur.



Şekil 2 334 No'lu trafik algılayıcısında güneş ve yağmur modellerinin ölçümlerle birlikte gösterimi.

SAB1 modeli SAH'nın, SAB2 modeli ise kapasitenin belirlenmesinde kullanılmıştır. TAB modeli ise çözümlenmelerde herhangi bir değerlendirmede yer almamış, modelin bütünlüğü amacıyla bu çalışmada gösterilmiştir. SAB1'de modelin sıfır akım değerine ya da kırılma akım değerine karşılık gelen hız SAH olarak; SAB2'de ise en büyük akım değeri kapasite olarak kullanılmıştır.

Şekil 2'de verilen 334 no'lu algılayıcıda güneşli ölçümlerdeki kırılma akım değeri 481 bo/sa/şrt, yağmurlu ölçümlerde ise %17 azalmayla 400 bo/sa/şrt olarak korelasyon yöntemiyle elde edilmiş ve SAB1, SAB2 modelleri bulunmuştur. SAH, güneş modeliyle kırılma akım değerine karşılık 94,6 km/sa, yağmur modeli içinse sıfır akım değerine karşılık 87,2 km/sa olarak bulunmuştur. Kapasite ise güneş ve yağmur modelleri için sırasıyla 1818 bo/sa/şrt ve 1682 bo/sa/şrt bulunmuştur. Bu sonuçlar yağmurda kapasitenin %7,50, SAH'ın ise %7,80 azaldığını işaret etmektedir.

Açıklanan yaklaşımla bulunan modeller ile D100 Karayolu üzerindeki 14 trafik algılayıcısının her biri için kırılma akım değeri, SAH ile kapasite azalmaları Çizelge 1'de güneşli ve yağmurlu günler için verilmiştir. Aynı zamanda RTMS'lerin bulunduğu kesitlerdeki şerit sayıları ile yolun boyuna eğimleri de Çizelge 1'de yer almaktadır.

Güneşli ve yağmurlu günlerde, SAB1 ve SAB2'nin sınırı olarak kırılma akım değeri korelasyon yöntemiyle her bir grup için ayrı ayrı belirlenmiştir. Yağmurlu günlerde sürücülerin çevre koşullarından daha çok etkilenmesi sonucunda bu sınır değerinin daha düşük olduğu bulunmuştur. D100 Karayolu'nda yer alan, Çizelge 1'de verilen 14 trafik algılayıcısının tamamında yağmurlu günlerdeki kırılma akım değeri (güneşli günlere göre) daha küçük bulunmuştur. Yağmurlu günlerde, kırılma akım değerindeki en büyük azalma %36,34 ile 168 No'lu algılayıcıda, en küçüğü ise %5,24 ile 66 No'lu algılayıcıda olmuştur. Kırılma akım değeri tüm azalma oranlarının ortalaması olarak yağmur etkisi altında %20,03 azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 1 D100 Karayolu'nda, güneşli ve yağmurlu günlerde model sonuçları ve yüzde azalmalar.

RTMS No	Şerit Sayısı	Boyuna Eğim (%)	SAH (km/sa)		Kapasite (bo/sa/şrt)		Kırılma Akım Değeri (bo/sa/şrt)		Azalma (%)				
			Güneşli	Yağmurlu	Güneşli	Yağmurlu	Güneşli	Yağmurlu	SAH	Kapasite	Kırılma Akım Değeri		
6	3	-4,18	104,4	94,6	1.743	1.544	481	381	9,30	11,42	20,79		
28	3	0,17	104,9	94,1	1.649	1.484	433	339	10,29	10,05	21,71		
66	3	-0,54	110,3	101,8	1.985	1.844	439	416	7,74	7,12	5,24		
113	2	5,09	88,2	81,1	2.087	1.919	603	406	8,03	8,05	32,67		
165	3	0,18	100,9	91,6	1.762	1.640	456	405	9,17	6,89	11,18		
168	3	1,02	94,1	85,3	2.021	1.856	666	424	9,39	8,16	36,34		
172	3	4,03	97,1	90,0	1.947	1.660	571	394	7,35	14,73	31,00		
330	3	-0,44	102,8	91,5	1.975	1.805	431	375	11,05	8,62	12,99		
334	3	2,64	94,6	87,2	1.818	1.683	481	400	7,81	7,44	16,84		
403	3	3,44	87,0	80,3	1.653	1.532	403	367	7,73	7,33	8,93		
486	2	-2,22	107,1	102,4	1.925	1.744	809	586	4,37	9,39	27,56		
489	2	2,53	104,1	95,9	1.852	1.723	716	641	7,86	6,95	10,47		
496	3	2,38	88,3	83,3	1.719	1.572	958	632	5,72	8,55	34,03		
533	3	0,24	97,9	89,6	1.685	1.478	486	434	8,47	12,27	10,70		

Çizelge 1'de güneşli günlerdeki SAH değişimleri incelendiğinde, en küçük SAH 87,0 km/sa ile 403 No'lu, en büyük SAH ise 110,3 km/sa olarak 66 No'lu algılayıcıda bulunmuştur. Yağmurlu günlerde hesaplanan SAH'ların ise 4,7-11,4 km/sa aralığında azaldığı, bunun da yaklaşık %4,37 ile %11,05 bir azalmaya karşı geldiği hesaplanmıştır. En büyük SAH azalması, güneşli günlerde SAH'ı 102,8 km/sa olarak belirlenen 330

No'lu algılayıcıda yaşanmıştır. Bulunan azalma oranlarından, yağmurlu günlerde SAH'ın ortalama olarak %8,16 azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Kapasite akımlarında da SAH'ta olduğu gibi yağmur etkisinde azalmalar gözlenmiştir. En büyük kapasite azalması %14,73 ile 172 No'lu algılayıcıda olmuştur. Güneşli günlere ait kapasite en küçük 1.649 bo/sa/şrt, en büyük ise 2.087 bo/sa/şrt olarak bulunmuştur. Güneşli ve yağmurlu gün kapasiteleri arası fark en küçük 121 bo/sa/şrt, en büyük ise 287 bo/sa/şrt olarak ortaya çıkmıştır. Kullanılan 14 algılayıcının genel ortalaması olarak da yağmurlu günlerde kapasitenin ortalama %9,07 azaldığı bulunmuştur.

D100 Karayolu'nda uygulanan modelleme ve sonuç değerlendirme yaklaşımları, O2, O3, O4 Otoyolları için de yapılmıştır. Otoyollar üzerinde, 7'si Avrupa, 4'ü Anadolu yakasında olmak üzere 11 RTMS kullanılmıştır. Çizelge 2'de O2, O3, O4 Otoyolları için bulunan model sonuçlarına ve yolların geometrik özelliklerine yer verilmiştir.

Çizelge 2'de yer alan model sonuçları, benzer şekilde, SAB1 ve SAB2 bölgelerinde hesaplanmıştır. Kırılma akım değeri, D100 Karayolu'nda olduğu gibi, otoyollarda da yağmur etkisinde güneşli günlere göre daha az bulunmuştur. Kırılma akım değeri, güneşli günlerde en büyük 1.040 bo/sa/şrt olarak 329 No'lu, en küçük ise 484 bo/sa/şrt olarak yağmurlu günlerde 396 No'lu algılayıcıda bulunmuştur. Güneşli günler için bulunan kırılma akım değerlerinin yağmurlu günlerde tüm azalma değerlerinin ortalaması olarak %13,2 azaldığı bulunmuştur.

Çizelge 2'de güneşli günlerde SAH en yüksek 103,7 km/sa, en düşük ise 91,9 km/sa değerini almıştır. Yağmur etkisi altında SAH'ların 6,2 km/sa ile 11,0 km/sa aralığında azaldığı, en büyük azalmanın ise %11,41 ile 148 No'lu algılayıcıda olduğu gözlemlenmiştir. Buradaki tüm SAH azalma yüzdelere ortalaması olarak, yağmurlu günlerde SAH'ın %8,61 azaldığı söylenebilir.

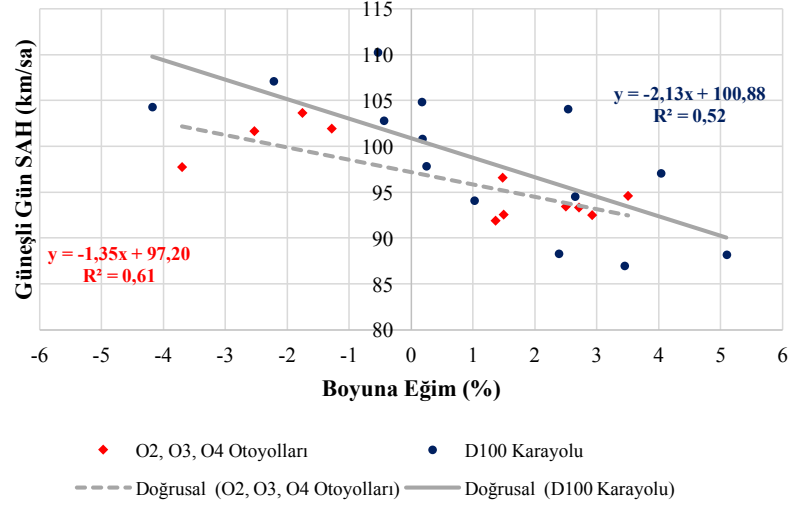
Çizelge 2 O2, O3, O4 Otoyolları'nda, güneşli ve yağmurlu günlerde model sonuçları ve yüzde azalmalar.

RTMS No	Şerit Sayısı	Boyuna Eğim (%)	SAH (km/sa)		Kapasite (bo/sa/şrt)		Kırılma Akım Değeri (bo/sa/şrt)		Azalma (%)				
			Güneşli	Yağmurlu	Güneşli	Yağmurlu	Güneşli	Yağmurlu	SAH	Kapasite	Kırılma Akım Değeri		
4	4	2,71	93,3	83,5	1.970	1.813	1.013	965	10,49	7,98	4,74		
22	4	-3,70	97,8	90,9	2.006	1.827	1.018	888	7,06	8,94	12,77		
97	3	-2,53	101,7	92,5	2.113	1.898	1.026	954	9,03	10,17	7,02		
98	3	1,49	92,6	86,4	1.908	1.775	729	633	6,65	7,01	13,17		
144	3	2,92	92,5	84,6	1.862	1.764	814	621	8,63	5,24	23,71		
146	3	2,50	93,5	85,6	1.933	1.828	807	724	8,42	5,43	10,29		
148	4	1,48	96,6	85,6	1.876	1.689	1.037	814	11,41	9,99	21,50		
329	4	-1,28	102,0	94,4	2.039	1.847	1.040	759	7,41	9,42	27,02		
361	3	-1,76	103,7	93,9	2.032	1.814	801	707	9,45	10,73	11,74		
396	4	3,50	94,6	87,1	1.803	1.690	537	484	7,94	6,26	9,87		
410	3	1,36	91,9	84,4	1.966	1.857	818	791	8,24	5,55	3,30		

SAH'lara benzer şekilde, yağmur etkisiyle kapasitelerde de azalmalar belirlenmiştir. Otoyollarda kapasitenin, %5,24 ile %10,73 aralığında azalmış olduğu hesaplanmıştır. Bu azalma, en düşük 98 bo/sa/şrt olarak 144 No'lu, en büyük ise 218 bo/sa/şrt olarak 361 No'lu algılayıcıda olmuştur. Yağmur etkisi altında kapasite ise ortalama %7,88 düşmüştür.

Son olarak, bulunan kapasite ve SAH ile bunların yağmur altında azalma oranları RTMS'lerin bulunduğu yollardaki boyuna eğimlerle birlikte değerlendirilmiş, yolun

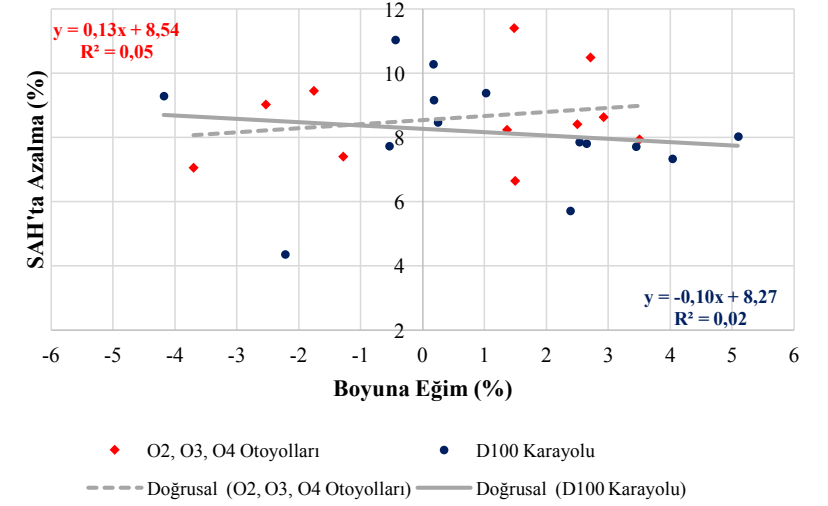
boyuna eğiminin etkileri araştırılmıştır. Yolun boyuna eğimi ile güneşli günlerde bulunan SAH'lar arası bulunan ilişki her iki yol tipi için Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3 Güneşli günlerdeki SAH ile boyuna eğim ilişkisi.

İlk olarak boyuna eğim ile güneşli günlerdeki SAH'lar arası değişime bakılmış, bulunan doğrusal regresyon denklemlerinin belirlilik katsayıları 0,5'in üzerinde çıkmıştır. Bu sonuç ile eksi boyuna eğimlerde SAH'nın yüksek olduğu, artan boyuna eğimle birlikte SAH'ların azaldığını yansıtan bir ilişkinin varlığı görülmüştür. Eksi boyuna eğimde (artı yöne göre) daha yüksek SAH'lar bulunmuştur. D100 Karayolu için bulunan regresyon denkleminin eğiminin daha yüksek olması, bu yolun otoyollara göre boyuna eğimden daha çok etkilendiğini göstermektedir. Otoyollar için bulunan modelin belirlilik katsayısı 0,61, D100 Karayolu içinse 0,52 olarak hesaplanmıştır.

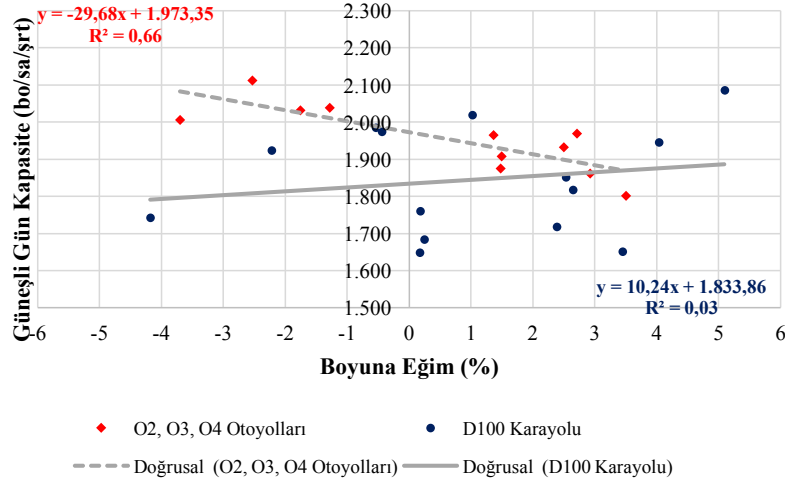
Güneşli günlerde bulunan SAH'lar ile yağmurlu günlerdeki SAH'ların birlikte değerlendirilmesiyle, yağmur etkisi altında SAH'ta yaşanan azalmalar ile boyuna eğim arasındaki ilişki de incelenmiş ve Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4 Boyuna eğim ile yağmurda SAH'ta azalma ilişkisi.

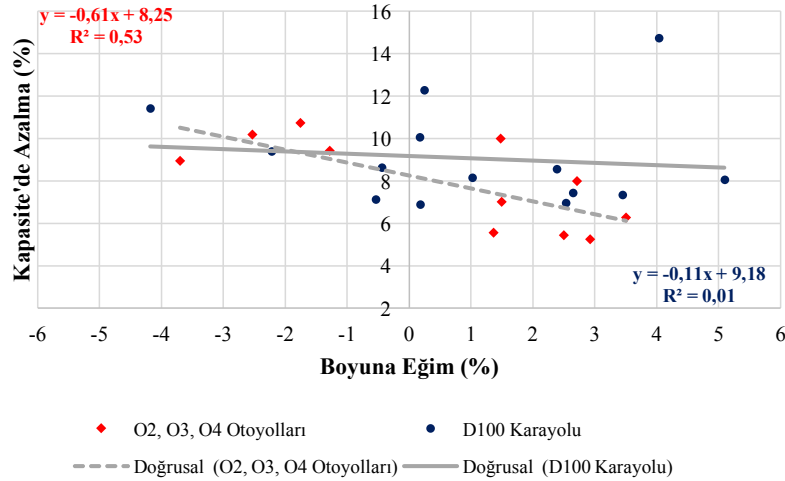
Şekil 3'te verilen, boyuna eğim ile SAH değişimleri için yüksek belirlilik katsayılı modeller bulunmasına karşın, SAH'ta yaşanan azalmalar ile boyuna eğim arasında her iki yol tipinde de bir anlamlı ilişki bulunamamıştır. Şekil 4'teki modellerde sıfıra yakın belirlilik katsayıları bulunduğu için, boyuna eğim ile yağmur sonucu SAH'ta yaşanan azalma oranları arası bir ilişkinin var olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Boyuna eğim ile yapılan bir başka karşılaştırma ise, Şekil 5'te verilen her iki yol tipindeki kapasitelerle olan ilişkiler olmuştur. Otoyollarda boyuna eğim ile kapasite arasındaki ilişkiye yüksek (0,66) belirlilik katsayısı bulunmuştur. Bu ilişki, Şekil 3'teki SAH değişiminde olduğu gibi, artan boyuna eğimle kapasitenin azalacağını göstermektedir. Boyuna eğimin eksi olduğu yollarda kapasiteler daha yüksek bulunmuş, boyuna eğimin artmasıyla kapasiteler de azalmıştır. D100 Karayolu model sonuçlarında ise daha çok saçılma olmuş, sıfıra yakın bulunan belirlilik katsayısı (0,03), boyuna eğim ile kapasite arasında bir ilişkinin bulunmadığını göstermektedir.



Şekil 5 Güneşli günlerdeki kapasite ile boyuna eğim ilişkisi.

Boyuna eğim kullanılarak yapılan son değerlendirme ise güneşli günlerdeki kapasite ile yağmurlu günlerde bulunan kapasiteler arasında olmuştur. Güneşli günlere göre yağmur etkisi altında yaşanan kapasite azalma oranlarıyla boyuna eğim ilişkisi Şekil 6'da verildiği gibi bulunmuştur.



Şekil 6 Boyuna eğim ile kapasitede azalma ilişkisi.

Şekil 6'da, D100 Karayolu'nda, Şekil 5'te olduğu gibi, kapasitede azalma ile boyuna eğim arasında kuvvetli bir ilişki bulunamamıştır. Otoyollarda ise Şekil 5'e benzer şekilde daha anlamlı bir ilişki ( $R^2=0,53$ ) bulunmuş, boyuna eğimin artmasıyla kapasite azalmasının yağmur etkisi altında daha az olacağını göstermektedir. Başka bir deyişle, kapasitesi yüksek olan yollarda (eksi eğimli) daha fazla kapasite azalması yaşanmaktadır.

## Sonuçlar

İstanbul'un önemli iki ana yolu, O2, O3, O4 Otoyolları ve D100 Karayolu üzerindeki trafik algılayıcılarıyla gerçekleştirilen bu çalışmayla, yağmurun trafik akımı üzerinde neden olduğu değişim açıklanmıştır.

Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda, kullanılan RTMS'ler için güneşli günlerdeki SAH'ın, otoyollarda 91,9 km/sa ile 103,7 km/sa aralığında; D100 Karayolu'nda ise 87,0 km/sa ile 110,3 km/sa aralığında değiştiği bulunmuştur. D100 Karayolu'nda daha büyük SAH'lar hesaplanmış, aynı zamanda SAH'lar otoyollara göre daha büyük bir aralıkta değişmiştir. Yağmurlu günlerdeki SAH'lar ise otoyollarda 83,5 km/sa ile 94,4 km/sa aralığında; D100 Karayolu'nda ise 80,3 km/sa ile 102,4 km/sa aralığında bulunmuştur. Her RTMS için bulunan azalma oranları birlikte değerlendirildiğinde, yağmur etkisi altında SAH'ın otoyollarda %8,61, D100 Karayolu'nda ise %8,16 azaldığı bulunmuştur.

Otoyollarda, güneşli günlerde kapasite değerleri 1.803 bo/sa/şrt ile 2.113 bo/sa/şrt aralığında, yağmurlu günlerde ise 1.689 bo/sa/şrt ile 1.898 bo/sa/şrt aralığında bulunmuştur. Tüm veriler birlikte incelendiğinde ise otoyollarda kapasitenin yağmur etkisi altında %7,88 azaldığı sonucu çıkmıştır. D100 Karayolu'nda ise güneşli günlerde 1.649 bo/sa/şrt ile 2.087 bo/sa/şrt aralığında bulunan kapasite, yağmurda 1.478 bo/sa/şrt ile 1.919 bo/sa/şrt aralığında değişmiştir. Tüm model sonuçlarının ortalaması olarak kapasitenin %9,07 azaldığı bulunmuştur.

Güneşli günlerdeki kırılma akım değerleri yağmurlu günlerde bulunanlardan daha büyük çıkmıştır. Her bir trafik algılayıcısındaki kırılma akım değerinin yağmur altında azalma yüzdeleri incelendiğinde, D100 Karayolu'nda ortalama olarak kırılma akım değerinin %20,03, otoyollarda ise %13,20 azaldığı bulunmuştur. D100 Karayolu'nda, otoyollara göre daha düşük geometrik standartların olmasının kırılma akım değerinde daha fazla azalmaya yol açtığı söylenebilir.

Her iki yol tipinde de artan boyuna eğimin güneşli günlerdeki SAH'ı azalttığı orta kuvvetli ( $R^2=0,52-0,61$ ) bir ilişki bulunmuştur. Başka bir deyişle, eksi eğimlerde daha yüksek SAH'lar bulunmuş, boyuna eğimin artmasıyla (eksiden artıya doğru) SAH'lar da azalmıştır. Boyuna eğimin artmasıyla SAH'larda azalma bulunmasına karşın, yağmur etkisinde SAH'larda yaşanan azalma oranlarının (güneşli günlere göre) her iki yol tipinde de boyuna eğimle bir ilişkisi olmadığı belirlenmiştir.

Boyuna eğim ile yol kapasiteleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde, otoyollarda boyuna eğim ile güneşli gün kapasitesi arasında ters orantılı bir ilişki ( $R^2=0,66$ ) bulunmuştur. Eğim artışı yol kapasitesini azaltmakta, dolayısıyla daha büyük kapasiteler eksi eğimli yollarda olmaktadır. D100 Karayolu'nda ise anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Boyuna eğim ile kapasite azalma oranları karşılaştırıldığında, otoyollarda orta derece ( $R^2=0,53$ ) ve ters orantılı bir ilişkinin varlığı öne çıkmaktadır. Başka bir deyişle, artan boyuna eğimle birlikte kapasitede azalmalar azalmıştır. En büyük kapasite azalmaları eksi eğimlerde yaşanmakta, artı ve yüksek eğimlerde ise daha az kapasite azalması olmaktadır. D100 Karayolu'nda ise anlamlı bir ilişkinin varlığı bulunamamıştır.

İstanbul'un iki önemli ana yolu üzerinde gerçekleştirilen bu çalışma, diğer yol kesimleri ve otoyol bağlantı yolları üzerinde de gerçekleştirilerek kapsamı genişletilmelidir. Böylece yalnızca ana yollar üzerinde değil, ana yola bağlanan yan yollardaki değişim de açığa çıkarılarak bir bütün olarak ele alınabilir. Ayrıca, yağmur etkisi ile trafik akımındaki değişimin incelendiği bu çalışma, kar yağışı altında, sisli havalarda ve yol



yüzeyinin buzlu olduğu gibi durumlarda da gerçekleştirilebilir. Böylece her yol kesitinde farklı hava şartlarındaki değişim daha iyi anlaşılacaktır.

#### **Kaynaklar**

Aksoy, G. (2018). Kent içi kesintisiz trafik akım koşullarında yağışın serbest akım hızı ve kapasiteye etkisinin modellenmesi. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Alhassan, H. M. ve Ben-Edigbe, J. (2011). Highway capacity prediction in adverse weather, *Journal of Applied Sciences*, Vol. 11, No. 12, 2193-2199.

Dhaliwal, S. S., Wu, X., Thai, J. ve Jia. X. (2017). Effects of rain on freeway traffic in southern California, *Transportation Research Record*, Vol. 2616, 69-80.

Elefteriadou, L. ve Lertworawanich, P. (2003). Defining, measuring and estimating freeway capacity, *Transportation Research Board 82nd Annual Meeting compendium of papers CD-ROM*.

Galın, D. (1981). Speeds on two lane rural roads - a multiple regression analysis. *Traffic Engineering and Control*, Vol. 22, 453-460.

Holdener, D. J. (1998). The effect of rainfall on freeway speeds, *Institute of Transportation Engineers Journal*, Vol. 68, No. 11, 16.

Ibrahim, A. T. ve Hall, F. L. (1994). Effects of adverse weather conditions on speedflow occupancy relationships, *Transportation Research Record*, Vol. 1457, 184-191.

Jia, A., Williams, B. ve Roupail, N. (2010). Identification and calibration of sitespecific stochastic freeway breakdown and queue discharge, *Transportation Research Record*, Vol. 2188, 148-155.

Jia, Y., Wu, J., Du, Y. ve Qi, G. (2014). Impacts of rainfall weather on urban traffic in Beijing: analysis and modeling, *Transportation Research Board 94th Annual Meeting Proceedings*. Washington D.C.

Jones, E. R. ve Goolsby, M. E. (1969). Effect of rain on freeway capacity (Report No: 24-23). Texas Transportation Institute, Texas A&M University College Station, Freeway Surveillance and Control Research Study Number 2-8-61-24.

Kleitsch, K. L. ve Cleveland, D. E. (1971). The effect of rainfall on freeway capacity (Report No: TrS-6). Highway Safety Research Institute, The University of Michigan.

Lamm, R., Choueiri, E. M. ve Mailaender, T. (1990). Comparison of operating speeds on dry and wet pavements of two-lane rural highways, *Transportation Research Record*, Vol. 1280, 199-207

Oh, S. ve Yeo, H. (2012) Estimation of Capacity Drop in Highway Merging Sections, *Transportation Research Record*, Vol. 2286, 111-121.

Olson, P. L., Cleveland, D. E., Fancher, P. S., Kostyniuk, L. P. ve Schneider, L. W. (1984). Parameters affecting stopping sight distance (Highway Research Program Report No: 270). The University of Michigan, Transportation Research Institute, National Cooperative.

Stohner, W. R. (1956). Speeds of passenger cars on wet and dry pavements, *Highway Research Board Bulletin*, Vol. 139, 79-84.

Tanış, M. (2013). Kent içi otoyolların kavşaksız kesimlerinde serbest akım hızı ve kapasiteyi etkileyen faktörlerin incelenmesi. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tanner, J. C. (1952). Effect of weather on traffic flow, *Nature*, Vol. 4290, 107.

TRB (2000). Highway Capacity Manual, S.I. Units, (4th Ed.). Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.

TRB (2010). Highway Capacity Manual, (5th Ed.). Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.

TSE (2013). TS 6407: Şehir İçi Ulaşım Hesaplamalarında Kullanılan Araç Tiplerine Göre Otomobil Eşdeğeri Katsayıları, ICS 03.220.20.

Wang, Y. Q. ve Luo, J. (2017). Study of rainfall impacts on freeway traffic flow characteristics. *World Conference on Transport Research (WCTR 2016)*, 10-15 July Shanghai.

# KENTİÇİ ULAŞIM AĞLARINDA HİBRİT VE TAM ELEKTRİKLİ ARAÇ KULLANIMININ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

**Soner Haldenbilen, Halil İbrahim Yiğit, Ravza Nur Yiğit, Halim Ceylan**

02200 Pamukkale/Denizli

0506 545 5240, 0543 391 5793, 0507 512 8561, 0533 712 9394

[shaldenbilen@pau.edu.tr](mailto:shaldenbilen@pau.edu.tr), [halilibrahimyigit@yandex.com](mailto:halilibrahimyigit@yandex.com), [reminoglu1111@gmail.com](mailto:reminoglu1111@gmail.com),  
[halimc@pau.edu.tr](mailto:halimc@pau.edu.tr)

## Öz

Dünya nüfusundaki artış ve taşıt talebine bağlı olarak, trafiğe kayıtlı araç sayıları da artmakta, bu araçlarında hemen hepsi fosil yakıtlı ve içten yanmalı motorlardan (İYM) oluşmaktadır. Günümüzde yoğun olarak kullanılan ulaşım araçları çevresel kirliliğin temelini oluşturan ana etkenlerinden birisi durumuna gelmiştir. Bu bağlamda elektrikli araçların kullanımı, ulaşımdan kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasında önemli bir faktör olarak görülmektedir. Avrupa ve Asya ülkelerine paralel olarak ülkemizde de hibrit ve tam elektrikli araçların kullanımı hızla artmaktadır. Bu sebeplerle hibrit ve tam elektrikli taşıtların kentlerin ana arterlerindeki çevreye vermiş oldukları olumlu veya olumsuz katkıları araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada Denizli ilinin önemli arterlerinden biri olan Ulus Bulvarında senaryolara bağlı olarak hibrit ve tam elektrikli taşıt kullanımının çevreye vermiş oldukları etkileri araştırılacaktır. Bu kapsamda Denizli ili Ulus Bulvarı üzerinde zirve ve zirve dışı saatte trafik sayımları gerçekleştirilerek, PTV VISSIM Trafik simülasyon ve modelleme programı ile benzetim modeli kurulmuş, ulaşım ağı genelinde senaryolara bağlı olarak sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Mevcut durum analizleri gerçekleştirildikten sonra ağ genelinde iki farklı senaryo geliştirilmiştir. Bunlar;

- Senaryo 1: Ulaşım ağının mevcut durum performansının belirlenmesi;
- Senaryo 2: Ulaşım ağındaki mevcut araç talebinin %25 düşürülerek fosil yakıtlı araçların kullanımına devam edilmesi;
- Senaryo 3: Araç taleplerinde değişiklik yapılmayarak, taşıt sayısı dağılımındaki hibrit ve elektrikli araç oranlarının %50 olarak değiştirilmesidir.

Sonuç olarak belirlenen üç senaryo sonucunda, ulaşım ağının mevcut durumuna göre sera gazları gibi çevresel parametrelerdeki değişimler incelenmiştir.

## 1. Giriş

Tam elektrikli ve hibrit yakıtlı araçların 1800'lü yıllara dayanan bir geçmişi bulunmaktadır. Fakat elektrikli ve hibrit araçlar, üretim teknolojilerindeki eksiklikler ve fosil yakıtlı araçların üretim ve yakıt tüketimindeki avantajlarından dolayı uzun bir süre rafa kaldırılmıştır. Bununla birlikte günümüzde toplumların çevreye olan duyarlılığının artması, üretim maliyetlerinin azalması konusundaki gelişmeler, elektrikli araçların menzillerinin arttırılması, petrol fiyatlarının artması gibi etkenler son yıllarda tam elektrikli ve hibrit araçlara olan ilginin de artmasını sağlamıştır. 2018 yılında Avrupa genelinde 15.1 Milyon araç satılmıştır. Bu araçların %6,1'i tam elektrikli ve hibrit araçlardan oluşmaktadır. 2017 yılına göre elektrikli araç satışları %42 oranında artış göstermiştir (INSIDEEVs 2019). Türkiye'de 2018 yılında toplam 620 bin araç satışı gerçekleşmiştir. Bu satışların 4054 adedi hibrit ve tam elektrikli araçlardan oluşmaktadır (Otomotiv Distribütörleri Derneği 2019). Avrupa'daki elektrikli ve hibrit araç satışlarına göre Türkiye oldukça geridedir. Fakat 2017 yılında göre elektrikli araç satışları yaklaşık %50 artış göstermiştir.

Elektrikli ve hibrit araçların çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik birçok araştırmacı çalışmalar gerçekleştirmiştir. Vivanco ve diğ. (2014) yapmış oldukları çalışmada; elektrikli araçların sera gazı ve kirli duman gibi kirlenici emisyonların azaltılmasına yönelik alternatif olarak değerlendirilebileceğini açıklamış, aynı zamanda elektrikli araçların enerji ihtiyaçlarını karşılayacak kaynağın belirlenmesinin önemli olduğunu ve sera gazı salınımında önemli bir etkisi olduğuna dikkat çekmiştir. Aynı şekilde (Buekers ve diğ. 2014) yapmış oldukları çalışmada İYM taşıtların Karbondioksit(CO<sub>2</sub>), Azot Oksit(N<sub>2</sub>O) ve Metan(CH<sub>4</sub>) gibi sera gazlarının ve partikül madde emisyonları açısından önemli bir etkisi olduğunu belirtmiş, sera gazı emisyonlarının azaltılması bağlamında elektrikli araçların kullanımı çevresel açıdan olumlu bir gelişme olarak görülse de elektrikli araç bataryalarını şarj etmek için kullanılan enerjinin konvansiyonel teknolojilerle üretilmesi nedeniyle elektrikli araçların %100 temiz bir teknoloji olmadığı öne sürmüştür. Öte yandan, diğer araçlarda olduğu gibi elektrikli araçların da üretim, kullanım, bakım/onarım süreci ve kullanım sonrası ortaya çıkacak atıkları da değerlendirilerek çevresel etkisi bir bütün halinde ele alınması gerektiğini açıklamıştır. Wu ve Offer (2017) yapmış oldukları çalışmada elektrikli ve hibrit araçların çevresel etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada elektrikli araçların, kullanımında doğrudan sera gazı salınımına etkisi olmasa da tükettiği elektriğin üretim tipine bağlı olarak etkisi olduğunu açıklamıştır. Kömür kullanılarak üretilen elektrik ile şarj edilen elektrikli araçların, çevreyi daha çok kirlenmeye sebep olabileceği ifade etmiştir. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki hibrit ve tam elektrikli araçların çevresel etki anlamında bir kazanım olarak görülse de sağlanan elektrik enerjisinin kaynağının belirlenmesinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda kent içi ulaşım ağlarında tam elektrikli ve hibrit araçların kullanılması durumunda çevresel etkilerdeki değişimler, sağlanan elektrik enerjisinin kaynağı dikkate alınmış ve senaryolara bağlı olarak incelenmiştir.

## 2. Metodoloji

Çevresel etki; herhangi bir sektörün yarattığı etkilerden diğer sektörlerin etkilenmesi olarak tanımlanabilir. Çevresel etkileşimin en yüksek olduğu sektörlerden birisi ulaştırma sektörüdür. Bu etkileşim içerisinde su kirliliği, hava kirliliği, gürültü kirliliği, biyolojik çeşitliliğin kaybı gibi etmenler söz konusu olmaktadır. Anılan maliyetler ilk bakışta mikro boyutta görünse de makro boyutta etkileri çok yüksek olmaktadır. Sera gazı emisyonları bilindiği üzere dünyada doğal olarak bulunan ve güneş ışınlarının atmosferde tutulması ile birlikte dünyayı gün içerisinde sıcak tutan gazlardır. Aynı zamanda zararlı uzay ışınlarının dünyaya gelmesini önlemektedirler. Ancak bu gazların fazla salınımı dolayısıyla dünyada birikmeleri sonucu küresel ısınma meydana gelmektedir. Bu sebeple küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda mücadeleyi sağlamaya yönelik uluslararası çerçevede 1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü, sera gazlarının azaltımına yönelik olarak 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Böylelikle sera gazlarının borsası oluşmuş, sınırın altında kalan ülkeler sınırın üstüne çıkan ülkelere sera gazı satmaktadır. Sera gazı borsasının değeri ise milyar dolarlar ile ifade edilmektedir. Dolayısı ile makro boyuttaki bu etmenlerin azaltımında ve ülke ekonomisine katkıda çevresel giderlerin azaltılması projeleri de öne çıkmaktadır.

Kyoto Protokolü'nde belirtilen sera gazı emisyon envanteri; enerji, endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, tarımsal faaliyetler ve atıktan kaynaklanan, doğrudan sera gazı emisyonları olan Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), Metan (CH<sub>4</sub>), Diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O) ve F-gazları ile dolaylı sera gazları Azotoksitler (NO<sub>x</sub>), Metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC), Karbonmonoksit (CO) ve Kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) emisyonlarını kapsamaktadır. Bu çalışmada doğrudan sera gazı emisyonları olan Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), Metan (CH<sub>4</sub>) ve Diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O) değerlerindeki değişimler senaryolar bağlı olarak incelenmiştir. Bu gazların seçim sebebi, İYM motorlarının doğrudan CO<sub>2</sub> gazı salınımı gerçekleştirmesi, diğer taraftan elektrikli taşıtların enerji ihtiyacında kullanılan kaynağın CH<sub>4</sub> salınımına etkisi olmasıdır. Elektrikli araçların enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu kömür, termik ve doğalgaz santrallerinden karşılanmaktadır. Doğalgaz santrali diğer enerji kaynaklarına göre nispeten temiz olsa da ana bileşeni olan Metan gazı salınımına etkisi büyüktür. Metan Dünya atmosferinden bulunan CO<sub>2</sub> den çok daha etkili gazdır ve küresel ısınmada en etkili 2. gaz olarak gösterilmektedir (Bıyık ve Civelekoğlu 2018). Bu sebeple elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla enerji ihtiyaçları artacak dolayısıyla Metan gazı salınımı da yükselecektir.

1971 – 2015 yılları arasında yakıt tüketiminden kaynaklı sera gazı emisyonları dünya genelinde %57,5 oranında artmıştır (IEA 2017). OECD ülkeleri içerisinde ise 2015 yılı verilerine göre CO<sub>2</sub> emisyonlarının sektörlere göre dağılımında ulaşımın payı %27 iken, IEA istatistiklerine göre dünyada yakıt tüketimi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının payı %24'tür (IEA 2017). Bir diğer deyişle gelişmiş ülkelerde sera gazı emisyon oranlarında ulaşım sektörünün payı daha yüksek gözükmektedir. Ülkemiz de ise durum OECD ülkelerinden çok farklı değildir. Artan enerji tüketimi ve ulaşım, sera gazı emisyonlarının önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. Ekonomik büyüme ve nüfus artışı ışığında hükümet, emisyonların daha da artmasını beklemektedir. Türkiye, sera gazı emisyonları bakımından 2005-2016 yılları arası %49 artış ile en hızlı artan OECD ülkesi konumundadır (OECD 2019). Türkiye'de sera gazı emisyonları, OECD ülkeleri arasında en düşüğü olsa da kişi başı emisyonlar, 1971-2015 yılları arasında %148 artmıştır (OECD 2019). Sera gazı salınımına sektörel bazda bakıldığında ise %28 ile enerji sektörü ile ilk sırada gelmekte bunu %18'lik pay ile ulaşım sektörü takip

etmektedir (OECD 2018). Ulaşımdan kaynaklı sera gazı emisyonları; 3 başlık altında kategorize edilebilir. Bunlar;

1. Doğrudan etkiler;
2. Enerji üretiminden kaynaklı dolaylı etkiler;
3. Diğer dışsal etkilerdir.

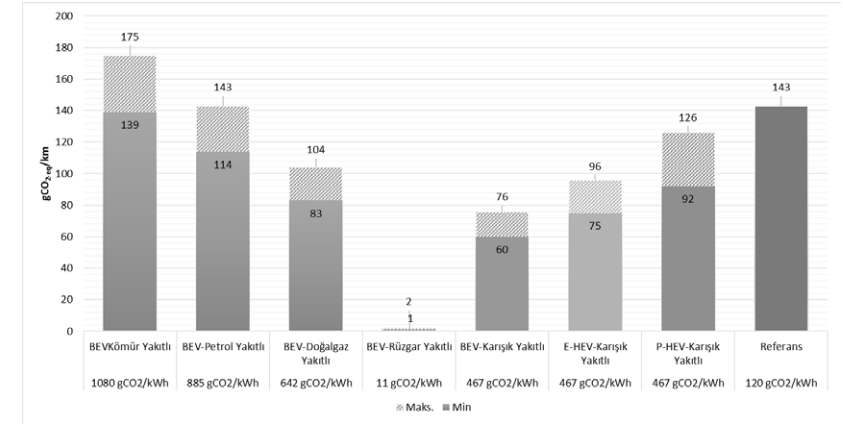
Taşıtların çevreye vermiş oldukları doğrudan etkiler hareketlerinde olmalarında dolayı yapmış oldukları, sera gazı salınımlarıdır. Enerjiden kaynaklı dolaylı etkiler ise elektrikli ve yarı elektrikli hibrit araçların tüketmiş olduğu enerjinin üretiminden kaynaklı sera gazı salınımlarıdır. Diğer dolay etkiler ise enerji üretiminin dışında kalan sera gazı salınımı ve çevresel etkilerdir. Çalışma alanı içerisinde bulunan ulaşım ağında araçların yapmış olduğu çevresel etkiler analiz edilirken İngiltere’de düzenli olarak yayımlanan sera gazı emisyon faktörlerinden faydalanılmıştır (Department for Business, Energy & Industrial Strategy 2019). Kaynakta araç cinslerine göre doğrudan ve dolaylı olarak oluşan sera gazı emisyonları gösterilmiştir. Tablo 1’de otomobil cinsinden taşıtların yakıt türüne göre oluşturdukları sera gazları verilmiştir.

**Tablo 1.** Otomobil türü taşıtların yakıt cinsine göre sera gazı salınımı

x/km		Doğrudan	Dolaylı Tüketim (Enerji)	Diğer Dolaylı Tüketim	Toplam
Dizel	kg CO <sub>2</sub>	0,17152	-	-	<b>0,17152</b>
	kg CH <sub>4</sub>	0,000004	-	-	<b>0,000004</b>
	kg N <sub>2</sub> O	0,00184	-	-	<b>0,00184</b>
Benzinli	kg CO <sub>2</sub>	0,18014	-	-	<b>0,18014</b>
	kg CH <sub>4</sub>	0,00032	-	-	<b>0,00032</b>
	kg N <sub>2</sub> O	0,00038	-	-	<b>0,00038</b>
Hibrit	kg CO <sub>2</sub>	0,11346	-	-	<b>0,11346</b>
	kg CH <sub>4</sub>	0,00016	-	-	<b>0,00016</b>
	kg N <sub>2</sub> O	0,00111	-	-	<b>0,00111</b>
Sıvılaştırılmış Gaz (CNG)	kg CO <sub>2</sub>	0,17599	-	-	<b>0,17599</b>
	kg CH <sub>4</sub>	0,00159	-	-	<b>0,00159</b>
	kg N <sub>2</sub> O	0,00045	-	-	<b>0,00045</b>
Doğal Gaz (LPG)	kg CO <sub>2</sub>	0,19851	-	-	<b>0,19851</b>
	kg CH <sub>4</sub>	0,00005	-	-	<b>0,00005</b>
	kg N <sub>2</sub> O	0,00045	-	-	<b>0,00045</b>
Hibrit-Elektrikli	kg CO <sub>2</sub>	0,07033	0,04075	0,00346	<b>0,11454</b>
	kg CH <sub>4</sub>	0,00021	0,00010	0,00001	<b>0,00032</b>
	kg N <sub>2</sub> O	0,00021	0,00022	0,00002	<b>0,00045</b>
Tam Elektrikli	kg CO <sub>2</sub>	-	0,05505	0,00467	<b>0,05972</b>
	kg CH <sub>4</sub>	-	0,00014	0,00001	<b>0,00015</b>
	kg N <sub>2</sub> O	-	0,00030	0,00003	<b>0,00033</b>

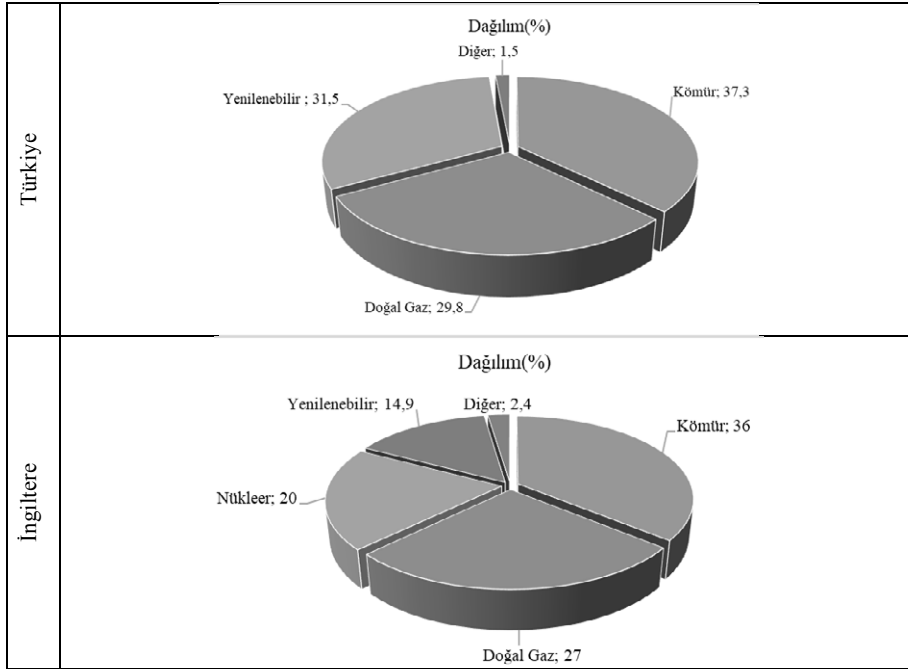
Tablo 1’de verilen doğrudan salınım yapılan sera gazı emisyonları toplamları incelendiğinde Dizel taşıtların km başına yapmış olduğu CO<sub>2</sub> salınımı 0,1715 CO<sub>2</sub>/km iken, benzinli araçlarda 0,1801 CO<sub>2</sub>/km’ye yükselmekte tam elektrikli araçlarda ise bu rakam 0,0597 CO<sub>2</sub>/km’ye düşmektedir. Hibrit ve tam elektrikli araçların CH<sub>4</sub> salınımı ise dizel yakıtlı araçlara göre daha yüksektir. Bilindiği üzere tam elektrikli araçlar doğrudan sera gazı salınımı yapmasa da, elektrik üretiminden kaynaklı olarak dolaylı sera gazı salınımına etkisi olmaktadır. Tablo 1’de verilen sera gazı emisyonlarının belirlenmesinde, elektrik enerjisinin üretim cinsinin de önemli etkileri bulunmaktadır. Elektrik üretiminden kaynaklı CO<sub>2</sub> salınımı, elektriğin üretildiği kaynağa göre değişiklik göstermektedir. Burada elektriğin yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilmesi ile doğalgaz, petrol ve kömür gibi fosil yakıtlar kullanılarak üretilmesi arasında CO<sub>2</sub> salınımına bakıldığında ciddi farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

Şekil 1’de elektrik üretim metotlarına göre elektrikli araçların yapmış olduğu sera gazı salınımın miktarları gösterilmiştir. Tam elektrikli (BEV) araçların kullanmış olduğu enerjinin rüzgardan sağlanması durumunda salınım 11 gCO<sub>2</sub>/kwh olurken, kömür kullanılarak üretilen enerji ile sağlanması durumunda ise 1080 gCO<sub>2</sub>/Kwh’a kadar yükselebilmektedir (Nardelöf ve diğ. 2014). Aynı şekilde elektrikli hibrit araçlar (E-HEV) ve şarj edilebilir elektrikli hibrit araçlarda (P-HEV) karışık yakıt kullanılması durumunda 467 gCO<sub>2</sub>/Kwh sera gazı salınımı meydana getirmektedir. Bu sebeple elektrikli araçların kullanımında sağlanan enerji üretim kaynağının bilinmesi önemlidir.



**Şekil 1.** Elektrik üretim metotlarına göre sera gazı salınımları (gCO<sub>2</sub>-eq/Km) (Nardelöf ve diğ. 2014)

Çalışmada referans kaynağının İngiltere için kullanılmasından dolayı, taşıt yakıt türüne bağlı sera gazı emisyon değerleri alınırken Türkiye ve İngiltere’nin enerji üretim dağılımları da karşılaştırılmıştır. Şekil 2’de Türkiye ve İngiltere’nin enerji üretim dağılımları gösterilmiştir. İngiltere’de üretilen elektriğin %36’sı kömür ile sağlanırken Türkiye’de bu değer %37,3 dür. Doğalgaz kökenli üretilen elektrik oranı ise İngiltere’de %27 iken Türkiye’de bu oran %28,9’dır. Nükleer ve yenilenebilir enerjiden kaynaklı elektrik üretimleri ise İngiltere’de %34,9, Türkiye’de %31,5’dir. Sonuç olarak her iki ülkenin elektrik üretiminde kullanılan kaynakların dağılımı benzerlik göstermektedir. Bu sebeple İngiliz sisteminde baz alınan sera gazı emisyon değerleri olduğu şekil gibi kabul edilmiştir.



Şekil 2. Türkiye ve İngiltere'de elektrik enerjisi üretim dağılımı (UK Department Of Energy & Climate Change 2014) (https://www.enerjiatlası.com 2018)

Sera gazı salınımını etkileyen bir diğer etken ise taşıtların yakıt türü dağılımlarıdır. Bu bağlamda taşıtların senaryolara bağlı olarak yakıt türleri dağılımları Tablo 2'de gösterilmiştir. Senaryo 1 ve 2'de verilen taşıtların yakıt türü dağılımları (TÜİK (2018) tarafından yayınlanan "Yakıt türüne göre motorlu kara taşıt sayısı" değerleri alınmıştır. Senaryo 3'te taşıt dağılımlarında değişiklik yapılarak taşıtların %25 hibrit, %25'i tam elektrikli olarak seçilmiştir. Buna göre senaryolardaki taşıt dağılımlarına uygun olarak hesaplanan ağırlıklı ortalama sera gazı emisyon değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Taşıtların yakıt türü dağılımları ve ağırlıklı ort. sera gazı salınımı

Taşıt Dağılımı (%)	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Benzinli	28	29	14
Dizel	51	51	26
LPG	21	20	10
Hibrit	0	0	25
Tam Elektrikli	0	0	25
Birim Salınım (x/km)	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
kg CO <sub>2</sub>	0,1790869	0,1790869	0,1332308
kg CH <sub>4</sub>	0,0001023	0,0001023	0,0001684
kg N <sub>2</sub> O	0,0011338	0,0011338	0,0007716

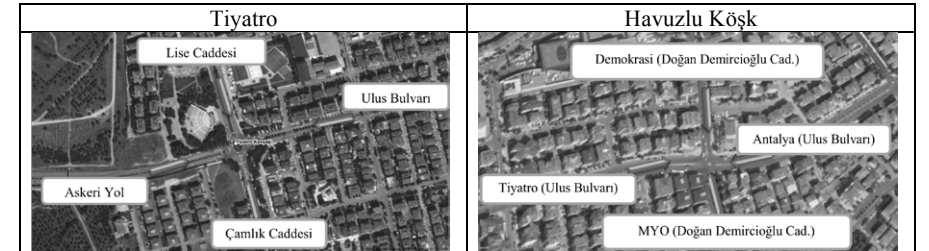
### 3. Çalışma Alanı

Türkiye'nin önemli kentlerinden biri olan Denizli en gelişmiş ilk 10 il içerisinde yer almaktadır (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2011). Kent nüfusundaki artışa paralel olarak taşıt sayısı yıldan yıla artmaktadır. Kent genelinde ulaşım ihtiyaçları özel otomobiller ve

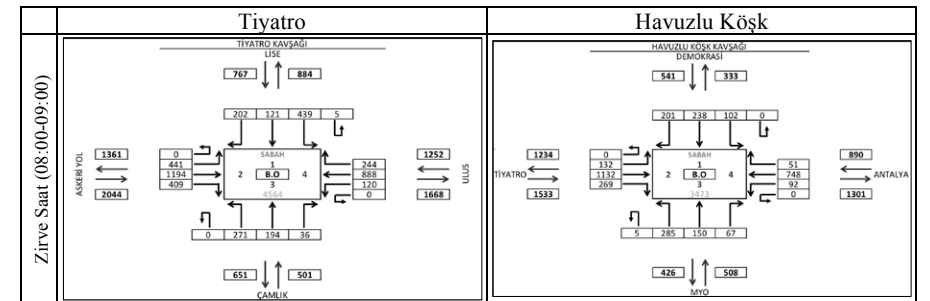
otobüsler ile sağlanmaktadır. 2018 yılı itibarıyla Denizli'de 1000 kişi başına düşen otomobil sahipliği oranı 195'e yükselmiştir (TÜİK, 2018). Çalışma bölgesi olarak kentin ana akslarından biri olan Ulus Bulvarı seçilmiştir. Ulus Bulvarı Denizli'de ev-iş, ev-okul vb. ulaşımda yoğun olarak kullanılan arterlerden birisidir. Bulvar Merkezefendi ilçesinden başlayarak Antalya- İzmir ana yoluna bağlanmaktadır. Bulvar üzerinden toplam 5 kavşak olup, Tiyatro ve Havuzlu Köşk kavşakları bunlardan ilk ikisidir. Ayrıca bulvarın çevresinde Askeri bölge, Alışveriş merkezleri, Pamukkale Üniversitesi bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler Tiyatro ve Havuzlu köşk kavşaklarından elde edilmiştir. Şekil 3'te Tiyatro ve Havuzlu Köşk kavşakları gösterilmiştir. Şekil 4'te ise kavşakların yaklaşım kollarının isimleri, Şekil 5'te kavşakların zirve ve zirve dışı saat trafik sayımları, Şekil 6'da ise kavşakların mevcut sinyal grupları ve sinyal planları gösterilmiştir.

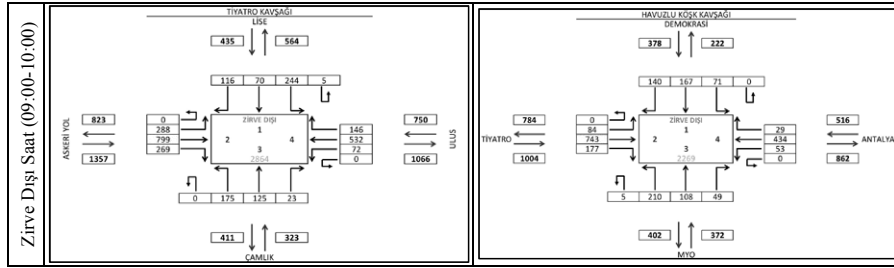


Şekil 3. Ulus Bulvarı ve trafik sayımları yapılan kavşaklar



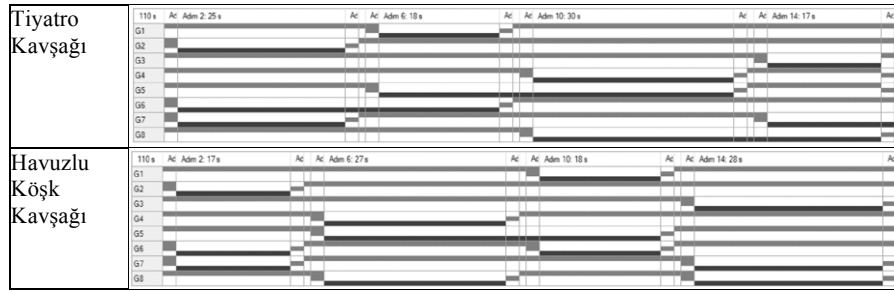
Şekil 4. Tiyatro ve Havuzlu Köşk kavşakları yaklaşım kolları isimleri





Şekil 5. Tiyatro ve Havuzlu Köşk Kavşakları zirve ve zirve dışı saat trafik hacimleri (b.o/sa)

Şekil 6. Tiyatro ve Havuzlu Köşk kavşakları sinyal planları



#### 4. Senaryolar

Çalışma kapsamında 3 farklı senaryo oluşturularak mevcut durum, taşıt talebinin azaldığı durum ve elektrikli araçların kullanıldığı durumun sera gazı emisyonlarındaki değişimleri analiz edilmiştir. Bu bağlamda Senaryo 1’de trafik etütlerin elde edilen zirve ve zirve dışı saatlerdeki taşıt talepleri ile taşıt dağılımları mevcuttaki gibi alınmış, Senaryo 2’de zirve ve zirve dışı saat taşıt talep %25 düşürülmüş ve taşıt dağılımları değiştirilmemiş, Senaryo 3’te ise taşıt talep korunmuş dağılımlarında ise %25 hibrit ve %25’i tam elektrikli şekilde ayarlanmıştır. Tüm senaryoların “toplam katedilen mesafe” parametrelerinin ölçümleri PTV VISSIM trafik analiz ve simülasyon programı ile performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Taşıtların çevresel etkileri Metodoloji bölümünde açıklandığı üzere Tablo 2’de verilen ağırlıklı ortalama sera gazı salınım değerleri baz alınmıştır. Senaryo 1’e göre modellenen ulaşım ağındaki zirve ve zirve dışı saat toplam taşıt talebi, toplam katedilen mesafe ve bunlara bağlı olarak toplam sera gazı salınımları Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 3. Senaryo 1’e göre taşıt talebi, top. katedilen mesafe ve sera gazı salınımları

	Zirve	Zirve Dışı
Toplam Taşıt Sayısı	4995	3212
Toplam Katedilen Mesafe (km)	3.486	2050
Toplam Tüketim		
kg CO <sub>2</sub>	624,3	367,1
kg CH <sub>4</sub>	0,357	0,210
kg N <sub>2</sub> O	3,952	2,324

Senaryo 2’ye göre modellenen ulaşım ağındaki zirve ve zirve dışı saat toplam taşıt talebi, toplam katedilen mesafe ve bunlara bağlı olarak toplam sera gazı salınımları

Tablo 5’te verilmiştir. Senaryo 2’de taşıt talebi %25 oranında düşürülmüştür. Ulaşım ağının “toplam katedilen mesafe” parametre analizleri bu talebe göre gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Senaryo 2’ye göre taşıt talebi, top. katedilen mesafe ve sera gazı salınımları

	Zirve	Zirve Dışı
Toplam Taşıt	3746	2409
Toplam Katedilen Mesafe (km)	2.635	1550
Toplam Tüketim		
kg CO <sub>2</sub>	471,9	277,6
kg CH <sub>4</sub>	0,270	0,159
kg N <sub>2</sub> O	2,988	1,757

Tablo 5’te görüleceği üzere taşıt talebi %25 düşürülmesi durumunda sera gazlarındaki salınımda buna paralel olarak %25 azalmaktadır. Senaryo 3’e göre modellenen ulaşım ağındaki zirve ve zirve dışı saat toplam taşıt talebi, toplam katedilen mesafe ve bunlara bağlı olarak toplam sera gazı salınımları Tablo 6’da verilmiştir. Burada toplam taşıt talebi senaryo 1 ile aynı alınmış fakat taşıtların yakıt türü dağılımları Tablo 6’da gösterildiği üzere değiştirilmiştir. Böylece modellenen ulaşım ağından taşıtların yapmış olduğu toplam katedilen mesafe Senaryo 1’e göre değişiklik göstermemiş, sera gaz salınımları ile taşıtların yakıt türüne bağlı olarak değişiklik göstermiştir.

Tablo 5. Senaryo 3’e göre taşıt talebi, top. katedilen mesafe ve sera gazı salınımları

	Zirve	Zirve Dışı
Toplam Taşıt	4995	3212
Toplam Katedilen Mesafe (km)	3.486	2.050
Toplam Tüketim		
kg CO <sub>2</sub>	464,4	273,1
kg CH <sub>4</sub>	0,587	0,345
kg N <sub>2</sub> O	2,690	1,582

Tablo 6’da görüleceği üzere taşıt talebinin korunarak, taşıt dağılımlarında hibrit ve tam elektrikli araçların %25’er oranında olması durumunda Senaryo 1’e göre CO<sub>2</sub> salınımı %26, N<sub>2</sub>O salınımı ise %32 azalmakta, CH<sub>4</sub> salınımı ise %65 artmaktadır.

#### 5. SONUÇLAR

Günümüzde yoğun olarak kullanılan ulaşım araçları çevresel kirliliğin temelini oluşturan ana etkenlerinden birisi durumuna gelmiştir. Bu bağlamda elektrikli araçların kullanımı, ulaşımdan kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasında önemli bir faktör olarak görülmektedir. Bu sebeplerle hibrit ve tam elektrikli taşıtların kentlerin ana arterlerindeki çevreye vermiş oldukları olumlu katkıların veya olumsuz durumların araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada Denizli ilinin önemli arterlerinden biri olan Ulus Bulvarında senaryolara bağlı olarak hibrit ve tam elektrikli taşıt kullanımının çevreye vermiş oldukları etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda Denizli ili Ulus Bulvarı üzerinde zirve dışı saatte trafik sayımları gerçekleştirilerek, PTV VISSIM Trafik simülasyon ve modelleme programı ile benzetim modeli kurulmuş, ulaşım ağı genelinde senaryolara bağlı olarak sera gazı salınımları hesaplanmıştır. Senaryo 3’te çalışmaya dahil edilen hibrit ve tam elektrikli araçların kullanılması ile Senaryo 1’e göre saatte CO<sub>2</sub> salınımları %25 azalmış, CH<sub>4</sub> salınımları ise %68 artmıştır. Senaryo 2’de ise taşıt talebi %25 düşürülmüş, buna paralel olarak çevresel değerlerde %25 düşüş yaşanmıştır.

Sonuç olarak taşıt talebinin %25 düşürmek ile talebi değiştirmeksizin taşıtların içerisindeki hibrit ve elektrikli taşıtların toplam oranının %50 yapmak CO<sub>2</sub> emisyonu bakımından aynı çevresel etkiyi meydana getirmekte, CH<sub>4</sub> emisyonu bakımından ise %65 artırmaktadır. CH<sub>4</sub>'ün artmasındaki temel sebep elektrikli araçların enerji ihtiyaçlarının karşılamasındaki elektrik üretim dağılımıdır. Türkiye'de üretilen elektriğin %37,3'ü kömür ile sağlanırken, doğalgaz kökenli üretilen elektrik oranı ise %28,9'dur. Buda toplam üretilen elektriğin %66,2'si demektir. Bilindiği üzere Metan, doğalgaz ve kömür yakıtları kullanıldığında doğrudan doğaya salınan sera gazıdır. Bu sebeple elektrikli araçların kullanımı CH<sub>4</sub> salınımını arttırmaktadır.

### Kaynaklar

- Bıyık Y. ve Civelekoğlu G. (2018), Ulaşım Sektöründen Kaynaklı Karbon Ayak İzi Değişiminin İncelenmesi, Bilge International Journal of Science and Technology Research, 2(2), 157-166
- Buekers ve diğ. (2014), Health and Environmental Benefits Related to Electric Vehicle Introduction in EU Countries, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 33, 26-38.
- Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2019) Government emission conversion factors for greenhouse gas company reporting, <https://www.gov.uk/government/collections/government-conversion-factors-for-company-reporting>.
- <https://www.enerjiatlas.com> (2018), <https://www.enerjiatlas.com/elektrik-uretimi/>
- IEA. (2017), [https://www.iea.org/publications/freepublications/CO2\\_Emissions\\_From\\_Fuel\\_Combustion\\_Highlights](https://www.iea.org/publications/freepublications/CO2_Emissions_From_Fuel_Combustion_Highlights)
- INSIDEEVs (2019), <https://insideevs.com/news/342615/electric-car-sales-up-47-in-europe-in-2018/>
- Nardelöf, A. ve diğ. (2014), Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles – what can be learn from life cycle assessment, Int. J. Life Cycle Asses 19(11), 1866-1890.
- OECD. (2018), Çevre İstatistikleri Veri Tabanı, Hava ve İklim: Kaynağına göre sera gazı emisyonları, 66.
- OECD.(2019), Çevresel Performans İncelemeleri:Türkiye Sera Gazı Emisyonları, 2019, 64.
- Otomotiv Distribütörleri Derneği (2019), [http://www.odd.org.tr/web\\_2837\\_1/neuralnetwork.aspx?type=36](http://www.odd.org.tr/web_2837_1/neuralnetwork.aspx?type=36)
- T.C. Kalkınma Bakanlığı (2011), İllerin ve Bölgelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması (SEGE)
- TÜİK. (2018), Türkiye İstatistik Kurumu "Kullanılan Yakıt Türüne Göre Motorlu Kara Taşıt Sayısı"
- TÜİK. (2018), Türkiye İstatistik Kurumu "İllere Göre Otomobil Sahipliği "
- Vivanco ve diğ. (2014), The Remarkable Environmental Rebound Effect of Electric Cars: A Microeconomic Approach, Environmental Science&Technology, 48(20), 12063-12072.
- Wu, Billy, ve J. Gregory Offer (2014), Environmental Impact of Hybrid and Electric Vehicles" Environmental Impacts of Road Vehicles Past, Present and Future, 156.

## K-Ortalama Kümeleme Yöntemi Kullanılarak Serbest Akım Hızı ve Kapasitenin Belirlenmesi

Abdullah Maltaş<sup>1</sup>, Halit Özen<sup>2</sup>, Abdulsamet Saraçoğlu<sup>3</sup>

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul

(0212) 383 51 85<sup>1</sup>, (0212) 383 51 82<sup>2</sup>, (0212) 383 51 86<sup>3</sup>

maltaş@yildiz.edu.tr, ozen@yildiz.edu.tr, assarac@yildiz.edu.tr

### Öz

Büyük şehirler ve metropollerde hızla artan nüfusa paralel olarak ulaşım talebinde de önemli artışlar yaşanmaktadır. Gelir düzeyindeki artışla, ayrıca özel araç sahipliği de artmakta, ulaşım ağının bu artışa paralel olarak gelişmemesi durumunda büyük trafik problemleri yaşanmaktadır. Trafikte yaşanan sıkışıklıkların ve ulaşım ağındaki olumsuzlukların azaltılabilmesi için yol ağının kapasitesinin iyileştirilmesi veya kapasite kullanımının verimli hale getirilmesi gerekmektedir.

Bir ulaşım ağında yer alan karayollarının performansı kapasite ve hizmet düzeyi kavramlarıyla ölçülebilmektedir. Bu kavramlar da trafik akım kuramının üç temel büyüklüğü olan hız ( $u$ ), akım ( $q$ ) ve yoğunluktan ( $k$ ) elde edilen temel eşitlik ( $q = u \times k$ ) ve bu büyüklüklerin ikili ilişkilerinden oluşturulan modeller yardımıyla belirlenmektedir. Trafik akımı ve hızı arasındaki ilişkinin doğru bir şekilde elde edilmesi, herhangi bir yol kesimi için kapasite, serbest akım hızı ve hizmet düzeyinin belirlenmesi, ulaşım talep modeli link (bağlantı) kapasite fonksiyonu parametreleri için önemli rol oynamaktadır. Kapasite, yol kesitinden geçen en büyük trafik akımını, serbest akım hızı ise trafik akımının tıkanıklık veya diğer olumsuz koşullar olmaksızın bağlantı üzerindeki hızı olarak tanımlanmakta ve genellikle akımın sıfır veya sıfıra çok yakın olduğu andaki hızı ifade etmektedir.

Literatürde karayolu kapasitesi ve serbest akım hızının belirlenmesine ilişkin çeşitli yöntemler yer almaktadır. Bu çalışmada, literatürde yer alan yöntemler incelenerek K-ortalama kümeleme algoritması ile serbest akım hızı ve kapasitenin belirlenmesine yönelik bir yöntem sunulmaktadır. Çalışma sonucunda, sunulan yöntemin serbest akım hızı ve kapasitenin tahmin edilmesinde ölçüm verilerine oldukça uygun sonuçlar ortaya koyan bir metodoloji olduğu görülmüştür. Yöntemin uygunluğu, İstanbul TEM otoyolu üzerinde mikrodalga radar sensörlerden (RTMS) elde edilen hız ve akım verileri kullanılarak gösterilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Kapasite, K-ortalama, Kümeleme, Link kapasite fonksiyonu, Serbest akım hızı, Trafik akımı.

### Giriş

Nüfusun her geçen gün hızla artmasıyla birlikte büyükşehir ve özellikle metropol olarak da isimlendirilen anakentlerde ulaşım talebi artmakta, bu da trafik akımı üzerinde olumsuzluklara yol açmaktadır. Gelir düzeyine paralel olarak özel araç sahipliği de artarken, ulaşım ağının bu artışla birlikte gelişmemesi durumunda ise başta tıkanıklık olmak üzere büyük trafik problemleri yaşanmaktadır. Trafikte yaşanan olumsuzlukların azaltılabilmesi için



yol ağının kapasitesinin iyileştirilmesi veya kapasite kullanımının verimli hale getirilmesi gerekmektedir.

Bir ulaşım ağında yer alan karayollarının performansı kapasite ve hizmet düzeyi kavramlarıyla ölçülebilmektedir. Kapasite bir yol kesitinden belirli bir zaman diliminde geçebilecek en fazla taşıt sayısıdır ve birimi genellikle saat başına geçen taşıt sayısı (*taş/sa*) olarak ifade edilmektedir. Hizmet düzeyi kavramı ise genel olarak, bir şerit veya platformun tümünde, farklı trafik hacimlerine karşılık gelen, çeşitli işletme şartlarına bağlı bileşenlerden her biridir ve farklı trafik durumlarına göre A, B, C, D, E ve F olarak adlandırılan altı hizmet düzeyi bulunmaktadır. Bir otoyol kesimi için hizmet düzeyleri ve bunlara karşılık gelen şerit başına yoğunluk değerleri örnek olarak Tablo 1’de verilmiştir (HCM, 2010).

Tablo 1 Bir otoyol kesimi için hizmet düzeyleri (HCM, 2010)

Hizmet Düzeyi	Yoğunluk (taş/km/şrt)
A	≤ 6,8
B	≤ 6,8-11,2
C	≤ 11,2-16,1
D	≤ 16,1-21,7
E	≤ 21,7-27,9
F	> 27,9

Tablo 1’de görüldüğü üzere, A hizmet düzeyinde yoğunluk son derece düşüktür ve sürücülerin serbest şekilde hareket edebileceği bir durum ortaya çıkmaktadır. Bu şekilde, bir sürücünün tıkanıklık veya diğer olumsuz koşullar (kötü hava koşulları gibi) olmadığında seyahat edeceği ortalama hız Serbest Akım Hızı (SAH) olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, bir yol kesimindeki yoğunluğun sıfır veya sıfıra çok yakın olduğu andaki ortalama hız SAH olarak ifade edilmektedir (Başkan ve diğ., 2007; HCM, 2010). Yoğunluğun sıfır değerini aldığı anda ise ortalama hız en yüksek değere ulaşır (Teorik olarak;  $u = \frac{q}{k} = \frac{q}{0} = \infty$ ).

SAH’ın belirlenmesinde farklı yöntemler izlenebilmektedir. Karayolu Kapasitesi El Kitabı’nın (Highway Capacity Manual – HCM) 2010’da basılan cildinde temel koşullardan sapmaları hesaba dâhil eden düzeltme faktörlerini içeren bir SAH modeli önerilmektedir:

$$SAH = 121,34 - f_{LW} - f_{LC} - 5,18 \times TRD^{0,84} \quad (\text{km/sa}) \quad (1)$$

Burada  $f_{LW}$  (km/sa) şerit genişliğine bağlı,  $f_{LC}$  (km/sa) ise sağ banket genişliğine bağlı düzeltme faktörlerini ifade ederken,  $TRD$  (adet/km) ise yol kesimindeki ayrılma/katılma yoğunluğunu ifade etmektedir (HCM, 2010). HCM’nin verdiği şerit genişliği ve sağ banket genişliğine bağlı düzeltme faktörlerinin Türkiye’de kullanılan ölçü birimlerine göre düzenlenmiş hali Tablo 2’de gösterilmiştir.

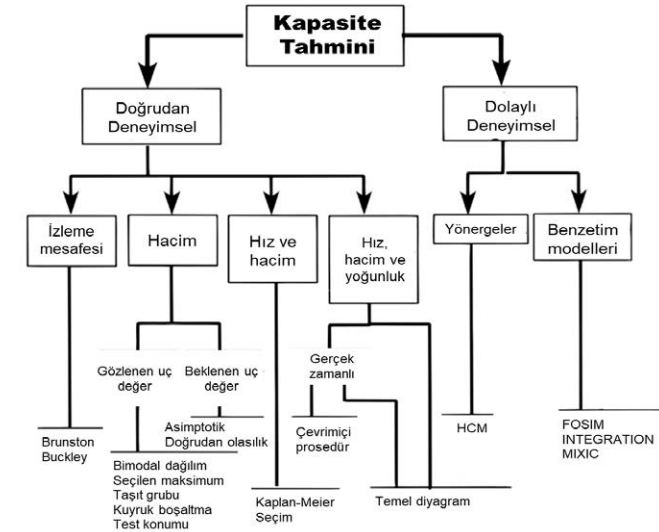
Tablo 2 HCM modeline göre SAH hesabında kullanılan düzeltme faktörleri

Ortalama Şerit Genişliği (m)	$f_{LW}$ (km/sa)			
≥ 3,66	0			
≥ 3,35 - 3,66	3,06			
≥ 3,05 - 3,35	10,62			
Sağ Banket Genişliği (m)	$f_{LC}$ (km/sa)			
	Tek Yöndeki Şerit Sayısı			
	2	3	4	5
≥ 1,83	0	0	0	0
1,52	0,97	0,64	0,32	0,16
1,22	1,93	1,29	0,64	0,32
0,91	2,90	1,93	0,97	0,48

0,61	3,86	2,57	1,29	0,64
0,30	4,83	3,22	1,61	0,80
0	5,79	3,86	1,93	0,97

HCM, Eşitlik 1’deki bağıntıyı vermiş olmasına rağmen SAH’ın araziden elde edilecek olan veriler ile belirlenmesini önermektedir. Birçok araştırmacı da yapmış oldukları çalışmalarda, araziden elde edilen serbest akım hızı ve HCM bağıntısı ile hesaplanan arasında farklılıkların olduğunu tespit etmişlerdir. Shabaniyan ve Hadi yaptıkları çalışmada trafik hacmi 1000 taş/sa/şrt’ten daha düşük olduğunda, HCM’nin araçların ortalama hızını SAH olarak hesaplamaya teşvik ettiğini belirtmiştir. Chen ve diğerleri işgal oranının %10’un altında olduğu durumda ortalama hızın SAH olarak kullanılabilirliğini belirtirken, Dervişoğlu ve diğerleri ise temel diyagramın serbest akım bölgesinde ortalama bir noktadan düz bir çizgi çizilerek SAH’ın belirlenebileceğini ifade etmiştir (Chen ve diğ., 2005; Dervişoğlu ve diğ., 2009; Shabaniyan ve Hadi, 2014).

Ulaşım talep modeli link kapasite fonksiyonlarını oluşturan iki önemli parametreden biri yolun kapasitesidir. Kapasite, link üzerinde herhangi bir kesitten birim zamanda geçebilecek en büyük taşıt sayısı olarak tanımlanmaktadır. Link kapasitesi, yolun geometrik özelliklerinin yanı sıra trafik kompozisyonu ve çevre koşullarına bağlı olarak da değişmektedir. Kapasitenin belirlenmesinde çok farklı yöntemler vardır ve bunlar Minderhoud ve diğerleri tarafından *doğrudan deneyime dayalı* ve *dolaylı deneyime dayalı* olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır (Şekil 1). Doğrudan deneyime dayalı yöntemler sahadan toplanan trafik verileriyle ilişkililikten dolaylı yöntemlerde ise HCM gibi el kitapları ve benzetim modellerinden yararlanılmaktadır (Minderhoud ve diğ., 1997).



Şekil 1 Link kapasitesi belirleme yöntemleri

Kapasitenin araziden elde edilecek veriler ile belirlenmesi birçok araştırmacı tarafından önerilmektedir. Dervişoğlu ve diğerleri araziden farklı günler için elde edilen 5 dakikalık zaman dilimleri ile yapılmış trafik hacmi değerlerinden gözlemlenen en büyük değerlerin kapasite olarak kullanılmasını önermektedir. Bassan ve Polus, kapasiteyi parabolik hız-hacim ve hacim-yoğunluk fonksiyonlarından yararlanarak belirlemişlerdir (Bassan ve Polus, 2010). Literatürde kapasite hesabı yapılırken sağkalım analizi, product limit gibi isimlerle de anılan parametrik olmayan olasılık tahmincisi Kaplan-

Meier yönteminin kullanıldığı da görülmektedir (Minderhood ve diğ., 1997; Özsan, 2015). HCM'de ise SAH değerlerine bağlı olarak ağır taşıt ağırlıklarının ihmal edildiği bir temel kapasite tablosu yer almaktadır ve bu tablo ülkemizde kullanılan ölçü birimlerine göre düzenlenmiş haliyle Tablo 3'te gösterilmiştir. (HCM, 2010).

Tablo 3 HCM'ye göre SAH'a bağlı olarak değişen temel kapasite değerleri

Serbest Akım Hızı (km/sa)	Temel Kapasite (taş/sa/şrt)
120,70	2400
112,65	2400
104,60	2350
96,55	2300
88,50	2250

Bu çalışmada, ulaşım talep modeli link kapasite fonksiyonlarını oluşturan iki önemli parametre olan kapasite ve serbest akım hızının belirlenmesine yönelik olarak, bir yapay öğrenme algoritması olan K-ortalama kümeleme yöntemi önerilmiştir. Yöntemin uygunluğu İstanbul TEM otoyolunda seçilen bir kesit üzerinde yer alan RTMS dedektöründen elde edilen trafik verileri kullanılarak gösterilecektir.

### Çalışma Alanı ve Verinin Tanıtılması

Bu çalışmada, İstanbul TEM otoyolu üzerinde bulunan 61 numaralı RTMS dedektöründen elde edilmiş verilerden yararlanılmıştır. 12.05.2015 tarihinde ölçülen verilerden tek yönlü (Ümraniye-Kavacık yönü) bir çalışma yapılmıştır. SAH ve kapasite hesaplanırken 82 ile 93 numaralı RTMS dedektörlerin arasında kalan 4120 metrelik kesim tek bir link olarak varsayılmış ve 61 numaralı dedektör verisi kullanılarak bu kesim için hesaplamalar yapılmıştır. 4120 metrelik kesimde bu yönde 1 adet katılım yer almaktadır. Çalışma alanı Şekil 2'de hava fotoğrafıyla belirtilmektedir.

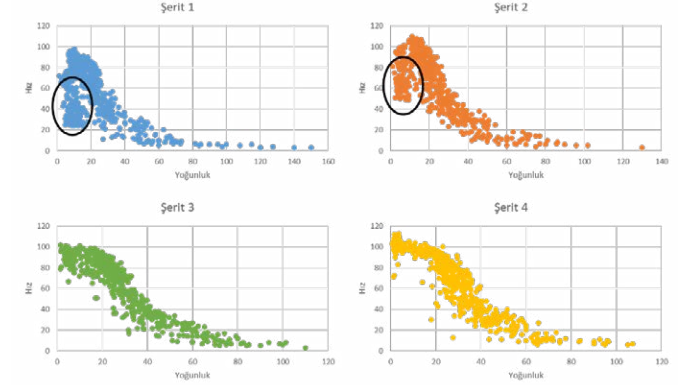


Şekil 2 Çalışmanın yapıldığı kesim

Çalışmada RTMS dedektöründen 2 dakika aralıklarla ölçülmüş olan hız ve hacim değerleri elde edilerek analizler yapılmıştır. Ancak kümeleme yönteminin uygulanması esnasında daha doğru sonuçlar elde etmek amacıyla yoğunluk ve hız değerleri kullanılmıştır. Yoğunluk değerleri ise her 2 dakikalık zaman dilimi için ayrı ayrı temel eşitlik olarak bilinen  $q = u \times k$  eşitliğiyle elde edilmiştir.

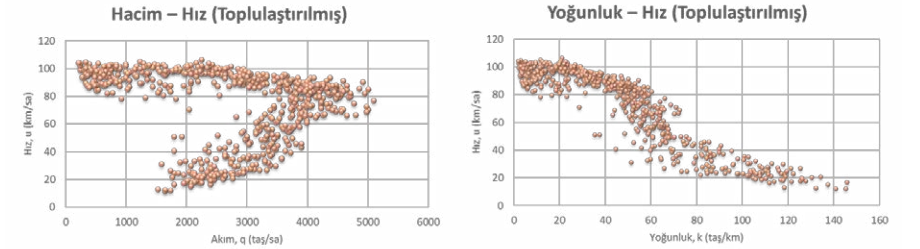
Söz konusu yol kesiminde Ümraniye-Kavacık yönünde toplam 4 şerit yer almaktadır. RTMS dedektör verileri dağılım grafikleriyle incelendiğinde ilk iki şeritten elde edilen

verilerin bazı ciddi aykırı değerlere sahip olduğu görülmüş ve çalışma yalnızca üçüncü ve dördüncü şeridi kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Şeritlere ait yoğunluk – hız grafikleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Görüleceği üzere ilk iki şeritte yoğunluğun çok düşük olduğu anlarda hızlarda ciddi farklılıklar ve düzensizlikler gözlenmektedir.



Şekil 3 Her bir şerit için yoğunluk – hız dağılım grafikleri

Analizler yapılırken üçüncü ve dördüncü şerit verileri toplulaştırılmış ve kesitten geçen taşıt verileri değerlendirilirken iki şerit birlikte değerlendirilmiştir. Toplulaştırma aşamasında akım hesaplanırken iki şerit için her bir zaman diliminde ölçülen hacim değerleri cebirsel olarak toplanmış, ortalama hızlar belirlenirken ise hacim ağırlıklı ortalama hız olarak hesaplanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4 Toplulaştırılmış verilere ait hacim – hız ve yoğunluk – hız grafikleri

### Yapay Öğrenme ve K-Ortalama Kümeleme Algoritması

Günümüzde yapay zekâ teknolojilerinin oldukça ilerleme kaydettiği ve bu ilerlemeye paralel olarak yapay zekâ uygulamalarının farklı çalışma alanlarında karşılık bulduğunu söylemek mümkündür. Bu alanlardan birinin de Ulaştırma ve Trafik Mühendisliği olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Yapay zekâ uygulamaları bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar gibi farklı çalışmalardan oluşmaktadır ve yapay zekânın bir alt kümesi olarak görülen çalışma alanlarından biri de makine öğrenmesi olarak da isimlendirilen yapay öğrenmedir. Literatürde otonom araç gibi teknolojilerin yanı sıra, seyahat süresi tahmininde (Nath ve diğ., 2010), trafik sinyal kontrolünde (Abdulhai ve diğ., 2003), kaza analizlerinde (Anderson, 2009; Maltaş ve diğ., 2018) ve daha birçok çalışmada daha çeşitli yapay zekâ ve yapay öğrenme uygulamalarının kullanıldığı açıkça görülmektedir. Bu çalışmada bir yapay öğrenme algoritması olan K-ortalama kümeleme yöntemi kullanılarak SAH ve kapasite belirlemeye yönelik bir çalışma yapılmıştır.

**K-Ortalama Kümeleme Yöntemi**

Bir yapay öğrenme algoritması olan ve kümeleme için en iyi bilinen yöntemlerden biri olan K-ortalama kümeleme yöntemi bir orta noktanın kümeyi temsil edeceği mantığına dayanmaktadır. Basitçe ifade etmek gerekirse, algoritma herhangi bir ön bilgiye gereksinim duymaksızın (öğretmensiz öğrenme) birbirine en yakın (benzer) verileri  $k$  adet kümeye atamaktadır ve küme merkezi olarak bu verilerin ortalamasını almaktadır (Balaban ve Kartal, 2015). Algoritma kısaca şu şekilde özetlenebilir:

- Küme sayısı  $k$  belirlenir. Verilerin içinden rastgele olmak üzere  $k$  adet veri seçilir ve bu verilerin her biri bir küme merkezi olacak şekilde  $k$  adet küme oluşturulur.
- Küme merkezi olarak seçilmeyen verilerin her bir küme merkezine olan uzaklıkları (genellikle Öklid mesafesi) hesaplanır ve bu veriler kendilerine en yakın küme merkezine sahip kümeye dâhil edilir.
- Kümelerin ortalamaları (merkez nokta) tekrar hesaplanır. Yeni merkezlere göre veriler tekrar kendilerine en yakın kümelere atanır. Bu işlem verilerin ait oldukları kümeler sabitlenene, yani artık daha yakın bir küme merkezi bulunamayana kadar devam eder (Han ve Kamber, 2000).

Küme sayısı  $k$  belirlenirken uyulması gereken standart bir yöntem bulunmamaktadır ve bu durum bu algoritmanın zayıf noktası olarak ifade edilmektedir. Çoğunlukla kullanıcı deneyimine bağlı olarak seçilse de çeşitli ölçütler ve istatistiki teknikler ile de  $k$  küme sayısını belirlemek mümkündür (Balaban ve Kartal, 2015). Küme sayısını belirleme yöntemlerinden biri kümeler içi kareler toplamıdır (within cluster sum of squares – WCSS). Bu yöntem veri analistleri tarafından küme sayısı belirlenirken sıklıkla kullanılan tekniklerden biridir ve Eşitlik 2 ile ifade edilir:

$$WCSS(k) = \sum_{j=1}^k D_j \quad (2)$$

Burada  $D_j$  her bir  $j$ . küme için verilerin küme merkezine olan Öklid mesafesinin kareler toplamıdır ve Eşitlik 3 ile hesaplanmaktadır:

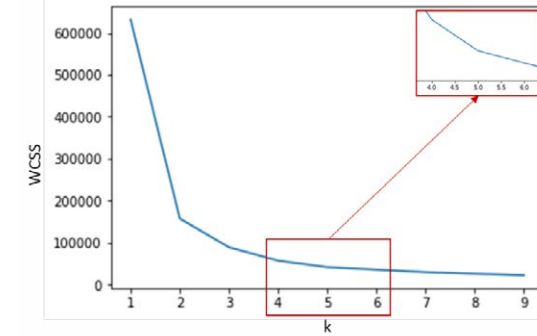
$$D_j = \sum_{i \in C_j} \|x_i - C_j\|^2 \quad (3)$$

Burada  $C_j$ ,  $j$ . küme merkezi ve  $x_i$  ise  $i$ . gözlem verisini ifade etmektedir (Zhang ve diğ., 2009; Patel ve Zinha, 2010). WCSS'in en küçük değerini sağlayan küme sayısının teorik olarak en uygun  $k$  değerini verdiği söylenebilir ancak limit durumda  $k$ 'nın gözlem verisi sayısına eşit olması ve bunun da kümeleme yöntemini devre dışı bırakması kaçınılmaz olacaktır. Bu yüzden kullanıcılar yaygın olarak  $k$ -WCSS dağılım grafiğini çizgilerle birleştirdikten sonra kırıklı çizginin artık doğrusal bir hale dönüştüğü  $k$  değerini uygun küme sayısı olarak belirlemektedir (Şekil 5).

**Bulgular ve Tartışma**

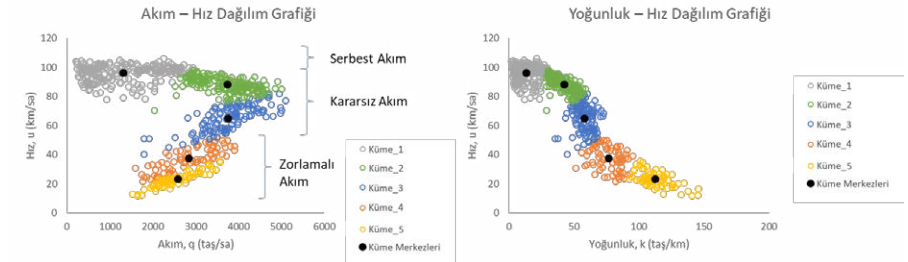
Çalışmada kullanılan K-ortalama algoritması ve uygun küme sayısı belirleme yöntemi olarak kullanılan WCSS analizi, PYTHON programlama dili ve açık kaynak kodlu PYTHON kütüphanelerinde yer alan paketler aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. İlk olarak küme sayısının belirlenmesi için veriler PYTHON'a tanıtılmış ve yazılan kodlar vasıtasıyla ideal WCSS ve  $k$  değeri belirlenmiştir. WCSS analizi neticesinde elde edilen sonuçlara ait grafik Şekil 5'te gösterilmektedir. Görüldüğü gibi en net kırılma  $k=2$  değerinde gerçekleşmekte ve  $k=5$

değerinden sonra ise çizgi doğrusal bir form almaya başlamaktadır. Dolayısıyla kullanılan veriler için küme sayısının 5 olarak alınması uygun görülmektedir.



Şekil 5 En uygun küme sayısı için k – WCSS grafiği

Hizmet düzeyleri göz önüne alındığında  $k$  değerinin 6 olarak alınması da düşünülebilir ancak analizler sonucunda serbest akım bölgesinde küme merkezlerinde ciddi değişimler olmadığı, 6. kümenin zorlamalı akım bölgesinde meydana geldiği ve yalnızca o bölgeyi etkilediği görülmüştür. Bu çalışmada tıkanıklık bölgesi için bir analizden ziyade SAH ve kapasite belirlemek amaçlandığı için WCSS grafiği baz alınarak  $k=5$  değeri ile işlemlere devam edilmiştir. Verilerin 5 kümeye ayrılmasıyla elde edilen sonuçlara ait grafikler Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6 K-ortalama kümeleme algoritması ile elde edilen küme ve küme merkezleri

Burada görüldüğü üzere 1. kümenin serbest akım bölgesini, 2 ve 3. kümelerin kararsız akım bölgesini, 4 ve 5. kümelerin ise zorlamalı akım bölgesini temsil ettiği söylenebilir. K-ortalama kümeleme algoritmasıyla elde edilen küme merkezlerinin hız, hacim ve yoğunluk değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4 Küme merkezleri ve bunlara ait elde edilmiş ortalama trafik verileri

Küme No	Hız, u (km/sa)	Yoğunluk, k (taş/km)	Hacim, q (taş/sa)
1	96,0462	13,6967	1315,5160
2	87,8129	42,6616	3746,2388
3	64,6740	58,3043	3770,7723
4	37,2044	76,7412	2855,1103
5	22,9642	113,0060	2595,0924

**Serbest Akım Hızının Belirlenmesi**

Analizler ve Tablo 4'te yer alan sonuçlar göz önüne alındığında, K-ortalama kümeleme algoritmasının uygulanmasıyla elde edilen SAH'ı, 1 no'lu küme merkezine (serbest akım) ait hız değeri olan **96,05 km/sa** olarak belirlemek mümkündür.

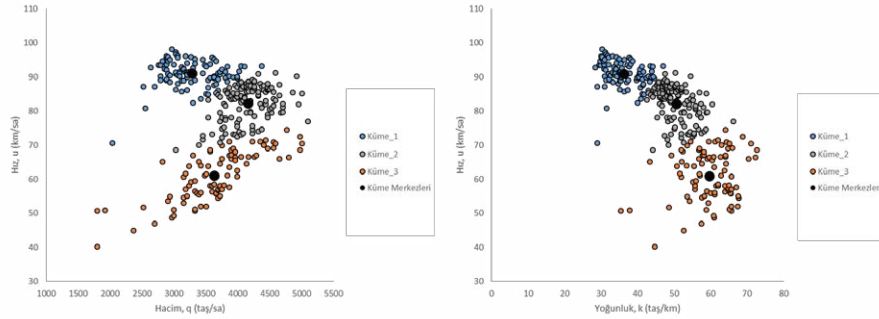
HCM'nin modeli olan Eşitlik 1 ile yapılan hesap sonucunda ise SAH;

$$SAH_{HCM} = 121,34 - 3,06 - 5,79 - 5,18 \times (1/4,12)^{0,84} = \mathbf{110,91 \text{ km/sa}}$$

Burada şerit genişlikleri ortalama 3,5 m olarak alınmış, analizde yalnızca 3 ve 4. şeritlere ait veriler kullanıldığı için sağ banket genişliği 0 m kabul edilmiştir. Öte yandan Shabaniyan ve Hadi'nin işaret ettiği doğrultuda, trafik hacminin 1000 taş/sa'rt'den daha düşük olduğu durumda ortalama hızın SAH olarak alınabileceği de düşünülürse bu yöntemle elde edilen SAH ise iki şerit için ortalama **83,59 km/sa** olarak bulunmuştur. Dervişoğlu ve diğerlerinin tariflediği şekilde temel diyagramda ortalama bir noktadan düz bir çizgi çekildiği takdirde ise yaklaşık olarak **95 km/sa** civarında bir SAH gözlemlenmektedir.

### Kapasite Hesabı

K-ortalama kümeleme algoritması yoğunluk ve hız değerleri kullanılarak çalıştırıldığı için SAH'ın aksine doğrudan kapasite elde etmek mümkün olmamıştır. Bu yüzden kararsız akım bölgesi olarak işaret edilen 2 ve 3 no'lu kümeler ikinci bir iterasyona tabi tutulmuştur. K-ortalama kümeleme yöntemi adımları bu iki kümede yer alan verilere uygulanmış, veriler 3 kümeye ayrılmıştır. Bunun neticesinde yeni elde edilen 2. küme merkezinin akım değeri 4163,93 taş/sa kapasite olarak belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7 2 ve 3 no'lu kümelerin verilerinden elde edilen küme ve küme merkezleri

Tahmin edilen değer ile mukayese etmek amacıyla literatürde kapasite hesabında kullanılan ve parametrik olmayan bir yöntem olan Kaplan-Meier yaklaşımı kullanılmıştır. Kısaca açıklamak gerekirse, bu yöntemde belirli bir zaman aralığında (bu çalışmada saat 06:00-09:00 arası) veriler toplanarak olasılık hesabı yapılmakta ve hacim olasılıklarının kümülatif dağılım fonksiyonu baz alınarak medyan değeri  $[F(q) = 0,5]$  kapasite olarak belirlenmektedir (Minderhood ve diğ., 1997). Bu çalışma için Kaplan-Meier yöntemiyle elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5 Kaplan-Meier olasılık tahminleri

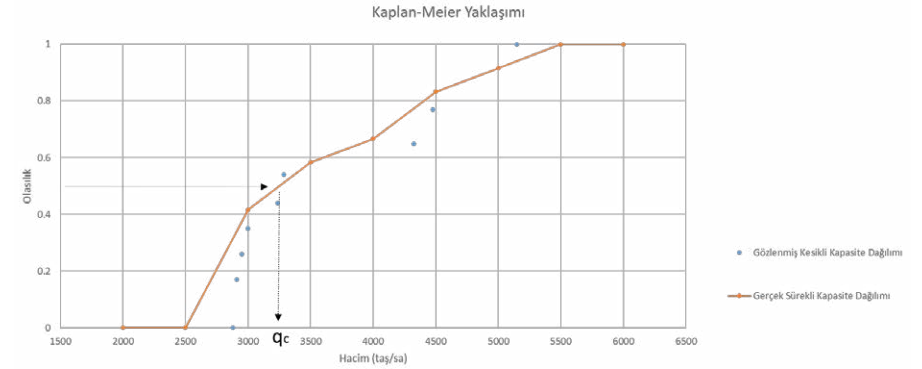
Zaman Dilimi	q (taş/sa)	Sıralama	Sınıflandırma	$K_q, q \in C$	$G(q)$	$F(q)=1-G(q)$
06:00	06:15	2920	3	Q	-	-
06:15	06:30	4736	11	Q	-	-
06:30	06:45	4324	9	C	4	0.35
06:45	07:00	4476	10	C	3	0.23
07:00	07:15	2880	1	C	12	1
07:15	07:30	3284	7	C	6	0.46
07:30	07:45	2952	4	C	9	0.74
07:45	08:00	2912	2	C	11	0.83
08:00	08:15	3000	5	C	8	0.65
08:15	08:30	3236	6	C	7	0.56
08:30	08:45	3724	8	Q	-	-
08:45	09:00	5148	12	Q	-	1

Tabloda görülen *sıralama* sütunu ölçülen hacim değerlerinin küçükten büyüğe sıralanmasını göstermektedir. *Sınıflandırma* sütununda yer alan ifadeler ise bu yöntemin uygulanması için seçilen 70 km/sa'lik sınır hızın altında ve üstünde kalan dilimleri ifade etmek için kullanılmıştır. *Q* ifadesi söz konusu zaman dilimindeki ortalama hızın 70 km/sa'ten fazla, *C* ifadesi ise ortalama hızın 70 km/sa'ten düşük olduğunu belirtmektedir. Analiz *C* sınıfına giren zaman dilimlerinde olasılık tahmini yapmak suretiyle gerçekleştirilmektedir.  $K_q$  akım değerinin belirli bir *j* akım değerinden büyük olması koşulundaki akım değeri sayısını ifade etmektedir. Son olarak  $F(q)$  kapasite dağılım fonksiyonunu,  $G(q)$  ise sağkalım dağılım fonksiyonunu göstermektedir.  $G(q)$  hesabı Eşitlik 4 ile yapılmaktadır.  $F(q)$  ise Eşitlik 5'te gösterildiği gibi  $G(q)$  olasılığının 1'den çıkarılmasıyla elde edilir (Minderhood ve diğ., 1997; Özsan, 2015).

$$G(q) = \prod_{qi} \frac{K_{qi}-1}{K_{qi}} \quad (4)$$

$$F(q) = 1 - G(q) \quad (5)$$

Parametrik olmayan Kaplan-Meier olasılık tahmini sonucunda elde edilen trafik hacmine bağlı kümülatif dağılım fonksiyonu grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Gerçek sürekli kapasite dağılımı eldeki verilerin kümülatif dağılımını ifade ederken, gözlenmiş kesikli kapasite dağılımı ise Tablo 5'te hesaplanan kümülatif olasılık dağılımını göstermektedir. Buna göre medyan değerinin yaklaşık olarak hacmin 3250 taş/sa olduğu noktaya geldiği görülmektedir. Dolayısıyla parametrik olmayan Kaplan-Meier olasılık yöntemi sonucuna göre kapasite **3250 taş/sa** olarak belirlenmiştir.



Şekil 8 Kaplan-Meier yaklaşımına göre hacim – kümülatif dağılım fonksiyonu grafiği

Öte yandan HCM'nin önerdiği temel kapasite tablosundan (Tablo 3) yararlanıldığı takdirde yaklaşık **4800 taş/sa**'lik bir hacim değeri bulunurken, SAH'da olduğu gibi temel diyagramdan optimum akımı tahmin etmek için hayali bir çizgi çizildiğini düşündüğümüzde ise, kapasitenin söz konusu iki şerit için yaklaşık olarak **4000 taş/sa** gibi bir değer olacağını söylemek mümkündür.

**Sonuç**

Bu çalışmada, ulaşım talep modeli link kapasite fonksiyonları için iki önemli parametre olan serbest akım hızı ve kapasitenin belirlenmesine yönelik olarak, bir yapay öğrenme algoritması olan K-ortalama kümeleme yönteminin kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışmada TEM otoyolunda yer alan 61 no'lu RTMS dedektöründen elde edilen bir günlük veri kullanılmıştır. Dört şeritlik yolda çalışmanın daha sağlıklı sonuçlar vermesi açısından verisinin hatalı olduğu düşünülen ilk iki şerit analizlere dâhil edilmemiş, söz konusu kesit için üçüncü ve dördüncü şerit baz alınarak iki şeritli bir yol varsayımıyla analizler yapılmıştır.

Çalışma neticesine göre K-ortalama kümeleme yöntemi ve diğer yöntemlerin uygulanması sonucu elde edilen çıktılar Tablo 'da gösterilmektedir.

Tablo 6 Analizler sonucu elde edilen SAH ve kapasite tahmin değerleri

Yöntem	Serbest Akım Hızı (km/sa)	Yöntem	Kapasite (taş/sa)
K-ortalama kümeleme	96,05	K-ortalama kümeleme	4163,9
HCM	110,91	HCM	4800,0
< 1000 taş/sa/şrt	83,59	Kaplan-Meier	3250,0
Temel diyagram	95,00	Temel Diyagram	4000,0

Görüldüğü üzere HCM, hem SAH hem de kapasite tahminlerinde oldukça yüksek değerler vermektedir. HCM modeline göre SAH belirlenirken banket genişliğinin 0 m alındığı ve sağ banket genişliği düzeltme faktörünün bu şekilde hesaba dâhil edildiği unutulmamalıdır. Bu durumda belirli bir banket genişliği olması halinde SAH'ın ve dolayısıyla kapasitenin daha yüksek bir değer olarak tahmin edilmesi kaçınılmaz olacaktır. Temel diyagramı (Şekil 4) ampirik olarak yapılan tahmin neticeleri göz önüne alındığında SAH ve kapasite tahminlerinde en yakın sonucu, K-ortalama kümeleme yöntemiyle elde edilen tahminlerin verdiği belirlenmiştir. Shabaniyan ve Hadi'nin belirttiği ve 1000 taş/sa/şrt'ten düşük hacimlerin ortalama hızı alınmak suretiyle belirlenen SAH'ın son derece düşük hız verdiği, Kaplan-Meier yönteminin ise kapasite hesabında düşük bir kapasite tahmini yaptığı görülmektedir. Yöntemlerin sonuçları göz önüne alındığında, belirlenen değerlerin geniş bir aralığa sahip olması; yöntemlerin farklı parametreleri dikkate alması ve hesap adımlarının farklı prensiplere dayanmasıyla açıklanabilmektedir. Temel diyagram baz alınarak yapılan bir tahmin ile K-ortalama kümeleme yönteminin sunduğu sonuçların diğer yöntemlere kıyasla daha tutarlı ve yaklaşık sonuçlar vermesi, burada sunulan yöntemin başarısını ortaya koymaktadır. Tüm bunlar bir arada değerlendirildiğinde, K-ortalama kümeleme algoritmasının SAH ve kapasite tahmininde kullanılabilir ve uygun bir yöntem olduğu görülmektedir. Burada doğru küme sayısının belirlenmesinin, verilerin en az hataya sahip olmasının ve grafiklerin doğru bir şekilde analiz edilmesinin büyük öneme sahip olduğu sonucu elde edilmiştir.

Çeşitli yapay zekâ uygulamaları ve bunların bir alt kümesi olarak görülen yapay öğrenme algoritmalarının pek çok alanda kullanıldığı literatürde açıkça görülmektedir. Bu tür çalışmalar İnşaat, Ulaştırma ve Trafik Mühendisliği alanlarında da gittikçe yaygınlaşmaktadır. Dolayısıyla bu gibi çalışmaların, özellikle verilerin geçmişe nazaran daha kolay elde edilmesi ve büyük veri (big data) kavramının son yıllarda önem kazanması neticesinde Ulaştırma Mühendisliği için de önemli bir yere sahip olduğu açıkça görülmektedir.

**Kaynaklar**

Abdulhai, B., Pringle, R. and Karakoulas, G. J. (2003). Reinforcement Learning for True Adaptive Traffic Signal Control. *Journal of Transportation Engineering*, 129(3), pp. 278-285.

Anderson, T. K. (2009). Kernel Density Estimation and K-means Clustering to Profile Road Accident Hotspots, *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), pp. 359-364.

Balaban, M. E., ve Kartal, E. (2015). *Veri Madenciliği ve Makine Öğrenmesi Temel Algoritmaları ve R Dili ile Uygulamaları*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, Türkiye.

Bassan, S. and Polus A. (2010) Meaning of Actual Capacity of Freeways and Its Estimation. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(1), pp. 77-87.

Başkan, Ö., Ceylan, H., Haldenbilen, S., ve Ceylan, H. (2007) Kentiçi Yollarda Hız Yoğunluk Kapasite İlişkisi ve Kapasite Kullanım Oranının Belirlenmesi. *5. Kentisel Altyapı Ulusal Sempozyumu*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Hatay Şubesi, Bildiriler Kitabı, s. 159-169, 01-02 Kasım, Hatay, Türkiye.

Chen, C., Varaiya P. and Kwon J. (2005) An Empirical Assessment of Traffic Operations. *16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Elsevier, Proceedings Book, pp. 105-124, 19-21 July, Maryland, USA.

Dervisoğlu, G., Gomes G., Kwon J., Horowitz R., and Varaiya P. (2009) Automatic Calibration of the Fundamental Diagram and Empirical Observations on Capacity. *88th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 11-15 January, Washington, DC., USA.

Han J. and Kamber M. (2000) *Data Mining Concepts and Techniques*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, USA.

Maltaş, A., Özen, H. and Saraçoğlu, A. (2018). Identification of Accident Black Spots Using Network Screening: The Case of Sogutluceme-15 Temmuz Şehitler Bridge Corridor. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 9(4), pp. 383-394.

Manual, H. C. (2010) *Highway Capacity Manual Volume 2: Uninterrupted Flow*, Transportation Research Board, Washington, DC, USA.

Minderhoud, M. M., Botma, H. and Bovy, P. H. (1997) Assessment of Roadway Capacity Estimation Methods. *Transportation Research Record*, 1572(1), pp. 59-67.

Nath, R. P. D., Lee, H. J., Chowdhury, N. K. and Chang, J. W. (2010). Modified K-means Clustering for Travel Time Prediction based on Historical Traffic Data. *14th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, Springer, pp. 511-521, 08-10 September, Cardiff, UK.

Özsan, F. (2015). *Kent İçi Otoyolların Katılım Kesimlerinde Deterministik Ve Stokastik Yaklaşım İle Kapasitenin İncelenmesi: İstanbul Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Shabaniyan, S. and Hadi, M. (2014) Capacity Estimation in Support of Mesoscopic Simulation as Part of Dynamic Traffic Assignment Models. *Transportation Research Record*, 2466(1), pp. 68-75.

Patel, B. C. and Sinha, G. R. (2010). An Adaptive K-means Clustering Algorithm for Breast Image Segmentation. *International Journal of Computer Applications*, 10(4), pp. 35-38.

Zhang, M., Zhang, W., Sicotte, H. and Yang, P. (2009). A New Validity Measure for a Correlation-Based Fuzzy C-means Clustering Algorithm. *2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 3865-3868, 03-06 September, Minneapolis, USA.

# Kentiçi Ulaşım Ağlarında Yedek Kapasitenin Stokastik Bağ Akımları Altında Belirlenmesi

Özgür Başkan<sup>1</sup>, Duygu Erol<sup>2</sup>, Cenk Ozan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doç. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Denizli

<sup>2</sup> Öğr. Gör., Pamukkale Üniversitesi, Bozkurt Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma ve Trafik Hizmetleri Programı, Denizli

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Ü., Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Aydın

## Öz

Ulaşım talebinin her geçen gün artması ve buna bağlı olarak artan otomobil kullanımı neticesinde kentiçi ulaşım ağlarında meydana gelen trafik kaynaklı problemler kullanıcıları olumsuz olarak etkilemektedir. Bu olumsuz etkilerin en aza indirilebilmesi için yerel yönetimler tarafından kavşakların geometrik olarak iyileştirilmesi veya kavşak/bağ kapasite artırımı gibi maliyeti yüksek önlemler alınabilmektedir. Literatürde yedek kapasite; ulaşım ağının sıkışıklık etkisi altında kalmadan hizmet verebileceği ulaşım talebinin belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle yedek kapasite kavramı ulaşım ağına ait Başlangıç-Variş (B-V) matrisine uygulanacak olan talep çarpanının maksimizasyonu olarak ifade edilebilmektedir. Çalışmada bu amaçla Diferansiyel Gelişim Algoritması tabanlı iki seviyeli programlama modeli geliştirilmiştir. Üst seviyede talep çarpanını maksimum yapacak olan sinyal süreleri belirlenirken, alt seviyede ise üst seviyedeki sinyal sürelerinin değişimine bağlı olarak sürücülerin rota seçim davranışlarını temsil eden stokastik trafik atama problemi çözülmektedir. Geliştirilen iki seviyeli modelde talep çarpanının artırılması neticesinde bağ akımlarının kapasitelerini aşmaması için amaç fonksiyonuna ceza fonksiyonu eklenmiştir. Geliştirilen model 96 adet B-V çifti, 9 adet sinyalizeli kavşak ve 28 adet bağdan oluşan ulaşım ağı üzerinde test edilmiştir. Sinyal sürelerinin en uygun değerlerinin belirlenmesi neticesinde ulaşım ağında sıkışıklık etkisi olmadan mevcut B-V talep matrisinin % 24 artırılabilmesi belirlenmiştir. Sonuç olarak geliştirilen modelin maliyeti yüksek yatırımlara karar verilmeden önce sinyal sürelerinin en uygun değerlerinin kullanılması ile ulaşım ağının ne kadarlık bir talep artışına cevap verebileceğinin belirlenebilmesi bakımından faydalı olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Yedek kapasite; stokastik trafik atama; iki seviyeli programlama; diferansiyel gelişim algoritması; en uygun sinyal süreleri

## Giriş

Günümüzde gelişmekte olan ülkelerde kullanıcıların günden güne artan hareketlilik ihtiyacının sonucu olarak birçok kent trafik problemleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Oluşan problemlerin nedenleri arasında özel araç kullanım oranlarının fazla olması, toplu taşıma sistemlerinin rekabet gücünün az olması, yüksek kapasiteli raylı sistem

ağının gerektiği kadar iyileştirilememesi ve yerel yönetimlerin uygun olmayan trafik yönetim ve planlama stratejileri sayılabilir. Diğer taraftan ulaşım kaynaklı problemlerin en aza indirilebilmesi için yapılması gereken uygulamalardan ilki mevcut ulaşım ağının kapasitesinin verimli olarak kullanılmasıdır. Bilindiği gibi kentiçi ulaşım ağlarında eşdüze kavşakların büyük bir yoğunluğu sinyalizasyon sistemleri ile kontrol edilmektedir. Sinyalize kavşak kapasitesinden maksimum oranda faydalanabilmek için uygun sinyal sürelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Aksi takdirde kavşak kapasitesini artırabilmek adına yerel yönetimler tarafından fiziksel iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Bu nedenle yüksek maliyetli yatırımlar yapılmadan önce kentiçi ulaşım ağlarının yedek kapasitesi belirlenmeli ve bu kapasitenin en verimli şekilde kullanılabilmesi için gerekli önlemler yerel yöneticiler tarafından alınmalıdır. Yedek kapasite maksimizasyonu problemi, ulaşım ağındaki tüm bağların kapasitesini aşmaması şartıyla Başlangıç-Variş (B-V) talep matrisi çarpanının maksimum değerinin belirlenmesi olarak ifade edilebilmektedir. Bu konudaki çalışmalar literatürde oldukça eskiye dayanmakta olup ilk çalışma Webster ve Cobbe (1966) tarafından yapılmıştır. Takip eden yıllarda Allsop (1972), Yagar (1985) ve Wong ve Yang (1997) tarafından yapılan çalışmalarla yedek kapasite problemi farklı bakış açıları altında çözümlenmeye çalışılmıştır. Yang ve diğ. (2000) sinyal sürelerinin değişimine bağlı olarak sürücülerin rota seçim davranışlarında değişmesi gerektiği prensibine bağlı olarak söz konusu probleme trafik atama problemini dahil etmiştir. Çalışmada bu amaçla iki seviyeli programlama modeli kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ziyou ve Yifan (2002) seyahat matrisinde her bir B-V çifti için farklı bir talep çarpanı öngörmüşler ve bu yaklaşım altında yedek kapasite probleminin çözülmesinin daha gerçekçi olduğunu çalışmalarında vurgulamışlardır. Ceylan ve Bell (2004) bir ulaşım ağında yedek kapasite hesabı için logit rota seçimi modeli tabanlı Stokastik Kullanıcı Dengesi (SKD) trafik atamasını dikkate alarak iki adımlı bir algoritma geliştirmişlerdir. Chiou (2007) yedek kapasite maksimizasyonu için eğitim yöntemini kullanmıştır. Test ulaşım ağında yapılan sayısal uygulamalar ile geliştirilen yöntemin klasik metotlardan daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Chiou (2009) bir ulaşım ağındaki gecikme ve yedek kapasite değerlerinin optimum değerlerini belirlemek için bağ akımlarını zamana bağlı değişken olarak dikkate almış ve geliştirdiği algoritmayı örnek bir ulaşım ağına uygulamıştır. Miandoabchi ve Farahani (2011) yedek kapasite maksimizasyonu problemini kesikli ulaşım ağı problemi olarak ele almış ve iki seviyeli çözüm yaklaşımını kullanarak başarılı sonuçlar elde etmiştir. Chiou (2014) yedek kapasite ve gecikme problemlerini minimum/maksimum problemi olarak ifade etmiştir. Elde edilen sonuçlar geliştirilen algoritmanın gecikme parametresini dikkate alarak yedek kapasite maksimizasyonu yapabildiğini göstermiştir. Baskan ve Ozan (2017) ulaşım ağından elde edilen faydanın kullanıcılar arasında eşit paylaşılmasını sağlayabilmek için eşitlik kavramını probleme dahil etmişlerdir. Sayısal sonuçlar B-V matrisinin maksimum çarpanının eşitlik parametresinin değerine oldukça duyarlı olduğunu göstermiştir. Baskan ve diğ. (2019a) yedek kapasite maksimizasyonu ve gecikme minimizasyonu problemini beraber çözebilen ve SKD bağ akımlarını dikkate alan iki seviyeli bir algoritma geliştirmişlerdir. Son olarak Başkan ve diğ. (2019b) SKD bağ akımları kullanılarak yedek kapasite problemini orta ölçekli bir test ulaşım ağında Armoni Araştırması Optimizasyon tekniğini kullanarak çözmüşlerdir. Literatürden görülebileceği gibi yedek kapasite birçok farklı bakış açısı altında ve farklı yöntemler kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ise logit rota seçim modeli tabanlı SKD bağ akımları altında yedek kapasite problemi Diferansiyel Gelişim (DG) algoritması kullanılarak çözülmüştür. Bu amaçla iki seviyeli programlama modeli kullanılmıştır. Üst seviyede B-V matrisi talep çarpanı maksimum yapılmaya

çalışılırken, alt seviyede ise değişen talep durumuna bağlı olarak SKD bağ akımları elde edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde yedek kapasite maksimizasyon problemi açıklanmıştır. Üçüncü bölümde problemin çözümü için geliştirilen iki seviyeli programlama modelinin detayları verilmiştir. Sonraki bölümde önerilen algoritmanın test ulaşım ağına uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Son bölümde çalışmanın sonuçları ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalara yer verilmiştir.

### Yedek Kapasite Maksimizasyon Problemi

Kentiçi ulaşım ağlarında gecikmelerin en fazla görüldüğü kesimler olan kavşaklarda sinyal sürelerinin eniyilenmesi ile ulaşım ağının atıl kapasitesi olarak da tanımlanan yedek kapasite ortaya çıkarılabilmektedir. Bu sayede yerel yönetimlerin trafik sıkışıklığını azaltmak ve kapasite artırımını sağlayabilmek için sıklıkla başvurmuş oldukları zamanından önce yapılan yüksek maliyetli fiziksel iyileştirmelerin önüne geçilebilmektedir. Sinyal sürelerinin en uygun değerlerinin belirlenmesi ile hem mevcut B-V seyahat matrisi koşulları altında gecikmeler azaltılabilmekte hem de gelecekte kentlerdeki seyahatlerin üretildiği zonlardaki büyümelere paralel olarak ne kadarlık bir talep artışına sistemin cevap verebileceği belirlenebilmektedir. Bu nedenle çalışmada yedek kapasiteyi maksimum yapan sinyal sürelerinin belirlenmesi amacıyla DG algoritması tabanlı iki seviyeli programlama modeli önerilmiştir. Üst seviyede (ÜS) yedek kapasiteyi maksimum yapan B-V talep matrisi çarpanının belirlenmesi problemi ele alınmıştır. Alt seviyede (AS) ise ulaşım ağındaki seyahat matrisinin değişimine karşılık kullanıcıların tepkileri SKD trafik atama probleminin çözülmesi ile temsil edilmiştir. Bir ulaşım ağında düğümler  $n \in N$ , bağlar  $a \in A$ , B-V çiftleri  $k \in K$ , olarak temsil edilirse iki seviyeli programlama modeli aşağıda verildiği gibi gösterilebilir.

$$(ÜS) \quad \max_{\mu, \psi} \mu \quad (1)$$

$$(AS) \quad \min_{\mathbf{x}(\psi)} f(\mathbf{x}(\psi), \psi) = -\mu \mathbf{q}^T \mathbf{y}(\mathbf{x}(\psi), \psi) + \mathbf{x}^T \mathbf{t}(\mathbf{x}(\psi), \psi) - \sum_{a \in A} \int_0^{x_a(\psi)} t_a(\psi, w) dw \quad (2)$$

Burada Denklem (1) yedek kapasite maksimizasyon problemini,  $\mu$  ise B-V matrisi çarpanını ifade etmektedir. Denklem (2) ise SKD trafik atama probleminin genel ifadesidir. Burada  $\mathbf{x}(\psi)$  sinyal vektörüne bağlı bağ akımları vektörü,  $\mathbf{q}$  talep vektörü,  $\mathbf{t}$  ve  $\mathbf{y}$  ise bağ ve rota seyahat süre vektörleri olarak temsil edilmiştir.

$$\psi(c, \varphi) \in \Omega_0; \quad \begin{cases} c_{\min} \leq c \leq c_{\max} \\ \varphi_{\min} \leq \varphi \leq c \\ \sum_{i=1}^n (\varphi + I)_i = c \end{cases} \quad (3)$$

$$x_a^*(\mu, \psi) \leq C_a(\psi, s_a) \quad (4)$$

$$\mu \mathbf{q} = \Lambda \mathbf{h}, \quad \mathbf{x}(\psi) = \delta \mathbf{h}, \quad \mathbf{h} \geq \mathbf{0} \quad (5)$$

Denklem (3) sinyal süre kısıtlarını ifade etmektedir. Burada  $\psi$  sinyal süreleri vektörü,  $\Omega_0$  sinyal sürelerinin olası çözüm kümesi,  $c$  devre süresi,  $c_{\min}$  and  $c_{\max}$  devre süresinin

alt ve üst sınırları,  $\varphi$  faz yeşil süresi,  $\varphi_{\min}$  minimum faz yeşil süresi,  $I$  yeşillerarası süre ve  $z$  kavşaktaki faz sayısı olarak ifade edilmiştir. Denklem (4)'de verilen ifade herhangi bir  $a$  bağının denge akımı değerinin ilgili bağın kapasitesine eşit ya da ondan daha küçük olması durumunu sağlamak için kullanılmıştır. Burada  $x_a^*$   $a$  bağındaki denge akımı,  $C_a$   $a$  bağının kapasitesi ve  $s_a$  ise doygun akım değeri olarak ifade edilmiştir. Denklem (5) SKD trafik ataması ile ilgili kısıtları temsil etmektedir. Burada  $\Lambda$  B-V/rota belirleme matrisi  $[\Lambda_p; \forall p \in P]$ ,  $h$  rota akım vektörü,  $\delta$  bağ/rota belirleme matrisi ve eğer  $a$  bağı rota  $p$  üzerinde ise  $\delta_{ap} = 1$  aksi takdirde  $\delta_{ap} = 0$   $[\delta_{ap}; \forall a \in A; \forall p \in P]$ . SKD ataması problemi Bell ve Shield (1995) tarafından geliştirilen Rota Akım Tahmin (RAT) algoritması kullanılarak etkin bir biçimde çözülebilmektedir. Bu nedenle literatürde SKD atama probleminin çözümünde RAT algoritması birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Ceylan ve Bell, 2004; Baskan ve diğ., 2019a).

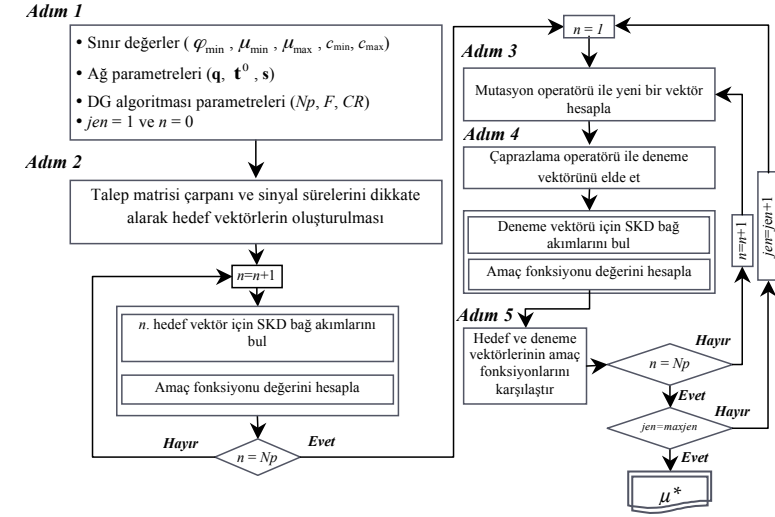
Yedek kapasite maksimizasyon problemini temsil eden Denklem (1)'de verilen ifade DG algoritmasının en küçükleme metodu olmasından dolayı Denklem (6)'da verildiği gibi minimizasyon problemi olarak ifade edilmiş ve ifadenin sağ tarafı ceza fonksiyonu olarak oluşturulmuştur.

$$\min u = \frac{1}{\mu} + \sigma \left[ \sum_{a \in A} \max(x_a^* - C_a, 0) \right] \quad (6)$$

$\sigma$  parametresi ceza fonksiyonuna ait ağırlık katsayısını temsil etmektedir. Ceza fonksiyonunun kullanılması ile herhangi bir  $a$  bağının denge akımı ilgili bağın kapasitesinden fazla ise bu durum minimizasyon problemine ceza olarak uygulanacak aksi durumda ise fonksiyon değerinde herhangi bir değişiklik olmayacaktır.

## İki Seviyeli Programlama Modeli

Geleneksel olarak iki seviyeli programlama bir çift optimizasyon probleminden oluşan programlama tekniği olarak tanımlanmaktadır. Bu tür programlamada üst seviye ve alt seviyelerin parametreleri her iki seviye için girdi ve çıktı olarak kullanılmaktadır. Genel olarak bu tür programlama modelinde meta-sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise Storn ve Price (1997) tarafından geliştirilen DG algoritması kullanılmıştır. DG algoritması popülasyon temelli olup kompleks optimizasyon problemlerinin çözümünde literatürde birçok farklı alanda uzun yıllardır kullanılmaktadır. DG algoritması herhangi bir optimizasyon probleminin çözümünde en uygun ya da en uyguna yakın sonuçlara ulaşmak için mutasyon, çaprazlama ve seçim operatörlerini kullanmaktadır. Algoritmada diğer meta-sezgisel algoritmalara kıyasla daha az kontrol parametresi bulunmaktadır.  $F$  ile belirtilen mutasyon faktörü ve  $CR$  olarak ifade edilen çaprazlama oranı algoritmada kullanılan kontrol parametreleridir. Bunun dışında tüm toplum temelli meta-sezgisel algoritmalar gibi  $Np$  ile belirtilen toplum büyüklüğü parametresinde kullanılmaktadır. Yedek kapasite probleminin çözümü için geliştirilen DG algoritması tabanlı iki seviyeli programlama modelinin beş adımlı çözüm algoritması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1 DG algoritması tabanlı yedek kapasite maksimizasyon modeli

**Adım 1:** Başlangıç olarak da adlandırılan bu adımda talep çarpımı, devre süresi ve faz yeşil sürelerinin sınır değerleri, ulaşım ağı ile ilgili parametreler (B-V matrisi, bağ serbest akım seyahat süreleri, doygun akım) ve DG algoritması parametreleri tanımlanmalıdır. Ayrıca  $n$  ile belirtilen sayaç değeri 0 ve  $jen$  olarak ifade edilen jenerasyon sayısı ise 1 olarak alınmalıdır.

**Adım 2:** Bu adımda talep çarpımı ve sinyal süreleri alt ve üst sınır değerleri dikkate alınarak başlangıç toplumu oluşturulmaktadır. Oluşturulan matrisin satır sayısı  $Np$  olarak ifade edilen toplum büyüklüğü kadar sütun sayısı ise probleme özgü olarak belirlenen karar değişkeni sayısı kadar olmaktadır. Sonrasında toplum içindeki her bir çözüm vektörüne ait SKD bağ akımları ve Denklem (6)'da verilen amaç fonksiyonu değerleri hesaplanmaktadır. Denklem (7)'de başlangıç toplumu ve çözüm vektörleri gösterilmektedir. Burada  $\varphi_{i,j}$  notasyonu  $i$ . kavşağın  $j$ . fazının yeşil süresini,  $z_n$  ise  $n$ . kavşaktaki faz sayısını temsil etmektedir ( $i=1,2,\dots,N$  ve  $j=1,2,\dots,z_n$ ).

$$\begin{bmatrix} \text{B-V} & \text{Devre} & & & & \text{Yeşil} \\ \text{çarpımı} & \text{süresi} & & & & \text{süre} \\ \mu^1 & c^1 & \varphi_{1,1}^1 & \varphi_{1,2}^1 & \dots & \varphi_{1,z_1}^1 & \varphi_{2,1}^1 & \dots & \varphi_{N,z_n}^1 \\ \mu^2 & c^2 & \varphi_{1,1}^2 & \varphi_{1,2}^2 & \dots & \varphi_{1,z_1}^2 & \varphi_{2,1}^2 & \dots & \varphi_{N,z_n}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu^{Np-1} & c^{Np-1} & \varphi_{1,1}^{Np-1} & \varphi_{1,2}^{Np-1} & \dots & \varphi_{1,z_1}^{Np-1} & \varphi_{2,1}^{Np-1} & \dots & \varphi_{N,z_n}^{Np-1} \\ \mu^{Np} & c^{Np} & \varphi_{1,1}^{Np} & \varphi_{1,2}^{Np} & \dots & \varphi_{1,z_1}^{Np} & \varphi_{2,1}^{Np} & \dots & \varphi_{N,z_n}^{Np} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \text{Amaç} \\ \text{fonksiyonu} \\ u(x^*(\Gamma), \Gamma)^1 \\ u(x^*(\Gamma), \Gamma)^2 \\ \dots \\ u(x^*(\Gamma), \Gamma)^{Np-1} \\ u(x^*(\Gamma), \Gamma)^{Np} \end{bmatrix} \quad (7)$$



**Adım 3:** Bu adımda rastgele ve birbirinden farklı olarak toplum içinden seçilen üç adet çözüm vektörü ve  $F$  faktörü kullanılarak mutasyon operatörü gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada seçilen üç farklı vektör aynı zamanda hedef vektörden de farklı olmaktadır. Mutasyona uğramış vektör Denklem (8)'de verilen ifade ile elde edilebilmektedir. Burada  $r_0$ ,  $r_1$  ve  $r_2$  rastgele seçilen vektörlerin indislerini temsil etmektedir.

$$\rho_{i,jen} = \Gamma_{r_0,jen} + F \cdot (\Gamma_{r_1,jen} - \Gamma_{r_2,jen}) \quad (8)$$

**Adım 4:** Bu aşamada çaprazlama operatörü kullanılarak hedef vektör ve mutasyona uğramış vektörden deneme vektörü adı verilen yeni vektör Denklem (9)'da görüldüğü gibi oluşturulmaktadır.

$$\mathbf{E}_{i,jen} = \varepsilon_{j,i,jen} = \begin{cases} \rho_{j,i,jen} & \text{Eğer } (rastgele(0,1) \leq CR \text{ or } j = j_{rastgele}) \\ \gamma_{j,i,jen} & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (9)$$

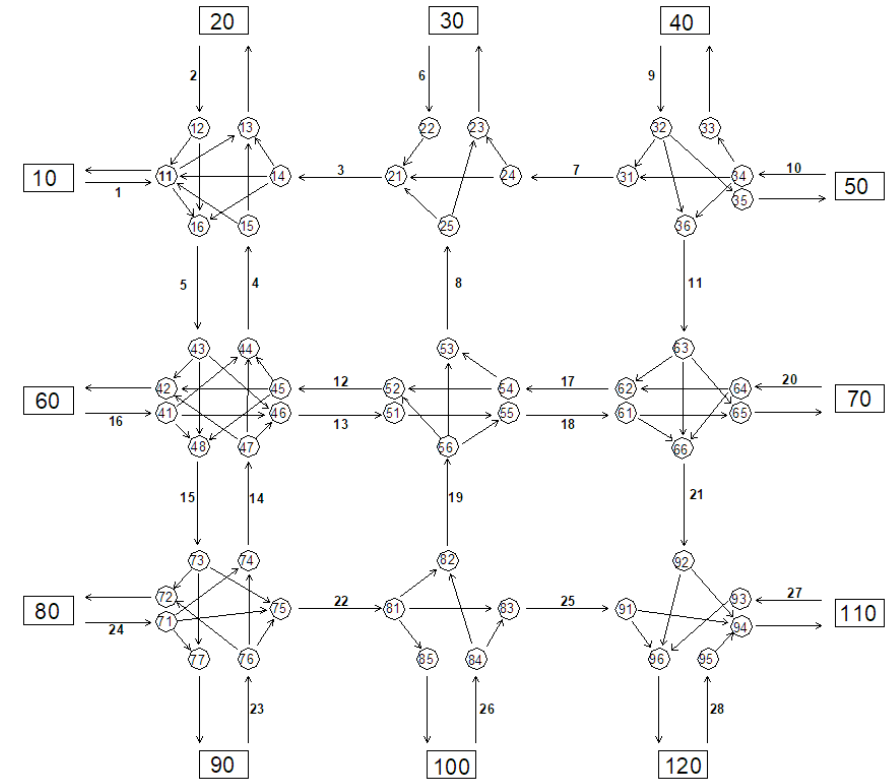
**Adım 5:** DG algoritmasının son adımı seçim operatörüdür. Bu aşamada hedef ve deneme vektörlerinin amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılmakta ve daha küçük değer veren vektör bir sonraki jenerasyona aktarılmaktadır. Seçim işlemi Denklem (10)'da görüldüğü gibi ifade edilebilmektedir.

$$\Gamma_{i,jen+1} = \begin{cases} \mathbf{E}_{i,jen} & \text{Eğer } u(\mathbf{x}^*(\mathbf{E}_{i,jen}), \mathbf{E}_{i,jen}) \leq u(\mathbf{x}^*(\Gamma_{i,jen}), \Gamma_{i,jen}) \\ \Gamma_{i,jen} & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (10)$$

DG algoritması seçilen maksimum jenerasyon sayısına ( $maxjen$ ) ulaşılan kadar veya önceden belirlenen durma kriteri sağlanıncaya kadar devam ettirilmektedir.

## Sayısal Uygulama

Yedek kapasite maksimizasyonu probleminin çözümü için geliştirilen iki seviyeli programlama modeli, literatürde Gartner ve diğ. (1974) tarafından verilen ulaşım ağının modifiye edilmiş hali üzerinde test edilmiştir. Şekil 2'de verilen ulaşım ağı 96 adet B-V çifti, 9 adet sinyalizasyon kavşak ve 28 adet bağdan oluşmaktadır. Her kavşak 2 fazlı olarak işletilmektedir (Jovanovic ve diğ., 2017). Minimum faz yeşil süresi 7 sn, minimum ve maksimum devre süreleri ise sırasıyla 30 ve 120 sn olarak alınmış olup bu değerler sinyal kontrolü ile ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, yeşillerarası süre 5 sn ve B-V matrisi çarpanının minimum ve maksimum değerleri sırasıyla 1 ve 3 olarak seçilmiştir. Doygun akım değeri 1800 ta/sa/şe, serbest akım hızı ise 50 km/sa olarak alınmıştır. Tablo 1'de bağ uzunlukları ve serbest akım hız kabulüne bağlı olarak elde edilen serbest akım seyahat süreleri verilmiştir. Ulaşım ağındaki giriş bağlarının (1, 2, 6, vd.) serbest akım seyahat süreleri 1 sn olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2 Test Ulaşım Ağı

Tablo 1 Bağ uzunlukları ( $l_a$ ) ve serbest akım seyahat süreleri ( $t^0$ )

Bağ Numarası	$l_a$ (m)	$t^0$ (sn)	Bağ Numarası	$l_a$ (m)	$t^0$ (sn)	Bağ Numarası	$l_a$ (m)	$t^0$ (sn)
3	183	13.18	12	183	13.18	18	244	17.57
4	305	21.96	13	183	13.18	19	168	12.10
5	305	21.96	14	168	12.10	21	168	12.10
7	244	17.57	15	168	12.10	22	183	13.18
8	305	21.96	17	244	17.57	25	244	17.57
11	305	21.96						

Tablo 2'de görüldüğü üzere 96 adet B-V çiftinden oluşan talep matrisinde toplam seyahat talebi saatlik 6344 taşıttır. Geliştirilen DG algoritması tabanlı iki seviyeli programlama modelinde  $F$  ve  $CR$  parametreleri literatürle uyumlu olarak 0.80 olarak seçilmiştir (Baskan ve diğ., 2019a). Test ulaşım ağındaki kavşaklara ait devre süreleri, faz yeşil süreleri ve B-V matrisi çarpanı göz önüne alındığında optimizasyon probleminin karar değişkeni sayısı 28'dir. Bu nedenle algoritmada  $N_p$  toplum büyüklüğü sayısı 60 olarak seçilmiştir. Maksimum jenerasyon sayısı ( $maxjen$ ) ise 300 olarak alınmıştır. İki seviyeli programlama modelinin DG algoritması ile çözülmesi neticesinde amaç fonksiyonu değeri 0.807 ve B-V matrisi çarpanının maksimum değeri

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

#### Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

yaklaşık 1.24 olarak elde edilmiştir. Elde edilen maksimum B-V matrisi çarpanı için en iyi sinyal süreleri Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 2 B-V talep matrisi (taşıt/saat)

B/V	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
10	--	100	100	--	--	100	100	100	100	100	100	100
20	60	--	60	--	--	60	60	60	60	60	60	60
30	60	60	--	--	--	60	60	60	60	60	60	60
40	60	60	60	--	60	60	60	60	60	60	60	60
50	40	40	40	40	--	40	40	40	40	40	40	40
60	50	50	50	--	--	--	50	50	50	50	50	50
70	70	70	70	--	--	70	--	70	70	70	70	70
80	90	90	90	--	--	90	90	--	90	90	90	90
90	110	110	110	--	--	110	110	110	--	110	110	110
100	30	30	30	--	--	30	30	30	30	--	30	30
110	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	45
120	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	69	--

Tablo 3 En iyi sinyal süreleri

Devre Süresi (sn)	Kavşak numarası	Yeşil süreler (sn)	
		Faz 1 $\phi_{1,1}$	Faz 2 $\phi_{1,2}$
120	1	55	55
56	2	15	31
35	3	8	17
110	4	28	72
96	5	56	30
84	6	38	36
120	7	41	69
89	8	43	36
74	9	34	30

Tablodan görülebileceği gibi elde edilen en iyi faz yeşil ve kavşak devre süreleri analiz başlangıcında göz önüne alınan sınır şartlarını sağlamaktadır. Analiz sonucunda elde edilen SKD bağ trafik hacimleri ve doyumluk dereceleri Tablo 4'te görülmektedir.

Tablo 4 Bağ trafik hacimleri ve doyumluk dereceleri

Bağ Numarası	Bağ trafik hacimleri (ta/sa)	Doyumluk Derecesi (%)	Bağ Numarası	Bağ trafik hacimleri (ta/sa)	Doyumluk Derecesi (%)
1	1116	68	15	2043	99
2	666	40	16	558	61
3	1287	78	17	857	41
4	744	45	18	1198	74
5	2350	99	19	259	23
6	666	67	20	783	48
7	620	64	21	1001	69
8	756	38	22	1378	79
9	814	47	23	1008	49
10	550	67	24	1224	99
11	620	40	25	659	40
12	830	91	26	333	19
13	1669	79	27	56	7
14	1485	63	28	86	12

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

#### Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

Toplam B-V talebi yaklaşık % 24 artırılarak 7866 ta/sa değerine ulaşmasına rağmen Tablo 4'ten görüldüğü gibi bağlara ait doyumluk dereceleri 1'in altındadır. Test ulaşım ağında 5, 15, ve 24 numaralı bağlar 0.99 değeriyle en yüksek doyumluk derecesine sahip bağlar olup, 27 ve 28 numaralı bağlar ise en az doyumluk derecesine sahip bağlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonuç olarak analiz sonuçları bağ kapasiteleri aşılmadan test ulaşım ağının yaklaşık % 24'lük bir yedek kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir.

### Sonuçlar ve Öneriler

Bilindiği gibi kentiçi ulaşım ağlarındaki seyahat talebi artan nüfus, hareketlilik ihtiyacı ve arazi kullanımlarındaki plansızlıklar neticesinde günden güne artmaktadır. Yerel yöneticiler ise artan ulaşım talebi ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan trafik kaynaklı problemlerin en aza indirilebilmesi için yoğunlukla yüksek maliyetli çözümleri tercih etmektedirler. Ancak özellikle gelişmekte olan ülkeler açısından yerel ve makro ölçekte ülke kaynaklarının verimli kullanılması önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmada yedek kapasite maksimizasyonu probleminin çözümü için DG algoritması tabanlı iki seviyeli programlama modeli geliştirilmiştir. Üst seviyede ulaşım ağına ait B-V seyahat matrisi çarpanının maksimum yapılması hedeflenirken alt seviyede ise talep matrisindeki değişikliklere karşı sürücülerin tepkileri SKD trafik atama probleminin çözülmesi ile temsil edilmiştir. İki seviyeli modelin çözümü için DG algoritması kullanılmıştır. SKD trafik atama problemi ise RAT algoritması ile çözülmüştür. Geliştirilen iki seviyeli modelin uygulanabilirliği büyük ölçekli bir ulaşım ağında test edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde bağların kapasitelerini aşmama koşulu altında test ulaşım ağının B-V matrisinin % 24 artırılarak toplam seyahat talebinin yaklaşık olarak 7900 ta/sa olabileceği sonucuna varılmıştır. Sonuçlar yüksek maliyetli kapasite artırımı yöntemleri yerine en uygun sinyal sürelerinin belirlenmesi neticesinde ulaşım ağının kapasitesinin kayda değer bir oranda artırılabilirliğini göstermiştir. Elde edilen bulgular, karar vericiler tarafından yüksek maliyetli yatırımlar yaparak ulaşım ağlarında kapasite artırımına gidilmeden önce uygun sinyal sürelerinin belirlenmesi ile yedek kapasite yaratılmasının kaynakların verimli kullanılması noktasında oldukça önemli olduğunu göstermektedir.

### Kaynaklar

Allsop, R. E. (1972) Estimating the traffic capacity of a signalized road junction. *Transportation Research*, 6, 245-255.

Baskan, O. and Ozan, C. (2017) Reserve Capacity Model for Optimizing Traffic Signal Timings with an Equity Constraint. H. Yaghoubi (Edt.), *Highway Engineering*, pp. 1-15, IntechOpen.

Baskan, O., Ceylan, H., and Ozan, C. (2019a) A Simultaneous Solution for Reserve Capacity Maximization and Delay Minimization Problems in Signalized Road Networks. *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2019, Article ID 6203137, 18 pages.

Başkan, Ö., Ozan, C., ve Ceylan, H. (2019b) Kentiçi Karayolu Ağlarında Işık Süreleri Dikkate Alınarak Yedek Kapasitenin Belirlenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, ISSN: 1308-6693, (kabul edildi)

Bell, M.G.H. and Shield, C.M. (1995) A log-linear model for path flow estimation. In Proceedings of the 4th International Conference on the Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering, Y. J. Stephanedes and F. Filippi, Eds., pp. 695–699, Capri, Italy.

Ceylan, H. and Bell, M. G. H. (2004) Reserve capacity for a road network under optimized fixed time traffic signal control. Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations, 8(2), 87-99.

Chiou, S.-W. (2007) Reserve capacity of signal-controlled road network. Applied Mathematics and Computation, 190 (2), 1602-1611.

Chiou, S.-W. (2009) Optimization for signal setting problems using non-smooth techniques. Information Sciences, 179, 2985-2996.

Chiou, S.-W. (2014) Optimal signal-setting for road network with maximum capacity. Information Sciences, 273, 287-303.

Jovanovic, A., Nikolic, M., and Teodorovic, D. (2017) Area-wide urban traffic control: A Bee Colony Optimization approach. Transportation Research Part C, 77, 329-350.

Gartner, N.H., Little, J., and Gabbay, H. (1974) Optimization of Traffic Signal Settings in Network by Mixed-Integer Linear Programming. Operations Research Center Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Massachusetts.

Miandoabchi, E. and Farahani, R.Z. (2011) Optimizing reserve capacity of urban road networks in a discrete network design problem. Advances in Engineering Software, 42 (12), 1041-1050.

Storn, R. and Price, K. (1997) Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. Journal of Global Optimization, 11(4), 341–359.

Webster, F.V., and Cobbe, B.M. (1966) Traffic signal. Road Research Technical Paper No. 56, HMSO, London.

Wong, S.C. and Yang, H. (1997) Reserve capacity of a signal-controlled road network. Transportation Research Part B, 31, 397-402.

Yagar, S. (1985) Addressing errors and omissions in paper on intersection capacity maximization. Transportation Research Part B, 19, 81-84.

Yang, H., Bell, M.G.H., and Meng, Q. (2000) Modeling the capacity and level of service of urban transportation networks. Transportation Research Part B, 34(4), 255-275.

Ziyou, G. and Yifan, S. (2002) A reserve capacity model of optimal signal control with user-equilibrium route choice. Transportation Research Part B, 36, 313-323.

## Yaya Öncelikli Yol Ağına Sahip Bir Kampüste Sürdürülebilir Trafik Yönetimi İçin Taşıt Hızlarının Kontrolü

### Mustafa Sinan Yardım

YTÜ İnşaat Fak. İnşaat Müh. Böl.  
Davutpaşa Kampüsü, 34210, Esenler-  
İstanbul

Tel: (212) 383 51 83  
yardim@yildiz.edu.tr

### Merve Yetimoğlu

İstanbul Aydın Üniv., Anadolu Bil  
MYO İnşaat Böl. 40802  
Küçükçekmece/İstanbul

Tel: (0212) 4441428  
merveyetimoglu@aydin.edu.tr

### Selim Dündar

İstanbul Okan Üniv., Müh. Fak., İnşaat Müh. Böl.  
34959 Akfırat/İstanbul

Tel: (216) 677 16 30 /2436  
selim.dundar@okan.edu.tr

## Öz

Bu bildiriye “yaya öncelikli yol” ağına sahip bir alan olan Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü’nde, taşıt hızlarının kontrolüne yönelik özgün trafik sakinleştirme çalışmaları ve bunların etkilerine dair bulgular sunulmuştur. Davutpaşa kampüsünde, hız sınırı değerleri bina girişleri tarafındaki yollarda 20 km/sa, diğer yollarda 30 km/sa’tir. Çalışmada üç hipotez öne sürülmüştür. İlki, kampüste yol ağındaki taşıt hızlarının yüksek olduğudur. İkincisi, yüksek maliyetli yol geometrik düzenlemeleri yapmadan, kısıtlı bütçeyle bazı eğitim, bilinçlendirme, yatay ve dikey işaretleme teknikleriyle taşıt hızlarını düşürme potansiyelinin bulunduğudır. Üçüncüsü ise, sürekli bir denetim olmaması durumunda, hızların tekrar yükselme eğilimine girebileceğidir. Yapılan, gözlem, ölçüm ve hesaplamalarla her üç hipotez de doğrulanmış olup, sürdürülebilir bir kampüs trafik yönetimi için önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Üniversite kampüsü, sakinleştirme, sürdürülebilir trafik yönetimi, yaya öncelikli yol ağı, RTMS detektörü.

## Giriş

Tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de motorlu taşıtların sayısı hızla artmaktadır. Bu durum, kapasitelerini aşan yollara, taşıtlar ve yayalar arasındaki trafik çatışmalarına yol açmakta ve beraberinde yeni çözüm arayışlarını gündeme getirmektedir. Çözümü aranan en temel sorunlar yüksek hızlar ve akışı zorlaştıran yüksek trafik hacimleridir. Yüksek hızlar güvenlik problemlerinin, yüksek hacimler gecikmelerin temel nedenini oluşturmaktadır. Hız orijinli problemlerin çözüm yollarından biri de hızları düşürerek

kontrol altına almaya yarayan trafik sakinleştirme uygulamalarıdır. İngilizce “traffic calming” terimiyle karşılanan sakinleştirme kavramı için dilimizde, durulaştırma, durultma ve yavaşlatma terimleri de kullanılmaktadır.

Trafik sakinleştirme uygulamalarının amacı tüm kullanıcılar için güvenli bir alan yaratarak konforlu bir ulaşım sağlamaktır. Çoğu zaman bu durum, hızların düşük seyrettiği sakin ve istikrarlı bir trafik akışını gerektirmektedir. Bu bağlamda, trafik sakinleştirme kavramı, “motorlu taşıtların olumsuz etkilerini azaltarak sürücü davranışlarını değiştiren, farklı türler (yaya, motorlu ve motorsuz taşıt kullanıcıları) arasında çatışma koşullarını iyileştiren ve karayolu ağına bütünleşik (entegre) bir müdahale stratejisi olarak uygulanan; birlikte barışçıl şekilde var olma çabası” şeklinde tanımlanabilmektedir (Lockwood, 1997).

Yol ağındaki trafiğin sakinleştirilmesine gereksinim duyulan alanlardan biri de üniversite kampüsleridir. Kampüsler, fakültelerin, araştırma enstitülerinin ve öğrencilerin kent dokusundan yalıtılarak bir araya geldiği yerleşim yerleridir. Yapıları ve nitelikleri nedeniyle, üniversite kampüsleri kuvvetli bir yaya akımını barındırır (Yardım ve Yetimoğlu, 2018). Bu yüzden kampüslerde yayaların korunduğu ve bunun sürdürülebilirliğinin sağlandığı bir ulaşım altyapısı oluşturulması gerekmektedir. Ülkemizde 2015 yılında, Yükseköğretim Kurulu’nun üniversite rektörlüklerine kampüs içi karayolu ağlarının “yaya öncelikli yol” olması gerektiği yönündeki talimatı da sürdürülebilir bir ulaşım altyapısının önemini işaret etmektedir.

Bu çalışmada, Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Davutpaşa Kampüsü yaya öncelikli yol ağında, taşıtların ortalama seyir hızlarının, sınırların üzerinde olduğu belgelenmiştir (Hipotez 1). YTÜ Davutpaşa Kampüsü düşük bütçeli ve kısa sürede uygulama imkânı bulunan bazı trafik sakinleştirici etkinlikler ile (yatay ve düşey trafik işaretlemeleri, elektronik posta ile bilgilendirme çalışmaları) yüksek seyreden taşıt hızlarının düşürülebileceği düşünülmüştür (Hipotez 2). YTÜ Davutpaşa Kampüsü’nde sürekli bir denetim olması durumunda ortalama hızlardaki düşüşlerin kalıcı olabileceği; denetimin yapılmaması durumunda ise hızların tekrar yükselebileceği düşünülmektedir (Hipotez 3). Yapılan gözlem, ölçüm ve hesaplamalar sonucunda, her üç hipotezin doğrulandığı gösterilmiş olup, öneriler sunulmuştur.

### Trafik Sakinleştiricilerin Tarihsel Gelişimi

Literatür, trafiği sakinleştirmenin kentsel alanlarda trafik kazalarını azaltmak için uygulanan çözümlerin önemli bir parçası olduğunu göstermektedir. Hızları kontrol etme girişimlerinin bazı erken tarihsel örnekleri olsa da, trafiği sakinleştirme, modern haliyle 1960’ların sonundan itibaren görülmeye başlamıştır. 1960’ların sonunda Hollanda’nın Delft şehrinde, bir semtteki sakinlerin “arabaların caddelerde yarattığı olumsuz etkilere ve yönetim tarafından bu olumsuz etkilerin giderilememesine tepkisi olarak” ortaya çıkmıştır (Nalmpantis ve diğ., 2016).

Mahalleler Delft şehrinde yaşananlardan sonra “yaşayan avlu (woonerven)” adı verilen bir yapıya dönüşmeye başlamıştır. Bu yapı motorsuz taşıt kullanıcıları ve yaya akımları için motorlu taşıt kullanıcıları ile de paylaşılabilen sosyal bir alan yaratma çabasıdır (Günay ve Aydın, 2016). İlk aşamada özellikle sürücülerden ve onları temsil eden kuruluşlar tarafından, sakinleştirici uygulamaların kabullenilmesine karşı önemli bir önyargı ve direnç mevcuttur. Ancak 1980’lerden itibaren, bu durum değişmiştir. Birçok

hükümet, yerel yetkililer, özel kuruluşlar trafik sakinleştirme uygulamalarını etkin olarak desteklemekte ve finansman sağlamaktadır (Hummel ve diğ., 2002).

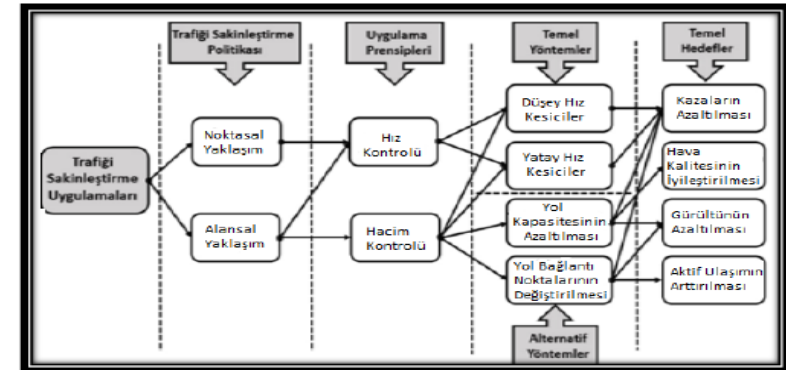
1977 yılında Almanya şerit genişliklerini düzenlemeye, yol yüzeylerine işaretlemeler yapmaya ve farklı tür kavşakların imaline başlamıştır. Benzer uygulamalar birçok Kuzey ülkesinde, İsrail ve Japonya’da da kabul görmüş ve yapılmaya başlamıştır. Sakinleştirme, özellikle Batı ülkelerinde, belediyelerin ulaşım politikalarının önemli bir parçası olmuştur ve olmaya devam etmektedir (Petersen, 2006).

Trafik sakinleştirici stratejiler, araçların hızlarını azaltmak, trafik hacimlerini düşürmek ve sürücülerin dikkatini arttırmak için tasarlanmıştır. Bunlardan bazıları; hız tümsekleri (kasisler), hız tabloları, hız yastıkları, yükseltilmiş kavşaklar, yol zemininde pürüzlü malzeme kullanımı ve yükseltilmiş yaya geçitleridir (Gonzalo-Orden ve diğ., 2006).

### Trafik Sakinleştirme Yöntemleri

Trafik sakinleştirme kavramına ilişkin literatür, ortak tek bir tanımın olmadığını ve kapsamının geniş olduğunu göstermektedir. Tanımlardan anlaşılacağı üzere, trafiği sakinleştirme, motorlu taşıt hızlarını düşürmekten başlayarak, yol ve çevre düzenlemelerine kadar pek çok alanı kapsayan bir ulaşım politikası anlamına gelebilmektedir (Ewing, 1999). Yaygın şekilde dile getirilen haliyle trafiği sakinleştirme, motorlu taşıt kullanımının olumsuz etkilerini azaltan, sürücü davranışını değiştiren ve motorsuz sokak kullanıcıları için koşulları iyileştiren temel fiziksel önlemlerin birleşimidir (Lockwood, 1997).

Hız, karayolu trafik güvenliği için risk unsurlarından biridir ve kaza olasılığını ve şiddetini etkileyebilmektedir. Hız yönetimi, son yıllarda güncel bir konu haline gelmiştir. Yatay ve dikey trafik sakinleştirici önlemlerin getirilmesinin amacı (örneğin, ağ geçitleri, hız tabloları, hız yastıkları vb.) karayolu kullanıcılarının, yollarda ve caddelerde izin verilen hızın üzerinde, konforlu seyahat edememesini sağlamaktır. Trafik sakinleştirici önlemlerin etkisi; hızlarda ve kaza oranında düşüş veya bazen de karayolu kapasitesi ile değerlendirilebilmektedir. Trafiği sakinleştirme uygulamalarının seçiminde noktasal ve alansal olmak üzere iki farklı yaklaşım benimsenebilmekte ve bunlara bağlı uygulama ilkeleri ile farklı yöntemler denenebilmektedir. Ancak hangi yaklaşım benimsenirse benimsensin, uygulamaların sonuçları karayolu ağındaki bulunan tüm farklı türler için olumlu seçenekler içermektedir (Şekil 1).



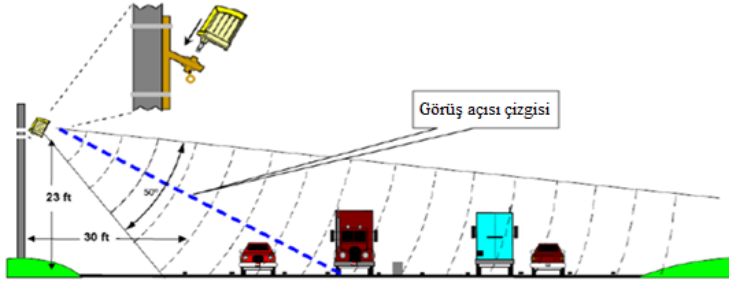
Şekil 1 Trafiği sakinleştirme yöntemleri (Günay ve Aydın, 2016).

### YTÜ Davutpaşa Kampüsünde Yapılan Saha Çalışmaları

Çalışmanın ilk aşamasında, YTÜ Davutpaşa Kampüsü'nün “Yaya öncelikli yol” ağına sahip ulaşım altyapısını kullanan taşıtlara ait mevcut seyir hızları belirlenmiş ve bulunan değerler yasal hız sınırlarıyla (20 km/sa ve 30 km/sa) karşılaştırılmıştır. Daha sonra, kampüs kullanıcıları trafik sakinleştirme çalışmaları kapsamında “Yaya öncelikli yol” konusunda, farklı yöntemler kullanılarak bilgilendirilmiş ve bilgilendirme etkinlikleri sonrasında hız ölçümleri tekrarlanmıştır. Hareket halindeki araçların hızlarını belirleyebilmek için, yol kenarı sabit hız ölçüm sistemlerinden yararlanılmıştır.

#### Hız Ölçüm Sistemlerinin Seçimi ve Kurulumu

Bilgilendirme öncesi hız ölçümlerine başlayıp, bilgilendirme sonrasında da bu ölçümlere devam edebilmek için, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin (İBB) envanterinde bulunan ve bir Uzaktan Trafik Mikrodalga Sensörü (Remote Traffic Microwave Sensor – RTMS) olan G4 model algılayıcılardan yararlanılmıştır (Şekil 2). RTMS, radar teknolojisi tabanlı bir taşıt algılama cihazıdır. 12 bitişik şeritte taşıt varlığını eşzamanlı olarak izleyebilmek için geliştirilmiştir (Wang ve diğ., 1992).



Şekil 2 RTMS sensörlerinin konumu ve fonksiyonu.

Sahada uygun algılayıcı kesitlerinin belirlenebilmesi için ön keşif yapılmıştır. Bunun ardından 33 kesit üzerinde durulmuştur (Şekil 3) (Yüzbaşı ve diğ., 2018). Ancak İBB'nin stoklarında bulunan RTMS sensörlerinin sınırlı sayıda olması nedeniyle, 33 kesit kampüsü temsil edecek şekilde 13 kesite düşürülmüştür (Şekil 4). Algılayıcıların kurulumu gerçekleştirilirken, enerji temini, kalibrasyon ve veri iletimi için modem bağlantı sorunları ekipler ile birlikte yerinde çözülmüştür.



Şekil 3 RTMS yerleştirilmesi düşünülen kesitler (ön çalışma).



Şekil 4 13 adet algılayıcının yerleştirildiği kesitler (Yüzbaşı ve diğ., 2018).

#### Bilgilendirme Öncesi Hız Ölçümleri

Cihazlar sahaya monte edilip işlerlik kazandırıldıktan sonra, verilerin toplanarak sisteme kaydedileceği zaman aralıklarının seçimi gerçekleştirilmiştir. Kampüs trafiği kalabalık olmadığından her 1 veya 2 dakikada veri gönderilmesi, sistemde boş veri bloklarına sebep olduğu için, ekonomiklik açısından tercih edilmemiştir. 5 dakika ve üzeri aralıklar da hassasiyeti yansıtmayacağı için benimsenmemiştir. Bu yüzden 3 dakika aralıkla veri kaydı ve gönderimine karar verilmiştir (Tablo 1). Bu aralığa göre bir sensörden her 3 dakikada bir olmak üzere, günde 480  $([24 \times 60] / 3)$  adet veri kaydı alınmıştır. Sensörlere yakın olan şerit 1. yönü, uzak olan şerit ise 2. yönü göstermektedir. RTMS sensörlerinin kurulumunun tamamlanmasından sonra 12 Nisan 2018 tarihinden itibaren hız ölçüm çalışmaları yapılmaya başlamıştır. Verilerin çoğunlukla düzenli ve sağlıklı olduğu görülmüştür. Bilgilendirme çalışmalarının hemen öncesinde 26 Nisan-2 Mayıs 2018 tarihleri arasında 13 sensör için düzenli ölçümlere başlanmıştır.

Tablo 1 Algılayıcılardan alınan verilerin saklanma şekli.

Msg Time	RtmsNo	S1	S2	SGelisGraf	SGidisGraf	V1	V2	O1	O2	OGelisGraf	OGidisGraf	VL1	VL2
2018-04-02 09:26:41.000	7	61	57	60	NULL	28	8	6	3	5	NULL	2	3
2018-04-02 09:29:43.000	7	60	56	59	NULL	26	7	5	2	4	NULL	1	1

#### Bilgilendirme Çalışmaları

Trafik sakinleştirici faaliyetler arasından düşük bütçeli ve göreceli olarak daha kısa sürede uygulama imkânı bulunan bazı bilgilendirme çalışmaları seçilmiştir (Tablo 2). Kampüs kullanıcılarına 03.05.2018 tarihinde akşam saatlerinde bilgilendirme amaçlı elektronik posta mesajı gönderilmesi sebebiyle, bir sonraki gün olan 04.05.2018 tarihi, ölçüm çalışmalarında dikkate alınmıştır. Ayrıca yatay ve düşey işaretlemelerin (Şekil 5) 08.05.2018 tarihinde akşam saatlerinde bitmesi sebebiyle, bir sonraki gün olan 09.05.2018 tarihinde yapılan broşür (Şekil 6) dağıtımı ile ortak uygulama kabul edilmiş ve ölçümler bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2 Bilgilendirme çalışmalarının takvimi.

Sıra No	Bilgilendirme İçeriği	Tarih
1	Akademik, idari ve Teknopark personeline e-posta gönderilmesi	03.05.2018 Perşembe
2	YTÜ öğrencilerine e-posta gönderilmesi	07.05.2018 Pazartesi
3	Kampüs giriş-çıkış kapılarında yatay ve düşey işaretleme yapılması	08.05.2018 Salı
4	Kampüs giriş-çıkış kapılarında giriş yapan tüm araçlara broşür dağıtımı	09.05.2018 Çarşamba 10.05.2018 Perşembe



Şekil 5 Çeşitli kesitlerde yapılan yatay ve düşey işaretleme.



Şekil 6 Bilgilendirme broşürü.

RTMS verilerinin anlamlı hale gelebilmesi, bilgilendirme öncesinin yorumlanabilmesi ve bilgilendirme sonrası verilere ilişkin detaylı çözümleme çalışmaları yapılabilmesi için, saçılma grafikleri oluşturulmuş ve ortalama hız hesaplamaları yapılmıştır.

Hangi hız türünün çözümlenmelerde kullanılacağına karar vermek için, bilgilendirmeden önceki tarihlerdeki tüm sensörler için karşılaştırmalar yapılmıştır. Zaman-anlamlı ortalama (aritmetik ortalama) ve uzunluk-anlamlı ortalama (harmonik ortalama) hızlar, gün boyunca ölçülen en yüksek hızlar, hızların ortalamaya yakınlığını gösteren standart sapmalar, ortalama değişim (varyasyon) katsayısı ve toplam hacimler hesaplanmıştır. Ölçümlerde, hızlar arasında yüksek bir fark olmaması ve hesaplamalarda daha kolay işlem yapılabilmesi sebebiyle, zaman anlamlı ortalama hız kullanılmıştır.

#### Kampüs Yol Ağındaki Yüksek Akım Hızları

26 Nisan - 02 Mayıs tarihleri arasında tüm algılayıcılara ait ortalama hız tablosu oluşturulmuştur. Tablo 3'de görülen bu hızlar, kampüs yönetimi tarafından belirlenen sınırların oldukça üzerindedir. Yer yer sınırların 2-2,5 katına çıkan ortalama hızlar belirlenmiştir. Bu sonuçlar Hipotez 1'i doğrulamaktadır.

Tablo 3 Bilgilendirme öncesi ortalama hızlar (km/sa).

Sıra	Algılayıcı	Yön	26.04.18	27.04.18	30.04.18	01.05.18	02.05.18
1	İnşaat Fakültesi Önü	1	33	31	33	39	33
		2	36	36	35	42	38
2	Yabancı Diller – İnşaat Fakültesi Arası	1	Arıza				
		2	52	52	52	57	53
3	Kütüphane Kongre Merkezi Önü	1	44	52	Arıza		52
		2	46	52	0	42	
4	Teknopark Önü	1	47	49	50	57	50
		2	45	49	53	51	52
5	İnşaat Fakültesi – Atölyeler Arası	1	68	68	70	69	67
		2	72	71	72	71	71
6	Sanat Tasarım Fakültesi - Yemekhane Arası	1	36	38	33	43	37
		2	53	54	52	52	54
7	İktisat Fakültesi Önü	1	55	58	55	85	50
		2	50	45	51	58	50
8	Kongre Merkezi Arkası	1	52	55	51	Arıza	
		2	57	56	56	0	
9	A Girişi Rampası	1	63	62	61	67	62
		2	56	58	58	57	55
10	Rektörlük Binası Önü	Tek	47	44	43	Arıza	48
		1	68	58	72	71	76
11	Kütüphane Otoparkı Önü	1	68	64	69	68	68
		2	68	64	69	68	68
12	Halı Saha	1	74	72	70	69	73
		2	56	59	55	56	52
13	B Girişi Camii Arası	1	51	49	46	59	48
		2	42	33	39	53	43

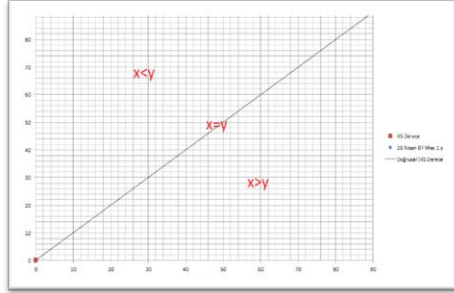
Bilgilendirme çalışmalarından önceki hafta olan 26 Nisan - 02 Mayıs tarihleri arasında yüksek seyreden taşıt hızlarının bilgilendirme sonrasındaki değişimini çözümlenebilmek için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kampüse giriş çıkışların büyük oranda gerçekleştiği A giriş kapısında bulunan 9 Nolu sensör için bilgilendirme çalışması öncesi ve sonrası hem 24 saatlik, hem de mesai saatlerini kapsayan ve kampüs yol ağının en çok kullanıldığı 08.00 - 18.00 saatleri arasındaki verileri karşılaştırılarak saçılma grafikleri oluşturulmuştur. Daha sonra saçılma grafiklerindeki köşegenin altında ve üstünde kalan araçların sayıları belirlenerek, değişimin incelenmesi hedeflenmiştir. Son olarak tüm algılayıcılardan elde edilen hızların aritmetik ortalamaları ve bu tarihlerdeki değişimi incelenmiştir.

#### Saçılma Grafikleri Yardımıyla Hız Değişimlerinin Değerlendirilmesi

Bir kartezyen koordinat sistemindeki köşegenin altındaki ve üstündeki belirli hızlardaki araç sayısının saçılmasının tesbit edilerek, değişimin görülebilmesi amacıyla, saçılma diyagramları çizilmiştir. Saçılma grafiklerinde x eksenini bilgilendirme öncesi hızı (önceki hız), y eksenini ise bilgilendirme sonrası hızı (sonraki hız) göstermektedir. Veriler, köşegenin üst tarafında yoğunlaşıyorsa, yani  $x < y$  ise; akım hızlarının bilgilendirme sonrasında arttığını, alt tarafında yoğunlaşıyorsa, yani  $x > y$  ise, akımların hızlarının azaldığını, köşegenin üzerinde yani  $x=y$  ise, akım hızlarında hiçbir değişiklik olmadığını göstermektedir (Şekil 7).

Örnek olarak verilen, 9 Nolu sensörün saçılma grafikleri incelendiğinde öncelikle bilgilendirme sonrasında hızların hem 08.00 - 18.00 saatleri arasında, hem de 24 saatlik zaman diliminde düşmeye başladığı görülebilmektedir. Bu durum, Hipotez 2'nin doğrulandığını göstermektedir. Yani trafik sakinleştirici önlemler etkisini göstererek,

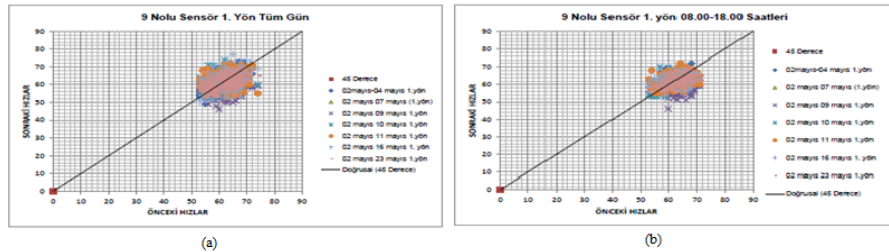
hızlar düşmeye başlamıştır. Ayrıca, yapılan çalışma detaylandırıldığında 08.00 - 18.00 saatleri arasında akım hızlarında gözlenen düşüşün, 24 saatlik zaman dilimindeki akım hızlarına göre daha fazla olduğu görülebilmektedir (Tablo 4, Şekil 8).



Şekil 7 Saçılma grafiklerinin anlamlandırılması.

Tablo 4 02 Mayıs 2018 verilerinin saçılma grafiğindeki köşegen göre durumları.

9 Nolu Sensör 1. Yön Tüm Gün (24 Saat)								
Tarihler	>02 Mayıs (Köşegenin Üstünde)	> (%)	<02 Mayıs (Köşegenin Altında)	< (%)	=02 Mayıs (Köşegenin Üzerinde)	= (%)	Toplam (Adet)	Toplam (%)
04.05.18	105	%45,3	107	%46,1	20	%8,6	232	%100,0
09.05.18	104	%27,2	253	%66,2	25	%6,5	382	%100,0
10.05.18	95	%37,8	132	%52,6	24	%9,6	251	%100,0
11.05.18	176	%50,9	144	%41,6	26	%7,5	346	%100,0
16.05.18	168	%45,7	164	%44,6	36	%9,8	368	%100,0
23.05.18	150	%40,2	189	%50,7	34	%9,1	373	%100,0
9 Nolu Algılayıcı 1.Yön 08.00-18.00 Saatleri								
Tarihler	>02 Mayıs (Köşegenin Üstünde)	> (%)	<02 Mayıs (Köşegenin Altında)	< (%)	=02 Mayıs (Köşegenin Üzerinde)	= (%)	Toplam (Adet)	Toplam (%)
04.05.18	69	%41,6	82	%49,4	15	%9,0	166	%100,0
09.05.18	39	%19,8	148	%75,1	10	%5,1	197	%100,0
10.05.18	33	%24,1	89	%65,0	15	%10,9	137	%100,0
11.05.18	97	%50,3	78	%40,4	18	%9,3	193	%100,0
16.05.18	94	%47,7	89	%45,2	14	%7,1	197	%100,0
23.05.18	67	%34,4	110	%56,4	18	%9,2	195	%100,0



Şekil 8 02 Mayıs 2018-bilgilendirme sonrası (a) tüm gün (24 saat) için, (b) 08.00-18.00 saatleri arası saçılma grafikleri.

Bilgilendirme çalışmalarından sonra 08.00-18.00 saatleri arasındaki zaman diliminde hızlardaki düşüşün seyri tüm algılayıcılar için ayrıca incelenmiştir. Bir diğer önemli sonuç ise, bilgilendirme tarihlerinden (09.05.2018 tarihinden sonrası için)

uzaklaşılırdıkça hızların yavaş yavaş yükselmeye başladığı gerçeğidir (Tablo 5). Bu da Hipotez 3'ü doğrulamaktadır. Ayrıca saçılma diyagramlarındaki farkların anlamlılığını test etmek için Bağımsız İki Örnek t-Testi, RTMS verileri elde edilen 11 gün için hızlardaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlılığını sınamak için ANOVA testi uygulanmıştır. Test sonucunda bilgilendirme çalışmaları öncesi ve sonrasındaki hız farklılıklarının anlamlı olduğu, görülmüştür.

Tablo 5 1. yön için bilgilendirme sonrası 08.00-18.00 saatleri arası hız değişimleri

Sıra	Kesit Adı 1. Yön	İşaretleme + Broşür Dağıtımı		Bilgilendirme Sonrası 1. Gün		Bilgilendirme Sonrası 2. Gün		Bilgilendirme 1 Hafta Sonrası		Bilgilendirme 2 Hafta Sonrası	
		09.05.18	10.05.18	Hız Değ.	11.05.18	Hız Değ.	16.05.18	Hız Değ.	23.05.18	Hız Değ.	
		km/sa	km/sa	%	km/sa	%	km/sa	%	km/sa	%	
1	İnşaat Fakültesi Önü	29	30	%3,4	32	%10,3	31	%6,9	30	%3,4	
2	Yabancı Diller-İnşaat Fak. Arası (23-25).04.2018	49	48	-%2,0	49	%0,0	46	-%6,1	48	-%2,0	
3	Kütüphane Kongre Mer. Önü	49	50	%2,0	50	%2,0	52	%6,1	52	%6,1	
4	Teknopark Önü	45	46	%2,2	36	-%20,0	46	%2,2	49	%8,9	
5	İnşaat Fakültesi Atölyeler Arası	60	60	%0,0	67	%11,7	63	%5,0	63	%5,0	
6	Sanat Tas. Fak.-Yemek Arası	35	Arıza		35	%0,0	36	%2,9	34	-%2,9	
7	İktisat Fakültesi Önü	40	40	%0,0	46	%15,0	52	%30,0	49	%22,5	
8	Kongre Merkezi Arkası	59	53	-%10,2	56	-%5,1	56	-%5,1	52	-%11,9	
9	A Giriş Rampası	56	59	%5,4	60	%7,1	63	%12,5	62	%10,7	
10	Rektörlük Binası Önü	46	46	%0,0	47	%2,2	47	%2,2	47	%2,2	
11	Kütüphane Otoparkı Önü	75	70	-%6,7	71	-%5,3	70	-%6,7	75	%0,0	
12	Halı Saha	71	70	-%1,4	69	-%2,8	76	%7,0	82	%15,5	
13	B Girişi-Camii Arası	46	47	%2,2	47	%2,2	49	%6,5	49	%6,5	

## Sonuç

Bu çalışma, YTÜ Davutpaşa Kampüsü'nün güncel sorunlarından biri olan yüksek akım hızları ve hız güvenliği ile ilgilidir. Çalışmanın odak noktası, trafiği sakinleştirmek için kullanılan yöntemlerden biri olan hız kontrolünün üniversite kampüslerinde uygulanabilirliği üzerinedir. Radar tabanlı bir yazılım ve donanım sistemi olan RTMS tipi algılayıcılar, kampüs karayolu ağında seyreden taşıt hızlarını ölçmek için kullanılmıştır.

26 Nisan - 02 Mayıs tarihleri arasında yapılan gizli ölçümler ile sürücülerin çoğunlukla 30 km/sa'den daha yüksek hızlarda araç kullandıkları görülmüştür. Böylece, üniversite yönetimi tarafından belirlenen, bina girişlerinin bulunduğu yol bölümlerinde 20 km/sa ve diğer yollarda 30 km/sa hız sınırlarının aşıldığını ifade den Hipotez 1 doğrulanmıştır.

Üniversite genelinde tüm personel ve ziyaretçiler için yapılan bilgilendirme çalışmaları sonucunda, hızların düşebileceğinin savunulduğu Hipotez 2 istatistiksel çalışmalarla onaylanmıştır. Böylelikle yüksek hızlarda araç kullanan sürücülerin hızlarını 24 saatlik zaman diliminde ve 08.00-18.00 arasında bir miktar azalttığı görülmüştür. Bilgilendirme çalışmalarından sonraki günlerde, denetim etkinliklerinden uzaklaştıkça

hızların eski değerlerine dönmeye başladığı, sürekli takip ve denetimlerle hızlardaki düşüşün kalıcı olabileceğinin savunulduğu Hipotez 3 de böylelikle doğrulanmıştır.

Sonuçların ve etkilerin sürdürülebilir hale getirilmesi için; YTÜ Davutpaşa Kampüsü'nün "yaya öncelikli yol"lara sahip olduğunun sürekli vurgulanması, hız denetimi ve yaptırımların sürekli hale getirilmesi, hızın düşürülemediği veya sınırlı düzeyde kaldığı kesitlerde bunların nedenlerinin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi, bazı kesitlerin yeniden tasarlanması, "kavşak aralıkları-kasis yeri" ilişkilerinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi önerilmektedir. Bu çalışmayla, Davutpaşa Kampüsü'nde "Sürdürülebilir Akıllı Kampüs Ulaştırma Altyapısı" kurulumu için bir neden olduğu ve uygulanabilirliğinin de yüksek bir potansiyeli bulunduğu gösterilmiştir. Bu şartlarda, YTÜ'de sürdürülebilir bir kampüs trafik yönetimi için ilk adımın, bir "kampüs ulaşım otoritesi"nin kurulması kararıyla atılması yanlış olmayacaktır.

### Kaynaklar

- Ewing, R. (1999) *Traffic Calming: State of the Practice*, Institute of Transportation Engineers with funding from Federal Highway Administration.
- Gonzalo-Orden, H., Rojo, M, Perez-Acebo, H, and Linares, A. (2006) Traffic Calming Measures and Their Effect on the Variation of Speed, *Transportation Research Procedia* 18, pp. 349-356.
- Günay, B., ve Aydın, M. M. (2016) Türkiye'de Henüz Uygulanmayan "Yatay Hız Kesiciler" Üzerine Bir Literatür Taraması, *Sigma J. Eng. and Nat. Sci.* 7 (2), pp. 137-151.
- Hummel, T., Mackie, A., and Wells, P., (2002) Traffic Calming Measures in Built-Up Areas Literature Review, TRL Report, PR/SE/622/02.
- Lockwood, I. M. (1997) ITE Traffic Calming Definition., *ITE Journal*, Vol. 67, pp. 22-24.
- Nalmpantis, D., Lampou, S.-C., and Naniopoulos, A. (2016) The Concept of Woonerf Zone Applied in University Campuses: The Case of the Campus of the Aristotle University of Thessaloniki, *3. Conference on Sustainable Urban Mobility*, Volos, pp. 452-453.
- Petersen, R. (2006) *The Effectiveness of Low-Cost Traffic Calming Applications Appropriate for Main Streets Through Rural Communities*, Ms Thesis Iowa State Univ.
- Wang, J.-K., White, J., and Manor, D. (1992) The Remote Traffic Microwave Sensor (RTMS). *Transportation : A Key to Canadian Competitiveness. Proceedings of the 1992 Annual Conference of the Transportation, Quebec City*, Vol. 4., Quebec, Sep. 13 to 17.
- S. Yüzbaşı, S., Özdemir, C., Çınar, B. ve Öncel, M. (2018) Yaya Öncelikli Yol Ağlarında Akım Hızlarının Belirlenerek Bazı Trafik Yavaşlatma Önerilerinin Uygulanması: YTÜ Davutpaşa Kampüsü Örneği, Lisans Bitirme Ödevi, Danışman: Mustafa Sinan Yardım, YTÜ İnşaat Fak. İnşaat Müh. Böl., İstanbul.
- Yardım, M. S. ve Yetimoğlu, M. (2018) Yaya Öncelikli Yol Ağlarında Hız Kontrolü Odaklı Sürdürülebilir Trafik Sakinleştirme Uygulamaları: Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü Örneği, *EJONS-International Refereed and Indexed Journal On Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, Vol. 3, September 1, pp. 9-21.

## IŞIKLI KAVŞAKTAN AYRILAN TAŞITLARIN OTOYOL KATILIMLARININ BAŞARIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

**İrem Merve ULU<sup>1</sup>, Serhan TANYEL<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir  
Tel: (232) 301 70 38

E-Posta: iremmerveulu@gmail.com

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir  
Tel: (232) 301 70 18

E-Posta: serhan.tanyel@deu.edu.tr

**Selim DÜNDAR<sup>3</sup>, İlgin GÖKAŞAR<sup>4</sup>**

3 Okan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tuzla, İstanbul.  
Tel: (216) 677 16 30 / 2436

E-Posta: selim.dundar@okan.edu.tr

4 Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bebek İstanbul.  
Tel: (212) 359 72 78 / 4879

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

### Öz

Çalışmada, bir ışıklı kavşaktan ayrılarak çevreyolu veya otoyol gibi kesintisiz bir akıma katılan taşıtların karşılaşabilecekleri gecikme değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, İzmir İli Buca İlçesi'nde kent içi ana arterlerden biri olan Doğuş Caddesi'nin İzmir Çevre Yolu'na bağlantı noktasında zirve saatte gözlem yapılarak; bu akıma ait zaman cinsinden takip aralığı verileri toplanmıştır. Bu veriler üzerinde yapılan çözümlenmeler sonucunda değerlerin Cowan M3 dağılımı kullanılarak modellenilebileceği anlaşılmıştır. Yine bu verilerden çözümlenmelerde kullanılmak üzere serbest araç oranı bağıntısı elde edilmiştir. Anayoldaki trafik akımındaki zaman cinsinden takip aralıklarının da Cowan M3 dağılımına uyduğu kabul edilmiş; bu konuda ülkemizde daha önce kullanılan çalışmalardan yararlanılmıştır. Yanyol sürücülerine ait kritik aralık kabul değerinin ise 1,0~2,5 saniye arasında değiştiği kabul edilmiş ve çözümlenmeler bu doğrultuda yapılmıştır. Sonuçlar, Avustralya'da yapılmış olan benzeri çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak iki ülke sürücü davranışları arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Otoyol katılımı, Kritik aralık kabulü, Cowan M3 dağılımı, Kapasite, Gecikme.

### Giriş

Otoyollar, üzerindeki trafik akımlarının hareketlerine göre farklı kesimlere ayrılırlar. Bu kesimler; "katılım ve ayrılma kesimleri" (merge, on-ramp and diverge, off-ramp



segments), "örülme kesimi" (weaving segment) ve "temel otoyol kesimi-tok" (basic freeway segment) olarak adlandırılmaktadır (Özsan, 2015).

Günümüzde büyük metropollerde çevreyollarında yanyol katılım denetimi uygulamaları üzerinde önemli çalışmalar sürdürülmektedir (Demiral, 2011; Özgenel, 2012; Özsan, 2015; Abuamer ve Çelikoğlu, 2016). Katılım denetimi uygulamaları özellikle trafik yoğunluğunun yüksek değerlere eriştiği zirve saatlerde etkin sonuçlar verebilmektedir. Diğer yandan halen ülkemizde İzmir gibi büyük kentlerde katılım denetimi uygulamaları oldukça sınırlıdır. Bu kentlerde otoyol ve/veya çevreyollarındaki yanyol katılımlarındaki gecikmelerin tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Yanyol katılımlarının kapasitelerinin hesaplanmasında iki farklı yaklaşımdan söz edilebilir (Tan v.d., 2013): 1) Highway Capacity Manual yöntemi (TRB, 2010); 2) kritik aralık kabul yöntemi yaklaşımı (Bunker ve Troutbeck, 2003). Işıksız eşdüzey kavşaklar dışında otoyol katılımlarının kapasite ve başarımları kritik aralık kabul yöntemi ile modellenmektedir. Ancak, yanyol gecikmelerinin modellenmesinde eşdüzey kavşaklarda dikkate alınan yöntemlere ek olarak, özellikle akım yukarı yönde yer alan ışıklı bir kavşağın etkisinin de dikkate alınması önem taşımaktadır. Ayrıca, anayol üzerinde seyahat eden taşıtların arasındaki zaman cinsinden takip aralıklarının incelenmesi yararlı olacaktır. Her iki koşul için uygun bir istatistiksel dağılımın belirlenmesi gerekmektedir. Farklı çalışmalarda otoyollarda anayoldaki taşıtlara ait zaman cinsinden takip aralıklarının negatif üstel, ötelenmiş negatif üstel, lognormal ve Cowan M3 dağılımlarıyla tanımlanabileceği belirtilmiştir (Luttinen, 1996; Yiğiter ve Tanyel, 2015). Diğer yandan farklı ülkelerde yapılan araştırmalar, kritik aralık kabul değerinin eşdüzey kavşaklardan farklı olarak 1,0~2,0 saniye gibi küçük değerlere düşebileceğini göstermektedir (Bunker ve Troutbeck, 2003).

Çalışmada, yanyol katılım kapasitesi ve gecikme değerleri kritik aralık kabulü yöntemine göre hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, ilk olarak Bunker ve Troutbeck (2003) tarafından önerilmiş olan yöntem tanımlanmıştır. Farklı anayol trafik hacimleri için Bunker ve Troutbeck (2003) tarafından önerilmiş olan serbest taşıt oranı bağıntısı kullanılarak yanyol araçlarına ait servis gecikmesi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplar, Yiğiter ve Tanyel tarafından önerilmiş olan serbest taşıt oranı bağıntısı ile yenilenmiştir. Ayrıca, Çalışkanelli ve Tanyel'in (2016) ışiksiz kavşakların kapasitesini hesaplamak amacıyla kullanmış oldukları benzetim modeli ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın son kısmında, İzmir İli Buca İlçesi'nde kent içi ana arterlerden biri olan Doğu Caddesi'nin İzmir Çevre Yolu'na bağlantı noktasında zirve saatte gözlem yapılarak; trafik ışığından ayrılan taşıtların takip aralıklarının çevreyolu katılımındaki gecikmeler üzerindeki etkisi hesaplanarak, çalışmada yer alan diğer modellerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

### Problemin Tanımlanması

Bir yerleşim bölgesinden ayrılarak otoyol veya çevreyoluna katılmak isteyen sürücüler, katılım rampasından sonra katılım şeridi boyunca anayol üzerinde hareket eden taşıtlar arasından uygun bir aralık bularak otoyola veya çevreyoluna giriş yapmaya çalışacaklardır. Yanyoldan anayola katılmak isteyen sürücülerin, anayolda kabul edecekleri aralık değerleri büyük oranda anayoldaki trafik hacmi ve taşıtların hızlarının yanı sıra, katılım (hızlanma) şeridinin uzunluğu ve katılım açısı (sistemin geometrisi) ile

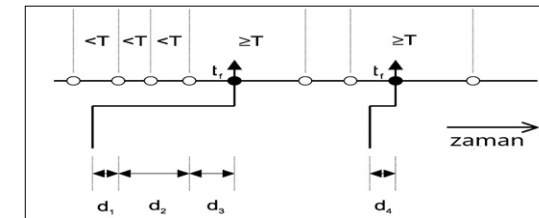
de ilişkili olacaktır. Diğer bir önemli unsur da, yanyol sürücülerinin anayoldaki hangi şeritlerden etkileneceklerinin tanımlanmasıdır. Genel olarak yanyol sürücülerinin kendilerine en yakın (sağ) şeritteki uygun aralıkları gözlemleyerek sisteme katıldıkları kabul edilebilir. Diğer yandan HCM 2000 ve 2010'da de yapılan kabule göre kapasite hesap yöntemi önerilmiştir (Şekil 1) (TRB, 2000). Benzer şekilde çeşitli çalışmalarda otoyol veya çevreyollarının sağ şeritlerindeki sürücülerin, yanyoldan giriş yapan sürücülere yol vermek amacıyla yavaşladıklarını veya orta şeride geçerek hızlarını düşürmeden hareketlerine devam etmek istediklerini belirtmektedir (Cowan, 1979; Bunker, 1995; Bunker ve Troutbeck, 2003). Bu durumda yanyol sürücülerinin anayoldaki orta ve sağ şeritteki trafik akımından etkilendikleri söylenebilir. Bu koşul, sınırlı öncelik (limited priority) olarak adlandırılmaktadır.

Bunker ve Troutbeck (2003), sınırlı öncelik koşulunda otoyol katılımlarındaki taşıtlara ait ortalama gecikmenin hesaplanması için aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir:

$$D_{2,x} = D_{2,0} \left( 1 + \frac{\epsilon x}{1-x} \right). \quad (1)$$

Bağıntıda,  $D_{2,x}$ ; yanyoldaki taşıt başına ortalama gecikme (saniye);  $D_{2,0}$ ; yanyoldaki taşıtlara ait servis (veya en küçük veya Adams) gecikmesi (saniye) ve " $\epsilon$ " ise gecikme/doygunluk fonksiyonunun yükselme oranını ifade eden bir şekil parametresidir. Bu çalışma kapsamında  $D_{2,0}$  servis gecikmesi değerinin modellenmesi üzerinde durulacaktır.

Servis gecikmesi veya en küçük gecikme değeri, bir ışiksiz kavşağa yanyoldan giriş yapmak isteyen sürücülerin, kavşak giriş çizgisine (yol ver veya DUR çizgisi gibi) geldikleri anla kavşağa giriş yaptıkları an arasında geçen süre olarak tanımlanabilir. Bu gecikme değeri ilk olarak 1939 yılında Adams tarafından yayalar için tanımlanmıştır. Genel olarak, yanyolda sadece tek bir taşıt bulunması durumunda bu taşıtın sürücüsünün karşılaşacağı gecikme olarak tanımlanabilir. Bunker ve Troutbeck (2003) otoyol katılımları için bu gecikme değerini 4 ayrı bileşenden oluştuğunu belirtmişlerdir. Şekil 1'de gözlemlenen ilk kritik aralığın, katılım sürücüsünün kritik aralık kabul değerinden ( $T$ ) küçük olması durumunda yaşadıkları gecikme  $d_1$ ,  $d_2$  ve  $d_3$  olarak tanımlanmıştır. Sürücünün ilk gözlemlendiği aralık olan  $a$  ve  $b$  araçları arasındaki aralığı reddetmesi  $d_1$  gecikme bileşenini oluşturur.  $d_2$  bileşeni ise, sürücünün  $b$  ve  $c$ ,  $c$  ve  $d$  araçları arasında kalan aralık,  $T$  değerinden küçük olduğu için reddettiğinde yaşadığı gecikmedir. Sonunda  $T$  değerinden büyük ilk aralığa giren sürücünün yaşadığı gecikme  $d_3$  gecikmesi olarak tanımlanır ve bu gecikme en küçük takip aralığı süresine eşittir. Katılım sürücüsünün gözlemlendiği ilk aralığı kabul etmesi durumunda  $d_1$ ,  $d_2$  ve  $d_3$  gecikmelerine maruz kalmadığı gibi; yaşayacağı gecikme  $d_4$  gecikmesini tanımlar ve bu değer en küçük takip aralığı süresine eşittir.



Şekil 1 Bunker ve Troutbeck (2003) tarafından tanımlanmış olan gecikme bileşenleri

Bunker ve Troutbeck (2003) çalışmalarında, otoyolda hareket eden taşıtlarla, ışıklı veya ışiksiz kavşaktan ayrılan taşıtlar arasındaki takip aralıklarının Cowan M3 dağılımına uyduğunu kabul etmişlerdir. Cowan M3 dağılımının olasılık dağılım fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$F(t) = 1 - \alpha e^{-\lambda(t-\Delta)} \quad (2)$$

Bağıntıda  $t$ , zaman cinsinden takip aralığını (saniye); " $\alpha$ ", akım içindeki serbest taşıt oranını;  $\Delta$  ana akımdaki taşıtlar arasındaki en küçük zaman cinsinden takip aralığını (saniye) ve  $\lambda$  ise bir azaltma katsayısını ifade etmektedir.

Katılım sürücülerinin toplam ortalama gecikmesi,  $D_{2,0}$ ;  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  ve  $d_4$  gecikme bileşenlerinin toplamına eşittir:

$$D_{2,0} = \frac{\alpha q}{2} (T - t_f) \left( T - t_f + \frac{2}{\lambda} \right) e^{-\lambda(T-\Delta)} + \frac{e^{\lambda(T-\Delta)}}{\alpha q} - (2T - t_f) - \frac{1}{\lambda} + \frac{(\lambda\Delta^2 - 2\Delta + 2\Delta\alpha)}{2(\lambda\Delta + \alpha)} \quad (3)$$

Çalışma kapsamında Bunker ve Troutbeck (2003), Çalışkanelli ve Tanyel (2016), Yiğiter ve Tanyel (2015), Akçelik (2002) tarafından yapılan çalışmalara dayanarak araçların takip aralıklarının Cowan M3 dağılımına uyduğunu kabul edilmiş, farklı bir dağılıma uygun olup olmadıkları irdelenmemiştir.

### Servis Gecikmesinin Farklı Yöntemlerle Hesaplanması

Servis gecikmesi üzerinde anayol trafik hacminin (taşıt/saniye), kritik aralık kabul değerinin ( $T$ ) ve anayol ve yanyol taşıtları arasındaki en küçük takip aralığı değerlerinin ( $\Delta$  ve  $t_f$ ) önemli bir etkiye sahip olduğu açıktır. Bunker ve Troutbeck (2003), katılım alanının geometrisine göre farklı en küçük takip aralığı ve kritik aralık kabul değeri kabul etmişlerdir. Bu kabule göre iyi bir geometriye sahip katılımlarda yanyol taşıtları arasındaki en küçük takip aralığı değeri 1,0 saniye; kritik aralık kabul değeri ise en az 1,0 saniye, en fazla 2,0 saniye olmaktadır. Dar geometride ise takip aralığı 1,2 saniye; kritik aralık kabul değeri ise en az 1,2 saniye, en fazla 2,2 saniye alınabilir. Yiğiter ve Tanyel (2015) kesintisiz akımlarda farklı şeritler için  $\Delta$  değerleri hesaplamışlardır. " $\Delta$ " değerinin sağ şeritlerde 1,0~4,0 saniye; orta şeritlerde 1,0~3,0 saniye ve sol şeritlerde 0,5~2,5 saniye aralığında değiştiğini vurgulamışlardır. Bu çalışmada  $\Delta$  değeri analizlerde 1,5 saniye olarak kabul edilmiştir.

Servis gecikmesi üzerinde etkili olan diğer önemli unsurlar ise anayol ve yanyol taşıtlarının gözlem kesitlerine geliş aralıklarıdır. Buna bağlı olarak çalışmada kullanılan Cowan M3 dağılımının parametrelerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Serbest taşıt oranı " $\alpha$ ", Cowan M3 dağılımının en önemli parametrelerinden birisi olup, farklı ülke ve/veya yerleşimlerdeki sürücü davranışlarının tanımlanmasında kullanılabilen bir değerdir. Bunker ve Troutbeck (2003) otoyollarda trafik hacmine bağlı olarak serbest taşıt oranının hesaplanmasında aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir:

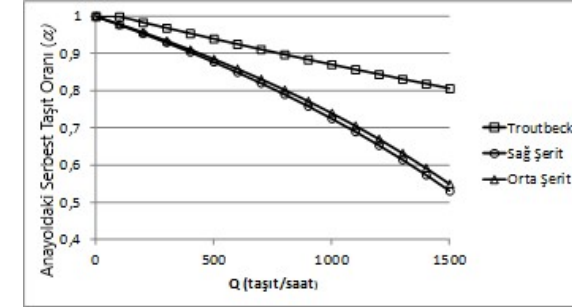
$$\alpha_1 = e^{-0,55(q_1-0,025)} \quad q_1 \geq 0,025 \text{ taşıt/san} \quad (4)$$

$$\alpha_1 = 1 \quad q_1 \leq 0,025 \text{ taşıt/san}$$

Ülkemizde Yiğiter ve Tanyel (2015), farklı şeritlerin serbest taşıt oranlarının da birbirlerinden farklı olabileceğini; özellikle orta şeritlerin diğer şeritlerdeki taşıtların şerit değiştirme davranışları sebebiyle daha fazla etkilendiklerini belirtmişlerdir. Buna bağlı olarak orta ve sol şeritlerdeki serbest taşıt oranlarının Akçelik (2002) tarafından önerilmiş olan aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabileceğini önermişlerdir:

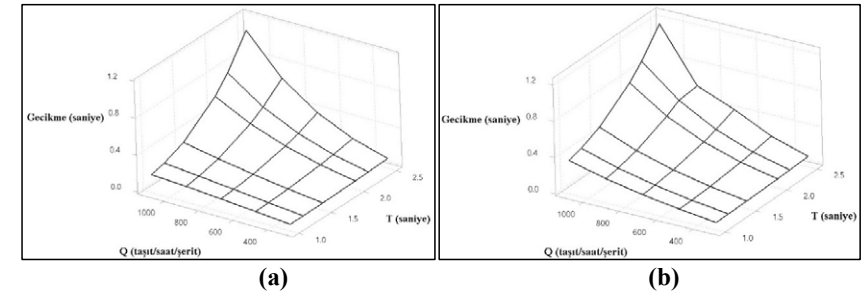
$$\alpha_1 = \frac{1 - \Delta q_1}{1 - (1 - k_d)\Delta q_1} \quad (5)$$

Burada  $\alpha_1$ , anayoldaki serbest taşıt oranını,  $q_1$ , o şeride ait trafik hacmini (taşıt/san) ve  $k_d$  ise bir gecikme/gruplaşma oranını vermektedir. Yiğiter ve Tanyel (2015), sağ ve orta şeritler için  $k_d$  parametresini sırasıyla 0,53 ve 0,49 olarak bulmuşlardır. Şekil 2'de Bunker ve Troutbeck'e ait (4) bağıntısı ile Yiğiter ve Tanyel'in çalışması sonucunda bulunan serbest taşıt oranı değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi Bunker ve Troutbeck'in (2003) bağıntısı daha yüksek değerler vermektedir. Bunun sebebi, sağ şeritteki sürücülerin, yanyoldan katılan taşıtlar sebebiyle orta şeride geçmeleri durumunun ilgili bağıntıda dikkate alınmasıdır.



Şekil 2 Serbest taşıt oranı değeri karşılaştırması

Bunker ve Troutbeck (2003)'ün ve Yiğiter ve Tanyel (2015) tarafından önerilen serbest taşıt oranı bağıntıları kullanılarak otoyol katılımlarındaki yanyol sürücülerinin maruz kaldıkları servis gecikmesi değerleri (3) bağıntısı yardımı ile bulunmuştur. Hesaplamalarda anayol trafik akımının 300~1000 taşıt/saat/şerit, yanyoldaki sürücülere ait kritik aralık kabul değerinin 1,0~2,2 saniye ve yanyoldan giriş yapan sürücülerin takip aralıklarının 1,0~1,2 saniye aralığında değiştiği kabul edilmiştir. Sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir.

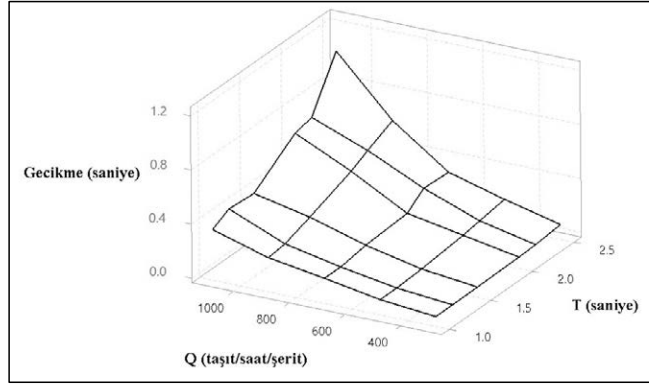


Şekil 3(a) Bunker ve Troutbeck (2003) servis gecikmesi değerleri (b) Yiğiter ve Tanyel (2015) servis gecikmesi değerleri

Şekiller incelendiğinde her iki serbest taşıt oranı için hesaplanan servis gecikmesi değerleri birbirine çok yakın bulunmuştur ancak Yiğiter ve Tanyel (2013) tarafından önerilen bağıntı bulunan gecikme değerlerinin özellikle trafik hacmi arttıkça nispeten daha hızlı arttığı görülmektedir. Bu sonuç, Türkiye'de otoyol katılımlarında yanyol sürücülerinin anayoldaki trafik akımından nispeten daha fazla etkilenebileceklerini göstermektedir.

Çalışmada otoyol katılımlarındaki yanyol gecikmelerinin hesaplanmasında farklı bir yaklaşım olarak Çalışkanelli ve Tanyel (2016) tarafından ışiksiz kavşakların kapasitelerinin hesaplanması için kullanılan benzetim programından yararlanılmıştır. Programın işleyişinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Yanyolda sadece bir tek katılım şeridi bulunmaktadır.
- Anayolda üç şerit olup; yanyol sürücülerinin anayoldaki sadece sağ şeritten veya sağ ve orta şeritten birlikte etkilendikleri kabulü ile iki farklı durum için çalıştırılmıştır.
- Yanyolda sürekli olarak kavşağa girmek için bekleyen ve anayol taşıtları arasındaki aralıkları (araya giriş aralığı "gap") gözleyen veya anayol taşıtının kavşağa olan uzaklığını (öne giriş aralığı "lag") değerlendirecek araçların bulunduğu öngörülmüştür.
- Ana akımdaki araçlar arasındaki zaman cinsinden aralıkların Cowan M3 dağılımına uydukları kabul edilmiştir.
- Anayol trafik akımının 300~1000 taşıt/saat/şerit, yanyoldaki sürücülere ait ortalama kritik aralık kabulü değerinin 1,0~2,2 saniye ve yanyoldan giriş yapan sürücülerin takip aralıklarının 1,0~1,2 saniye aralığında değiştiği kabul edilmiştir. Yanyol sürücülerinin anayolda kabul ettikleri aralıkların Erlang dağılımına uyduğu kabul edilerek sürücülere ait kritik aralık kabul değeri türetilmiştir.
- Sağ ve orta şeritteki serbest taşıt oranı ise bağıntı (5) ve Yiğiter ve Tanyel (2015) tarafından önerilmiş olan  $k_d$  katsayıları kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 4 Benzetim programından elde edilen servis gecikmesi değerleri

Program hakkında daha fazla bilgi Çalışkanelli ve Tanyel (2016)'in yayınından elde edilebilir. Şekil 4'te sunulmuş olan sağ şerit için yapılmış olan çözümlerinin sonuçları Şekil 3'teki sonuçlar ile karşılaştırıldığında özellikle yüksek anayoldaki yüksek trafik akım koşulları altında yanyol sürücülerinin beklenenden daha fazla gecikmeye maruz kalabilecekleri anlaşılmaktadır.

### Trafik Işığından Ayrılan Trafik Akım Özelliklerine Bağlı Servis Gecikmesinin Değişimi

Önceki bölümlerde yapılan analizlerde, yanyoldan gelen taşıtların, katılıma geliş özellikleri dikkate alınmamıştır. Ancak Bunker ve Troutbeck (2003), ışıklı ve ışiksiz kavşaklardan ayrılan taşıtların takip aralıklarının, otoyol katılımlarındaki gecikme üzerinde etkili olduğunu vurgulamışlardır. Yaptıkları çalışmada ışıktan ayrılarak otoyol katılıma gelen taşıtlara ait serbest taşıt oranını aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplamışlardır:

$$\alpha_2 = e^{-1,7(q_2+0,35)} \quad (6)$$

Bağıntıda  $q_2$ , ışıktan ayrılarak otoyol katılıma gelen taşıt sayısıdır. Bu çalışmada, İzmir'in Buca İlçesi'nde yer alan Doğu Caddesi üzerindeki ışıklı kavşak ile, İzmir Çevreyolu arasındaki bağlantı yolunda gözlemler yapılmıştır. Gözlem noktası Şekil 5'de görülmektedir. Veriler, sabah zirve saatinde yapılan video kamera çekimleri büro ortamında çözümlenerek toplanmıştır. Gözlemler 15'er dakikalık veri gruplarına bölünmüş ve şerit bazında elde edilen veri gruplarının Cowan M3 dağılımına uygunluğu irdelenmiştir. Bu amaçla özellikle " $\alpha$ " değerini tanımlayan bağıntılar kullanılmaya çalışılmıştır.



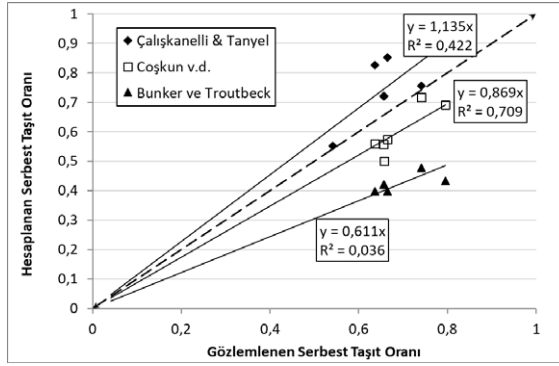
Şekil 5 Gözlem Noktasının Görünümü (Google Earth, 2019)

Ülkemizde ışıklı arterler için tanımlanmış iki " $\alpha$ " bağıntısı bulunmaktadır. Bunlardan ilki Çalışkanelli ve Tanyel (2016) tarafından önerilmiştir. Yazarlar çalışmalarında Akçelik (2002) tarafından önerilmiş olan (5) bağıntısını kullanmışlardır. Sağ ve orta şerit için " $kd$ " değiştirgesinin 0,95 olduğunu belirtmişlerdir. Çoşkun v.d. (2014) tarafından yapılmış olan diğer bir çalışmada ise, sinyalden ayrılan taşıtlar arasındaki zaman cinsinden takip aralıkları Cowan M3 dağılımına göre modellenmiştir. Bu modelde, akım içindeki serbest taşıt oranının akım yukarı ışıklı kavşağa ait efektif yeşil süre ( $ysl$ ) / devre süresi ( $D_{ay}$ ) oranı ile akım yukarı ve akım aşağı kavşaklara ( $L_{ay}$  ve  $L_{aa}$ ) olan uzaklığına bağlı olarak hesaplanmaktadır:

$$\alpha = 0,585591 - 0,00033L_{ay} - 0,00052L_{aa} - 0,05897\mathcal{S}T + 0,529183 \frac{ysl}{D_{ay}} - 0,54672\Delta q_2 \quad (7)$$

Bağıntıda  $\mathcal{S}T$  değeri şerit tipini ifade etmekte olup sağ şerit için "1" ve orta şerit için "2" değeri kullanılmıştır. Şekil 6'da, gözlenen " $\alpha$ " değerleri ile Çalışkanelli ve Tanyel

(2016), Çoşkun v.d. (2014) ve Bunker ve Troutbeck (2003) bağıntılarından hesaplanan serbest taşıt oranları karşılaştırılmıştır. En iyi sonucu Çoşkun v.d. (2014) tarafından önerilmiş olan bağıntı vermiştir.



Şekil 6 Serbest taşıt oranı bağıntılarının gözlemlenen değerlerle karşılaştırılması

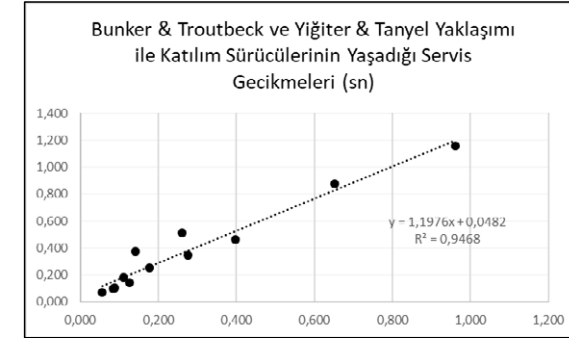
Çalışmanın bir sonraki adımında, ışıktan ayrılan trafik akımının servis gecikmesi üzerindeki etkisi çözümlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

- Otoyol/çevreyolu üzerinde hareket eden taşıtlara ait takip aralıklarının Cowan M3 dağılımına uyduğu kabul edilmiştir.
- Çalışma kapsamında, otoyolda sağ şeritte hareket eden taşıtların zaman cinsinden takip aralığı değerleri farklı trafik akımları (400-800-1200 taşıt/saat/şerit) Yiğiter ve Tanyel (2015) tarafından önerilmiş olan serbest taşıt oranı kabulleri kullanılarak türetilmiştir.
- Anayoldaki taşıtlar arasındaki en küçük takip aralığı değeri 1,5 saniye olarak alınmıştır.
- Işıktan ayrılan trafik akımı değerinin değişmediği ve 665 taşıt/saat/şerit olduğu kabul edilmiştir.
- Işıktan ayrılan taşıtlar arasındaki en küçük takip aralığı değeri 2 saniye alınmıştır. Serbest taşıt oranı değerleri (7) nolu bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.
- Yanyoldaki sürücülere ait ortalama kritik aralık kabulü değerinin 1,0~2,2 saniye ve yanyoldan giriş yapan sürücülerin takip aralıklarının 1,0~1,2 saniye aralığında değiştiği kabul edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, Bunker ve Troutbeck (2003), Yiğiter ve Tanyel (2015) yaklaşımları ile benzetim programından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Tablo 1). Bunker ve Troutbeck (2003) ile Yiğiter ve Tanyel (2015) yaklaşımlarından elde edilen sonuçların birbirlerine çok yakın olduğu ancak trafik ışığından ayrılarak otoyol katılımına gelen taşıtların servis gecikmelerini tanımlamada yetersiz kaldıkları görülmektedir (Şekil 7)

Tablo 1 Servis Gecikmeleri Çözümleme Sonuçları

Q (taşıt/saat/şerit)	T (sn)	tf (sn)	Trafik Işığında Ayrılan Taşıtların Katılma Gelmesi Kabulü ile Servis Gecikmeleri (sn)	Bunker & Troutbeck Yaklaşımı ile Servis Gecikmeleri (sn)	Yiğiter & Tanyel Yaklaşımı ile Katılım Sürücülerinin Yaşadığı Servis Gecikmeleri (sn)	Katılım Sürücülerinin Yalnızca Anayolda Sağ Şeritten Etkilenmeleri Kabulüyle Servis Gecikmeleri (sn)	Katılım Sürücülerinin Anayolda Sağ ve Orta Şeritten Etkilenmeleri Kabulüyle Servis Gecikmeleri (sn)
400	1	1	0,963	0,056	0,069	0,171	0,050
400	2	1	1,040	0,088	0,102	0,262	1,101
400	1,2	1,2	1,126	0,084	0,098	0,251	0,740
400	2,2	1,2	1,271	0,126	0,140	0,340	1,501
800	1	1	1,057	0,111	0,180	0,653	1,982
800	2	1	1,178	0,276	0,346	1,153	4,612
800	1,2	1,2	1,417	0,177	0,250	0,843	3,477
800	2,2	1,2	1,589	0,397	0,463	1,553	7,065
1200	1	1	1,093	0,142	0,374	1,491	8,763
1200	2	1	1,590	0,652	0,880	2,706	13,073
1200	1,2	1,2	1,417	0,262	0,510	2,092	13,132
1200	2,2	1,2	2,491	0,961	1,158	4,267	20,328



Şekil 7 Bunker & Troutbeck (2003) ve Yiğiter & Tanyel (2015) Yaklaşımları ile Servis Gecikmeleri

Yanyoldaki sürücülerin, düşük trafik hacim değerlerinde (400 taşıt/saat/şerit koşulunda), orta ve sağ şeritteki taşıtlardan etkilenebilecekleri söylenebilir. Ancak, yanyol sürücülerinin anayolda sadece sağ şeritten etkilenmeleri koşulu için elde edilen değerler trafik ışığından ayrılarak otoyol katılımına gelen taşıtların servis gecikmelerine daha yakın sonuçlar vermektedir.

## Sonuç ve Öneriler

Çalışmada, bir ışıklı kavşaktan ayrılarak çevreyolu veya otoyol gibi kesintisiz bir akıma katılan taşıtların karşılaşılabilecekleri gecikme değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Otoyol veya çevreyollarında düşük trafik hacimlerin gözlemlendiği koşullar altında yanyol sürücülerinin anayoldaki sağ ve orta şeritteki taşıtları gözlemleyerek ana akıma katılmak için uygun aralıkları seçtikleri söylenebilir.
- Anayoldaki trafik hacmi artmaya başladıkça sadece sağ şeritteki trafik akımına bağlı olarak sisteme otoyol ve/veya çevre yoluna giriş yaptıkları anlaşılmaktadır. Bu sonuç, özellikle zirve saat trafiğine yaklaştıkça yanyol sürücülerinin sadece

kendilerine daha yakın olan şeritten uygun aralık gözlemledikleri anlamına gelebilir.

- Yapılan analizler sonucunda, ülkemizdeki sürücü davranışlarına bağlı olarak otoyol veya çevreyoluna katılan sürücülerin maruz kalacakları servis gecikmesi değerinin Avustralyalı sürücülere nazaran nispeten daha uzun olabileceği anlaşılmaktadır.
- Bir trafik ışığından ayrılan taşıtların otoyol veya çevreyolu katılımına geliş özelliklerinin servis gecikmeleri üzerinde önemli bir etkisini olabileceği çalışmanın sonuçları arasında yer almaktadır.

Çalışma, yanyol sürülerinin otoyol veya çevreyolu katılımlarında maruz kalabilecekleri servis gecikmeleri hakkında yapılan araştırmaların ilk sonuçlarını içermektedir. Çalışmaların ileri aşamalarında, trafik ışığı ile otoyol katılımı arasındaki uzaklıkların değişiminin etkileri ile yanyol sürücülerinin anayoldaki kritik aralık kabul değerleri üzerine farklı bölgelerde yapılan gözlemler kullanılarak daha detaylı bir inceleme yapılması hedeflenmektedir.

**Teşekkür** Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun desteklemiş olduğu 217M283 no.lu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya verdikleri destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

Abuamer, İ.M. ve Çelikoğlu, H.B. (2016) Micro-simulation based ramp metering on Istanbul freeways: An evaluation adopting ALINEA, 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)

Akçelik & Associates (2002) aaSIDRA User Guide, Akçelik and associates Pty Ltd. Melbourne, Australia

Bunker, J. and Troutbeck, R. (2003) Prediction of minor stream delays at a limited priority freeway merge, Transportation Research Part B: Methodological 37 (8), 719-735

Bunker, J. Troutbeck R. (1995) Headway distributions within freeway lanes, Queensland University of Technology. Physical Infrastructure Centre Digest, Volume: 4.

Ceyhan Yiğiter, Ö. ve Tanyel, S. (2015) Lane by Lane Analysis of Vehicle Time Headways - Case Study of Izmir Ring Roads in Turkey, KSCE Journal of Civil Engineering.

Coşkun, F., Çelik K., Çalışkanelli SP., Tanyel S. (2014) Sinyalize Arterlerde Araç Takip Aralıklarının Mesafeye ve Devre Süresine Bağlı Değişimi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20/9/338-343/2014

Cowan, R. (1979) The uncontrolled traffic merge, Journal of Applied Probability, Volume 16, pp. 384-392.

Çalışkanelli, S.P. ve Tanyel, S. (2016) Denetimsiz Kavşaklarda Yanyol Katılım Kapasitesinin Modellenmesi, İMO Teknik Dergi, 2016 7309-7324, Yazı 446

Demiral, Ç. (2011) Otoyol trafiği yönetiminde akıllı sistem yaklaşımı: Katılım denetimi örneği ve farklı denetim algoritmalarının başarımlarının karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü.

Highway Capacity Manual (2010) Transportation Research Board. 5th edition. 1650 p

Luttinen, R. T. (1996). Statistical analysis of vehicle time headways, Teknillien korkeakoulu, Liikennetekniikka: Julkaisu 87, Otaniemi, Finland.

Özgenel, M. (2012) Evaluation of intelligent systems: Strategies in freeway traffic management case of ramp control in various countries, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özsan, F. (2015) Kent içi otoyolların katılım kesimlerinde deterministik ve stokastik yaklaşım ile kapasitenin incelenmesi: İstanbul örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tan, H., Yang, X., Wu, A. (2013) In Intelligent and Integrated Sustainable Multimodal Transportation Systems Proceedings from the 13th COTA International Conference of Transportation Professionals (CICTP2013), Procedia - Social and Behavioral Sciences. 6 November 2013 96:1764-1773

Tanyel, S. v.d. (2013) Yuvarlakada Kavşaklardaki Ağır Araç Etkisinin İncelenmesi, İMO Teknik Dergi, 6479-6504, Yazı 406.

# Kısa Zamanlı Trafik Tahmini ile Devre Süresi Optimizasyonu Ve Gecikme Analizi

**Ravza Nur Yiğit, Soner Haldenbilen, Halim Ceylan, Halil  
İbrahim Yiğit**

02200 Pamukkale/Denizli

0507 512 8561, 0506 545 5240, 0533 712 9394, 0543 391 5793

[reminoglu1111@gmail.com](mailto:reminoglu1111@gmail.com), [shaldenbilen@pau.edu.tr](mailto:shaldenbilen@pau.edu.tr), [halimc@pau.edu.tr](mailto:halimc@pau.edu.tr),  
[halilibrahimyigit@yandex.com](mailto:halilibrahimyigit@yandex.com)

## Öz

Çalışmada parametrik ve parametrik olmayan yöntemler kullanılarak kısa zamanlı trafik tahmini ile yapılan devre süresi optimizasyonlarının kavşak performansına olan etkisi araştırılmıştır. Belirlenen yöntemler örnek uygulama olarak Denizli ilinin Mimar Sinan kavşağında test edilmiştir. Örnek kavşağın verilerine göre gecikme sürelerinin iyileştirilmesi ve kavşak bekleme sürelerinin azaltılarak, kavşak performans iyileştirmesi amaçlanmıştır. Veri seti 2018 yılı ağustos ayının hafta içi bir gün 08:00-20:00 arası sayımlarından oluşturulmuştur. Kavşağın yaklaşım kollarında bulunan sensörler yardımıyla elde edilen veriler 5'er dakikalık veri setleri olarak düzenlenmiştir. Oto-regresif entegre hareketli ortalama (Auto-Regressive Integrated Moving Average-ARIMA) ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemleri ile kısa zamanlı trafik tahmini yapılmıştır. Tahmin sonuçlarının ortalama mutlak yüzde hata (Mean Absolute Percentage Error-MAPE) ve hata kareler ortalamasının karekökü (Root Mean Square Error-RMSE) performans kriterleri karşılaştırılarak en iyi tahmin yöntemi analiz edilmiştir. Tahmin sonuçları saatlik trafik hacmine dönüştürülmüş ve Webster yöntemi kullanılarak kavşak devre süresi optimizasyonu yapılmıştır. Optimum devre süresi hesaplandıktan sonra Webster gecikme metodu ile kavşak yaklaşım kollarının ve kavşak genelinin gecikme değerleri hem ARIMA yönteminden elde edilen hem de YSA yönteminden elde edilen tahmin sonuçlarına göre karşılaştırılması sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Trafik Tahmini, Yapay Sinir Ağları, ARIMA

## 1 Giriş

Günümüzde artan nüfus ve şehirleşmeyle birlikte, araç sahiplik oranının artışı trafikte bir takım problemlere neden olmaktadır. Trafikte oluşan sıkışıklık, kaza, kuyruklanma vb. sorunlar sonucu oluşan gecikmeler yaşam standartlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Ortaya çıkan problemlerin çözümlenebilmesi amacıyla yapılan üstyapı ve altyapı çalışmaları ise trafiği rahatlatmak adına yetersiz kalmaktadır. Araç kullanım oranının artması sonucu yol kapasiteleri sınırlarına yaklaşmakla birlikte oluşan sıkışıklık, kuyruklanma, gecikme gibi problemler ekonomiyi, çevreyi ve refah seviyesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Trafik sıkışıklığını azaltmak, taşıt ve yaya güvenliğini arttırmak, gecikmeleri minimize etmek ve yol kapasitelerinin daha verimli kullanılması, için teknolojik gelişmelerden

faýdalanılmaya başlanmıştır. Bu gelişmeler ile birlikte güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir ulaştırma sistemi için günümüzdeki bilimsel gelişmeler sayesinde üretilen teknolojilerin farklı alanlarda kullanımı, genel olarak Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) olarak tanımlanmaktadır (Tufan, 2014).

AUS tanımlamada geniş bir kapsamı ifade etmektedir. Dolayısıyla AUS içinde Trafik Yönetim Sistemi (TYS) ve Yolcu Bilgilendirme Sistemi (YBS) gibi akıllı uygulamalarda yer almaktadır.

AUS için en önemli bileşenlerden biri kısa zamanlı trafik tahminidir. Kısa zamanlı trafik tahmini, beklenen trafik koşullarının, geçmiş ve mevcut verilerle, yakın gelecek tahminleme süreci olarak tanımlanabilir (Vlahogianni, 2004). Kısa zamanlı trafik tahmini ile oluşabilecek durumları öngörebilmek, yolcu ve sürücü bilgilendirilmeleri, faz ve devre süresi optimizasyonları, güzergah seçimleri gibi pek çok trafik bileşenini ileriye dönük ve sürdürülebilir hale getirecektir. Tahminlemenin AUS ye entegre edilmesi, beklenen veya beklenmeyen sıkışıklıkların trafik kontrol ve yönetimi ile kapasitelerin en verimli şekilde kullanarak en hızlı şekilde öngörmeyi sağlayacaktır.

Kısa zamanlı trafik tahminine yönelik çalışmalar incelendiğinde birçok çalışmada parametrik yöntemlerden ARIMA, parametrik olmayan yöntemlerden YSA yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada kısa zamanlı trafik tahmini parametrik yöntemlerden ARIMA ve parametrik olmayan yöntemlerden YSA yöntemi kullanılarak çıkan sonuçların karşılaştırılması yer verilmiştir.

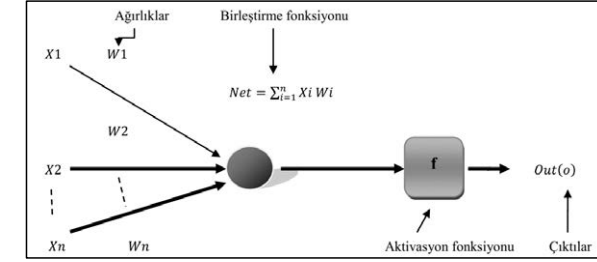
## 2 Yöntemler

### 2.1 Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları algoritması, geçmiş verileri inceleyerek, öğrenme yolu ile yeni bilgiler üretebilme, çoğulama ve keşfedebilme gibi üstün yetenekleri, herhangi bir yardım almadan gerçekleştirebilen bir bilgisayar sistemidir (Filik, 2017). Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak YSA modeli kurulununun basitleşmesi ve klasik yöntemlerle çözümü zor olan problemlere daha kolay çözüm getirmesi, YSA'nın mühendislik uygulamalarında yaygın kullanım alanı bulmasını sağlamıştır. YSA'nın; doğrusal olmayan dağılımları modelleyebilmesi, paralel dağılım yapısı, öğrenme ve genelleme yapabilme yeteneği, farklı problemler için uyarlanabilirliği en önemli özelliklerindedir (Hamzaçebi, 2011).

Temel bir YSA hücresi canlıların sinir hücrelerine göre daha basit bir yapıya sahiptir. Bir YSA modeli girdi katmanı, çıktı katmanı ve gizli katmandan oluşmaktadır. Gizli katman genelde birden fazla katmandan oluşup birlikte her katmanda nöronlar bulunmaktadır. Girdi katmanında kullanılan değişken sayısı kadar, çıktı katmanında ise kullanılan çıktı sayısı kadar nöron bulunmaktadır. Fakat gizli katmanda ne kadar nöronun yer alması gerektiğine ilişkin belirli bir kural yoktur. Her bir nöron kendisinden önceki katmandaki nöronların çıktı değerlerini girdi değeri olarak kullanmaktadır. Ara katmanda ve çıktı katmanında yer alan nöronlar belirli bir fonksiyona göre kendisine gelen sinyalleri işlemekte ve varsa bir sonraki katmana iletmektedir. Bu fonksiyonlar YSA'nın çıktısını şekillendiren bir fonksiyondur. Bir ara katmanı ve ara katmanında yeteri kadar nöron bulunan bir YSA modeli tüm doğrusal olmayan fonksiyonları modelleyebilmektedir (Fausett, 1994).

Temel YSA hücresinde girişler ( $X_n$ ), ağırlıklar ( $W_n$ ), toplama (birleştirme) fonksiyonu (NET), aktivasyon fonksiyonu eşik değeri ( $b$ ), aktivasyon fonksiyonu ( $f$ ) ve çıkış değeri ( $o$ ) Şekil 1'de görüldüğü gibidir (Emeksiz, 2013).



Şekil 1. YSA Temel Yapısı (Emeksiz, 2013).

### 2.2 Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama (ARIMA) Metodu

Box-Jenkins yaklaşımı olarak da bilinen Oto-regresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) metodu sezonsal etkiye sahip olan ve olmayan tüm seriler için kullanılabilir. ARIMA temel olarak üç farklı bileşenden oluşmaktadır. Uzun vade etki için otoregresif süreç, kısa vade etki için hareketli ortalama filtresi, stokastik eğilim etkisi için tümleştirme filtresi ve son olarak da beyaz gürültü olarak adlandırılan hata parametrelerinden meydana gelir (Foley, 2010).

ARIMA'nın genel tahmin denklemi ise aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$\hat{y}_t = \mu + \phi_1 * y_{t-1} + \dots + \phi_p * y_t + \theta_1 * e_{t-1} + \dots + \theta_q * e_{t-q}$$

Burada  $p$  ifadesi oto-regresif modelinin derecesini,  $q$  hareketli ortalama modelinin derecesini,  $\mu$  sabit değeri,  $y_t$  gözlem değerlerini,  $\phi$  oto-regresif katsayıları,  $\theta$  hareketli ortalama katsayılarını ve  $e$  hata terimini ifade etmektedir.

ARIMA modelleri,  $d$  dereceden farkı alınmış serilere değişken  $t$  dönemindeki değerinin belirli sayıdaki geri dönem değerleri ile aynı dönemdeki hata teriminin doğrusal bir fonksiyonu olarak ifade edildiği AR ve değişkenin  $t$  dönemindeki değerinin aynı dönemdeki hata terimi ve belli sayıda geri dönem hata terimlerinin doğrusal fonksiyonu olarak ifade edildiği hareketli ortalama (MA) modellerinin bir birleşimidir. Modelin genel gösterimi ARIMA( $p,d,q$ ) şeklindedir.

ARIMA yöntemi zaman serilerinin ileriye dönük tahmin ve kontrolünde kullanılan istatistiksel öngörü yöntemlerinden birisidir. Bu model de zamana bağlı olayların raslantısal olarak gerçekleştiği ve ele alınan zaman serisinin eşit aralıklı gözlem değerlerinden oluşan kesikli ve durağan bir seri olduğu varsayılmaktadır. Bununla birlikte zaman serilerinin ortalama ve varyansında genellikle zamana bağlı olarak bir değişim gözlenmektedir. Durağan olmayan zaman serilerinde görülen bu değişim, genellikle trend, düzenli, düzensiz dalgalanmalar ve tesadüfi dalgalanmaların etkisiyle gerçekleşir. Serilerin durağanlığını belirleyebilmek için birim kök testleri (Dickey-Fuller, Phillips-Perron, Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS)) uygulanır.

Durağan olmayan zaman serilerinin ARIMA yöntemiyle tahmin edilebilmesi için fark alma metodu ile durağan hale getirilmesi gerekir.

Fark alma işlemine seri durağan hale gelene kadar devam edilir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\hat{y}_t = y_t - y_{t-1}$$

Modeli belirleme aşamasında tahmin edilen otokorelasyon (ACF) ve kısmi otokorelasyon (PACF) fonksiyonlarına dayanarak örneklem verileri için deneme niteliğinde bir ARIMA modeli belirlenir. Seri durağansa veya durağanlaştırıldığında otokorelasyonlar incelenir.

Bir ARIMA modelinin belirlenmesi, mertbe ve değişkenlerin belirlenmesini içermektedir. Bunların belirlenmesinde bilgi kriterlerinden faydalanılmaktadır. En çok başvurulan yöntemlerden biri Akaike bilgi kriteri (AIC) ölçütüdür. AIC şu formülle ifade edilir ;

$$AIC = 2 * k - 2 * \ln L$$

Burada k sabit terim dahil parametre sayısını, L ise olabilirlik fonksiyonunun maksimize değerini ifade etmektedir.

### 3 Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Ve Kapasite Hesapları

Bu çalışmada gecikme hesapları için dünyada yaygın olarak kullanılan Webster yöntemi seçilmiştir.

Webster yöntemine göre bir fazdaki toplam kayıp süre, yeşiller arası süreden sarı ışık süresinin farkı alınarak bir fazdaki kayıp sürenin toplanması ile elde edilir. Bir fazdaki kayıp süre (l), başlangıç kaybı ve fazın sarı süresinin ikinci yarısının toplamıdır. Devrenin geri kalanı yararlı süre olarak adlandırılmaktadır. Bu yararlı süre fazlar arasında paylaşılmaktadır. Bu paylaşımında her fazın ağırlıklı akım hacminin, doyum akımına olan oranı alınarak hesaplanır. Webster yönteminde bu oran doyumluk derecesini belirtmektedir. Doygunluk derecesi “Y” ile gösterilirse, kavşaktan en iyi gecikmeyi sağlayacak optimum devre süresi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$D_o = \frac{\phi * L + 5}{1 - Y}$$

Burada;

$D_o$ =Optimum devre süresi,

L=Bir devredeki toplam kayıp süre,

Y=Her faz için akımların doyum derecelerinin toplamı,

$\phi$ =1,2-1,8 arasında değişen katsayıdır.

Işıklı kavşaklarda taşıtların maruz kaldığı gecikme, tasarım ve değerlendirme aşamasında kavşak performansını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir ölçüttür. Işıklı bir kavşaktaki toplam gecikme bir taşıtın denetimli bir kavşakta beklemekten kavşağı boşalttığı süre ile kavşağa gelerek beklediği süre (durma gecikmesine maruz kaldığı süre) arasındaki zaman farkı olarak tanımlanmaktadır.

Webster (İngiliz) yöntemine göre sabit zamanlı sinyalizasyonda bir akım için ortalama gecikme değeri aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Doygunluk derecesi; bir kavşak kolunda n geçen akımın o kavşaktan geçebilecek maksimum akıma oranıdır ve aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanır.

$$w = \left( \frac{D * (1 - \lambda)^2}{2 * q * (1 - x)} \right) + \left( \frac{x^2}{2 * q * (1 - x)} \right) - \left( 0,65 * \left( \frac{D}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} * x^{(2+5*\lambda)} \right)$$

Burada;

w: Bir kavşak kolundaki taşıt başına ortalama gecikme (sn),

$\lambda$ : Yeşil süre oranı ( $\lambda = g/D$ ),

g: Yeşil süre,

D: Devre süresi,

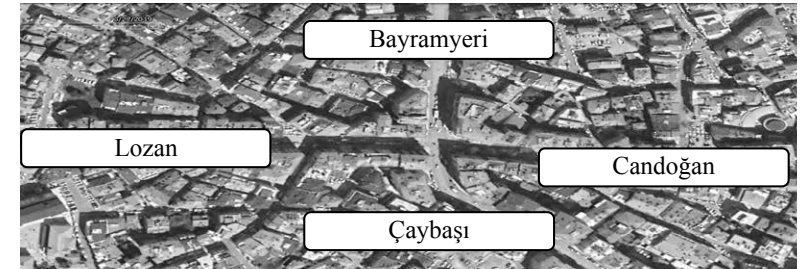
x: Doygunluk derecesi; bir kavşak kolundan geçen akımın o kavşaktan geçebilecek maksimum akıma oranı ( $x = q / \lambda * s$ ),

q: Trafik hacmi (b.o/sa),

s: Doygun akımdır.

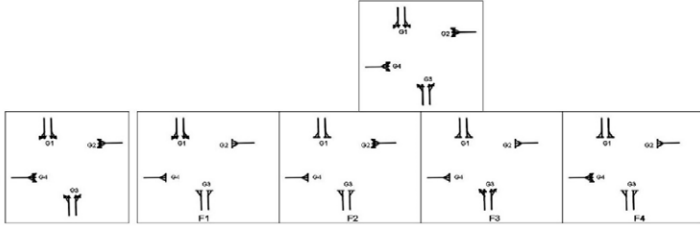
### 4 Uygulama

Örnek çalışma olarak Denizli ilinin Mimar Sinan kavşağı seçilmiştir ve bu kavşaktan hafta içi bir gün 08:00-20:00 saatleri arasında manyetik sensörler ile toplanan şerit bazlı veriler kullanılmıştır. Alınan veriler 5 dakikalık veri setleri haline getirilmiş olup, ayrı ayrı tahminleme yapılmıştır. Çalışma kapsamında; Saltak Caddesi üzerinde bulunan Mimar Sinan kavşağında hafta içi günlerde 12 saatlik trafik etütleri yapılmıştır. Mimar Sinan kavşağı, Bayramyeri Meydanı ve Denizli Lisesini birbirine bağlayan Saltak Caddesi ve Mimar Sinan Caddesi kesişiminde bulunmaktadır. Kavşak izole olarak çalışmaktadır. Mimar Sinan kavşağının görüntüsü ve yaklaşım kolu isimleri Şekil 2’de, sinyal grupları ve faz planı ise Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 2. Mimar Sinan Kavşağı uydu görünümü.



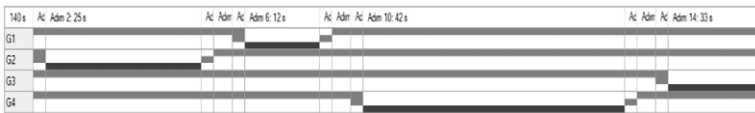


Şekil 3. Mimar Sinan Kavşağı sinyalleri ve faz planı.

Kavşağın sabah zirve saat ve zirve dışı saat sinyal programları Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.

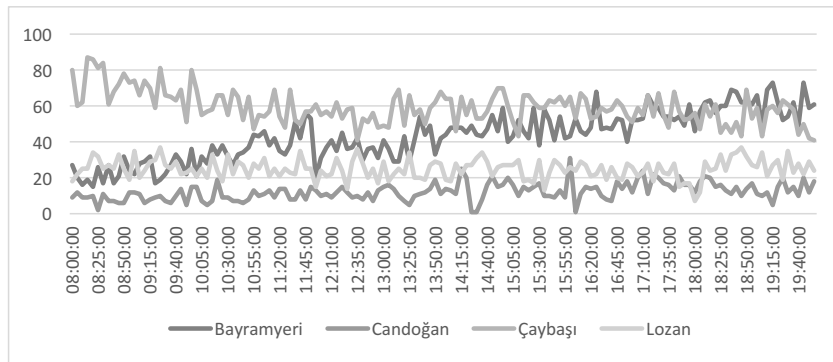


Şekil 4. Mimar Sinan kavşağı zirve saat sinyal planı.



Şekil 5. Mimar Sinan kavşağı zirve dışı saat sinyal planı

Mnayetik sensörler aracılığı ile 08:00-20:00 arasında toplanan trafik hacim değerleri Şekil 6'da verildiği gibi 5 dakikalık dilimler halinde düzenlenerek verilmiştir.



Şekil 6. Trafik hacim değerleri (taşıt/5 dk).

Çalışmada kullanılan iki farklı tahminleme yönteminin sonucunda oluşan hata değerleri, RMSE ve MAPE ölçüm yöntemleri baz alınarak karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda sonuçlar gerçek değerler ve tahmin sonucu bulunan değerler üzerinden grafikler ve

çizelgeler halinde sunulmaktadır. Buna göre RMSE ve MAPE aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\chi - \hat{\chi}_i)^2 \right]^{1/2}$$

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\chi - \hat{\chi}_i}{\chi_i} \right|$$

#### 4.1 Yapay Sinir Ağları

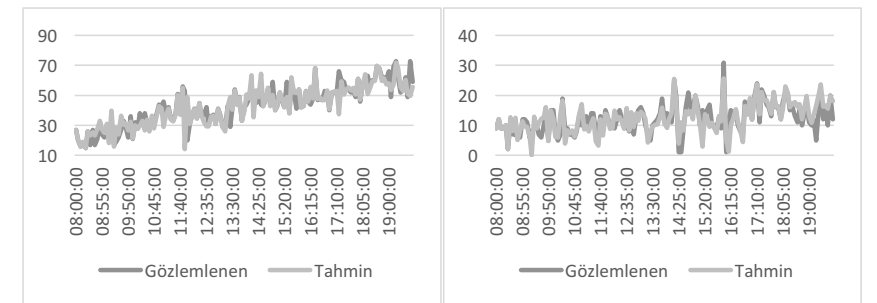
YSA ile modeli geliştirmede MATLAB programının NTSTOOL adlı uygulamasından yararlanılmıştır. YSA ile tahminde, NARX (Nonlinear Autoregressive Exogenous) modeli doğrusal olmayan ağırlıklı katmanlarını kapsayan geri besleme bağlantıları ile tekrarlayan bir dinamik ağıdır.

Tahminleme yapılırken elde ki verilerin %15 i eğitim verisi %15 i ise test verisi olarak kullanılmıştır. Çalışmamızda gizli katman içerisinde 10 adet nöron kullanılmış ve 6 gecikme parametre değerleri kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. NARX modelinde, gizli katmanda sigmoid aktivasyon fonksiyonu, çıkış katmanında ise doğrusal aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır. Öğrenimde ise olarak Levenberg-Marquardt (LMA) algoritması seçilmiştir ve aşağıdaki formül baz alınarak hesaplanmaktadır.

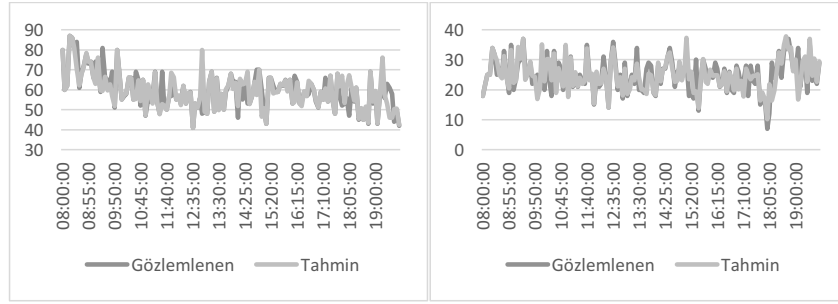
$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$$

Her veri seti için aynı eğitimler gerçekleştirilip, regresyon analizlerinin uyum grafikleri incelenmiştir.

YSA modelinin 5'er dakikalık veri setinin tahmin sonuçları her bir yaklaşım kolu için hesaplanarak Şekil 7 ve Şekil 8'de arasında gösterilmiştir.



Şekil 7. Bayramyeri ve Candoğan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini



Şekil 8. Çaybaşı ve Lozan geliş kolu 5 dakikalık YSA tahmini

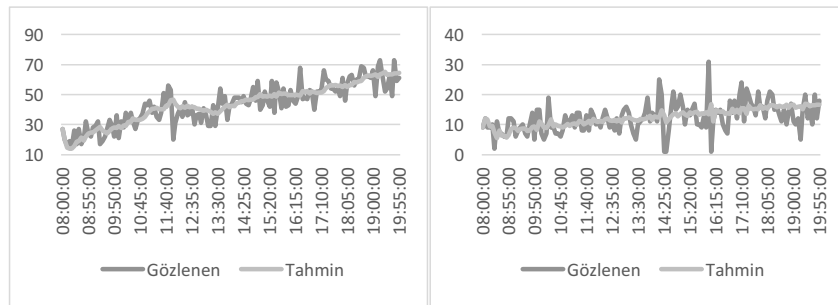
## 4.2 Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalamalar (ARIMA) Yöntemi

ARIMA modelini uygulayabilmek için seriye Dicky-Fuller testi ve KPSS uygulanmıştır. Oluşturulan veri setlerinin durağan olmadığı görülmüştür. Modeli belirleme aşamasında tahmin edilen otokorelasyon (ACF) ve kısmi otokorelasyon (PACF) fonksiyonlarına dayanarak örneklem verileri için deneme niteliğinde bir ARIMA modeli belirlenir. Her bir yaklaşım kolu için ACF ve PACF grafikleri incelenmiş, model belirlenmesi yapılırken AIC değerleri kontrol edilmiştir. Belirlenen değerler Tablo 1'de gösterilmiştir.

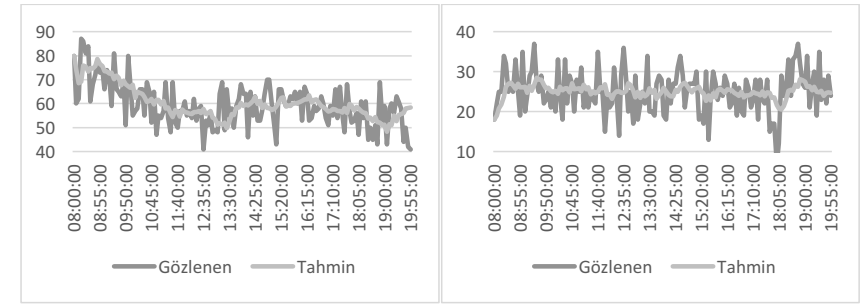
Tablo 1. Kavşak yaklaşım kolları için belirlenen p,d,q değerleri

	ARIMA (p,d,q)
Bayramyeri	(3,2,3)
Candoğan	(3,2,3)
Çaybaşı	(3,1,3)
Lozan	(3,1,1)

ARIMA modelinin 5'er dakikalık veri setinin tahmin sonuçları her bir yaklaşım kolu için hesaplanarak Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Bayramyeri ve Candoğan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini



Şekil 10. Çaybaşı ve Lozan geliş kolları 5 dakikalık veri tahmini

## 4.3 Tahmin Sonuçları

YSA ve ARIMA modellerinin tahmin sonuçlarını karşılaştırmak için MAPE ve RMSE hata değerleri üzerinde karşılaştırma yapılacaktır. Tablo 2'de ARIMA ve YSA modellerinin hata karşılaştırma değerleri gösterilmektedir.

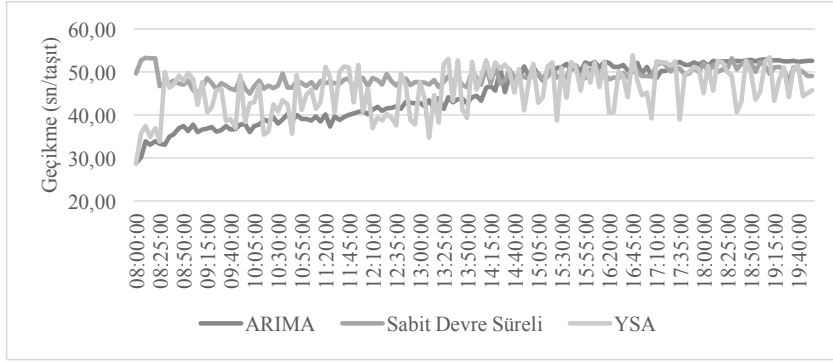
Tablo 2. ARIMA ve YSA modellerinin hata değerlerinin karşılaştırması

	ARIMA	ARIMA	YSA	YSA
	MAPE (%)	RMSE	MAPE (%)	RMSE
Bayramyeri Geliş	14	7	10	7
Candoğan Geliş	49	4	32	3
Çaybaşı Geliş	10	7	5	6
Lozan Geliş	20	5	10	4

Tablo 2'de 5 dakikalık veri setinde YSA'nın MAPE değerleri ARIMA'nın MAPE değerlerine göre daha düşük bir performans sergilerken RMSE değerleri gözle görülür bir farklılık sergilememektedir. Genel olarak bakıldığında ise veri setlerinin MAPE hata oranlarında YSA, ARIMA'ya başarılı bir performans sergilemektedir. ARIMA modelinin seriyi geç yakaladığı ve serinin tepkilerine geç cevap verdiği gözlenmektedir.

## 4.4 Kavşak Gecikme İyileşmesi

YSA ve ARIMA yöntemleriyle yapılan kısa zamanlı trafik tahminleri kol bazlı ve kavşak geneli taşıt gecikme değerleri çıkartılmıştır. Optimizasyon çalışmasında 5'er dakikalık tahminler saatlik hacimlere dönüştürülerek optimum devre ve yeşil süreleri hesaplanmıştır. Böylece kavşağın izole sistemden adaptif sisteme dönüştürülmesi durumunda YSA ve ARIMA modellerinde sağlanan kavşak geneli taşıt gecikme değerleri hesaplanmıştır. 5 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri Şekil 11'de verilmiştir. Sabah zirve saatlerden gün içi saatlere kadar ARIMA model tahminleri daha iyi bir sonuç gösterirken, YSA 5 dakikalık tahmin analizlerinden elde edilen gecikme değerleri kararsızlık göstermektedir. Fakat akşam saatleri ve akşam zirve saatleri için trafik yoğunluğunun her bir yaklaşım kolu içi artması, yan kolların (Lozan ve Candoğan geliş) tek şerit olmasından dolayı tahmin değerlerinden elde edilen gecikme sonuçları mevcut gecikme değerlerine yaklaşmıştır.



Şekil 11. 5 dakikalık tahmin verileriyle hesaplanan kavşak geneli gecikme değerleri

## 5 Sonuçlar

5 dakikalık veri seti için farklı tahmin yöntemleri ile gerçekleştirilen tahminler doğrultusunda optimize edilmiş devre süreleri sonucunda gecikme sürelerinde sağlanan iyileşmeler Şekil 12'de verilmiştir. 5 dakikalık tahminleme sonuçları doğrultusunda sabah zirve saatleri ve saat 14:00'a kadar kavşak geneli gecikmelerinde ARIMA %10-%35 arası bir performans, YSA ise %12-%33 arası bir performans sergilemektedir. 08:00-14:00 saatleri arasında her iki model de ortalama olarak %20'lik bir iyileşme gözlenmektedir. Akşam zirve saatlerinde ARIMA da %4 kötüleşme ile %7 iyileşme arasında bir performans, YSA da ise %5 kötüleşme ile %30 iyileşme performansları gözlemlenmektedir. 5 dakikalık ARIMA ve YSA tahmin sonuçlarında YSA tahminleme hataları ARIMA'ya göre daha düşük çıkmasından dolayı YSA 5 dakikalık gecikme iyileştirmesinde daha iyi sonuç göstermektedir.



Şekil 12. 5 dakikalık kavşak geneli gecikme iyileştirme yüzdeleri

ARIMA ve YSA yöntemlerinin tahmin sonuçları ve sonuçlardan elde edilen gecikme iyileştirme analizleri incelendiğinde YSA yönteminin ARIMA'ya göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Çalışmanın 5 dakikalık dilemler dışında daha kısa ve daha uzun aralıklar için performansı test edilerek tahmin yöntemlerinin test edilmesi gelecek çalışmalar olarak önerilebilir.

## Kaynakça

- Emeksiz, C. (2013). Yapay Sinir Ağı Geri Yayımlı Algoritması Kullanılarak Rüzgar Hızı Tahmini. *IX. Clean Energy Symposium, UTES'13*. Konya.
- Fausett, L. (1994). Fundamentals of neural networks: Architectures.
- Filik, Ü. B. (2017). Kısa-Dönem Rüzgâr Hızının Tahmininde Otoregresif ve Yapay Sinir Ağları Tabanlı Yeni Bir Hibrit Yaklaşım. *Karaelmas Fen ve Müh. Dergisi, Zonguldak*, 419-427.
- Foley, A. (2010). Wind power forecasting & prediction methods. *9th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, (s. 61-64).
- Hamzaçebi, C. (2011). *Yapay sinir ağları: tahmin amaçlı kullanımı matlab ve neurosolution uygulamalı*. Bursa: Ekin Yayınevi.
- Tufan, H. (2014). Akıllı Ulaşım Sistemleri Mimarisi. *Akıllı Ulaşım Sistemi Uygulamaları ve Türkiye İçin Bir AUS Mimarisi Önerisi* (s. 4). içinde Ankara: Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi.
- Vlahogianni, E. a. (2004). Short- term traffic forecasting: Overview of objectives and methods. *Transportation Reviews. Vol 24(5)*, 533-557.

## Trafik Uyarımalı Sinyalizasyon Sistemleri ile İzole Sinyalize Kavşak Denetimi

Ziya Çakıcı<sup>1</sup>, Yetiş Şazi Murat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü - Bayburt  
Tel: (0 458) 211 11 52 - 1661  
E-Posta: ziyacakici@bayburt.edu.tr

<sup>2</sup> Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü - Denizli  
Tel: (0 258) 296 33 57  
E-Posta: ysmurat@pau.edu.tr

### Öz

Sinyalize kavşak yaklaşım kollarındaki trafik taleplerinin zaman içerisinde çok fazla değişkenlik gösterdiği durumlarda, sabit zamanlı sinyalizasyon sistemlerinin başarımı önemli düzeyde azalmaktadır. Bu durum, trafikte yaşanan zaman kayıplarının artışına sebep olmakla birlikte maddi, psikolojik ve çevresel zararları da beraberinde getirmektedir. Son yıllarda, söz konusu zararları ve bu zararların olumsuz etkilerini minimum düzeye indirebilmek amacıyla, Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) uygulamaları üzerine yoğunlaşmıştır.

Bilindiği üzere, Akıllı Ulaşım Sistemlerinin uygulama alanlarından birisi de trafik uyarımalı sinyalizasyon sistemleridir. Bu tür uygulamaların başarımı, oluşturulan kontrol mantığı ile doğrudan ilişkili olduğu için, tasarımcıya büyük bir sorumluluk düşmektedir. Bu çalışmada, trafik uyarımalı sinyal denetimi uygulaması için etkin bir kontrol mantığının ve kontrol akış şemasının oluşturulması hedeflenmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, VISSIM simülasyon programında oluşturulan 4 kollu bir kavşak modeli baz alınarak, kavşak toplam trafik hacminin birbirinden farklı olduğu 20 senaryo oluşturulmuştur. İkinci aşamada, oluşturulan her bir senaryo için optimum sinyal süreleri belirlenmiş ve bu senaryolar VISSIM simülasyon programında analiz edilmiştir. Bir sonraki aşamada, yaklaşım kollarındaki trafik taleplerinin zaman içerisinde dalgalanma göstermesi durumları göz önünde bulundurularak, trafik uyarımalı sinyalizasyon uygulaması için VISSIM simülasyon programının VISVAP uygulaması ile bir kontrol algoritması (kontrol akış şeması) oluşturulmuş ve her bir senaryo ayrı ayrı analiz edilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise farklı kavşak denetim uygulamaları ile elde edilen ortalama taşıt gecikmesi, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu değerleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, özellikle kavşak yaklaşım kollarındaki trafik taleplerinde dalgalanma meydana geldiği durumlarda, trafik uyarımalı sinyal denetimi uygulaması ile, optimum sabit zamanlı sinyal denetimi uygulamasına kıyasla kavşak performansının önemli oranda artırılabilirliği ve kavşak hizmet düzeyinin önemli düzeyde iyileştirilebileceği görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** Sinyalize Kavşak, Trafik Uyarımalı Denetim, Gecikme, Sabit Zamanlı Denetim, Simülasyon

## Giriş

Dünyadaki ekonomik ve teknolojik gelişmeler birçok yönden hayatı kolaylaştırmasına rağmen, bir takım olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bu olumsuzlukların en fazla görüldüğü alanlardan birisi de hiç şüphesiz karayollarıdır. Yer değiştirme ve taşıma talebindeki artışa paralel olarak karayollarındaki motorlu taşıt sayısı her geçen gün önemli düzeyde artış göstermekte, bu durum hem ekonomik hem de çevresel zararlara yol açmaktadır (Çakıcı ve Murat, 2016). Özellikle, karayollarının kesişim alanları olan sinyal kontrollü kavşaklarda, trafik akımlarının yavaşlama - durma ve hızlanma hareketlerinden dolayı, yakıt tüketimine bağlı olarak egzoz emisyonları da artmaktadır. Böylece, şehirlerdeki hava kirliliği artış göstermekte ve yaşam kalitesi azalmaktadır. (Li ve Chen, 2014). Karşılaşılan söz konusu problemlerin insan ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini minimize etmek veya ortadan kaldırmak amacıyla, bilimsel temellere dayalı çözüm yaklaşımlarının tercih edilmesi gerekmektedir.

Yakıt tüketimi ve egzoz emisyonunun çok yüksek olduğu sinyalizasyon kavşaklarda duruş ve gecikmeleri minimum düzeye indirmek, problemin çözümüne yönelik önemli bir adımdır. Gecikmelerin ve duruşların minimize edilmesi ise, kavşak geometrisinin en uygun şekilde düzenlenmesi ve devre süresi ile faz sürelerinin trafik talebine göre belirlenmesi ile gerçekleştirilebilir. Kavşak yaklaşımlarındaki trafik taleplerinde dalgalanma görülmeyen durumlarda, optimum sabit zamanlı kontrol sistemi kavşağın denetimi için doğru ve uygun bir tercih olabilmektedir. Böylece hem ekonomik hem de çevresel bağlamda önemli düzeyde kazanımlar sağlanabilmektedir. Fakat bazen konserler, olumsuz hava koşulları, spor karşılaşmaları vb. nedenlerden dolayı bazı kavşak yaklaşımlarındaki trafik taleplerinde kısa süreli dalgalanmalar görülebilmektedir. Böyle durumlarda optimum sabit zamanlı kontrol sisteminin işletim etkinliği önemli ölçüde azalmakta ve özellikle dalgalanmanın meydana geldiği kavşak yaklaşımlarında yüksek düzeyli gecikmeler, kuyruk uzunlukları, yakıt tüketimleri ve egzoz emisyonları oluşabilmektedir (Grether ve diğ., 2011). Bu yüzden, talepte dalgalanma olması durumunda, kavşağın optimum sabit zamanlı sinyal sistemi ile denetiminin etkin ve verimli sonuçlar sağlayamayacağı unutulmamalıdır.

Özellikle son otuz yıldır, trafik akımlarındaki dalgalanma durumlarını göz önünde bulunduran sinyalizasyon sistemleri ve kontrol algoritmaları üzerine yapılan çalışma sayısı da bir hayli artmıştır. Akıllı ulaşım sistemlerinin önemli bir parçasını da oluşturan bu sistemler ya optimizasyona ya da oluşturulan bir kontrol algoritmasına dayalı olarak farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır (Li ve Prevedouros, 2004). Kontrol algoritmasına dayalı olarak işletilen sinyalizasyon sistemleri, trafik uyarımlı sinyalizasyon sistemleri olarak nitelendirilmektedir. Trafik uyarımlı sistemler, kavşak yaklaşımlarına yerleştirilen detektörler vasıtası ile elde ettikleri taşıt geliş ve kuyruklanma bilgilerinin (verilerinin) mevcut dinamiklerine göre yeşil ve kırmızı sinyal süreleri hakkında karar veren sistemlerdir (Viti ve van Zuylen, 2010). Sinyal sürelerindeki esneklikten dolayı bu sistemler ile, yüksek düzeyli gecikme, kuyruklanma, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları önemli ölçüde azaltılabilmektedir.

Trafik uyarımlı sinyal denetim sistemleri genel olarak kavşak performansı üzerinde olumlu etkilere sahip oldukları için, birçok ulaştırma bilimcisi ve trafik mühendisi bu konu üzerinde çalışmış ve halen çalışmaya devam etmektedir. Trafik uyarımlı denetim sistemlerinin işletimini etkileyen parametreler ve bu sistemlerin performanslarının değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalardan bazılarını şu şekilde özetlemek

mümkündür: Akçelik (1994), trafik uyarımlı sinyallerdeki ortalama yeşil süreleri ve devre süresini tahmin etmek için bir yaklaşım sunmuştur. Çalışma kapsamında ayrıca, geliş aralıklarının tahmini üzerine bir değerlendirme yapılmıştır. Trabia ve diğ. (1999), bulanık mantık tabanlı trafik uyarımlı bir sinyal kontrol sistemi üzerinde çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, bulanık tabanlı yaklaşım ile gecikmelerin %10 civarında azaltılabildiği görülmüştür. Kim ve Courage (2003), trafik uyarımlı sinyal kontrolü için kavşak kontrol gecikmesini minimize eden ve dört bileşenden meydana gelen maksimum yeşil süre tasarımı yöntemi önermişlerdir. Guo ve diğ. (2007), trafik uyarımlı sinyal denetim sistemlerinde uygulanan maksimum yeşil süreleri optimize etmek için iki analitik model geliştirmişlerdir. Simülasyon sonuçları bu modellerin, trafik taleplerindeki değişime uyum sağlayarak sistematik ve devresel olarak maksimum yeşil süre ayarlayabilme kabiliyetine sahip olduğunu göstermiştir. Zheng ve diğ. (2010), trafik uyarımlı sinyal kontrolün adaptif fonksiyonelliğini sağlamayı amaçlayan bir kontrol modeli üzerinde çalışmışlardır. Çalışma sonucunda modelin, sinyalizasyon performansını geliştirme potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Jiang ve diğ. (2011), trafik uyarımlı sinyal denetim sistemi parametrelerini optimize etmek için bir yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmada, trafik hacminin düşük olduğu kavşak yaklaşımlarında daha az maksimum yeşil süre ataması ve yeşil süre uzatımı yapılmasının gecikmeyi önemli oranda azaltılabileceği vurgulanmıştır. Grether ve diğ. (2011), trafik uyarımlı sinyal kontrol stratejisini bir futbol karşılaşması durumunu göz önünde bulundurarak değerlendirmişlerdir. Analizler sonucunda, özellikle talepte çok fazla artışlar görülmesi durumunda, trafik uyarımlı kontrol uygulaması ile seyahat sürelerinin önemli oranda azaltılabileceği görülmüştür. Swaminathan ve diğ. (2014), Hindistan Chennai’deki bir ana arter için trafik uyarımlı bir kontrol modeli geliştirmişlerdir. Simülasyonlar sonucunda, geliştirilen kontrol modeli ile ortalama gecikmelerin mevcut duruma göre yaklaşık %28 oranında azaltılabileceği belirlenmiştir. Guo ve Ma (2016), yeni bir trafik uyarımlı sinyal kontrol modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Sonuç olarak, geliştirilen model ile hem sabit zamanlı hem de klasik uyarımlı kontrol sistemine kıyasla daha düşük ortalama gecikmeler elde edilmiştir. Wang ve diğ. (2018), izole bir kavşakta iki fazlı trafik uyarımlı bir sinyal denetim sisteminin yeşil süre uzatımı üzerinde çalışmışlardır. Sonuç olarak, yeşil süre uzatımı için önemli bir parametre olan optimum kritik aralık değerinin trafikteki artış ile birlikte azaldığı ve bazı durumlarda bu değerinin yaygın bir varsayım olan 2-3 sn’den daha fazla olabileceği belirtilmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalardan da görüldüğü üzere, trafik uyarımlı sinyal denetim sistemi için oluşturulan kontrol algoritmasında doğru tasarım parametrelerinin (minimum kritik aralık, detektör yerleşimi, minimum yeşil süre, maksimum yeşil süre vb.) seçimi sistem performansının iyileştirilmesinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada da sinyalizasyon kavşaklarının etkin bir şekilde işletilmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, öncelikli olarak trafik uyarımlı sinyal denetim sistemi için bir kontrol algoritması oluşturulmuştur. Daha sonra, oluşturulan kontrol algoritması, trafik akımlarında dalgalanma olması ve dalgalanma olmaması durumu ayrı ayrı göz önünde bulundurularak, VISSIM’de test edilmiştir.

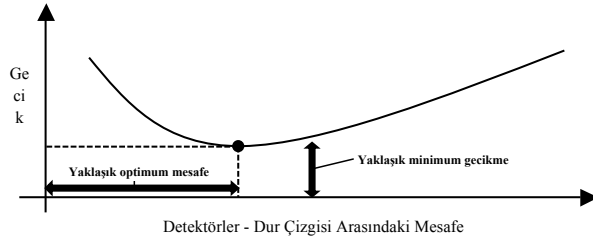
Bu çalışma beş bölüme ayrılmıştır. İkinci bölümünde, oluşturulan trafik uyarımlı sinyal denetim sistemi modeli (TUD4) detaylı olarak açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, çalışma kapsamında ele alınan trafik senaryoları ve talepteki dalgalanma durumları ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Dördüncü bölümde, VISSIM’de yapılan analizler ve bu analizlerin sonuçları detaylı olarak sunulmuştur. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar (bulgular) değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

**Trafik Uyarmalı Sinyal Denetim Sistemi Modeli: TUD4**

Trafik uyarmalı denetim, kavşak yaklaşımlarında bulunan detektörlerden gelen verilere ve bilgilere dayalı olarak kavşaktaki trafiğin güvenli ve düzenli bir şekilde yönetilmesidir. Trafik uyarmalı sinyal denetiminde, yeşil süreler ve dolayısıyla devre süreleri detektörler tarafından algılanan trafik taleplerine göre belirlenmektedir. Faz sıralaması sabit veya değişken olabilmektedir. Bunun yanı sıra, eğer bir faza talep yoksa o faz atlanabilmektedir. Bu tip denetimde kavşağın etkin işletimi genel olarak şu faktörlere bağlıdır: Minimum yeşil süre, Kritik aralık (Taşıt geliş aralığı), Detektör yerleşimi, Maksimum yeşil süre. Bu yüzden söz konusu faktörlerin mantıklı değerler seçilmesi kavşak performansının iyileştirilmesi ve geliştirilmesi açısından büyük bir önem arz etmektedir (Bullen, 1989).

Çalışma kapsamında oluşturulan trafik uyarmalı sinyal denetim sistemi modeli (TUD4) kontrol algoritmasına ait kontrol parametrelerinin seçimine ilişkin şunlar söylenebilir:

- Analizlerde, yüksek trafik hacimleri de göz önünde bulundurularak minimum kritik aralık yaklaşık 2 sn. olarak seçilmiştir. Bu durumda, detektörler vasıtası ile belirlenen kritik aralık 2 sn.'yi geçmediği sürece o faza ait yeşil süre 2 sn. uzatılmaktadır.
- Trafik uyarmalı sinyal denetim sistemleri için detektör yerleşimi ile ilgili net ve kesin bir bilgi bulunmamaktadır. Literatürdeki çalışmalardan, detektörlerin yerleşiminin trafik hacmi ile doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır (Bullen, 1989; HCM, 2010; Mathew, 2014). Ayrıca bu çalışmalarda detektörlerin, dur çizgisinin 15 ila 45 metre öncesine yerleştirildiği görülmektedir. Bu çalışmada da detektör yerleşimleri, her bir trafik senaryosu için deneme-yanılma yoluyla tespit edilmiştir. Detektörlerin kavşak yaklaşımındaki dur çizgisine mesafesi ve ortalama gecikme arasında da Şekil 1' deki gibi bir ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca, elde edilen bu ilişki literatürde yer alan çalışmalar ile de doğrulanmıştır (Bullen, 1989).



Şekil 1 Ortalama Gecikme – Detektörlerin Dur Çizgisine Mesafesi Arasındaki İlişki

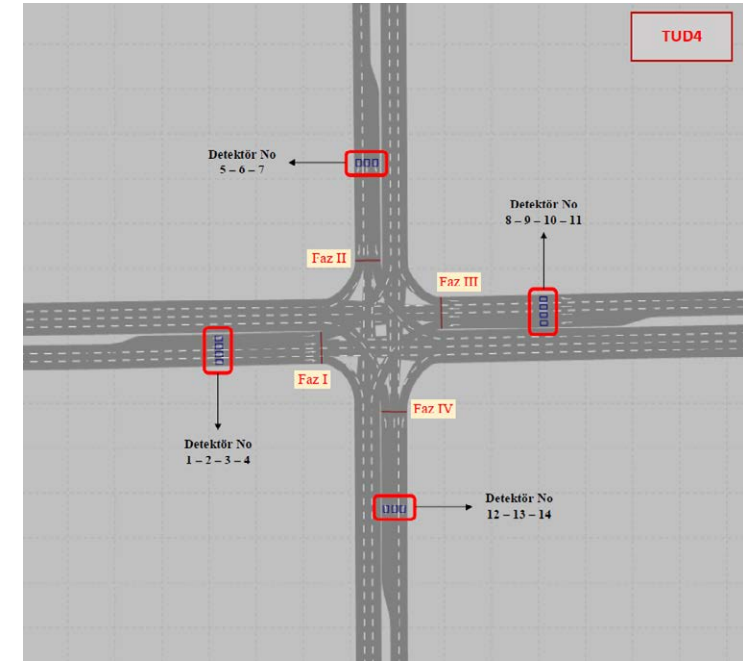
- Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde minimum yeşil sürenin 4 sn. – 5 sn. veya yukarısında (detektör mesafesine bağlı olarak) seçildiği görülmektedir (Bullen, 1989; Mathew, 2014). Özellikle yaklaşımlardaki trafik hacimlerinin yüksek olduğu durumlarda, detektörlerin dur çizgisine olan mesafesi 45 metreye kadar çıkabileceği için, minimum yeşil sürenin en az 45 metre mesafedeki taşıtların kavşağı terk edebilmesine imkan sağlayan bir değer seçilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında, başlangıç hareket kaybı ve detektör ile dur çizgisi arasında depolanan taşıt sıra sayısı da dikkate alındığında, minimum yeşil sürelerin detektör mesafelerine bağlı olarak Tablo 1' de sunulan değerler olarak kabul edilmesi uygun bulunmuştur.

Tablo 1 Detektör Mesafesine Bağlı Minimum Yeşil Süreler

Detektör - Dur Çizgisi Arasındaki Mesafe (m)	15	20	25	30	35	40	45
Minimum Yeşil Süre (sn)	5	7	9	11	13	15	17

- Trafik uyarmalı sinyal denetim sistemleri için maksimum yeşil süre, genel olarak, 45 sn. ve 60 sn. arasında seçilmektedir (Doğan, 2014). Bu çalışma kapsamında da her bir faza ait maksimum yeşil süre 60 sn. olarak dikkate alınmıştır.

Analizlerde kullanılan dört kollu kavşak modeli için trafik uyarmalı sinyal denetimi uygulamasına (TUD4) ilişkin bilgiler ve görseller Şekil 2' de sunulmaktadır.



Şekil 2 Dört Kollu Sinyalize Kavşakta Trafik Uyarmalı Denetim uygulaması

Şekil 2' de gösterilen detektörler, hem kavşak yaklaşımlarında oluşan kuyruklanmanın hem de taşıt geliş aralıklarının tespit edilebilmesi için kullanılmaktadır. VISSIM' in VISVAP uygulaması ile oluşturulan kontrol algoritması mantığına göre, kavşak yaklaşımlarında kuyruklanma oluşmadığı durumlarda faz atlamaları yapılabilmektedir.

**Trafik Senaryoları ve Taleplerdeki Dalgalanmalar**

Çalışmanın bu bölümünde öncelikli olarak, Şekil 2' de gösterilen 4 kollu kavşak modeli göz önünde bulundurularak, analiz çalışmaları için referans bir kavşak talep matrisi oluşturulmuştur. Hareket yönü bazlı kavşak referans talep matrisi Tablo 2' de detaylı olarak sunulmaktadır.

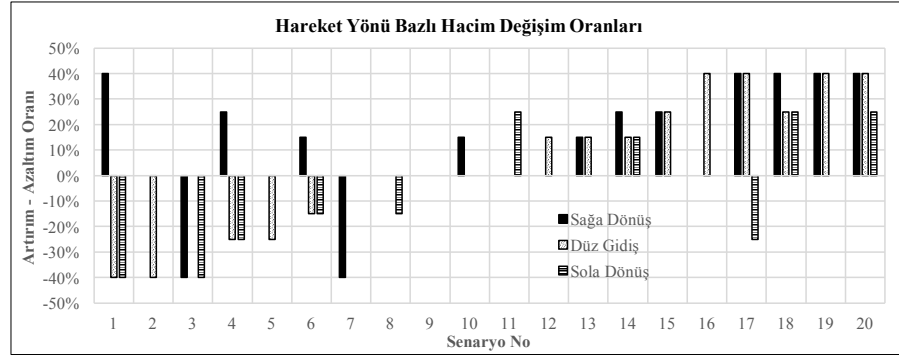
Tablo 2 Analiz Çalışmaları için Oluşturulan Referans Kavşak Talep Matrisi

Yaklaşım Kolu (B-V)	Hacimler (ta/sa)				Yaklaşım Kolu (B-V)	Oranlar			
	Batı	Kuzey	Doğu	Güney		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

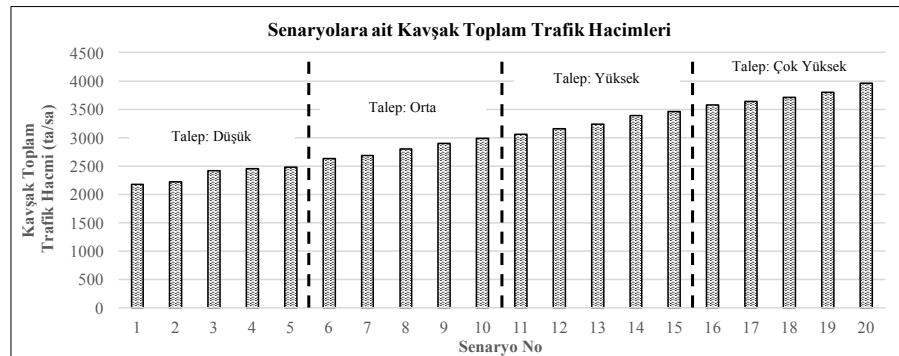
Kavşak Toplam Hacmi: 2900 ta/sa

Bir sonraki aşamada, farklı senaryoların analizleri için, Tablo 2’ de verilen referans talep matrisi dikkate alınarak, taleplerde arttırma ve azaltmalar yapılmış ve 20 adet trafik senaryosu oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolar için hareket yönü bazlı, hacimdeki artırım ve azaltım oranları Şekil 3’ de gösterilmektedir.



Şekil 3. Oluşturulan Senaryolar için Hareket Yönü Bazlı Hacim Değişim Oranları

Şekil 4’ de ise hacimlerde gerçekleştirilen artırım ve azaltımlar sonucu oluşan kavşak toplam trafik hacimleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 4 Oluşturulan 20 Senaryo için Kavşak Toplam Trafik Hacimleri

Şekil 4’ den görüldüğü üzere, oluşturulan 20 senaryo kavşaktaki toplam trafik talebinin düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olması durumlarına göre 4’ e ayrılmıştır.

VISSIM’ de taşıt gelişleri poisson dağılımına uymaktadır. Bununla birlikte, trafik taleplerinde artış ve azalmaların meydana geldiği zaman dilimleri ve bu zaman dilimlerinde meydana gelen artış ve azalmaların niceliği, kullanıcı tarafından da belirlenebilmektedir. Böylece, kısa süreli dalgalanmalar da analiz edilebilmektedir.

Daha önce de belirtildiği üzere, bu çalışmada, trafik taleplerinde dalgalanma olması durumunda TUD4’ ün başarımının incelenmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda, oluşturulan 20 trafik senaryosu için, talepte dalgalanmanın meydana geldiği zaman dilimleri ve bu dalgalanmaların nicelikleri üzerine örnek durumlar oluşturulmuştur. Söz konusu örnek durumlar Tablo 3’ de detaylı olarak sunulmaktadır.

Tablo 3 Talepte Dalgalanmaların Meydana Geldiği Zaman Dilimleri ve Dalgalanmaların Nicelikleri Üzerine Oluşturulan Örnek Durumlar

Senaryo No	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 %33’ ünün 10. ve 20. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Güney yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50’ sinin 30. ve 50. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
3	Doğu yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %60’ ının 12. ve 36. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
4	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.
5	Kuzey yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %33’ ünün 30. ve 40. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Güney yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %33’ ünün 30. ve 40. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
6	Batı yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %33’ ünün 20. ve 33. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Batı yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %28’ inin 47. ve 60. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Kuzey yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %22’ sinin 20. ve 27. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Kuzey yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %22’ sinin 40. ve 47. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Doğu yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50’ sinin 13. ve 33. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
7	Batı yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %67’ sinin 30. ve 50. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Doğu yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %42’ sinin 30. ve 40. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Güney yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50’ sinin 10. ve 30. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
8	Batı yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %38’ inin 30. ve 45. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Kuzey yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %38’ inin 30. ve 45. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Doğu yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50’ sinin 45. ve 60. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Güney yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %38’ inin 45. ve 60. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
9	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.
10	Batı yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50’ sinin 20. ve 40. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Güney yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50’ sinin 40. ve 60. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
11	Kuzey yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %67’ sinin 40. ve 60. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Doğu yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %75’ inin 10. ve 40. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
12	Batı yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50’ sinin 20. ve 40. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Doğu yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50’ sinin 40. ve 60. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
13	Batı yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %42’ sinin 5. ve 15. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Güney yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %33’ ünün 15. ve 25. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Güney yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %33’ ünün 40. ve 50. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
14	Kuzey yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50’ sinin 40. ve 60. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Güney yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %67’ sinin 10. ve 30. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
15	Batı yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %38’ inin 15. ve 30. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
16	Batı yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %33’ ünün 5. ve 10. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
17	Kuzey yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %56’ sının 30. ve 45. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Güney yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %38’ inin 8. ve 23. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
18	Kuzey yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %67’ sinin 40. ve 60. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Güney yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50’ sinin 10. ve 30. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
19	Kuzey yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %44’ ünün 7. ve 20. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır. Güney yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %33’ ünün 33. ve 47. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.
20	Doğu yaklaşım kolundaki taşıtların yaklaşık %50’ sinin 15. ve 30. dakikalar arasında geldiği varsayılmıştır.

Analiz Süresi = 60 dk

## Analizler

Bu bölümde, VISSIM' in VISVAP uygulaması ile oluşturulan trafik uyarmalı sinyal denetim sistemi (TUD4) kontrol mantığının etkinliğinin test edilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, öncelikli olarak, dört kollu sinyalizasyon kavşağının optimum sabit zamanlı denetim (OSZD) sistemi ile yönetildiği ve dört fazlı olarak işletildiği (her bir yaklaşım koluna ayrı bir fazda geçiş hakkı verildiği) varsayılmıştır.

Sinyal sürelerinin optimizasyonunda, trafik akımlarının harekete dayalı olarak değerlendirildiği Akçelik gecikme bağıntısı kullanılmıştır (Akçelik, 1998). Akçelik gecikme bağıntısı ile bir hareket için toplam gecikmenin yaklaşık değeri Eşitlik 1 yardımı ile hesaplanabilmektedir

$$D = \frac{qC \times (1-u)^2}{2 \times (1-y)} + N_0 x \quad (1)$$

Burada;  $D$  = Toplam gecikme;  $qC$  = Devre başına taşıt biriminden gelişlerin ortalama sayısı ( $q$  = Saniye başına taşıt biriminden akım,  $C$  = Saniye biriminden devre süresi);  $u$  = Yeşil süre oranı ( $=g/C$ );  $y$  = Akım oranı ( $=q/s$ );  $N_0$  = Taşıt biriminden ortalama taşan kuyruk' tur.

Taşıt başına ortalama gecikmeyi elde etmek için ise Eşitlik 2 kullanılmaktadır.

$$d = \frac{D}{q} \quad (2)$$

Burada;  $D$  = Toplam gecikme;  $q$  = Saniye başına taşıt biriminden akım' dır.

Çalışma kapsamında, sinyal sürelerinin optimizasyonu, kavşaktaki ortalama taşıt gecikmesinin minimize edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Sinyal süresi optimizasyonu problemi için oluşturulan amaç fonksiyonu, karar değişkenleri ve kısıtlar seti Tablo 4' de verilmektedir.

Tablo 4 Sinyal Süresi Optimizasyonu Problemi için Oluşturulan Amaç fonksiyonu, Karar Değişkenleri ve Kısıtlar Seti

Amaç Fonksiyonu $n = 1, 2, \dots, 14$ ( $n$ = Kavşaktaki toplam akım sayısı)		$f = \min \left( d = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \right)$
Karar Değişkenleri $i = 1, 2, \dots, 4$ ( $i$ = Faz no)		$g_i$ : $i$ . faza ait yeşil süre (sn.)
Yeşil süre Kısıtı $i = 1, 2, \dots, 4$ ( $i$ = Faz no)		$7 \leq g_i \leq 45$
Kısıtlar Seti	v/c (x) Kısıtı $n = 1, 2, \dots, 14$ ( $n$ = Kavşaktaki toplam akım sayısı)	$0 \leq x_n \leq 1.2$

Amaç fonksiyonu, karar değişkenleri ve kısıtlar setinin belirlenmesinin ardından, Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılarak MATLAB' da sinyal süre optimizasyonu programı hazırlanmıştır. DGA, özellikle sürekli verilerin söz konusu olduğu, birden fazla boyuta ve yerel minimum noktalara sahip problemlerde etkin sonuçlar sağlayabilmektedir. Güçlü ve basit bir algoritma olduğu için birçok problemin çözümünde tercih edilmektedir. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması operatörü ile birlikte Genetik Algoritma' daki çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörleri de Diferansiyel Gelişim Algoritması' nda kullanılmaktadır (Akgüngör ve diğ., 2019). Algoritma; Populasyon boyutu ( $N_p$ ), Çaprazlama Oranı (CR), Mutasyon katsayısı (F) ve maksimum iterasyon sayısı olmak üzere dört adet kontrol parametresi içermektedir. Bu çalışmada, literatürde yapılan önceki çalışmalar dikkate alınarak,  $N_p=50$  - CR=0.8 - F=0.8 ve Iterasyon Sayısı=1000 olarak seçilmiştir (Keskintürk, 2006).

20 trafik senaryosu için, MATLAB programı ile elde edilen optimum sinyal süreleri ve ortalama gecikmeler Tablo 5' de sunulmaktadır.

Tablo 5 Senaryolar için Optimum Sinyal Süreleri ve Ortalama Taşıt Gecikmeleri

Talep	Senaryo No	Faz I (sn)	Faz II (sn)	Faz III (sn)	Faz IV (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Gecikme (sn/ta)	Talep	Senaryo No	Faz I (sn)	Faz II (sn)	Faz III (sn)	Faz IV (sn)	Devre Süresi (sn)	Ortalama Gecikme (sn/ta)
Düşük	1	10	9	9	12	60	25.00	Yüksek	11	19	9	17	14	79	34.00
	2	9	7	8	9	53	20.82		12	25	11	22	17	95	43.82
	3	19	8	16	13	76	33.25		13	24	11	21	17	93	44.63
	4	13	9	11	11	64	26.89		14	25	12	22	18	97	45.55
	5	12	7	10	9	58	23.60		15	31	14	27	22	114	55.59
Orta	6	14	8	12	11	65	28.32	Çok Yüksek	16	45	19	39	31	154	78.83
	7	19	8	16	13	76	32.84		17	45	20	39	31	155	82.37
	8	19	9	17	13	78	33.30		18	31	15	27	22	115	57.56
	9 (R)	19	9	16	13	77	33.20		19	45	20	39	31	155	81.21
	10	18	9	16	13	76	34.51		20	45	20	39	31	155	80.26

Faz I: Batı / Faz II: Kuzey / Faz III: Doğu / Faz IV: Güney - Sarı Süreler: 2+2 sn / Ortak Kırmızı Süre: 1 sn - (R): Referans Talep

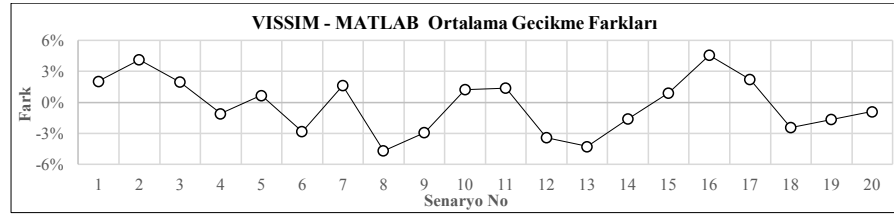
Çalışma kapsamında yapılan analizlerin tamamı VISSIM' de gerçekleştirildiği için, mantıklı bir değerlendirme yapılabilmesi açısından, aynı şartlarda (optimum sinyal süreleri, trafik hacimleri) MATLAB ile elde edilen ortalama taşıt gecikmelerinin VISSIM' den elde edilen ortalama taşıt gecikmelerine benzer olması gerekmektedir. Bu yüzden, sürücü davranışlarında kalibrasyon yapılarak, VISSIM ile elde edilen sonuçlar, MATLAB ile elde edilen sonuçlara benzetilmeye çalışılmıştır. 20 trafik senaryosu için MATLAB ve VISSIM' den elde edilen ortalama gecikmeler Tablo 6' da verilmektedir.

Tablo 6 Senaryolar için MATLAB ve VISSIM ile Elde Edilen Ortalama Gecikmeler

Talep	Senaryo No	MATLAB (sn/ta)	VISSIM (sn/ta)	Talep	Senaryo No	MATLAB (sn/ta)	VISSIM (sn/ta)	Talep	Senaryo No	MATLAB (sn/ta)	VISSIM (sn/ta)	Talep	Senaryo No	MATLAB (sn/ta)	VISSIM (sn/ta)
Düşük	1	25.00	25.51	Orta	6	28.32	27.52	Yüksek	11	34.00	34.47	Çok Yüksek	16	78.83	82.44
	2	20.82	21.68		7	32.84	33.38		12	43.82	42.32		17	82.37	84.21
	3	33.25	33.91		8	33.30	31.74		13	44.63	42.73		18	57.56	56.16
	4	26.89	26.60		9	33.20	32.23		14	45.55	44.82		19	81.21	79.88
	5	23.60	23.76		10	34.51	34.94		15	55.59	56.10		20	80.26	79.55

MATLAB ve VISSIM sonuçları arasındaki farklar (%) ise Şekil 5' de gösterilmektedir.





Şekil 5 Senaryolar için MATLAB ve VISSIM Ortalama Gecikme Farkları

Optimum sabit zamanlı denetim için VISSIM’ de elde edilen sonuçların MATLAB ile elde edilen sonuçlara benzetilmesinin ardından, TUD4’ ün etkinliğinin belirlenebilmesi amacıyla, oluşturulan trafik uyarımlı sinyal denetimi kontrol algoritması 20 trafik senaryosu üzerinde test edilmiştir. Bu aşamada, öncelikli olarak, her bir senaryo için deneme-yanılma yoluyla en uygun detektör yerleşimleri belirlenmiştir. Tüm senaryolar için yaklaşık optimum detektör yerleşimleri Tablo 7’ de verilmektedir.

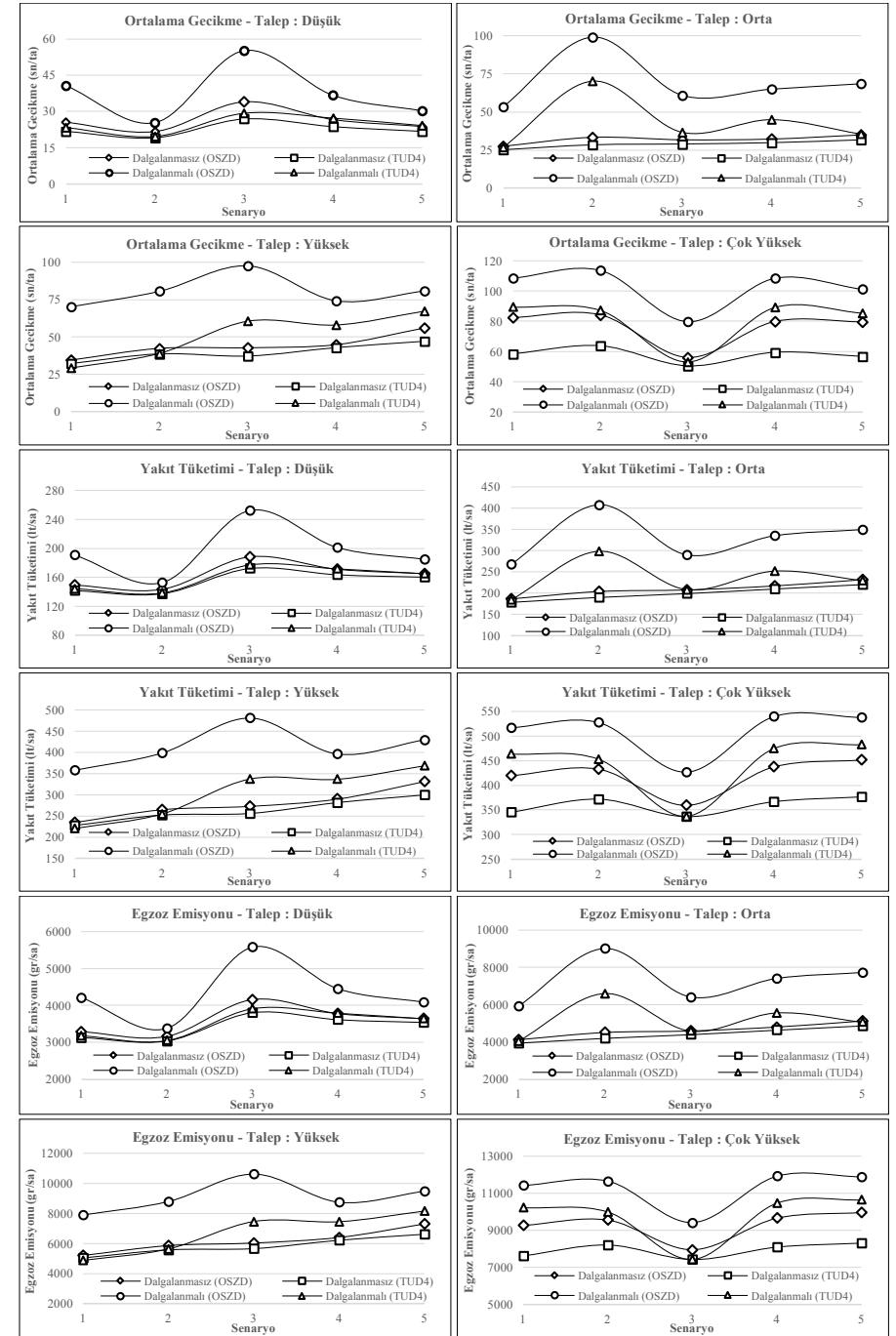
Tablo 7 Senaryolar için Yaklaşık Optimum Detektör Yerleşimleri

Senaryo No	Detektörlerin Dur Çizgisine Olan Mesafesi (m)				Senaryo No	Detektörlerin Dur Çizgisine Olan Mesafesi (m)			
	Batı Y. K.	Kuzey Y. K.	Doğu Y. K.	Güney Y. K.		Batı Y. K.	Kuzey Y. K.	Doğu Y. K.	Güney Y. K.
1	15	15	15	15	11	20	20	20	20
2	15	15	15	15	12	30	30	30	30
3	15	15	15	15	13	30	30	30	30
4	15	15	15	15	14	35	35	35	35
5	15	15	15	15	15	45	45	45	45
6	15	15	15	15	16	45	45	45	45
7	20	20	20	20	17	45	45	45	45
8	20	20	20	20	18	45	45	45	45
9	25	25	25	25	19	45	45	45	45
10	20	20	20	20	20	45	45	45	45

Detektör yerleşimlerinin belirlenmesinin ardından, her bir trafik senaryosu, talepte dalgalanma olup olmaması ve kavşak yönetiminin optimum sabit zamanlı denetim sistemi (OSZD) veya TUD4 ile gerçekleştirilmesi durumlarına göre 4 farklı şekilde ayrı ayrı analiz edilmiştir. Söz konusu 4 farklı durumu şu şekilde özetlemek mümkündür:

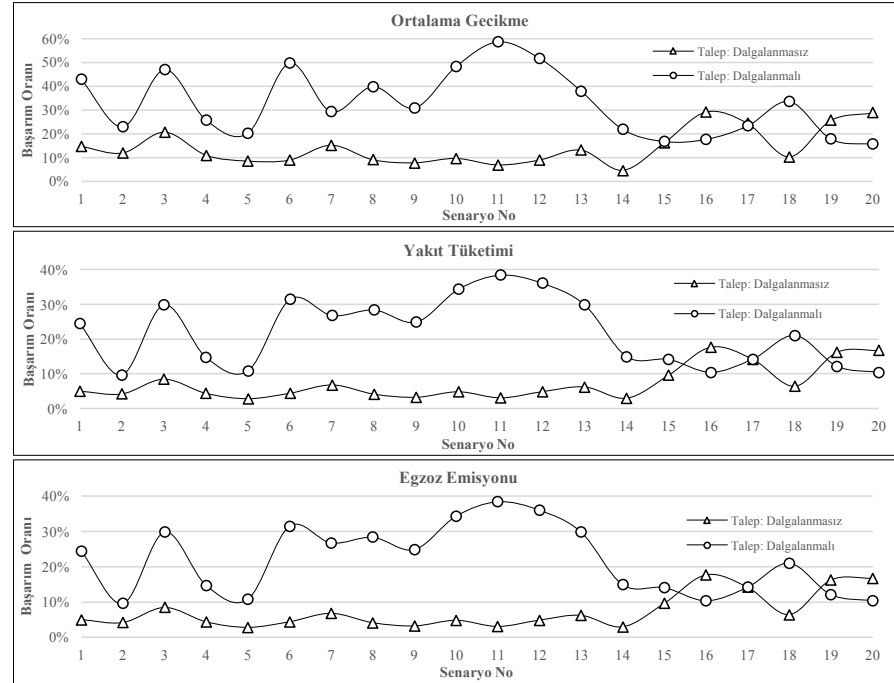
- **Dalgalanmasız (OSZD):** Birinci durumda, trafik taleplerinde dalgalanma söz konusu değildir. Her bir senaryo, MATLAB ile elde edilen optimum sinyal süreleri baz alınarak VISSIM’ de analiz edilmiştir (Tablo 6).
- **Dalgalanmasız (TUD4):** İkinci durumda da talepte dalgalanma söz konusu değildir. Her bir senaryo, TUD4 baz alınarak VISSIM’ de analiz edilmiştir.
- **Dalgalanmalı (OSZD):** Üçüncü durumda, her bir senaryo için, trafik taleplerinde dalgalanma olması durumunda (Tablo 3) optimum sabit zamanlı denetim sisteminin başarımının incelenmesi hedeflenmiştir.
- **Dalgalanmalı (TUD4):** Dördüncü durumda da, her bir senaryo için, trafik taleplerinde dalgalanma olması durumunda (Tablo 3) trafik uyarımlı sinyal denetim sisteminin başarımının incelenmesi hedeflenmiştir.

Yukarıda açıklanan 4 farklı durum göz önünde bulundurularak yapılan analizler sonucunda, her bir senaryo için ortalama gecikme, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu (CO+NO<sub>x</sub>) değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6’ da gösterilmektedir.



Şekil 6 Senaryolar için Analizler Sonucunda Elde Ortalama Gecikmeler, Yakıt Tüketimleri ve Egzoz Emisyonları

Şekil 6' dan da görüldüğü üzere, özellikle trafik taleplerinde dalgalanma görüldüğü durumlarda, optimum sabit zamanlı sinyal denetim sisteminin etkinliği azalmıştır. Bununla birlikte, trafik uyarımlı sinyal denetimi uygulaması ile ortalama gecikmelerin, yakıt tüketimlerinin ve egzoz emisyonlarının önemli oranlarda azaltılabileceği açıkça görülmektedir. Talepte dalgalanma görülmemesi durumunda ise, yine aynı şekilde trafik uyarımlı sinyal denetim sistemi, optimum sabit zamanlı sinyal denetim sistemine kıyasla daha avantajlı olmasına rağmen, elde edilen başarımların düşüktür. Oluşturulan 20 senaryo için, taleplerde dalgalanma görülüp görülmemesi durumlarında, optimum sabit zamanlı sinyal kontrolü yerine trafik uyarımlı sinyal kontrolü uygulanması durumunda elde edilen başarımların Şekil 7' de sunulmaktadır.



Şekil 7 OSZD yerine TUD4 Uygulanması Durumunda Elde Edilen Başarımların

Talepte dalgalanma olması ve talepte dalgalanma olmaması durumları ayrı ayrı incelendiğinde, Tablo 8' de verilen sonuçlara ulaşmak mümkündür.

Tablo 8 Talepte Dalgalanma Olup Olmaması Durumunda Elde Edilen Başarımların

	20 Senaryo için, OSZD yerine TUD4 Uygulanması Durumunda Elde Edilen Başarımların (%)					
	Talep: Dalgalanmasız			Talep: Dalgalanmalı		
	Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama
Ortalama Gecikme	4.51	29.16	14.20	15.58	58.55	32.54
Yakıt Tüketimi	2.80	17.68	7.29	9.62	38.41	21.83
Egzoz Emisyonu	2.79	17.68	7.29	9.60	38.40	21.82

## Sonuçlar

Bu çalışmada, trafik taleplerindeki dalgalanmalara uyum sağlayabilen trafik uyarımlı bir sinyal denetim sistemi (TUD4) geliştirilmiş ve geliştirilen sistemin etkinliği, talepteki dalgalanma durumları göz önünde bulundurularak test edilmiştir. Talepte dalgalanma görülmemesi durumunda, TUD4 ile OSZD' ye kıyasla daha düşük gecikme, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu değerleri elde edilmiştir. Şekil 7 dikkatle incelendiğinde, özellikle talebin çok yüksek olması durumunda, bu parametrelerdeki başarımların artış gösterdiği görülmektedir. Bu durumun temel nedeni, OSZD için uygulanan maksimum yeşil süre kısıtının, TUD4 için uygulanan maksimum yeşil süre kısıtından daha az olmasıdır. TUD4' de maksimum yeşil süre uzunluğunun arttırılması, özellikle talebin çok yüksek olduğu yaklaşım kollarındaki taşıtların kavşağı daha az zaman kaybederek terk edebilmesine imkan sağlamıştır. Böylece, kavşaktaki gecikme, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları önemli düzeyde azaltılmıştır. Talepte dalgalanma görülmesi durumunda ise, OSZD' nin etkinliği azalmakta ve ortalama gecikmelerde büyük artışlar yaşanmaktadır. Özellikle talebin düşük, orta ve yüksek olduğu durumlarda TUD4 uygulaması ile ortalama gecikmeler, yakıt tüketimleri ve egzoz emisyonları önemli oranlarda azaltılabilmektedir. Talebin çok yüksek ve dalgalanmalı olduğu durumlarda ise başarımlarında azalmalar görülmüştür. Bu durumun nedeni, dalgalanmalı trafik talebine bağlı olarak, farklı kavşak yaklaşımının maksimum yeşil süre kullanımının artmasıdır. Maksimum yeşil süre kullanımının sıklığı gecikme, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu artışını tetikleyen bir etken olarak belirlenmiştir. Örnek senaryolar için, trafik taleplerinde dalgalanma görülmediği durumlarda, OSZD yerine TUD4 uygulaması ile gecikmeler ortalama %14.2, yakıt tüketimleri ve egzoz emisyonları ise ortalama %7.3 civarında azaltılabilmektedir. Talepte dalgalanma görülmesi durumunda ise bu oranlar yaklaşık 2.5-3 kat artış göstermiştir. Ayrıca, trafik taleplerinde dalgalanma görülmediği durumlarda, OSZD yerine TUD4 uygulaması ile yalnızca 5 senaryonun hizmet düzeyi iyileştirilebilmesine rağmen, talepte dalgalanma görülmesi durumunda bu sayı 14' e çıkmıştır.

Elde edilen sonuçlar, TUD4' ün trafik taleplerindeki dalgalanmalara etkin bir şekilde uyum sağlayabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, farklı hesaplama yaklaşımları ile TUD4' ün performansının daha da arttırılabileceği düşünülmektedir.

## Kaynaklar

Akcelik, R. (1994) Estimation of Green Times and Cycle Time for Vehicle Actuated Signals, *Transportation Research Record*, 1457, pp 63-72.

Akcelik, R. (1998) Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis, *Australian Road Research Board*, Research Report ARR No: 123.

Akgüngör, A. P., Yılmaz, Ö., Korkmaz, E., Doğan E. (2019) Meta-Sezgisel Yöntemlerle Sabit Zamanlı Sinyalize Kavşaklar için Optimum Devre Süresi Modeli, *El Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (2), pp 259-269.

Bullen, A. G. R. (1989) Effects of Actuated Signal Settings and Detector Placement on Vehicle Delay, *Transportation Research Record*, 1244, pp 32-38.

Çakıcı, Z., Murat, Y. Ş. (2016) Sinyalize Dönel Kavşaklar için Hesap Yöntemi Önerisi ve Performans Analizi, İMO Teknik Dergi, 27 (4), pp 7569-7592.

Doğan, E. (2014) Optimize Edilmiş Bulanık Mantık Yöntemi ile İzole Sinyalize Kavşak Kontrolü, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale

Grether, D., Bischoff, J., Nagel, K. (2011) Traffic Actuated Signal Control: Simulation of The User Benefits in a Big Event Real-World Scenario, 2<sup>nd</sup> International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, pp 1-4.

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.

Guo, Y., Ma, J. (2016) An Improved Actuated Signal Control of Intersection based on VISVAP, Int. Conference on Sensor Network and Computer Engineering, pp 123-128.

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.

Keskintürk, T. (2006) Diferansiyel Gelişim Algoritması, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9 (1), pp 85-99.

Kim, J. T., Courage, K. G. (2003) Evaluation and Design of Maximum Green Time Settings for Traffic-Actuated Control, Transportation Res. Record, 3606, pp 246-255.

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.

Li, X., Chen, F. (2014) Optimal Signal Timing of Single Intersection for Traffic Emission Control, Applied Mechanics and Materials, 587-589 (2014), pp 2137-2140.

Mathew, T. V. (2017) Signalized Intersections Delay Models, Lecture Notes in Transportation System Engineering.

Swaminathan, N., Rathinawel, N., Duraisamy, S., Karuppanan, G. (2014) Design of Vehicle Actuated Signal Using Simulation, Gradevinar, 7 (2014), pp 635-641.

Trabia, M. B., Kaseko, M. S., Ande, M. (1999) A Two-Stage Fuzzy Logic Controller for Traffic Signals, Transportation Research Part C, 7 (1999), pp 353 – 367.

Viti, F., van Zuylen, H. J. (2010) A Probabilistic Model for Traffic at Actuated Control Signals, Transportation Research Part C, 18 (2010), pp 299-310.

Wang, X.B., Yin, K., Liu, H. (2018) Vehicle Actuated Signal Performance Under General Traffic at an Isolated Intersection, Trans. Res. Part C, 95 (2018), pp 582-598.

Zheng, X., Recker, W., Chu, L. (2010) Optimization of Control Parameters for Adaptive Traffic-Actuated Signal Control, Journal of Intelligent Transportation Systems, 14 (2), pp 95-108.

## Ana Arterlerde Katılım ve Ayrımların Trafik Hızlarına Etkisinin İncelenmesi: D-100 Karayolu Örneği

**Gürkan Günay**

Doğuş Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34722, Kadıköy, İstanbul

Tel: (0216) 444 79 97

E-Posta: ggunay@dogus.edu.tr

**İlgin Göktaşar**

Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34342, Bebek, İstanbul

Tel: (0212) 359 72 78

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

### Öz

Trafik sıklığının, özellikle büyükşehirlerde, çevreye ve topluma sosyal ve ekonomik açıdan olumsuz etkileri bulunmaktadır. Sıklığın çözümlenmesinde, sorunun kaynaklarının tespit edilmesi önemli yer tutar. Bu çalışmada ana arterlerde katılım ve ayırım noktalarının, zirve ve zirve dışı saatlerde araçların hızlarına olan etkisinin regresyon analizi kullanılarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, İstanbul'da Topkapı-Şirinevler arası 3 şeritli D-100 Karayolu çalışma alanı olarak kullanılmıştır. Çalışma için Topkapı-Şirinevler yönünde 24 saat boyunca 8 sensör aracılığı ile her şeritteki hız, trafik hacmi ve işgal süresi değerleri toplanmıştır. Ayrıca, sensörler arasındaki mesafeler de ölçülmüştür. Koridorun bazı yerlerinde yol, katılımlardan dolayı 4 şerit olarak kullanıldığı için her sensörün bulunduğu yerdeki şerit sayısı da kaydedilmiştir. Regresyon analizlerinde hız bağımlı değişken iken, işgal süresi, sensörlerin çalışma bölgesinin başlangıç noktasına olan mesafesi, sensörlerin kendilerine en yakın ayırım ve katılımlara olan mesafeleri ve ayırım ve katılım olması durumu bağımsız değişkenler olarak modellere uygulanmıştır. Sonuçlara göre, zirve dışı saatlerde anayola katılım olması ve ortalama işgal süresi, ortalama hızlar üzerinde etkili iken, tek tek şeritler incelendiğinde sensörlerin bir sonraki ayırım ve katılımlara olan mesafeleri anlamlı değişken olarak ortaya çıkmıştır. Ancak, zirve saatlerde bu koridor tamamen tıkalı olduğu için hız değerleri ile bağımsız değişkenler arasında ilişki bulunamamış olup, bu durum analizlerde gösterilmiştir.

1

**Anahtar sözcükler:** D-100 Karayolu, Trafik sıklığı, Katılım, Ayırım, Regresyon analizi.

1

2

### Giriş

1

Kullanılan ulaşım çeşidi fark etmeksizin seyahat süresi ulaşımın kalitesini ve kullanıcı tercihlerini en çok etkileyen kriterdir ve günümüzde büyük şehirlerinin en büyük problemlerinden biri olan trafik sıklığı ile doğrudan alakalıdır. Navigasyon sistemleri üreten Hollandalı bir şirket olan TomTom'un verilerine göre özellikle yoğun

saatlerde, İstanbul iki kata kadar artış gösterebilen ekstra seyahat süreleriyle, trafik sıkışıklığı açısından dünyada altıncı sıradadır (TomTom, 2019). 2018 verilerine göre 15 milyonu geçen nüfusuyla (TÜİK, 2018). İstanbul'da bulunan 3 milyon 571 bin 386 aracın 2 milyon 669 bin 296'i otomobildir (Yılmaz, 2018). Bu durum da trafik sıkışıklığını etkileyen önemli faktörlerdendir.

1  
Günlük hayatla iç içe oluşu ve kaçınılmazlığı ile trafik sıkışıklığının yarattığı zaman kaybı, psikolojik ve çevresel etkilerinin yanı sıra ekstra maliyetlere de sebep olur (Hansen, 2001). Bu sıkışıklıkların sebepleri, bilinçsiz sürücü, alternatif ulaşımın yetersizliği, dar boğaz olarak adlandırdığımız, azalan şerit sayısı, keskin dönüşler, yoldaki eğimler, yoldan çıkış, yola katılım ve bunlarla yolda meydana gelen geometri değişiklikleri vb. öngörülebilir olabileceği gibi kazalar, yol çalışmaları, kötü hava koşulları veya etkinlikler gibi olağan dışı olaylar olarak da sıralanabilir (Kerner, 2018).

1  
Genel olarak yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu kesintisiz akımlara odaklanır ve yola katılan araçlar ve bunlardan dolayı oluşan geometrik değişiklikler gibi faktörlerin yaratacağı sapmaları ortalamaya katarak mümkün olduğunca normalleştirme eğilimindedir. Ancak özellikle şehir içi yolları dikkate aldığımızda bağlantı yollarının anayolu etkilememesi veya tam tersi mümkün değildir çünkü bu yollardaki akım, araçların hızları ve trafik sıkışıklıkları birbirini doğrudan etkileme eğilimindedirler (Min ve Wynter, 2011). Yola katılan araçların kontrolü ve yolda meydana gelen şerit azalması, eğimli rampalar, şerit birleşmeleri veya yetersiz kapasite gibi geometrik değişikliklerin etkileri hakkında çeşitli modellemeler yapılmıştır (Semeida, 2013; Boroujerdian ve diğ., 2016). Bunlardan en temeli 1955'te Lighthill-Whitham tarafından araç hızlarını, yoğunluklarını ve akımları dikkate alarak dar boğazlar hakkında oluşturdukları kinematik dalga modelidir (Lighthill ve Whitham, 1955). Model teorik bir bakış açısı sunmuştur ve dar boğazlardaki araçların hız değişimini zamana bağlı olarak inceler. Her ne kadar eksiklikleri olsa da günümüzde kullanılmaktadır ve pek çok çalışmaya dahil olmuştur. Daha sonrasında Kerner (2004) tarafından deneysel veriler kullanılarak geliştirilen ve trafiği serbest akış, senkronize akış ve akan trafik sıkışıklığı olarak üç faza bölen ve bunların birbiri arasındaki geçişler sonucu oluşan çeşitli kombinasyonlarını inceleyen bir model oluşturulmuştur. Genellikle dar boğazlardan hemen önce meydana gelme ihtimali daha yüksek olan trafik sıkışıklığına odaklanılmıştır. Bu yıllara kadar yapılan modellemelerin çoğu trafikte oluşabilecek, kötü hava koşulları ve gece-gündüz gibi rastgele değişimleri parametrelerine katmazken Brilon ve diğ. (2005) tarafından yapılan araştırma, istatistikte kullanılan "Kaplan-Meier" yöntemi (StatsDirect, 2019) ile bu rastgeleliği de dahil ederek daha gerçekçi sonuçlar elde etmiştir. Kerner ve Klenov (2003), üç fazlı trafik akışını temel alarak, bu fazların geçişi arasında trafiğe katılan araçların oluşturduğu dar boğaz durumunu homojen olmayan; trafikteki rastgele dalgalanmalar, araçların hızlanma ve yavaşlamaları gibi durumları da dahil ederek bir araştırma yapmıştır.

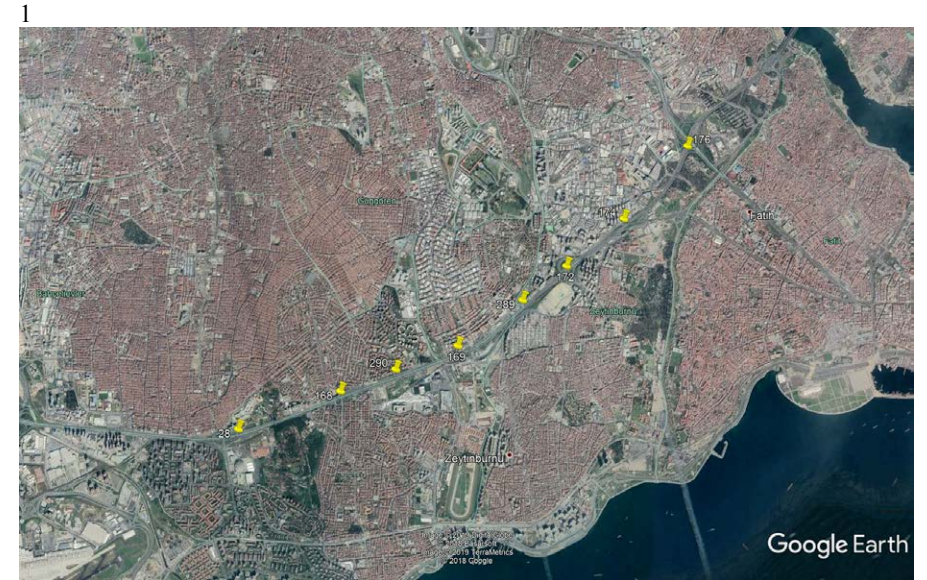
1  
İstanbul'un trafik sıkışıklığı konusundaki konumu itibarıyla, konuyla alakalı benzer araştırmalar İstanbul özelinde de mevcuttur (Kesten ve diğ., 2012). Bu araştırmanın amacı ise, İstanbul D-100 Karayolu'nun Topkapı-Şirinevler arasındaki zirve ve zirve dışı trafik hız değerlerine, katılım ve ayırım noktalarının, yol işgalie değerlerinin ve Şirinevler'deki koridor başlangıç noktasına olan mesafenin etkisinin doğrusal regresyon yöntemiyle incelenmesidir.

1  
2

## Çalışma Alanı ve Veri

### 1 Çalışma Alanı

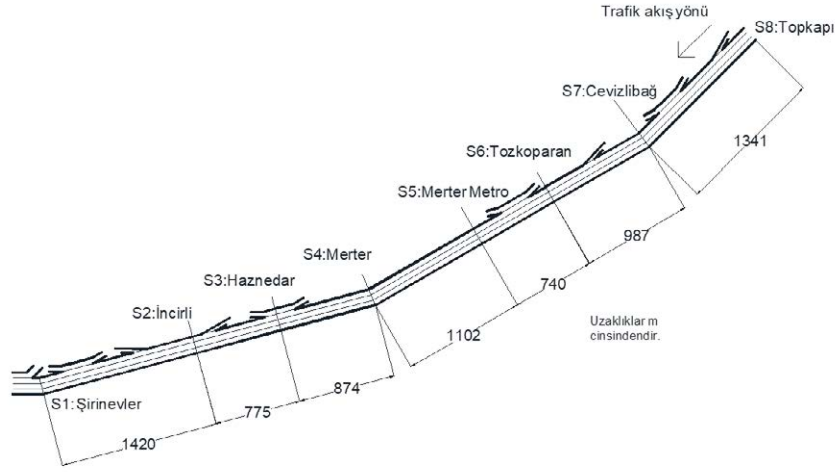
1  
Bu çalışmada İstanbul'daki D-100 Karayolunun Topkapı-Şirinevler arası koridor çalışma alanı olarak kullanılmıştır. Koridorun toplam uzunluğu 7.26 km'dir. Koridor boyunca 8 adet sensörden veri toplanmıştır. Bu bölgede D-100 Karayolu her iki yönde anayolda üçer, yanyolda ikişer şeride sahiptir. Yolun medyan kısmında birer şerit ise Metrobüs kullanımına ayrılmıştır. Bu çalışmada kapsam olarak Topkapı-Şirinevler yönünde (doğudan batıya) sadece anayoldaki üç şerit ele alınmıştır. Şerit genişliği 3,2 m olarak ölçülmüştür. Şekil 1'de çalışma alanı görülebilmektedir. Koridor boyunca yer alan sensörler, Şekil 1 üzerinde sarı işaretçilerle gösterilmiştir.



1  
Şekil 1 Çalışma alanı (Google Earth).

1  
Koridorun başındaki sensör Şirinevler'de, Şekil 1'de yer alan uydu görüntüsünün en batısında yer almaktadır. Buradan doğuya doğru diğer sensörler sırasıyla İncirli, Haznedar, Merter, Merter Metro İstasyonu, Tozkoparan Kavşağı, Cevizlibağ ve Topkapı mevkilerinde bulunmaktadır. Şekil 2'de koridorun geometrisi verilmiştir. Şirinevler ve Haznedar mevkilerindeki sensörlerin bulunduğu yerlerde ana yola katılım şeridi olduğundan, bu mevkilerdeki yol geometrisi diğerlerinden farklıdır. Bu mevkilerde yol, katılım şeridi ile beraber dört şeritli hale gelmiştir. Yol geometrisi koridor boyunca Şekil 2'de de görülebildiği üzere başka konumlarda da değişikliğe uğramıştır, ancak sensörlerin konumu itibarıyla bu değişiklikler sadece Şirinevler ve Haznedar'da önem kazanmıştır.

1



Şekil 2 Koridorun geometrisi

1

1

**Veri**

1

Çalışma için veri, 31 Mayıs 2016 tarihinde, koridor boyunca olan sensörlerden 24 saatlik olarak toplanmıştır. Her sensörden o mevkideki hız, toplam araç sayısı, büyük araç sayısı ve işgaliye değerleri hem her üç şerit için, hem de üç şeridin ortalaması olacak şekilde alınmıştır.

1

Her sensör tarafından gün boyunca ölçülen ortalama hız değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10'da verilmiştir.

1

Şekil 3'te de görüldüğü üzere koridorun başlangıç noktası olan Şirinevler'de hız azalması, dolayısıyla trafik sıkışıklığı sabah saat 07:00 civarında başlamış ve bütün gün boyunca devam etmiştir. Bu durum her üç şeritte de gözlenmiştir. Buradaki sensörün 100 m ilerisinde Ataköy, 500 m ilerisinde de Bahçelievler yönünden katılım olduğunu da belirtmek gerekir.

1

İkinci ölçüm noktası İncirli'deki hız değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Şirinevler mevkisinde olduğu gibi İncirli'de de hız değerleri sabah 07:00 civarında düşmüş, saat 08:30-09:30 arasında bir miktar artış göstermiş, daha sonra akşam 20:30 sularına dek tekrar düşük seviyelerde seyretmiştir. Burada hız değerlerinin her üç şeritte de Şirinevler'e göre daha fazla değişkenlik gösterdiği Şekil 4'te görülmektedir.

1

Şekil 5'teki hız-zaman grafiği Haznedar noktasındaki sensörden alınmıştır. Buradaki sensör, katılım şeridinin değerlerini de topladığı için Şekil 5'te dört adet hız grafiği vardır. Katılım şeridinin hız değerleri sarı renk ile gösterilmiştir. Bu mevkide her üç şeritteki hız değerleri, başlangıç noktası Şirinevler'e göre daha fazla değişkenlik göstermiştir, ancak 16:30 ile 21:30 civarı düşük değerlerde seyretmiştir. Ayrıca katılım şeridindeki hız değerlerindeki değişkenlik, anayoldaki değerlere göre daha azdır.

1

Haznedar'dan bir sonraki sensör ise Merter'dedir. Buradaki hız değerlerinin grafiği Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu noktada trafik sıkışıklığı sabah 10:15-12:15 arası ve 14:10-21:30 arası gözlemlenmektedir. Hız değerlerindeki dalgalanmalar ise akşam zirve saatindeki sıkışıklıkta, öğlenki sıkışıklığa göre daha azdır.

1

Şekil 7'de Merter Metro İstasyonu önündeki hız değerleri gösterilmiştir. Burada dikkat çeken unsur, hız değerlerinin sabah yerine saat 14:00'ten sonra düşmüş olmasıdır. Ayrıca trafiğin sıkışık olmadığı saatlerde şeritler arasındaki hız değerleri arasında farklar gözlemlenmektedir. Yine de bu farklar, trafik sıkıştığında azalmıştır.

1

Tozkoparan'daki hız değerlerinin gün içerisindeki değişimi Şekil 8'de verilmiştir. Buradaki değişim de Merter Metro İstasyonu mevkisi ile benzerlik taşır; hızlar yine 14:00'ten sonra düşmüş ve 21:00'den sonra artmıştır.

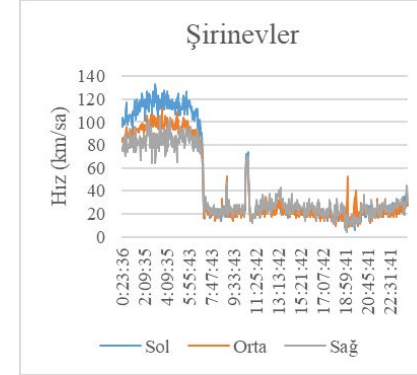
1

Şekil 9, Cevizlibağ'daki hız değerlerinin zamana göre grafiğini göstermektedir. Burada, Tozkoparan'dan farklı olarak hız değerleri gün içerisinde daha geç azalmaya başlamış ve akşam 20:50 civarı artmaya başlamıştır.

1

Son olarak ise Şekil 10'da Topkapı mevkisindeki hız değerlerinin grafiği verilmiştir. Buradaki durum diğer yerlere göre biraz farklıdır. Hız değerleri saat 16:00 civarı düşmüş, saat 18:30-19:45 arası artmış, ancak daha sonra saat 21:00'e dek düşük seyretmiştir. Ayrıca saat 20:25 civarında kısa süreli bir artış meydana gelmiştir.

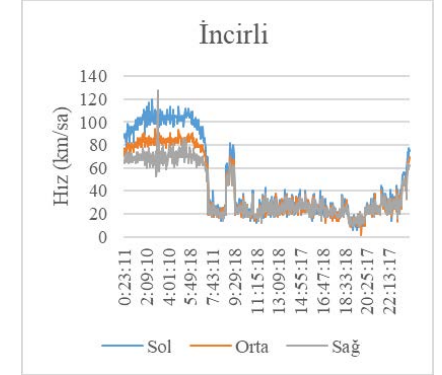
1



1

Şekil 3 Şirinevler'de hız-zaman grafiği

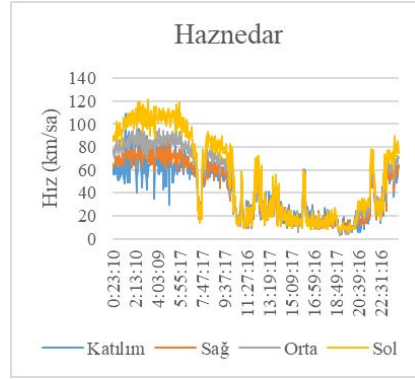
1



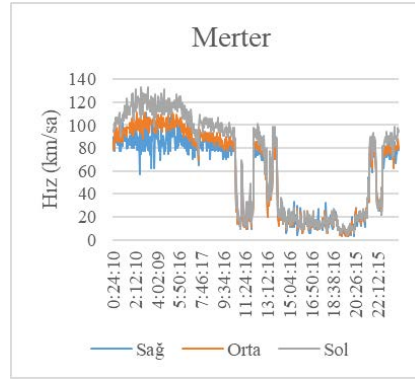
1

Şekil 4 İncirli'de hız-zaman grafiği

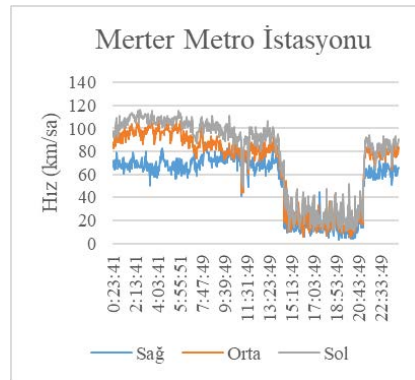
1



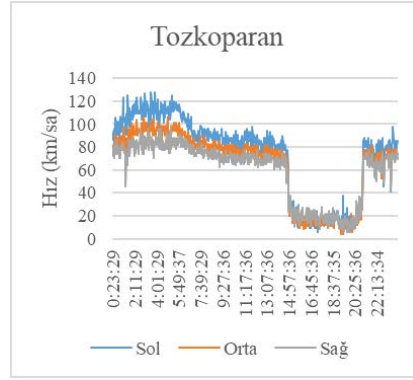
1  
Şekil 5 Haznedar'da hız-zaman grafiği



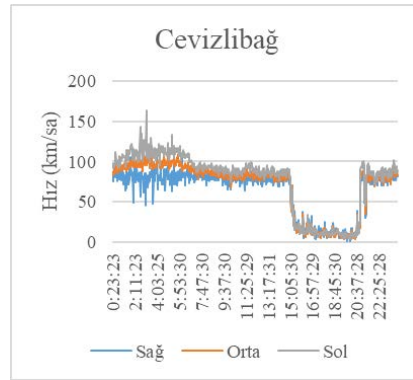
1  
Şekil 6 Merter'de hız-zaman grafiği



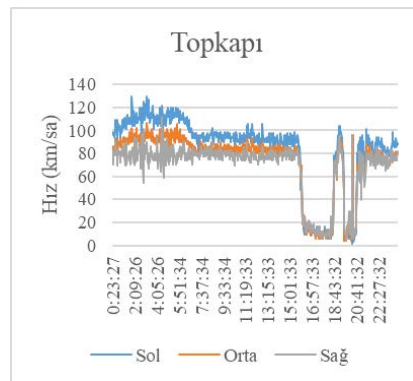
1  
Şekil 7 Merter metro istasyonunda hız-zaman grafiği



1  
Şekil 8 Tozkoparan'da hız-zaman grafiği



1  
Şekil 9 Cevizlibağ'da hız-zaman grafiği



1  
Şekil 10 Topkapı'da hız-zaman grafiği

## Analizler

1  
Bu çalışmada, hız değerleri ile ona etki eden faktörler arasında doğrusal regresyon modellemesi ile ilişki bulunması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Modellerde bağımlı değişken hız, bağımsız değişkenler ise sensörlerin Şirinevler'deki başlangıç noktasına uzaklıkları, her sensörde ölçülen işgaliye değerleri ve yol durumuyla alakalı olarak da sensör civarında D-100 Karayolu'na yan yoldan katılım olup olmaması olmuştur. Katılım değişkeni kukla değişken olarak modele sokulmuştur. Modellerde değişkenlerin p-değerleri ile anlamlılıklarının test edilmesi için güven seviyesi % 95 olarak alınmıştır.

1  
Analizler hem zirve saat, hem de zirve dışı saat için yapılmıştır. Zirve dışı saat olarak saat 13:15, zirve saat olarak ise saat 17:30 alınmıştır.

1  
Zirve dışı saat için analizler, D-100 Karayolu'nun her şeridindeki hız değerleri için ayrı ayrı ve tüm şeritlerin ortalama hız değerleri için yapılmış, toplamda üç ayrı model elde edilmiştir. Hiçbir modelde sensörlerin gerisindeki ayırım ve katılımlara olan mesafeleri %95 güven seviyesinde anlamlı çıkmamış olup, sonraki ayırım ve katılımlara olan mesafeleri anlamlı olmuştur.

1  
Ortalama hız değerleri için, sensörlerin sonraki katılım ve ayrımlara olan mesafelerini içeren anlamlı bir model bulunamamıştır. Her iki mesafe türü de birbiriyle korelasyona sahiptir, bu da 0.597 olarak hesaplanmıştır. Ancak, katılımın var olup olmaması, ortalama hız değerleri üzerinde etkin olmuştur ve bu model Tablo 1'de verilmiştir. Modele bakıldığında, anayola katılımın var olması ve işgaliye değerlerinin yüksek olması, o mevkideki hız değerini düşürmektedir. Belirleyicilik katsayısı olan  $R^2$  değeri ise yüksek elde edilmiştir; 0.949.

1  
Tablo 1 Ortalama Hız Değerleri İçin Regresyon Modeli.

Model Özeti				
	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F-istatistiği	p-değeri
Regresyon	4826.740	2413.370	46.905	0.001
Artık	257.260	51.452		
Toplam	5084.000			
Katsayılar				
	B	Standart Hata	t-istatistiği	p-değeri
Sabit	96.989	5.055	19.188	0.000
Katılım Var	-17.279	6.035	-2.863	0.035
Ortalama İşgaliye	-2.009	0.242	-8.290	0.000
$R^2$	0.949			
Düzeltilmiş $R^2$	0.929			

1  
Sol şeritteki hız değerleri için yapılan regresyon modeli Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de görüldüğü üzere, bu şeritteki hız değerleri için sadece sensörün, kendisinden sonraki en yakın ayırma olan mesafesi anlamlı bir değişken olmuştur. Bu etki de, katsayının işareti dolayısıyla pozitifdir; mesafe arttıkça hız da artmaktadır. Belirleyicilik katsayısı da 0.507 olarak elde edilmiştir.

Tablo 2 Sol Şerit Hız Değerleri İçin Regresyon Modeli.

1

Model Özeti				
	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F-istatistiği	p-değeri
Regresyon	3422.916	3422.916	6.180	0.047
Artık	3322.959	553.827		
Toplam	6745.875			
Katsayılar				
	B	Standart Hata	t-istatistiği	p-değeri
Sabit	35.334	12.833	2.753	0.033
Sonraki Ayrıma Mesafe	0.034	0.014	2.486	0.047
R <sup>2</sup>	0.507			
Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	0.425			

1

Tablo 3'te orta şeritteki hız değişkenleri için regresyon modeli sunulmuştur. Bu model de sol şerit için yapılan regresyon modeli ile benzerdir; etki eden tek bağımsız değişken sonraki ayrıma olan mesafedir. Bu değişken hız üzerinde pozitif etkiye sahiptir. Belirleyicilik katsayısı ise 0.516'dır.

1

Tablo 3 Orta Şerit Hız Değerleri İçin Regresyon Modeli.

1

Model Özeti				
	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F-istatistiği	p-değeri
Regresyon	2774.655	2774.655	6.390	0.045
Artık	2605.220	434.203		
Toplam	5379.875			
Katsayılar				
	B	Standart Hata	t-istatistiği	p-değeri
Sabit	33.755	11.363	2.971	0.025
Sonraki Ayrıma Mesafe	0.030	0.012	2.528	0.045
R <sup>2</sup>	0.516			
Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	0.435			

1

Son olarak ise sağ şerit için regresyon modeli oluşturulmuş ve çıktısı Tablo 4'te verilmiştir. Diğer iki şerit için yapılan modellerin aksine, sağ şeritte hız için, sensörden sonra yer alan en yakın ayrıma ve katılımın mesafesi faktör olarak ortaya çıkmıştır. Katsayıların işaretlerine bakıldığında, en yakın ayrıma mesafesi arttıkça sağ şerit hızının arttığı, katılımın mesafesi arttıkça ise hızın azaldığı gözlemlenmektedir. Belirleyicilik katsayısı ise 0.748 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4 Sağ Şerit Hız Değerleri İçin Regresyon Modeli.

1

Model Özeti				
	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F-istatistiği	p-değeri
Regresyon	2635.596	1317.798	7.401	0.032
Artık	890.279	178.056		
Toplam	3525.875			
Katsayılar				
	B	Standart Hata	t-istatistiği	p-değeri
Sabit	46.108	7.843	5.879	0.002
Sonraki Ayrıma Mesafe	0.036	0.010	3.783	0.013
Sonraki Katılıma Mesafe	-0.030	0.011	-2.818	0.037
R <sup>2</sup>	0.748			
Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	0.647			

1

Zirve saat için yapılan analizlerde ise hız, elde bulunan faktörler ile modellenememiştir. Bunun sebebi ise, Şekil 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10'da görülebildiği üzere, tüm koridor boyunca hız değerlerinin düşük ve aynı civarsa seyretmesi olarak yorumlanabilir.

1

2

## Sonuçlar

1

Bu çalışmada, İstanbul'da D-100 Karayolu'nun Topkapı-Şirinevler koridorundaki hız değerlerinin işgalie değerleri ile ayırım ve katılımların konumlarıyla olan ilişkisi doğrusal regresyon modellemesi ile açıklanmıştır. Sonuçlar birkaç husu olarak sıralanabilir. Birincisi, zirve saatlerde ölçülen hız değerlerine yol geometrisinin, işgalie değerlerinin veya katılım ve ayrımların konumlarının hiçbir etkisinin bulunmadığıdır. Bunun sebebi ise daha önce de açıklandığı gibi trafiğin koridor boyunca tıkalı olmasıdır.

1

Öte yandan, çalışmanın diğer bir sonucu ise zirve dışı saatlerde anayola katılımın olmasının ortalama hız değerlerine negatif etki etmesidir. Ayrıca, her bir şeritteki hız değerleri ayrı ayrı ele alındığında, sensör noktalarından sonra gelen en yakın katılım ve ayırımın mesafeleri, hız değerleri üzerinde etkindir. Bu durumun, yol dizaynı açısından önemi vardır. Koridor boyunca trafik hızının artırılması amacıyla, katılım noktalarındaki (Şirinevler ve Haznedar) yol geometrisinin yeniden düzenlenmesi düşünülebilir. Bu düzenlemelerin neler olabileceği ve ne kadarlık bir iyileştirme sağlayacağı ayrı bir çalışmada ele alınabilir. Ayrıca, yapılacak düzenlemeler, sadece zirve dışı saatlerde değil, aynı zamanda zirve saatlerde de az dahi olsa olumlu etkiye yol açabilir, trafik akışını artırabilir.

1

2

## Kaynaklar

1

Brilon, W., Geistfeldt, J. and Regler, M. (2005) Reliability of Freeway Traffic Flow: A Stochastic Concept of Capacity. 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Proceedings, pp. 125 – 144, ISBN 0-08-044680-9, 19-21 July, College Park, Maryland.

1

Boroujerdian, A.M., Seyedabrishami, E., Akbarpour, H. (2016). Analysis of Geometric Design Impacts on Vehicle Operating Speed on Two-Lane Rural Roads. World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium. Proceedings, 13-17 June, Prague.

Hansen, I. (2001) Determination and evaluation of Traffic Congestion Cost. European Journal of Transportation and Infrastructure Research (EJTIR), Delft, (1) pp. 61-72.

Kerner, B. S. and Klenov, S. L. (2003) Microscopic theory of spatial-temporal congested traffic patterns at highway bottlenecks. Phys. Rev. E, 68 (3), pp. 36-130.

Kerner, B.S. (2004) Three-phase traffic theory and highway capacity. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 333, pp. 379-440.

Kerner, B. S. (2018) Traffic Congestion. Spatiotemporal Features of. In: Meyers R. (eds) Encyclopedia of Complexity and Systems Science, Springer, Berlin, Heidelberg.

Kesten, A. S., Ergun, M., and Tetsuo, Y. (2012) Freeway Traffic Flow Control with Variable Speed Limits and Ramp Metering. 19th ITS World Congress. Proceedings, 22-26 October, Vienna.

Lighthill, M. J. and Whitham, G. B. (1955) On Kinematic Waves II: A theory of traffic flow on long crowded roads. Proceedings of the Royal Society, London, 229 (1178).

Min, W. and Wynter, L. (2011) Real-time road traffic prediction with spatio-temporal correlations, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 19 (4), pp. 606-616.

Semeida, A. (2013). Impact of highway geometry and posted speed on operating speed at multi-lane highways in Egypt. Journal of Advanced Research, 4 (6), pp. 515-523.

StatsDirect (2019) Kaplan-Meier Survival Estimates. [https://www.statsdirect.com/help/survival\\_analysis/kaplan\\_meier.htm](https://www.statsdirect.com/help/survival_analysis/kaplan_meier.htm)

TomTom (2019) Istanbul traffic report | TomTom Traffic Index. [https://www.tomtom.com/en\\_gb/traffic-index/istanbul-traffic](https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/istanbul-traffic)

TÜİK (2018). Türkiye Nüfus İstatistikleri. [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)

Yılmaz, U. (2018) İstanbul Trafik Yoğunluk ve Otopark Durumu Raporu - Mart 2018. <http://haber.tuvimer.com/istanbul-trafik-yogunluk-ve-otopark-durumu-raporu-subat-2018/>

## Kentiçi Trafik Kazalarında Sürücülerin Yaralanma Şiddetini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi Ve Değerlendirilmesi (Vaka analizi: Tebriz, İran)

**Prof. Dr. Ahmet Tortum, Alireza Motamadnia**

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25240/Erzurum

Tel: (+90 442)4793 231

E-Posta: atortum@atauni.edu.tr

E-Posta: alireza.motamadnia12@ogr.atauni.edu.tr

**Morteza Ahmadpur**

Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34342 Bebek/İstanbul

E-Posta: Morteza.ahmadpur@boun.edu.tr

### Öz

Motorlu taşıt sürücülerinin yaralanmalarının ciddiyeti ile bu tür yaralanmaların meydana gelmesini etkileyen temel faktörler arasındaki bağlantıyı anlamak, sürücüler ve hatta araç kullanıcıları için güvenlik sorunlarını belirleme ve çözüme konusunda çok önemlidir. Bu bildiriye, ölümle sonuçlanan yaralanmaların ve motorlu taşıt kazalarında sürücülerin ağır yaralanmalarının olasılığını belirlemek için çok değişkenli lojistik regresyon yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada, Doğu Azerbaycan ilinin yasal tıp teşkilatından ve 2015-2016 ve 2016-2017 tarihleri Tebriz trafik polis bürosunun istatistiklerinden yararlanılmış ve yaralanmaların ciddiyetini sınıflandırmak için KABCO yöntemi kullanılmıştır. Bildiri (i) yaş gibi motorlu taşıt sürücülerinin özellikleri, (ii) araç tipi gibi taşıtların özellikleri ve hız, (iii) yol özellikleri, (iv) kaza zamanı, meteoroloji şartlar ve kaza mevsimi gibi çevresel faktörler ve (v) kazanın oluşma şekli gibi çarpışma özellikleriyle ağır yaralanma ve ölümle sonuçlanan yaralanmalar arasındaki karmaşık ilişkiyi daha iyi anlamaya yardımcı olacaktır. Sonuçlar, sürücü yaşı, araç tipi, kaza zamanı ve türü, kaza sırasındaki yol yüzeyi koşulları ve kaza sırasındaki araç hızının ölümle sonuçlanan yaralanmaların ve hafif yaralanmalara göre ağır yaralanmalar olasılığı ile ilgili olduğunu göstermektedir. Bazı durumlarda, bu etki ölümle sonuçlanan yaralanma olasılığını artırmış ve küçük yaralanmalardan ağır yaralanmalar meydana gelmiştir ve bazı durumlarda bu durumun tersi görülmüştür.

**Anahtar sözcükler:** Ölümle yol açan yaralanmalar, hız, çok değişkenli lojistik regresyon.

### 1. Giriş

Trafik kazaları, bir veya daha fazla araç ile insan, hayvan veya herhangi bir sabit nesne arasında meydana gelen çarpışma olarak tanımlanabilir. Trafik kazaları her zaman insanların ölümüyle sonuçlanmaz. Bazı durumlarda yaralanmalara ve hasara neden olurlar. Dünya Sağlık Örgütü her yıl Dünya genelinde yaklaşık 1.2 milyon ölüm ve 4 milyon kişinin kazalar sonucu yaralandığını bildirmektedir. Araç alımlarının sürekli artması, karayolundaki araç



sayısını artırmakta, bu da kaza olasılığını artırmaktadır. Trafik kazaları, sadece kazalara karışan kişilerin hayatlarını etkilememektedir. Aynı zamanda onlarla ilişkili kişileri, aile üyelerini, iş ortaklarını ve diğerlerinin hayatlarını da çeşitli şekillerde etkilemektedir. İlgili kurumlardan temin edilen veri tabanları, zaman, tarih, kaza şekli, kaza sırasındaki hava koşulları, yol profili ve kaza sırasındaki trafik durumu gibi önemli bilgileri içermektedir. Bu bilgileri doğru bir şekilde analiz etmek bizi iyi sonuçlara götürebilir. Bu sonuçlar, kazaların veya yaralanma türlerinin oluşumunu etkileyen faktörlerin belirlenmesine ve bu konuda uygun tedbirlerin alınmasına imkân verecektir.

## 2. Bildiri konusunda yapılan bazı araştırmalar

Benzer konuda yapılan bazı araştırmalar aşağıda özetlenmiştir. (Dishanayke ve Lu, 2002) binek araçları kullanan yaşlı sürücülerin karıştığı kazaların neden olduğu yaralanmaların ciddiyetini etkileyen faktörleri belirlemek için lojistik regresyon yöntemini kullanmıştır. Sürücülerin yaşı ile trafik yaralanmalarının ciddiyeti arasındaki ilişkiyi belirlemek için bir başka lojistik regresyon modeli kullanılmıştır. Bu araştırmada 2002-2004 yılları arasında Wisconsin eyaletinde meydana gelen trafik kazasına karışan 602964 sürücüye ait veriler incelenmiştir ve yaşlı sürücülerin, özellikle 85 yaşın üzerinde olanların en yüksek riske sahip oldukları gösterilmiştir (Hanrahan ve diğer, 2009). (Smeed, 1949) trafik kazalarının sebep olduğu ağır yaralanmış kişi sayısını incelemiş ve böylece farklı ülkelerdeki kaza oranlarını hesaplamıştır. Ardından Smeed, trafik kazalarında ölüm sayısı odaklı olarak ilk çalışmasını yapmış ve bu çalışma çok sayıda pratik modelin altyapısını oluşturmuştur. Smeed ABD'deki kaza oranını ve trafik kazalarının maliyetini takip etmiş ve kazaları önlemek için kullanılan çeşitli yöntemlerin başarı oranını analiz etmiştir. (AfandiZadeh ve Rahimi, 2012). Smeed'in çalışması daha sonra birçok model oluşturma çalışmasına dayanak olmuştur. (Liming, 1976) farklı ülkeler için farklı yıllarda Smeed Faktörlerini önermiştir. (Pitsiava-Latinopoulou ve Tsohos, 1982) , ölümcül yol kazaları ile Yunanistan'da üretilen araç sayısı arasındaki ilişkiye odaklanan ve yüksek doğruluk derecesine sahip bir ilişki sağlamak için Smeed denklemi kullanan istatistiksel yöntemi kullanarak 14 yıllık verileri analiz etmiştir. (Broughton, 1988) ölüm oranını ve toplam kaza sayısını tahmin etmek ve ortak yöntemler sağlamak için Smeed denklemi ile Smeed denklemine dayanan diğer gelişmiş modeller arasındaki ampirik ilişkileri doğrulamıştır. (Gharaybeh, 1994) Yirmi yıldan fazla süredir Smeed formülünü kullanarak Ürdün'de trafik güvenliğinin gelişimini incelemiştir.

## 3. Araştırma Metodolojisi

Bu çalışma betimsel-analitik bir çalışmadır. Toplanan verileri analiz etmek için hem tanımlayıcı istatistikler hem de çıkarımsal istatistikler kullanılmıştır. Şehir içinde meydana gelen trafik kazalarında sürücü yaralanmalarının ciddiyeti ile ilgili olasılıkları etkileyen faktörleri değerlendirmek ve belirlemek için çok boyutlu lojistik regresyon metodolojisi kullanılmıştır. Bu amaçla, Doğu Azerbaycan'ın adli örgüt dosyalarında kayıtlı 2015-2016 ve 2016-2017 tarihlerinde ölümlü sonuçlanan kaza istatistiklerinden yararlanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin yaralanmaların şiddeti üzerindeki etkisinin düzeyini belirtmek için bir model oluşturulmuş ve bu modelde kullanılmak üzere cinsiyet, yaş, medeni hal, eğitim düzeyi, kazanın gerçekleştiği mevsim, kazanın gerçekleştiği zaman, ilgili araç hızı, yol yüzeyi

koşulları ve kazaya karışan araç türü gibi bir dizi nominal, sıralı, mesafe ve göreceli bağımsız değişkenler kullanılmıştır. Aynı modelde, yaralanma şiddeti gibi bağımlı bir değişken kullanılmıştır. Bu bağımlı değişken, kaza yerinde ölüm, ağır yaralanma, gözle görülür yaralanma ve hafif yaralanma gibi dört kategoride sınıflandırılmıştır. SPSS yazılımı ve multimodal lojistik regresyon modellemesi kullanılmış, son olarak, yazılım çıktıları kullanılarak, yaralanmaların her biri için olasılıklar sunulmuştur.

### 3.1. Tanımlayıcı İstatistikler

Bu bölümde, verilerin tanımlayıcı ve çıkarımsal analizleri ile nitel ve nicel değişkenler ele alınmış ve araştırma için gereken merkezi(ortalama ve medyan) ve Dağılım endeksleri (istatistik genişlik, varyans ve standart sapma) incelenmiştir.

### 3.2. Lojistik Regresyon Yönteminin Varsayımlarının Testi

Parametrik istatistik testlerinin çoğunda, birçok ön varsayım bulunmakta ve bu varsayımlar doğrulanana kadar testten elde edilen sonuçlar geçersiz sayılır. Bu varsayımlar arasında, lojistik regresyon yöntemi için en önemli ve en yaygın varsayımlar, verilerin normal dağılımının varsayımı ve bağımsız değişkenler arasında çoklu tutarlılık eksikliğidir.

#### 3.2.1. Normal veri dağılım testi

Verilerin normal dağılımını kontrol etmek için iki genel çözüm vardır:

- Tanımlayıcı analiz (dağıtım göstergelerinin gözden geçirilmesi)
- Çıkarımsal analiz ve istatistiksel testler

#### 3.2.1.1. Tanımlayıcı Analiz (Dağıtım Göstergeleri Araştırma)

Eğiklik katsayısı ve uzama katsayısı, iki temel veri dağılım endeksidir. Bu göstergeler ile bir dereceye kadar, verilerin dağılımının normal olup olmadığı görülebilir. Genel olarak, veri eğimi ve uzama miktarı (-2.2) aralığı dışındaysa (bazı istatistikçiler bu aralığı daha küçük veya daha büyük olarak düşünebilir ), verilerin normal dağılımı olmadığını gösterir.

#### 3.2.1.2. Çıkarımsal Analiz Ve İstatistiksel Testler

Veri dağılımının uzama ve çarpıklığının normal olup olmadığı incelendikten sonra, verilerin normal olduğundan emin olmak için bir Kolmogorov-Smirnov testi kullanılır. Verinin normalliğini incelerken, verinin normal dağılımına dayanarak sıfır varsayımı %5 hata oranında test edilir. Eğer test istatistiği 0.05'ten büyükse, verilerin normal olduğuna dair Sıfır hipotezini reddetmek için hiçbir sebep yoktur. Başka bir deyişle, verilerin dağılımı normal olacaktır.

#### 3.2.2. Bağımsız Değişkenler Arasında Çoklu Tutarlılık Eksikliğini İnceleme Yöntemi

Bir başka lojistik regresyon varsayımı, bağımsız değişkenler arasındaki çoklu doğrusal bir ilişkinin olmaması, çünkü bu değişkenlerin çoğunun doğrusallığı durumunda, tahminler yanlış ve standart hatalar büyük ölçüde değişecektir. İki den fazla değişken kullanırken, tolerans parametresini kullanırız. Bu parametre, diğer bağımsız değişkenlerle yüksek oranda korelasyonlu olan öngörücü değişkenleri ortadan kaldırarak, yöntemin çoklu tutarlı riske karşı korunmasını mümkün kılar. Kavramsal olarak, tolerans parametresi, diğer yordayıcı

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

#### Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

değişkenler tarafından açıklanmayan yordayıcı değişken varyansının değeridir ( $R^2$  yordayıcı değişkenler arasındaki - 1). Tolerans parametreleri aralığı 0 ila 1 arasındadır ve düşük tolerans parametreleri tahmin değişkenleri arasında daha güçlü ilişkiler olduğunu gösterir. Tolerans parametresinin boyutu 0,4 - 0,1 aralığındaysa endişeli bir durum söz konusu, 0,10 - 0,00 aralığında ise tutarlılık sorunu var. Tolerans parametresi 1'e ne kadar yakın olursa, o kadar küçük bir tutarlılık sorunu olması muhtemeldir. Tüm yordayıcı değişkenler için tolerans parametresinin sağlandığı ve her değişkenin tolerans parametresinin ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiği belirtilmelidir.

#### 4. Çok Boyutlu Lojistik Regresyon Modellemesi

Çok değişkenli lojistik regresyonun uygulanmasının ardından, motorlu araç kazalarında sürücü yaralanma olasılığını etkileyen faktörleri değerlendirmek ve belirlemek için, bu komutun sonuçları SPSS Sonuç sayfasında tablolarda görünür. Çok değişkenli lojistik regresyonun ilk sonucu olarak, farklı bağımlı ve bağımsız değişken sınıflarındaki kaza sonucu yaralanan insanlarla ilgili verilerin dağılımının bir özeti gösteren Tablo 1 ile verilmiştir.

Tablo 1. Kazalarda yaralanan insanlara ilişkin verilerin dağılımının özeti.

	Sayı	Yüzde
Yaralanma şiddeti	Kaza yerinde ölüme neden olan yaralanma	7 10%
	Ağır yaralanma	34 51%
	Görünür yaralanma	18 27%
	Hafif yaralanma	8 12%
Cinsiyet	Erkek	51 76%
	Kadın	16 24%
Medeni hal	Bekar	13 19%
	Evli	54 81%
Eğitim seviyesi	Herhangi bir tahsil yok	4 6%
	Ortaokul mezunu	13 19%
	Lise mezunu	15 22%
	Ön Lisans	8 12%
	Lisans	22 33%
Master ve daha yüksek	5 7%	
Kaza mevsimi	İlkbahar	23 34%
	Yaz	12 18%
	Sonbahar	6 9%
	Kış	26 39%
Kaza zamanı	Sabah	19 28%
	Öğlen	18 27%
	Akşam	17 25%
	Gece	13 19%
Yol yüzeyi koşulları	Kuru	19 28%
	Islak	48 72%
Kazanın Oluş Şekli	Araçların sabit cisimlere çarpması	10 15%
	Araçların çarpışması	49 73%
	Araçların hayvanlara çarpması	3 4%

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

#### Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

	Araçların yanması	3	4%
	Diğer durumlar	2	3%
Kazaya karışan araç türleri	Otomobil	48	72%
	Minibüs ve otobüs	7	10%
	Kamyonet	5	7%
	Kamyon	4	6%
	Çekici ve römorklu araç	3	4%
Mevcut değerler		67	100%
Eksik veri			
Toplam		67	
Subpopülasyonlar		67a	

Bir sonraki tablo( tablo 2) , fit niteliğinin korelasyon katsayısını göstermektedir. Bu test, aslında sıfırın aksine, tüm parametrelerinin sıfıra eşit olduğu katsayılar ile araştırmanın orijinal modelidir (son). Başka bir deyişle, bu tabloda, sıfır ve nihai başlıklı iki model sunulmaktadır. Bu tablodaki Son model Chi Square istatistiği, sıfır ve nihai modeller arasındaki farktır.

Tablo 2. Model uygunluk testi.

Model uyum bilgisi				
Model	Model uygunluk kriteri	Olabilirlik oranı testi		
	Olabilirlik oranı	Chi Square istatistiği	Serbestlik derecesi	Önem seviye
Sıfır model	<b>159/069</b>			
Son model	<b>0/001</b>	<b>159/068</b>	<b>72</b>	<b>0/000</b>

Tablo 2'de gösterildiği gibi, Chi Square istatistiği 159.068'dir ki bu iki sıfırın ve son modellerin olabilirlik oranı arasındaki fark, yani,  $159.068 = 0.001 - 159.069$ . Bu tablonun sonuçlarının yorumlanmasında, Chi Square değerinin anlamlı seviyesi 0.05'in altında ise, son modelin sıfır modelini ortadan kaldırdığı sonucuna varıyoruz. Tablo 2'nin sonuçları da aynı sonucu göstermektedir. Bu nedenle, Chi Square ölçümünün 0,01'den daha düşük bir hata seviyesindeki önemi göz önüne alındığında, son modelin iyi bir model olduğu ve sıfır modelin ortadan kaldırılabilirliği sonucuna varılabilir. Gerekli Uyum tablosu olarak bilinen Tablo 3, sıfır varsayımına dayanan iki Pearson ve sapma testinin sonuçlarını, yani modelin verileriyle mükemmel şekilde eşleştiğini göstermektedir. Sıfır hipotez doğrulanırsa, Pearson ve sapma testlerinin Chi Square değerinin öyle bir dağılımı olacak ki bu dağılımın serbestlik derecesi, sınıf sayısına eşit bir serbestlik derecesi olacaktır. Bununla birlikte, eğer bu testin anlamlılık düzeyi 0,05'ten az ise, o zaman bağımsız ve bağımlı değişkenlerin bir kombinasyonu olan söz konusu modelin yeterince uygun olmadığı, yani bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkenin varyansına doğru bir uyum sağlayamadığı söylenebilir.

Tablo 3. Gerekli Uyum testi.

Gerekli Uyum			
	Chi Square istatistikleri	Serbestlik derecesi	Önem seviye
Pearson	<b>0/000</b>	<b>126</b>	<b>1/000</b>
Sapma	<b>0/001</b>	<b>126</b>	<b>1/000</b>

Tablo 3'e göre, testin anlamlılık düzeyi 0,05'ten yüksektir, bu nedenle bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenin varyansına tam olarak uyduğunu söyleyebiliriz. Tablo 4, Cox ve Nell, Nigel Kirk ve McFadan olarak adlandırılan üç katsayıyı içeren sözde belirleme katsayısını göstermektedir. 0 ile 1 arasında değişen bu üç katsayı, bağımlı değişkenin varyansının model tarafından ne kadar açıklandığını gösterir. Dolayısıyla, bu katsayılar 1'e ne kadar yakınsa, modelin payının bağımlı değişkenin varyansını açıklamada daha büyük olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 4. Sahte Taksit Belirleme Katsayısının Değerleri.

Preddo katsayısı belirleme değerleri	
Cox ve Nell	0/907
Nigel Kirk	1/000
Mac Fadan	1/000

Tablo 4'te gösterildiği gibi, üç testin de değerleri sözde belirleme katsayısı için uygundur. Bu nedenle, bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkenin büyük bir varyansını açıklayabildiği sonucuna varılabilir.

Tablo 5, her adımda modelin parametrik değerlerini göstermektedir. Bu tabloda, olasılık oranının değeri çok küçük veya belirli aşamalarda, önceki aşamalarda geri kazanma elde edilemediğinde, o zaman maksimum tekrarlama ulaştığımız ve algoritmaya devam etmenin gerekmediği ve algoritmanın durdurulduğu görülmüştür. Çünkü algoritmaların amacı üstel değerin miktarını azaltmaktır.

Tablo 5. Olabilirlik Oran Testi

Olabilirlik oranı testi				
Etki	Model uygunluk kriteri	Olabilirlik oranı testi		
	Azaltılmış modelin olabilirlik oranı	Chi Square istatistikleri	Serbestlik derecesi	Önem seviye
Intercept	0.001 <sup>a</sup>	0/000	0/000	.
Hız	33.811 <sup>b</sup>	33/810	3/000	0/000
Kaza yapan araç	0.000 <sup>b</sup>	.	12/000	.
Yol yüzeyi koşulları	0.000 <sup>b</sup>	.	3/000	.
Kaza mevsimi	36.256 <sup>b</sup>	36/256	9/000	0/000
Medeni hal	0.001 <sup>b</sup>	0/001	3/000	1/000
Cinsiyet	0.000 <sup>c</sup>	.	3/000	.
Eğitim seviyesi	16.053 <sup>b</sup>	16/053	15/000	0/379
Kaza zamanı	0.000 <sup>b</sup>	.	9/000	.
Kazanın nasıl ortaya çıktığı	2.773 <sup>b</sup>	2/772	12/000	0/997
Yaş	0.001 <sup>b</sup>	0/000	3/000	1/000

Parametre tahmini (değişkenler) adındaki Tablo 6 ve 7, lojistik regresyon analizinin en önemli sonuçlarını göstermektedir. Bu tabloda  $\beta$  katsayısı, standart sapma hatalarını, Wald önem testi, olasılık oranları ve tüm bağımsız değişkenler için güven aralıklarını farklı olarak bölmüş, ancak asıl vurgu, Wald önem testi,  $\beta$  katsayı yönü ve olasılık oranlarıdır. Modeldeki herhangi bir bağımsız değişkenin varlığının anlamını anlamak için lineer regresyonda t-istatistiğine eşdeğer olan Wald istatistiklerini kullanıyoruz. Olasılık oranı, Nicel değişken değerindeki değişim veya Nitel değişkendeki durum değişiminin, hangi oranla, bağımlı değişkenden bir durumdan diğerine değişim olasılığına neden olduğunu gösterir. Ayrıca,  $\beta$  katsayısı işareti pozitif olan veya olasılık oranı 1'den büyük olan değişkenler bir olayın olasılığını artırır ve bunun tersi,  $\beta$  katsayıları işareti negatif olan veya olasılık oranları 1'den

küçük olan parametreler, bağımlı değişken üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir ve bu miktarı azaltır.

Tablo 6. Parametre Tahmini (Değişkenler).

Hasarın ciddiyeti <sup>a</sup>	$\beta$	Standart hata	Wald istatistikler	Serbestlik derecesi	Önem seviyesi	Olasılık	Olasılık için güven aralığı% 95	
							Alt sınır	Üst sınır
Intercept	-167/747	23189/627	0/000	1/000	/994	.	.	.
Hız	2/180	85/173	0/001	1/000	/980	8/847	/000	. <sup>b</sup>
[Kazaya karışan araç=1]	9/699	24847/01	0/000	1/000	1/000	16299/362	/000	. <sup>b</sup>
[Kazaya karışan araç=2]	11/151	31050/05	0/000	1/000	1/000	69632/25	/000	. <sup>b</sup>
[kazaya karışan araç=3]	66/248	27827/51	0/000	1/000	/998	590404/6	/000	. <sup>b</sup>
[kazaya karışan araç=4]	-4/739	32574/54	0/000	1/000	1/000	0/009	/000	. <sup>b</sup>
[kazaya karışan araç=5]	0 <sup>c</sup>	.	.	0/000	.	.	.	.
[Yol yüzeyi koşulları =1]	-7/235	6233/773	0/000	1/000	0/999	0.085	/000	. <sup>b</sup>
[Yol yüzeyi koşulları =2]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
[Kaza mevsimi=1]	6/523	10737/09	/000	1/000	1/000	680/940	/000	. <sup>b</sup>
[Kaza mevsimi=2]	-71/868	13536/68	/000	1/000	/996	/075	/000	. <sup>b</sup>
[Kaza mevsimi =3]	-8/926	3939/572	/000	1/000	/998	/000	/000	. <sup>b</sup>
[Kaza mevsimi=4]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
[medeni durum=1]	-2/596	13162/17	/000	1/000	1/000	/075	/000	. <sup>b</sup>
[medeni durum=2]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
[cinsiyet=1]	-63/713	11852/64	/000	1/000	/996	/000	/000	. <sup>b</sup>
[cinsiyet=2]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
[Eğitim seviyesi=1]	106/998	10805/76	/000	1/000	/992	7/315	/000	. <sup>b</sup>
[Eğitim seviyesi=2]	46/562	6942/619	/000	1/000	/995	9/876	/000	. <sup>b</sup>
[Eğitim seviyesi=3]	1/828	9644/079	/000	1/000	1/000	6/219	/000	. <sup>b</sup>
[Eğitim seviyesi=4]	2/865	9017/463	/000	1/000	1/000	17/545	/000	. <sup>b</sup>
[Eğitim seviyesi=5]	15/415	5510/071	/000	1/000	/998	1/369	/000	. <sup>b</sup>
[Eğitim seviyesi=6]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
[kaza zamanı=1]	-116/860	6898/211	/000	1/000	/986	/000	/000	. <sup>b</sup>
[kaza zamanı=2]	-72/316	5069/554	/000	1/000	/989	/000	/000	. <sup>b</sup>
[kaza zamanı=3]	-55/197	8162/408	/000	1/000	/995	/000	/000	. <sup>b</sup>
[kaza zamanı=4]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
[Kazanın oluş şekli=1]	-18/926	23813/40	/000	1/000	/999	/000	/000	. <sup>b</sup>
[Kazanın oluş şekli =2]	65/210	22371/06	/000	1/000	/998	11/845	/000	. <sup>b</sup>
[Kazanın oluş şekli =3]	-54/039	26413/98	/000	1/000	/998	/000	/000	. <sup>b</sup>
[Kazanın oluş şekli =4]	22/248	19104/52	/000	1/000	/999	4/521	/000	. <sup>b</sup>
[Kazanın oluş şekli =5]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
Yaş	4/092	476/739	/000	1/000	/993	59/871	/000	. <sup>b</sup>

"Yaş" değişkeni için  $\beta$  katsayısının pozitif olması nedeniyle, yaş artması ile kaza mahallinde ölüm ile sonuçlanan yaralanma ihtimali küçük yaralanmalara göre 4.092 kat artmaktadır.

Tablo 7. Parametre Tahmini (Değişkenler).

13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

Hasarın ciddiyeti <sup>a</sup>	β	Standart hata	Wald istatistikler	Serbestlik derecesi	Önem Seviye	Olasılık	Olasılık güven aralığı% 95	
							Alt sınır	üst sınır
Intercept	-49/311	23169/691	/000	1/000	/998			
Hız	3/906	81/291	/002	1/000	/962	49/683	/000	<sup>b</sup>
[kazaya karışan araç=1]	-22/936	24683/435	/000	1/000	/999	/000	/000	<sup>b</sup>
[kazaya karışan araç=2]	-26/423	30730/899	/000	1/000	/999	/000	/000	<sup>b</sup>
[kazaya karışan araç=3]	-14/476	27626/049	/000	1/000	1/000	/000	/000	<sup>b</sup>
[kazaya karışan araç=4]	-6/948	32002/260	/000	1/000	1/000	/001	/000	<sup>b</sup>
[kazaya karışan araç=5]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
[Yol yüzeyi koşulları =1]	-28/482	6003/541	/000	1/000	/996	/000	/000	<sup>b</sup>
[Yol yüzeyi koşulları =2]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
[Kaza mevsimi=1]	11/310	10627/414	/000	1/000	/999	81603/023	/000	<sup>b</sup>
[Kaza mevsimi=2]	-.837	14287/533	/000	1/000	1/000	/433	/000	<sup>b</sup>
[Kaza mevsimi=3]	-10/114	3103/404	/000	1/000	/997	/000	/000	<sup>b</sup>
[Kaza mevsimi=4]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
[medeni durum=1]	-12/594	12810/022	/000	1/000	/999	/000	/000	<sup>b</sup>
[medeni durum=2]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
[Cinsiyet=1]	-10/516	11752/639	/000	1/000	/999	/000	/000	<sup>b</sup>
[Cinsiyet=2]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
[Eğitim seviyesi=1]	-18/074	9485/560	/000	1/000	/998	/000	/000	<sup>b</sup>
[Eğitim seviyesi=2]	17/921	3376/365	/000	1/000	/996	60672621/081	/000	<sup>b</sup>
[Eğitim seviyesi=3]	57/697	8366/718	/000	1/000	/994	1/14151E+25	/000	<sup>b</sup>
[Eğitim seviyesi=4]	23/634	7162/662	/000	1/000	/997	18366145602	/000	<sup>b</sup>
[Eğitim seviyesi=5]	27/369	4566/803	/000	1/000	/995	7/69142E+11	/000	<sup>b</sup>
[Eğitim seviyesi=6]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
[kaza zamanı=1]	-53/753	5225/175	/000	1/000	/992	/000	/000	<sup>b</sup>
[kaza zamanı=2]	-22/599	1810/195	/000	1/000	/990	/000	/000	<sup>b</sup>
[kaza zamanı=3]	-33/483	7791/149	/000	1/000	/997	/000	/000	<sup>b</sup>
[kaza zamanı=4]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
[Kazanın oluş şekli=1]	-40/177	24132/839	/000	1/000	/999	/000	/000	<sup>b</sup>
[Kazanın oluş şekli =2]	-89/545	22599/535	/000	1/000	/997	/000	/000	<sup>b</sup>
[Kazanın oluş şekli =3]	-75/324	25811/931	/000	1/000	/998	/000	/000	<sup>b</sup>
[Kazanın oluş şekli =4]	-161/94	19016/354	/000	1/000	/993	/000	/000	<sup>b</sup>
[Kazanın oluş şekli =5]	0 <sup>c</sup>	.	.	/000	.	.	.	.
Yaş	1/493	467/655	/000	1/000	/997	81234/125	/000	<sup>b</sup>

Tablo 7'ye bakıldığında ağır yaralanmaların dikkate alınmasıyla, açıkça görülmektedir ki: Sınıflandırma tablosu olarak bilinen Tablo 8, aynı bağımlı değişkenlerin farklı sınıflardaki gözlenen cevap oranları ile aynı sınıflardaki cevaplara verilen bir anlaşmayı göstermektedir. Bu tabloyu kullanarak, modelin öngörülebilirliğini ve bir başka deyişle, farklı sınıflardaki bireylerin sınıflandırmalarının doğruluğunu değerlendirebiliriz. Bu tabloda, etkilenen her durum için, öngörülen kategori, modelin öngörülen en yüksek değerine sahip kategori seçilerek uygulanır. Ayrıca, bu tabloda, katar evleri, tahmin sayısı ve katar dışındaki evler de yanlış tahmin sayısını göstermektedir.

Tablo 8. Sınıflandırma Tablosu.

Gözlenen	Sınıflandırma				
	Beklenen				
	Kaza yerinde ölüme neden olan yaralanma	Ağır yaralanma	Görünür yaralanma	Küçük yaralanma	Toplam yüzde

13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

Kaza yerinde ölüme neden olan yaralanma	7	0	0	0	100%
Ağır yaralanma	0	34	0	0	100%
Görünür yaralanma	0	0	18	0	100%
Hafif yaralanma	0	0	0	8	100%
Toplam yüzde	10/4%	50/7%	26/9%	11/9%	100%

Tablo 8'e göre, olayda yaralanan yedi kişi, ağır yaralananlardan 34 kişi, görünür yaralananlardan 18 kişi ve hafif yaralanan 8 kişi doğru şekilde ayrıldı. Bu nedenle, dört yaralanma türü arasında, farklı özelliklere sahip bireylerin sınıflandırılması ve farklılaştırılmasının doğruluğu tüm yaralanma türlerine eşittir ve %100'e eşittir. Bu tablonun bir diğer sonucunda, yaralı kişilerin toplam yaralanma riskinin yaralanma ciddiyeti açısından %100 olduğu, yani %100 güven ile araştırma modelinin bireyleri yaralanma ciddiyeti açısından ayırt edebildiğidir.

### 5. Sonuç

Olay yerindeki ölümcül yaralanma olasılığı için:

- Hız arttıkça, kaza mahallindeki ölümcül yaralanma olasılığı hafif yaralanmalara göre artmaktadır.
- Islak bir yol yerine kuru bir yoldaki her kaza birimini artmasıyla birlikte, kaza sonucu ölüm ihtimalini, kazara ölümlerin 7,24 katına kadar azaltır.
- Diğer çarpışma olasılıklara göre her araç çarpışma biriminin artmasıyla birlikte, kaza yerinde ölümcül yaralanmaların ihtimalinde hafif yaralanmalara göre 65,2 kat artış gözlemlendi.
- Yaş değişkeninin artışı ile beraber kaza yerinde ölümcül yaralanmaların olasılığında hafif yaralanmalara göre 4.1 kat artış gözlemlendi.

Ağır yaralanma olasılığı için:

- Hız arttıkça ağır yaralanma olasılığı hafif yaralanmalara göre 3,9 kat artmaktadır.
- Islak bir yol yerine kuru bir yoldaki her kaza birimini artmasıyla birlikte, kaza sonucu ağır yaralanma ihtimali hafif yaralanmaya göre 28,5 katına kadar azalır.
- Kış mevsimine göre yaz mevsiminde meydana gelen her bir kaza biriminin artmasıyla beraber hafif yaralanma olasılığı ağır yaralanma olasılığına göre 1.19 kat azalmaktadır.
- Evli insanlar yerine bekâr insanlar için her bir trafik kazası biriminin artmasıyla beraber ağır yaralanma olasılığı hafif yaralanmalara göre 12,6 kat azalmaktadır.
- Olabilecek diğer çarpışmalara göre araç çarpışma kazalarında her bir trafik kaza biriminin artmasıyla beraber ağır yaralanma olasılığı hafif yaralanmalara göre 89,55 kat azalmaktadır.
- Yaş değişkeninin artışı ile beraber ağır yaralanmaların olasılığında hafif yaralanmalara göre 1,5 kat artış gözlemlendi.

**Kaynaklar**

- AfandiZadeh, Ş., Rahimi, A. M., (2012) Ulaştırma Mühendisliği Ulaştırma Planlama ve Modelleme İlkeleri. Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Basımı, Tahrana.
- Ahmadi M. M., Naseri, M., Naseri, K., (2015) Trafik işaretleri olmayan caddelerde yaya güvenliği marjlarını etkileyen faktörler, Güvenlik Tanıtım Dergisi ve Yaralanma Önleme, Cilt 3. Sayı 2.2015 Yaz, Sayfa 127 – 134.
- Bagheri K. F., Sheikholeslami A., (2010) Kazaların oluşumunu şehir dışı yollarda etkileyen faktörler üzerine bir araştırma analizi, Rahvar, 2010; 8 (15): 93-115.
- Broughton, J., (1988) Predictive Models of Road Accident Fatalities, Traffic Engineering & Control, Volume: 29, Issue Number: 5, Publisher: Hemming Group, Limited, ISSN: 0041-0683.
- Dissanayake S., Lu J. J., (2002) Factors influential in making an injury severity difference to older drivers involved in fixed object-passenger car crashes, Accident Analysis & Prevention, Volume 34, Issue 5, September 2002, Pages 609-618.
- Gharaybeh F. A., (1994) Application of Smeed's formula to assess development of traffic safety in Jordan, Accident Analysis & Prevention, Volume 26, Issue 1, February 1994, Pages 113-120.
- Hanrahan R. B. , Layde P. M. , Zhu S. , Guse C. E. , Hargarten S. W. , (2009) The association of driver age with traffic injury severity in Wisconsin, Traffic Injury Prevention. 2009 Aug; 10(4):361-7. doi: 10.1080/15389580902973635.
- Karayolu ve Ulaştırma Bakanlığı, Ulaştırma Araştırma Enstitüsü, (2008) Yolda Akıllı Hız Kontrol Sistemlerinin Kullanımı İçin Rehber, Akıllı Ulaştırma Sistemlerinde Görev Gücü Eğitim, Akıllı Ulaştırma Sistemleri Araştırma ve Teknoloji Çalışma Grubu: Karayolları ve Ulaştırma Bakanlığı, Ulaştırma İşleri Yüksek Teknoloji ,Ulaştırma İşleri Yüksek Teknik Kurulu.Tahrana Teknoloji ve Güvenlik Çalışmaları Ofisi, 2008.
- Leeming, J. J. (1976) Comparing International Road Accident Deaths. AGARD Conference Proceedings, pp. 15-17.
- Mahryari Lilmi F., Ghorbani, M., (2006) Karayolu Trafik Yaralanmalarını Önleme Küresel Raporu. Dünya Sağlık Örgütü Derlemesi. Ulaştırma Araştırma Enstitüsü, 2006.
- Pitsiava-Latinopoulou M., Tsohos, G. (1982) The Application of Smeed's Equation for Road Accidents in Greece. Accident Analysis and Prevention, 14(1), 1-6
- Şeriffar, A. , Bagheri S. A. , Asadollahi R. , Pourjafar A. , (2011), Kentsel Geçişlerde Yaya Kazası Sebeplerinin Değerlendirilmesi, Örnek Olay İncelemesi, Tahrana Metropolü, Sivil ve Kalkınma Birinci Ulusal Konferansı, Rasht, İslami Azad Üniversitesi, Rasht.
- Smeed R. J. (1949). "Some statistical aspects of road safety research". Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General), Vol. 112, No. 1. 112 (1): 1–34. Doi: 10.2307/2984177. JSTOR 2984177.
- Suri, A., (2005) Trafik psikolojisi. Asr ve Neveshteh Yayınlar, Tahrana.

- Yousef S., Nassiri H. A., Seyyed Hashemi S. M., (2009), İran'da Yaya Kazası Üzerindeki Etkili Faktörlerin Araştırılması ve Tanımlanması, 9. İran Ulaştırma ve Trafik Mühendisliği Konferansı, Tahrana, Ulaştırma ve Trafik Organizasyonu Tahrana, Tahrana Belediyesi Ulaştırma ve Trafik Müdür yardımcılığı.

## Karayollarında Kayma Sürtünme Katsayısının Analizi

### Nur Erdem Akgül

İnş. Müh. Harran Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa  
0(542) 562 1374  
nurerdema@gmail.com

### Ali Saruşık

Prof. Dr. Harran Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa  
0(536) 891 0919  
sariisik@harran.edu.tr

### Öz

Günümüzde artan karayolu trafiği beraberinde birçok trafik kazasını da getirmiştir. Güvenli yol seyrini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerden biri de kaplama yüzey şartları olup, güvenli yol seyri için yol kaplaması ile tekerlek arasındaki aderansın sağlanması gerekir. Gerekli aderans sürtünme direnciyle sağlanmaktadır. Sürtünme direnci; sürtünme katsayısı, fren durma mesafesi, yakıt tüketimi ve lastik ömrü gibi birçok parametreyi etkilemektedir. Bu parametreler de dikkate alındığında yolun servis ömrü boyunca, belli aralıklarla yol kaplamasının sürtünme direncinin her türlü hava koşulunda kontrol edilmesinin önemi büyüktür.

Bu çalışmada Şanlıurfa'nın Haliliye ilçesinde pandül test cihazıyla ölçümler yapılmıştır. Cumhuriyet Sosyal Tesislerine giden yol, kullanım sıklığı ve ağır taşıtların fazla kullanımı nedeniyle tercih edilmiştir. Ölçüm yaz mevsiminde yapılmış olup, yol boyunca sekiz noktada iki yönlü olmak üzere toplam 64 ölçüm yapılmıştır. 1. Yön olarak isimlendirilen yolun boyuna olan yönünde pandül test değeri ( $PTV_{ort}$ ) 31,75 olup sürtünme direnci enine istikamette yapılan ölçümlere ait daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen sonuçlar Şanlıurfa iklim şartlarında yaz mevsiminde kayma direncinin TS EN 13036-4' e göre istenilen değerlerden düşük olduğunu, dolayısıyla kayma potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Pandül test cihazı, Sürtünme, Kayma direnci, Karayolları, Aderans

## Giriş

Gelişen teknolojiyle birlikte artan ulaşım ihtiyacı, güvenli ve konforlu yol talebini arttırmıştır. Sürüş güvenliği ve konforunu etkileyen başlıca etkenlerden biri olan kayma direnci, karayollarında uzun yıllardır incelenen konular arasındadır. Yol yüzeyi sürüş güvenliği ve konforunun yanında yuvarlanma etkisine bağlı olarak yakıt tüketimi, lastik ömrü gibi parametreleri de etkilemektedir.

Karayolunda güvenli bir sürüşün sağlanabilmesi için, tekerlek bandajı ile yol yüzeyi arasında oluşan kayma sürtünme direncinin belirli bir düzeyde olması gerekmektedir. Karayolu kaplamaları farklı iklim koşullarında, tekerlek bandajı ile yol yüzeyi arasında yeterli aderansı sağlamalı, sürücünün fren tedbirine başvurduğu zamanlarda güvenle durmasını mümkün kılmalıdır (Şengöz ve diğ., 2010). Yol üst kaplamasının bozulmasını etkileyen sebeplerden olan iklim şartları, yolun kayma direncini de etkileyen faktörlerdendir. Viskoelastik malzeme olan bitüm, yazın ısınarak gevşer ve yol üst yapısında birikerek kayma direncinin düşmesine neden olur. Yağmurlu hava şartlarında ise tekerlek ve yol yüzeyi arasında yuvarlanmayı artırarak sürtünme direncini düşürmektedir. Kaplama yüzeyinin kuru olması, ıslak kaplama yüzeyinden daha yüksek bir kayma direnci sağlamaktadır. Islak kaplamalarda tekerlek izi deformasyonu, cilalanma, bitüm kusma kayma direncini azalmasına neden olmaktadır (Gürer ve diğ., 2006). İzol (2015) yaptığı çalışmada Afyonkarahisar – Ankara yolu üzerinde asfalt ve beton yollarda kuru ve ıslak yöntemde pandül test cihazıyla ölçümler yapmıştır. Ölçüm sonucunda, kuru yöntemle yapılan ölçümlerin ıslak yöntemle yapılan ölçümlerden her iki yol kaplamasında daha yüksek kayma direnci olduğu görülmüştür. Islak yöntemle yapılan ölçümün düşük çıkması, yağışlı havalarda makro dokunun suyu drene etmesi ve yeterli aderansı sağlaması gerektiğini de ortaya koymuştur (Güneş ve Topal, 2016). Beton yolların ise asfalt yollara göre her iki ölçüm yönteminde daha yüksek kayma direncine sahip olduğu görülmüştür.

Kayma direnci ve trafik kazalarını arasındaki ilişki incelendiğinde, kayma direnci % 35'ten % 48'e çıkarılması durumunda trafik kazalarında % 60 azalma olduğu görülmüştür (Xiao ve diğ., 2000). Yol yüzeyi ile tekerlek arasında yeterli sürtünmenin olmaması kazaların artışına neden olması, yol kaplamalarında sürtünme katsayısı sürekli kontrol edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bununla birlikte hızın artmasıyla sürtünme katsayısının düştüğü gözlenmektedir (Janoo and Korhonen, 1999; Şahin, 2002). Bunlarda sürtünme katsayısına bağlı olarak kazaların artmasına neden olmaktadır.

Yolların pürüzlülüğü, sürtünme katsayısını ölçmek için uzun yıllardır farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ülkemizde iç ve dış mekanların zemin yüzey plakalarında (alışveriş merkezleri, mutfak, otel, havuz çevresi, banyo, depo, yürüyüş yolları vb.) kullanılan "Pandül test cihazı" (Sarışık vd., 2010), son yıllarda karayollarında sürtünme katsayısının ve kayma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılmaya başlamıştır. Taşınabilir cihaz olmasından dolayı hem arazi hem de laboratuvarında ölçüm imkanı sağlamaktadır. Laboratuvarında yapılacak ölçümler için 136 mm x 86 mm 'lik bir yüzey yeterli olmaktadır. Kuru ve ıslak olmak üzere iki koşulda ölçüm imkanı sunan bu cihazın, tahribatsız ölçüm yapması avantajları arasındadır. En az iki kişi ile gerçekleştirilen bu ölçüm, tahribatsız ve kısa sürede sonucu vermektedir.

Bu çalışmada ülkemizde karayollarında en çok tercih edilen asfalt kaplamalı yollardaki kayma sürtünme katsayısı analizi pandül test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler

kuru şartlarda ve iki farklı yönde olmak üzere toplam 64 noktada yapılmıştır. Kaplamanın haziran aylarındaki kayma direncinin istenilen değer aralığında olup olmadığı belirlenip, değerlendirilmiştir. Kaplama türü beton asfalttır.

## Materyal & Yöntem

### Materyal

Araştırma, ağır taşıt trafiğinin de yoğun olduğu ve çeşitli nedenden kaynaklanan kazaların sıkça yaşandığı Şanlıurfa ili, Haliliye ilçesinde Cumhuriyet Sosyal Tesislerine giden yolun 500 metre uzunluğundaki kesiminde yapılmıştır. Yol 2015 yılının temmuz ayında trafiğe açılmış olup, yapımı Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi tarafından gerçekleştirilmiştir. Şanlıurfa sınırları içerisinde volkanik kökenli doğal agregaların varlığından dolayı yolda bazalt agregası kullanılmış olup, bitüm Tüpraş Batman Rafinerisinden temin edilmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere yolun Cumhuriyet Sosyal Tesisleri'ne bağlanması, çevresindeki şantiyelerin varlığı ve DSİ kanallarına ulaşımının sağlanması nedenleriyle ağır taşıt trafik hacmi yüksektir.

### Yöntem

Ülkemizde uzun yıllardır iç ve dış mekanların yüzey kaplamalarının kayma potansiyeli ve kayma direncini belirlemede kullanılan pandül test cihazı, İngiltere "Road Research Laboratory" de 1950 yılının sonlarında geliştirilmiştir. Son yıllarda karayollarında kayma sürtünme katsayısını ve kayma potansiyelini belirlemede kullanılmaya başlanılan bu cihaz, birçok akademik çalışmalarda yerini almıştır. İç ve dış mekan yüzey kaplamalarında emniyetle hareket edebilecekleri kayma direncini belirlemek amacıyla geliştirilen bu cihaz, ayakkabı tabanını temsilen kullanılmıştır.

Bu çalışmada ölçümler pandül test cihazı ile "TS EN 13036-4" standardına uygun olarak daha önce belirtilen yol kesiminde 50 metre aralıklarla 8 noktada iki yönlü ve kuru şartlarda yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan Stanley London marka taşınabilir pandül test cihazı, yol yüzeyi ile cihaz arasındaki sürtünmeyi sağlayacak kısım ise 4S kauçuk olarak tasarlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Pandül test cihazı.

Yol boyunca ölçüm yapılacak noktalar öncelikle işaretlenip fırça yardımıyla temizlenmiştir. Bu işlemin amacı, cihaz ile yol yüzeyi arasındaki kaydırıcı etki yapacak ince taneleri uzaklaştırmaktır. Fırçalama işleminden sonra cihaz sert zemine yerleştirilerek kalibrasyon yapılır.

Cihaz ile ölçümlere başlamadan önce ölçümleri yapacak alanların güvenliği için önlemler alınmıştır. Bu amaçla ölçüm yapılacak noktadan trafik akış yönünde en az 30 metre mesafede olacak şekilde reflektörler yerleştirilmiş, ayrıca "Dikkat yol çalışması" uyarı levhaları konulmuştur. Cihazın taşınması, kurulması ve iş güvenliği açısından 2 kişi ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Pandülün kalibrasyonu, üzerinde bulunan su terazisi ve ayarlanabilir vidalar yardımıyla yapılır. Bu sırada cihazın yol eksenine paralel olması sağlanır ve su terazisinden kontroller yapılır. Pandül kolunun serbest salınım yapması sağlanır ve pandül kolunda bulunan lastiğin yol yüzeyinin tümüne temas edip etmediği kontrol edilir. Yol yüzeyi geniş ve homojen kabul edilerek ölçümler gerçekleştirilir. İbre başlangıç konumuna getirilerek, pandül kolu serbest bırakılır. Kolun geri dönüşüncü tutulur. Burada okunan değer "Pandül Test Değeri"dir (PTV). Her nokta için yapılan ölçümlerin ortalaması alınır.

Ölçümden elde edilen PTV değerleri denklem (1) yardımıyla sürtünme katsayısına ( $\mu$ ) çevrilir. Coefficients of Friction olan bu katsayı Cof değeri olarak adlandırılır. Sürtünme katsayısı (Cof) değeri bilinen bir yolun PTV değeri denklem (2) yardımıyla bulunur.

$$\mu = \left[ \frac{110}{PTV} - \frac{1}{3} \right]^{-1} \quad (1)$$

$$PTV = \left( \frac{330 \cdot \mu}{3 + \mu} \right) \quad (2)$$

Elde edilen test değerleri kayma potansiyeli ve kayma direncine göre Tablo 1 ve 2' de sınıflandırılmıştır.

Tablo 1. Kayma potansiyelinin sınıflandırılması (TS EN 13036-4; Bowman, 2004).

Sınıflama	Pandül Değeri	Cof ( $\mu$ )	Kayma Potansiyeli
Z	< 24	<0.25	Çok Yüksek
Y	25-34	0.25-0.34	Yüksek
X	35-44	0.36-0.46	Orta
W	45-54	0.47-0.59	Low
V	>54	>0.59	Very Low

Tablo 2. Kayma direncinin sınıflandırılması (Bowman, 2004; Sarıışık ve diğ., 2011).

Pandül Değeri	Kayma Potansiyeli
0-24	Tehlikeli
25-35	Sınırlı

36-64	Yeterli
>65	Çok İyi

### Bulgular ve Değerlendirme

Çalışma kapsamında yol boyunca 64 ölçüm ( 8 ölçüm noktası x 2 yön x 4 ölçüm ) ile PTV değerleri elde edilmiştir. Ölçüm boyuna ve enine yönde olmak üzere 2 yönlü olarak yapılmıştır (Şekil 2). Yolun boyuna olan yani yön 1, enine olan yön 2 olarak kabul edilmiştir. TS EN 13036-6 standardına göre kuru yüzeyde ölçüm yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen dört PTV değerlerinin her nokta için ortalaması alınıp, denklem (1) yardımıyla sürtünme katsayısına dönüştürülmüştür (Tablo 3).



Şekil 2. Ölçüm yapılan yol kesimi.

Tablo 3. Pandül test ve sürtünme katsayısı (Cof) değerleri.

Ölçüm ve Yönü	Ölçüm Sayısı				Ortalama (PTV <sub>ort</sub> )	Sürtünme Katsayısı ( $\mu$ )
	1	2	3	4		
1.Ölçüm-1	40	32	34	35	35.25	0.359
1.Ölçüm-2	24	22	26	34	26.50	0.262
2.Ölçüm-1	30	28	33	31	30.50	0.306
2.Ölçüm-2	30	25	24	30	27.25	0.270
3.Ölçüm-1	36	36	36	36	36.00	0.367
3.Ölçüm-2	28	30	26	30	28.50	0.284
4.Ölçüm-1	30	25	25	30	27.50	0.273
4.Ölçüm-2	32	30	30	35	31.75	0.319
5.Ölçüm-1	32	35	35	30	33.00	0.333



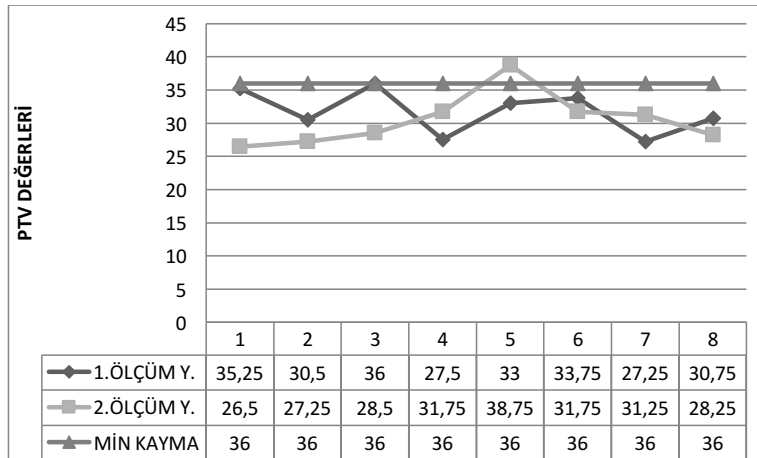
5.Ölçüm-2	40	40	35	40	38.75	0.399
6.Ölçüm-1	35	35	35	30	33.75	0.342
6.Ölçüm-2	32	30	35	30	31.75	0.319
7.Ölçüm-1	30	26	26	27	27.25	0.270
7.Ölçüm-2	30	35	30	30	31.25	0.314
8.Ölçüm-1	35	30	30	28	30.75	0.308
8.Ölçüm-2	30	28	25	30	28.25	0.281

Tablo 3' teki PTV değerleri incelendiğinde, en yüksek ölçüm değeri 5.ölçüm noktası 2 yönünde olduğu görülmektedir. Bu noktadaki sürtünme katsayısı **0.399** çıkarken, kayma potansiyeli sınıflandırılması "**Orta**", kayma direnci sınıfı "**Yeterli**" olarak bulunmuştur.

Yol seyri olan 1 yönünde yapılan ölçümlerde en yüksek değer 3. Ölçüm noktasında sürtünme katsayısı **0.367** çıkarken, kayma potansiyeli sınıflandırılması "**Orta**", kayma direnci sınıfı "**Yeterli**" olarak bulunmuştur.

1 yönünde yapılan ölçümlerin genel PTV<sub>ort</sub> değeri 31.75'tir. Sürtünme katsayısı  $\mu_{ort}$  **0.319** elde edilmiştir. PTV değeri 25-34 aralığında kalıp, kayma potansiyeli "**Yüksek**", kayma direnci "**Sınırlı**" sınıflandırmada bulunmuştur. 2 yönünde yapılan ölçümlerin genel PTV<sub>ort</sub> değeri 30,50'dir. Sürtünme katsayısı  $\mu_{ort}$  **0.305** edilmiştir. PTV değeri 25-34 aralığında kalıp, kayma potansiyeli "**Yüksek**", kayma direnci "**Sınırlı**" sınıflandırmada bulunmuştur.

Ölçüm yönleri sürtünme katsayıları karşılaştırıldığında, 1 yönündeki sürtünme katsayısının daha yüksek olduğu ve bu yönün daha güvenli olduğu görülmektedir. Ancak cilalanma değerinin 1 yönünde daha fazla olmasına rağmen sonuçların yakın çıkmasının nedeni, çalışmanın trafığe açıldıktan 2 yıl sonra yapılmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3. PTV değerlerinin kayma potansiyeline göre grafiklendirilmesi.

Şekil 3'te 1.ölçüm PTV sonuçları, 2.ölçüm PTV sonuçları birlikte verilmiştir. Kayma potansiyeli sınıflandırılmasında "**36**" güvenli minimum PTV olarak kabul edilmiştir.

Genel PTV<sub>ort</sub> değerleri incelendiğinde 1 yönündeki PTV<sub>ort</sub> değeri 31.75 olup güvenli minimum PTV değerinin altında kalmıştır. Yolun seyir yönü olan 1.ölçüm yönü güvenli tarafta kalmamış olup, olası kaza riskini arttırmaktadır. Ani frenlemede yeterli kayma direncinin olmamasından kaynaklı kaza riski yüksektir.

2 yönündeki PTV<sub>ort</sub> değeri 30,50, güvenli minimum PTV değerinin çok altında kalmıştır. Yol seyri halinde alınacak dönüşlerde 2 yönünde yol ve tekerlek arasında yetersiz sürtünmeden kaynaklı kayma ve patinajlar meydana gelebilmektedir.

Şekil 3 incelendiğinde 1 ve 2 yönünde yapılan ölçümlerin geneli güvenli minimum PTV değerinin altında kalmış olup sadece iki noktada güvenli PTV değeri elde edilmiştir. Her iki ölçüm yönünde güvenli minimum PTV değerinin altında kalması yolun kayma potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu da olası kaza riskini arttırmakla birlikte yakıt tüketimi ve lastik ömrünü de etkilemektedir. Yapılan ölçümler sonucunda sürtünme katsayısının düşük çıkmasında yüksek sıcaklık, agreganın yüzey dokusu, trafik altında cilalanma derecesi, yol yüzeyindeki boşluklar, kaba agrega miktarı, kullanılan bitüm ve yüzdesi gibi birçok faktörün etkisi vardır.

## Sonuçlar

Bu çalışmada, Şanlıurfa'nın Haliliye ilçesine bağlı yolda pandül test cihazıyla sürtünme katsayısı ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm iki yönlü ve kuru şartlarda gerçekleştirilip her noktada kayma sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Her yön kendi içerisinde ve genel olarak karşılaştırılıp değerlendirilmiştir. Ölçüm yapılan her noktada farklı ancak yakın değerler çıkmıştır. Bunun nedeni asfalt içerisindeki agrega dağılımının homojen şekilde olmamasından kaynaklanmaktadır. Agreganın yüzey şekli ve cilalanma derecesi yol yüzeyindeki boşluklar ve kaba agrega miktarı, yolun fiziki durumu yani ıslak, kuru, buzlu vs., kullanılan bitüm yüzdesi sürtünme katsayısını etkileyen başlıca faktörlerdir.

Yolun geneli incelendiğinde kayma potansiyeli ve kayma direncinin istenilen değer aralığında kalmadığı görülmüştür. Kayma sürtünme katsayısı için daha önemli olan trafik seyri yönündeki 1 yönlü ölçümde kayma potansiyeli "**yüksek**" çıkmıştır. Çalışmanın gerçekleştiği mevsim ve sıcaklık göz önüne alındığında, karayollarında bitümün yumuşaması, ağır tonajlı araçların yolu sıklıkla kullanmasından kaynaklı kayma direncinin düşük olduğu gözlenmektedir. Bu durum yeterli sürtünmenin sağlanmamasından kaynaklı kazaların gerçekleşebileceğini göstermektedir.

## Teşekkür

Bu çalışmaya katkılarından dolayı Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Dr. Gültekin Coşkun, Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi ve İnşaat Mühendisi Süleyman Anık'e teşekkür ederim.

**Kaynaklar**

- Bowman. R., (2004). Practical Aspects of Slip Resistance of Stone.
- Coşkun. G., Sarıışık. A., (2015). Traverten Plakaların Pandül Yöntemi ile Kayma Potansiyellerinin Değerlendirilmesi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 36(2), 74-84. Sivas.
- Güneş. M., Topal. A., (2016). Yüzey iyileştirme yöntemlerinden harç tipi kaplamaların sürtünme direncine etkisinin belirlenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), 254-266. Denizli.
- Gürer. C., ve diğ. (2007). Investigation of Skid Resistance Properties of Aggregates Used In Afyonkarahisar City Pavements. Pamukkale University Engineering College Journal of Engineering Sciences, 13(2), 129-134. Denizli.
- İzol. A., (2015). Karayollarında Sürtünme ve Kayma Analizi Uygulamaları. Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bitirme Tezi. Şanlıurfa.
- Janoo. V., and Karhonen. C., (1999). Performance Testing of Hot-Mix Asphalt Aggregates. 10-13.
- Kaçmaz. B., (2015). Farklı Tip Esnek Kaplamaların Yol Yüzey Özelliklerinin Arazi Ölçümleriyle Değerlendirilmesi. İMO Teknik Dergi. 7115-7137, Yazı 436.
- Sarıışık. A., ve diğ. (2010). Slip Safety Analysis of Processed Marbles With Different Surface Processing Techniques. International Marble and Natural Stone Congress, 383-397. Afyonkarahisar. Turkey.
- Sarıışık. A., ve diğ. (2011). Pandül ve Yüzey Pürüzlülük Deneyleri İle Mermerlerde Kayma Emniyeti Analizi. Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi Ve Sergisi. 11-13 Mayıs, Ankara.
- Shahin. M., (2002). Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots. Kluwer Academic Publishers, 90-111. US
- TS EN 13036-4. (2014). Yol ve Havaalanı Yüzey Karakteristikleri – Deney Yöntemleri – Bölüm 4 : Yüzeyin Kayma/Kızaklama Direncinin Ölçülmesi Yöntemi, Pandül Deneyi.
- Xiao. J., ve diğ. (2000). Prediction of Risk of Wet-Pavement Accidents: Fuzzy Logic Model. Transportation Research Record 1717, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Yıldız. K., (2018). Şehir İçi Asfalt Kaplamaların Kayma Potansiyelinin Değerlendirilmesi – Bir Durum Çalışması. Politeknik Dergisi, 21(2), 513-518. Ankara.

**Nano Cu<sub>2</sub>O ve SiO<sub>2</sub> ile Modifiye Edilmiş Asfalt Kaplamalarının Performans Analizi****Ş. Karahançer<sup>1</sup>, E. Erişkin<sup>2</sup>,**<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, 32260,

Isparta, sebnemsargin@gmail.com,

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği, Süleyman Demirel Üniversitesi, 32260, Isparta,

ekinhaneriskin@sdu.edu.tr

**M. Saltan<sup>2</sup>, S. Terzi<sup>2</sup>,**<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği, Süleyman Demirel Üniversitesi, 32260, Isparta,

mehmetsaltan@sdu.edu.tr,

serdalterzi@sdu.edu.tr

**M. Y. Akbaş<sup>1</sup>, A. Cengizhan<sup>1</sup>**<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, 32260,

Isparta,

akbasmustafayasin@gmail.com,

cengizhanakten@gmail.com

**Öz**

Çalışmanın amacı, sıcak karışım asfaltın nano malzemelerle neme karşı performansını Superpave™ hacimsel karışım tasarım prosedürüne göre değerlendirmektir. Superpave karışım tasarımı direk olarak bozulmaları, kalıcı deformasyonları, malzeme seçimi neticesinde düşük sıcaklıklarda oluşacak termal çatlakları değerlendirmekte kullanılmaktadır. Superpave performans testleri farklı karışımlarda da uygulanabilir. Superpave yoğunmalık sıkıştırıcı, numunelerin sıkıştırılmasında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bitüm, silika nano tozu (SiO<sub>2</sub> NP) ve bakır oksit (Cu<sub>2</sub>O) nano partikül ile modifiye edilmiştir. Nano malzemeler referans bitüm ile karıştırılmıştır. Sıcak karışım asfalta üç farklı oranda nano malzeme ilave edilmiştir.

Referans bitüm ve nano katkı modifiye bitümlerin mekanik özellikleri incelenmektedir. Bu nano malzemeler karışıma eklenmiştir. Nano silika ve bakır oksit ile sırasıyla % 0.1 ve % 1 içeriklerinde, % 0.3 ve % 3 nano silika ve bakır oksit içeriklerinde, % 0.5 ve %5 nano silika ve bakır oksit içeriklerinde karışımda kullanılmaktadır. Her oran için optimum bağlayıcı içeriği belirlenmiştir. Bu nano bitüm karışımından elde edilen optimum bağlayıcı oranlarına göre Superpave karışım tasarımı esasları dikkate alınarak dayanım testleri yapılmıştır. Daha sonra modifiye bitümün yorulma ömrü de indirekt çekme dayanım testine göre incelenmiştir. Buna ek olarak nem hassasiyeti belirlenmiştir. Sıcak karışım asfalt, optimum bağlayıcı içeriğinde nano modifiye bitüm ile hazırlanmış nem hassasiyeti Modifiye Lottman test prosedürüne göre değerlendirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** nano silika, bakır oksit, nano-modifiye bitüm, nem hassasiyeti, asfalt

## Giriş

Bitüm, başta karayolları olmak üzere birçok mühendislik uygulamasında kullanılan viskoelastik bir malzemedir. Viskoelastisite, sıcaklık ve zamana bağlı davranışı ifade etmekte, dolayısıyla bitümün bağlayıcı olarak kullanıldığı esnek üstyapılarda, yüksek sıcaklık koşulları altında (yük etkisiyle birlikte) tekerlek izi, düşük sıcaklık koşullarında ise termal çatlaklar oluşmaktadır (Read. ve diğ. 2003).

Esnek üstyapı kaplamalarında, artan trafik yükü ve iklim koşullarına bağlı olarak normal bitüm ile üretilen asfalt beton karışımları performans açısından yetersiz kalabildiğinden, kaplamada meydana gelen tekerlek izi, yorulma çatlakları gibi önemli bozulmaları geciktirerek, bakım ve yenileme gereksinimini daha seyrek aralıklara düşürmek ve kaplama performansını artırmak amacıyla birçok ülkede bitüme veya karışımlara çeşitli katkı maddeleri ilave edilmektedir. Bitüm ve karışımın performansını artırmak amacıyla yapılan modifiye işlemi, katkıların belirli oranlarda ve şartlarda ya doğrudan bitüm içerisine ya da bitümlü karışım içerisine katılması ile gerçekleştirilir. Bu şekilde elde edilen bitüme “modifiye bitüm”, bitümlü sıcak karışıma ise “modifiye karışım” denir. Bitüm ve bitümlü karışımların modifiye edilmeleri ile genel anlamda, yol kaplamalarının yüksek hava sıcaklıklarında yeterli rijitliğe sahip olarak kalıcı deformasyonlara karşı dirençli olması, düşük hava sıcaklıklarında da yeterli esnekliğe sahip olarak çatlamlara ve kırılmalara karşı dirençli olmaları amaçlanmaktadır (İSFALT, 2001)

Yol üstyapılarında çeşitli bozulmalar meydana gelebilir. Yollarda görülen bozulma türleri; kalıcı deformasyonlar (tekerlek izi, çökme, kabarma, ondülasyon), çatlamlar (yorulma ve termal) ve ayrılmalar (sökülme, soyulma)’dır. Yol üstyapılarındaki çatlaklar; yük kaynaklı olan ve yük kaynaklı olmayan çatlaklar olmak üzere iki çeşittir. Yük kaynaklı çatlaklar genel olarak yorulma çatlakları olarak adlandırılmaktadır. Malzemenin maksimum çekme mukavemetinin altındaki tekrarlı gerilme uygulamaları sonunda kaplamada çatlaklar oluşmaktadır. Yorulma çatlaklarının oluşumuna etki eden faktörler; inşa edilen üst yapının yerindeki durumu, bitüm, sıcaklık ve trafik yükleri olarak sıralanabilir. Yük kaynaklı olmayan

çatlamlar ise genel olarak düşük sıcaklık çatlakları olarak isimlendirilir. Hızlı soğuma ve düşük sıcaklıklar esnasında, asfalt betonunun maruz kaldığı gerilmeler kaplamanın kırılma dayanımını aşabilmektedir. Bu durum ani çatlaklara yol açar (Aziz ve diğ. 2006).

## Materyal ve Metot

Bu bölümde, araştırmada kullanılan agregası, bitümlü bağlayıcı ve nano malzeme hakkında bilgi verilmiştir. Bitümlü bağlayıcı modifikasyonunda kullanılan malzeme bitümlü bağlayıcının yapısına uygun seçilmiştir. Nano silika ve bakır oksit ile sırasıyla % 0.1 ve % 1 içeriklerinde, % 0.3 ve % 3 nano silika ve bakır oksit içeriklerinde, % 0.5 ve %5 nano silika ve bakır oksit içeriklerinde karışımda kullanılmaktadır.

### 2.1. Agregası

Çalışmada kullanılan kireçtaşı agregası üzerinde Birim Hacim Ağırlık (ASTM C 128-15 ve ASTM C 127-88), Su Emme ve Los Angeles Aşınma Kaybı (ASTM C 131) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kireçtaşı mineral agregası özellikleri.

Elek Çapı	Özellik	Standart	Kireçtaşı Agregası
4.75-0.075 mm	Özgül ağırlık(gr/cm <sup>3</sup> )	ASTM 127-88	2.660
	Yüzey Kuru Özgül Ağırlık		2.652
	Su Emme (%)		0.130
25-4.75 mm	Özgül ağırlık(gr/cm <sup>3</sup> )	ASTM C 128-88	2.750
	Yüzey Kuru Özgül Ağırlık		2.428
	Su Emme (%)		2.800
0.075 mm	Aşınma Kaybı(%)	ASTM C 131	2.038
	Özgül ağırlık(gr/cm <sup>3</sup> )		2.720

### 2.2. Silika Nano Tozu

Çalışmada SiO<sub>2</sub> nano tozu %0.1, %0.3, %0.5 oranlarında bitümlü bağlayıcıya eklenmiştir. SiO<sub>2</sub> nano toz fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. SiO<sub>2</sub> fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Özellikler	
Kimyasal Formül	SiO <sub>2</sub>
Molar Ağırlık	60.08 g·mol <sup>-1</sup>
Görünürlük	transparan katı (amorf), beyaz/beyazımsı sarı (toz/kum)
Yoğunluk	2.648 (α-kvars), 2.196 (amorf) g·cm <sup>-3</sup>
Erime Noktası	1.713 °C (3,115 °F; 1,986 K) (amorf)
Kaynama Noktası	2.950 °C (5,340 °F; 3,220 K)
Termal İletkenlik	2.950 °C (5,340 °F; 3,220 K)
Kırılma İndisi (N <sub>d</sub> )	1.544 (o), 1.553 (e)

### 2.3. Nano Bakır Oksit Tozu

Bakır oksit, deniz boyalarında yaygın olarak kullanılır. Pigment, mantar ilacı ve zehirli boya önleyici madde olarak bilinir. Bu çalışmada, baz asfalt bağlayıcıyı üç yüzde de (% 1.5, 3 ve % 4.5) değiştirmek için bakır oksit nano tanecikleri kullanılmıştır. Cu<sub>2</sub>O nano toz fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Cu<sub>2</sub>O fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Özellikler	
Özgül Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /g),	55
Moleküler Formül	Cu <sub>2</sub> O
Renk	Kırmızı kahverengi
Yoğunluk (gr / cm <sup>3</sup> )	6
Erime Noktası (°C)	1240
Kaynama Noktası (°C)	1800
Safılık (%)	99.5
Ortalama Parçacık Boyutu (Nm)	16
Element Analizi	
Fe (%)	0.001
Zn (%)	0.0005
Mn (%)	0.0003
Ni (%)	0.001
Ag (%)	0.0002

### 2.4. Bitümlü Bağlayıcı

Çalışmada kullanılan bitümlü bağlayıcı üzerinde penetrasyon (ASTM D5), parlama noktası (ASTM D92), yanma noktası (ASTM D92), yumuşama noktası (ring and ball) (ASTM D36), duktilite (ASTM D113) ve özgül ağırlık (ASTM D70) deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Bitümlü Bağlayıcı Karakteristik Özellikleri.

Test	Ortalama Değer	Standart
Penetrasyon (25°C)	62.2	ASTM D5
Parlama Noktası	180°C	ASTM D92
Yanma Noktası	230°C	ASTM D92
Yumuşama Noktası	49.9°C	ASTM D36
Duktilite (5cm/dk)	>100	ASTM D113
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	0.995	ASTM D70

### 2.5 Bitümlü Bağlayıcı Modifikasyon Metodu

Bu bölümde, çalışmada kullanılan modifiye yöntemi ve performans sonuçlarını değerlendirme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Bitümlü bağlayıcı modifikasyonunda kullanılan yüksek devirli karıştırıcı ve karışım tasarımı yöntemi incelenmiştir. Bu kapsamda, çalışmada kullanılan Superpave<sup>TM</sup> karışım tasarımına uygun olarak bitümlü bağlayıcı testleri ve

karışımın performansının değerlendirilmesinde kullanılan İndirekt Çekme Dayanımı Testi anlatılmıştır. Bitümlü bağlayıcı modifikasyonunda yüksek devirli, sıcaklık kontrollü mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. %0.1 SiO<sub>2</sub>NP %1 Cu<sub>2</sub>O, %0.3 SiO<sub>2</sub>NP %3 Cu<sub>2</sub>O, %0.5 SiO<sub>2</sub>NP %5 Cu<sub>2</sub>O PG64-22 bitümlü bağlayıcı ile birlikte 3000 devir/dk hızda ve 160 °C sıcaklıkta 30 dk süreyle karıştırılarak modifiye edilmiştir.

### 2.6. Superpave<sup>TM</sup> Karışım Tasarımı

Bitümlü sıcak karışımların ağırlıkça %5 -7’sini, hacimce %13 -15’ini oluşturan bitümlü bağlayıcılar, karışımların performansı üzerinde en önemli rolü olan malzemelerdir (Tunç, 2001).

Geleneksel şartnameler, bağlayıcının kıvamını 25°C sabit sıcaklıkta yapılan penetrasyon deneyi ile belirler ve bağlayıcının orta sıcaklık davranışı ile ilgili fikir verir. Ancak, standart sıcaklıklarda aynı penetrasyona sahip birçok bitümlü bağlayıcı kaplamanın hizmet vereceği bölgedeki farklı sıcak ve soğuk iklim koşullarında farklı davranışlar gösterebilir. Aynı penetrasyona sahip oldukları için farklı bağlayıcılar aynıymış gibi sınıflandırılabilirler ve bu bağlayıcıların her şartta aynı performansı göstereceği hatasına düşülebilmektedir (Tunç, 2001; Asphalt Institute, 1996; McGennis ve diğ. 1995; Zaniewski and Pumphrey, 2004; Loh and Olek, 1999; Geçkil ve diğ. 2011).

Superpave performans esaslı bağlayıcı şartnamesi, kaplamada meydana gelen kalıcı deformasyon, yorulma çatlağı ve düşük sıcaklık çatlaklarına karşı bağlayıcı özelliklerini sınırlayarak, uygulama bölgesi çevre koşulları altındaki kaplamanın performansını en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmıştır. Yöntemin en önemli özelliği, deneylerin standart deney sıcaklıklarında değil, kaplamanın hizmet vereceği bölgedeki düşük ve yüksek sıcaklıklarda yapılarak bitümlü bağlayıcının saha performansı ile doğrudan ilgili fiziksel ve reolojik özelliklerinin analitik deneylerle tespit edilmesi ve genel olarak saha performansının daha iyi ve gerçekçi olarak yansıtılmasıdır (Asphalt Institute, 1996; Zaniewski and Padula, 2003; Cominsky ve diğ. 1994; Geçkil ve diğ. 2011).

### 2.7. Çekme Dayanımı Oranı

Bitümlü sıcak karışımların nem hasarına karşı dayanımının belirlenmesinde kullanılan ve kabul gören standartlardan biri ASTM D 4867’dir. Bu standartta belirtilen yöntemde her bir BSK türü için en az 6 numune %6-8 boşluk oranına sahip olacak şekilde sıkıştırılmaktadır. Bu numunelerden üç tanesine boşluk oranının %50-80’i suyla dolacak şekilde vakum uygulanmaktadır. Bu numuneler daha sonra -18°C’de 16 saat bekletilmekte ardından 60°C’deki suda 24 saat bekletilmektedir. Bu koşullandırma işleminin ardından numuneler 25°C sıcaklıktaki suda 1 saat bekletilmekte ve eksenel paralel yanal yüklemeye tabi tutularak kırılmaktadır. Kuru numuneler ise koşullandırma işlemine tabi tutulmadan 1 saat süreyle 25°C sıcaklıktaki suda bekletildikten sonra kırılmaktadır. Kırım işleminden elde edilen maksimum yük değeri kullanılarak numunelerin indirekt çekme dayanımı ITS (kPa) Denklem 1 ile belirlenmektedir (Kök ve diğ. 2012).

$$ITS = 2F / \pi LD \quad (1)$$

Burada, F numunenin taşıyabildiği maksimum yükü (kN), L numune yüksekliğini (m), D ise numune çapını (m) ifade etmektedir.

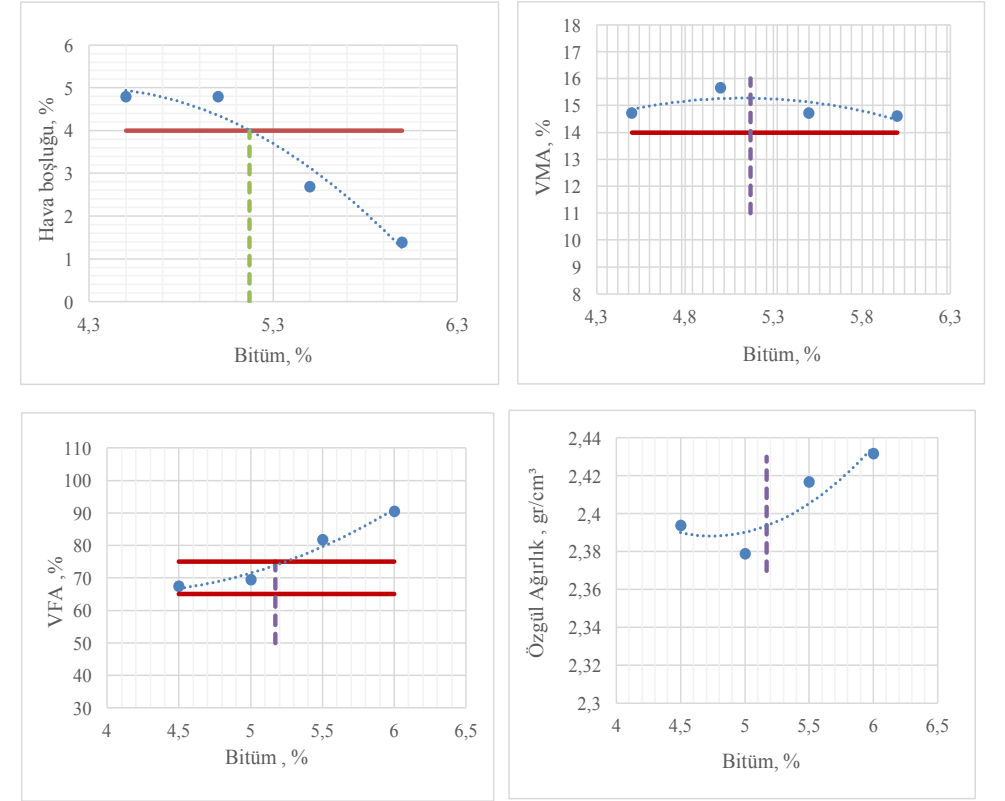
### Bulgular

Bu çalışmada, bitüm, silika nano tozu ( $\text{SiO}_2$  NP) ve bakır oksit ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) nano partikül ile modifiye edilmiştir. Nano malzemeler referans bitüm ile karıştırılmıştır. Sıcak Karışım Asfalta üç farklı oranda nano malzeme ilave edilmiştir. Referans bitüm ve nano katkı modifiye bitümlerin mekanik özellikleri incelenmektedir. Bu nano malzemeler karışıma eklenmiştir. Nano silika ve bakır oksit ile sırasıyla % 0.1 ve % 1 içeriklerinde, % 0.3 ve % 3 nano silika ve bakır oksit içeriklerinde, % 0.5 ve %5 nano silika ve bakır oksit içeriklerinde karışımda kullanılmaktadır. Her oran için optimum bağlayıcı içeriği belirlenmiştir. Bu nano bitüm karışımından elde edilen optimum bağlayıcı oranlarına göre Superpave karışım tasarımı esasları dikkate alınarak dayanım testleri yapılmıştır. Daha sonra modifiye bitümün yorulma ömrü de indirekt çekme dayanım testine göre incelenmiştir. Buna ek olarak nem hassasiyeti belirlenmiştir.

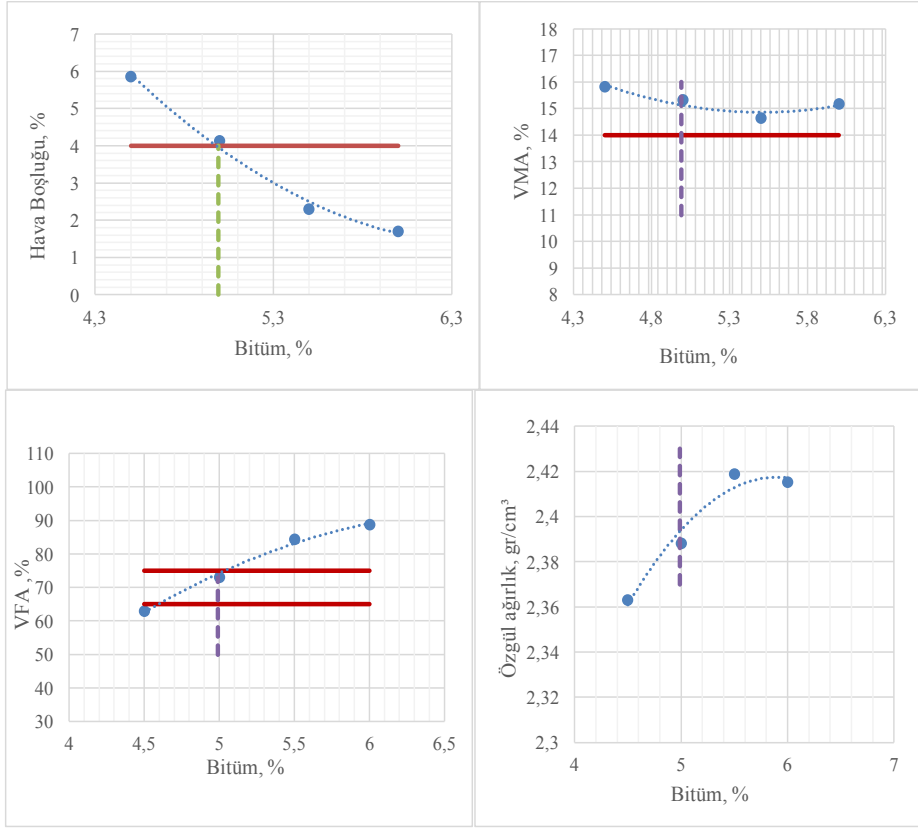
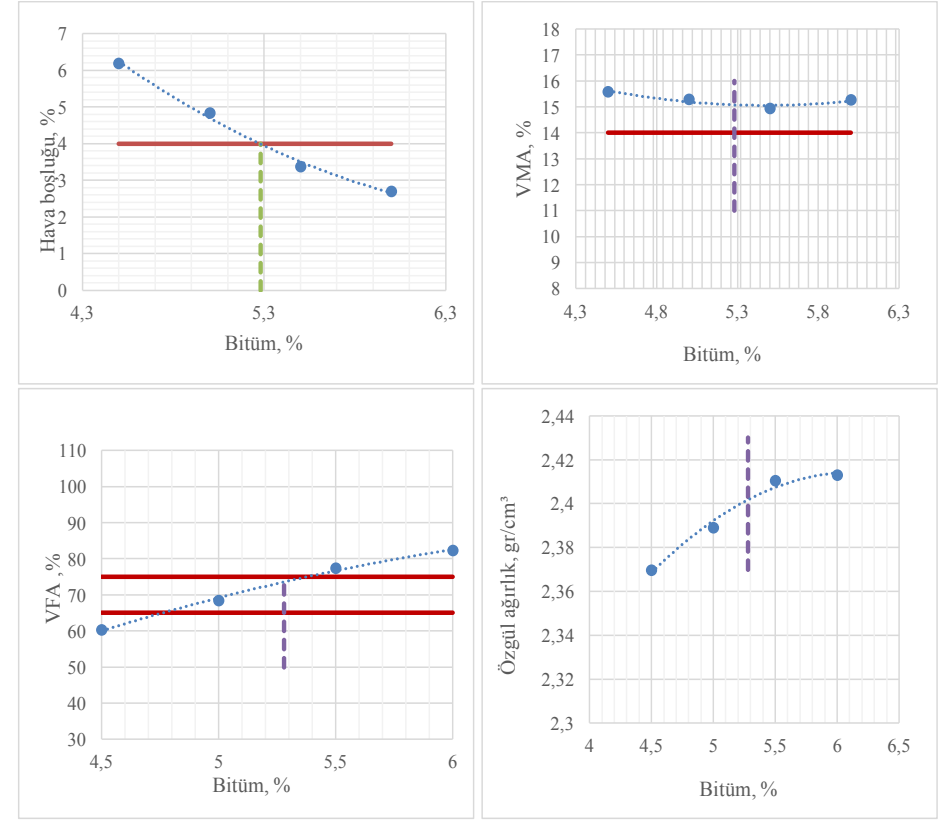
Tablo 5. Referans numune ve modifiye edilmiş nano malzemenin bitüm deney sonuçları.

Deney	Birim	Referans	%0,1 $\text{SiO}_2$ NP %1 $\text{Cu}_2\text{O}$	%0.3 $\text{SiO}_2$ NP %3 $\text{Cu}_2\text{O}$	%0.5 $\text{SiO}_2$ NP %5 $\text{Cu}_2\text{O}$
Penetrasyon	0.1 mm	62.2	61.6	60.4	59.8
Yumuşama Noktası	°C	50	50.5	52	52.2
Düktülite	cm	>100	>100	>100	>100
Dönel Viskosite 135 °C	Pa.s	0.470	0.452	0.465	0.488
Dönel Viskosite 165 °C	Pa.s	0.15	0.124	0.128	0.134
Dönel Viskosite 185 °C	Pa.s	0.059	0.064	0.066	0.069

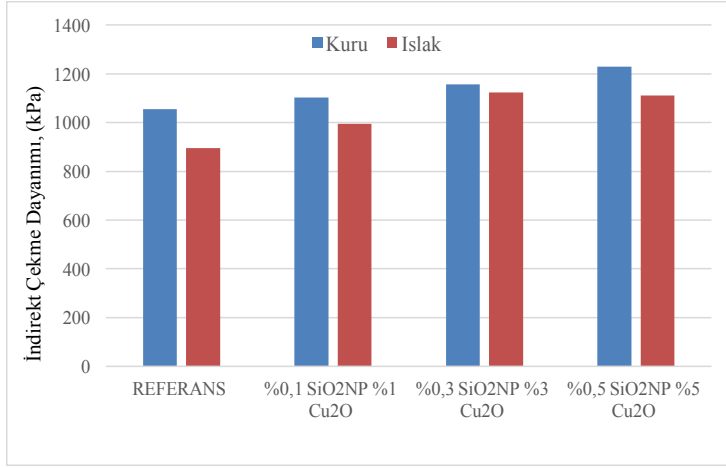
Tablo 5'deki penetrasyon sonuçlarına bakıldığında modifikasyon yapıldığında penetrasyon değerlerinin azaldığı görülmüştür. Sonuçlara göre nano malzemeli bağlacının kıvamı arttırdığı fark edilmiştir. Modifikasyonlu bağlayıcının sıcak iklimli bölgelerde kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Yumuşama noktası sonuçları da bunu desteklemektedir. Düktülite sonuçlarına göre numune yeterli esnekliği sağlamıştır.



Şekil 1. %0.1  $\text{SiO}_2$ NP %1  $\text{Cu}_2\text{O}$  ile modifiye edilmiş bitümün optimum bağlayıcı içeriği.

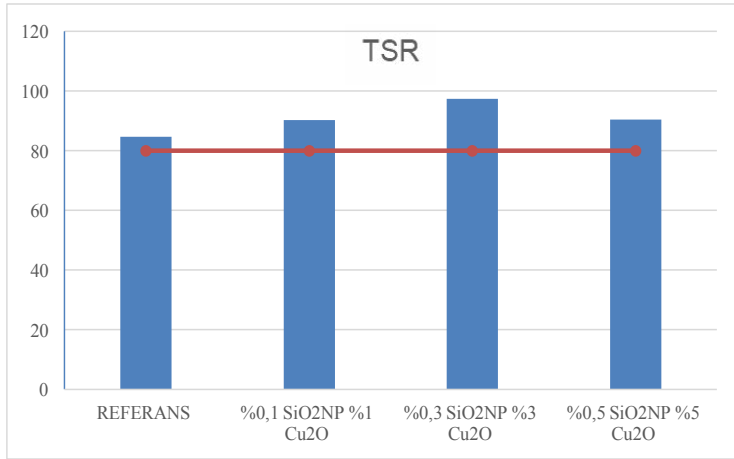
Şekil 2. %0,3 SiO<sub>2</sub>NP %3 Cu<sub>2</sub>O ile modifiye edilmiş bitümün optimum bağlayıcı içeriği.Şekil 3. %0,5 SiO<sub>2</sub>NP %5 Cu<sub>2</sub>O ile modifiye edilmiş bitümün optimum bağlayıcı içeriği.

Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'de 125 Ndesign yoğurma sayısında % 4.0 hava boşluğunu veren optimum bağlayıcı içeriğinin belirlenebilmesi için numuneler hazırlanmış ve sıkıştırılmıştır. Optimum bağlayıcı içeriğinin belirlenebilmesi için tahmin edilen bağlayıcı içeriği ile başlanarak %4.5-5-5.5-6 oranlarında %4 boşluk oranı için kriterlerin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. Öncelikle hava boşluğu grafiği üzerinden %4.0 hava boşluğuna karşılık gelen bağlayıcı içeriği tayin edilmiştir. Daha sonra bu bağlayıcı içeriği için VMA grafiği üzerinden minimum %14 değerinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir ve VFA grafiği üzerinden %65 -75 aralığının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. %0.1 SiO<sub>2</sub>NP %1 Cu<sub>2</sub>O numunesi için bitümlü bağlayıcı içeriği %5.17, %0.3 SiO<sub>2</sub>NP %3 Cu<sub>2</sub>O numunesi için bitümlü bağlayıcı içeriği %4.99, %0.5 SiO<sub>2</sub>NP %5 Cu<sub>2</sub>O numunesi için bitümlü bağlayıcı içeriği %5.28 olarak bulunmuştur.



Şekil 4. Referans ve modifiye edilmiş numunenin  $IDT_{kuru}$  ve  $IDT_{islak}$  karşılaştırılması.

Şekil 4' de numuneler için şartlandırılmamış ( $IDT_{kuru}$ ) ve şartlandırılmış ( $IDT_{islak}$ ) değerleri görülmektedir.  $IDT_{kuru}$  değerleri incelendiğinde %0.1 SiO<sub>2</sub>NP %1 Cu<sub>2</sub>O, %0.3 SiO<sub>2</sub>NP %3 Cu<sub>2</sub>O, %0.5 SiO<sub>2</sub>NP %5 Cu<sub>2</sub>O modifiye edilmiş bitümlü sıcak karışım için referans numuneden daha yüksek dayanım elde edilmiştir.  $IDT_{islak}$  değerleri incelendiğinde %0.1 SiO<sub>2</sub>NP %1 Cu<sub>2</sub>O, %0.3 SiO<sub>2</sub>NP %3 Cu<sub>2</sub>O, %0.5 SiO<sub>2</sub>NP %5 Cu<sub>2</sub>O modifiye edilmiş bitümlü sıcak karışım için referans numuneden daha yüksek dayanım elde edilmiştir.



Şekil 5. Karışımların Çekme Dayanımı Oranı.

Şekil 5'te TSR oranları incelendiğinde %0.1 SiO<sub>2</sub>NP %1 Cu<sub>2</sub>O, %0.3 SiO<sub>2</sub>NP %3 Cu<sub>2</sub>O, %0.5 SiO<sub>2</sub>NP %5 Cu<sub>2</sub>O modifikasyonu ile bitümlü sıcak karışımın TSR oranı %80 şartname limitini sağlamıştır. TSR sonuçları incelendiğinde neme karşı hassasiyetinin az olduğu görülmüştür.

## Sonuçlar

Bu çalışmada bitümlü bağlayıcı; nano silika, bakır oksit ile modifiye edilmiştir. Superpave™ karışım tasarımı kullanılarak karışımın ve bağlayıcının performansı belirlenmiştir. Nano silika ile bakır oksit karışımı üzerinde İndirekt Çekme Dayanımı testi uygulanarak performansı belirlenmiştir.

- ✓ Penetrasyon deney sonuçlarında %0.5 SiO<sub>2</sub>NP %5 Cu<sub>2</sub>O ile modifiye edilmiş bitümün referans numuneye oranla %4 azaldığı görülmüş ve nano malzemenin etkisi ile penetrasyon değeri azaldığı görülmüştür.
- ✓ Yumuşama noktası deneyine göre, referans numune ve %0.5 SiO<sub>2</sub>NP %5 Cu<sub>2</sub>O modifiye edilmiş bitüm karşılaştırıldığında, modifikasyon sonucunda yumuşama noktası %4 azaldığı görülmüştür.
- ✓  $IDT_{kuru}$  değerlerine bakıldığında bitümlü sıcak karışım modifiye edilmiş bitüme göre daha düşük çıkmıştır. Modifiye edilmiş bitümün referans numuneye göre mukavemeti daha yüksektir.
- ✓  $IDT_{islak}$  değerlerine bakıldığında bitümlü sıcak karışım modifiye edilmiş bitüme göre daha düşük çıkmıştır.
- ✓ TSR oranları incelendiğinde modifiye edilmiş bitüm şartnamede belirtilen %80 limitini sağlamıştır. TSR oranıyla bitümlü sıcak karışımların neme karşı hassasiyeti bakılmaktadır. TSR sonuçlarına bakıldığında neme karşı hassasiyetinin daha az olduğu görülmüştür.

## Kaynaklar

Aziz M.A., Bull J.W., Herabat P., Hoque Z., Cheu R.L., Jiang Y., Johnston I., (2006) The Handbook of Highway Engineering, Fwa T.F., CRC Press Taylor&Francis Group, USA,.

Cominsky R.J., Huber G.A., Kennedy T.W., Anderson M., (1994). The Superpave Mix Design Manuel for New Construction and Overlays. SHRP-A-407, National Research Council, Washington, DC, 184p.

Geçkil T., Alataş T., Ahmedzade P., (2011) Superpave Sisteminde Bölge Meteorolojik Hava Verileri Kullanılarak Performans Dereceli (PG) Bağlayıcı Sınıfı Seçimi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27(1): 88-106

İSFALT, (2001) Asfalt ve Uygulamaları, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Bilimsel Yayın No:1, İstanbul

Kök, B.V., Yılmaz, M., Kuloğlu, N. (2012). Asfaltın Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi. İMO Teknik Dergi.5813-5826.Yazı 371.

Loh S., Olek J., (1999) Contributions of PG Graded Asphalt to low Temperature Cracking Resistance of Pavement. Joint Transportation Research Program, Final Report FHWA/IN/JHRP-96/22, Purdue University, Indiana, 172p.

### 13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

#### Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

McGennis R. B., Shuler S., Bahia H. U., (1994). Background of Superpave Asphalt Binder Test Methods. National Asphalt Training Center Demonstration Project 101, Publication No. FHW A-SA-94-069, Asphalt Institute, Lexington, KY , 104p.

Read, J. ve Whiteoak, D., (2003) The Shell Bitumen Handbook (5th ed). Thomas Telford, London, UK.,.

Tunç, A. (2001) Yol malzemeleri ve uygulamaları, Atlas Yayın, İstanbul,

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

## Ülkemizdeki Otopark Problemi ve Otopark Yönetmeliğindeki Değişimler

### Ufuk Kırbaş<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
Ulaştırma ABD.,55139, Atakum/SAMSUN,  
Tel: (362) 312 19 19 / 1056  
E-Posta: ufukkibas@gmail.com, ufuk.kibas@omu.edu.tr

### Öz

Günümüzde, gerek nüfus gerekse yüzölçümü olarak bütün şehirlerimizde ortak problem, otopark alanlarının yetersizliğidir. Problemin böylesine büyümesi, kentleşme açısından çok önemli planlama hatalarının yapıldığını açıkça göstermektedir. Kentlerin gelişmesinde, planları yapanları ve uygulayanları yönlendiren en önemli etken ilgili mevzuatlardır. Bu çalışmada, ülkemizde 1993 yılından itibaren uygulanmaya devam edilen otopark yönetmeliği ile 2018 yılında yayımlanan ve 2020 tarihinde yürürlüğe girmesi beklenen otopark yönetmeliği karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Otopark yönetmeliklerinin ülkemizdeki tarihsel gelişimi kısaca özetlenerek 2018 yılında yayımlanan yönetmeliğin hangi konularda iyileştirmeler sağladığı detayları ile vurgulanmıştır. Yönetmeliklerin vurguladığı yapı kullanım alanları ve otopark ihtiyaç miktarları nicelik olarak karşılaştırılarak, değişimler oransal olarak değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalarda taşıt türlerinin dikkate alınması, alan kullanım yönlendirmeleri, otoparkların parsel içi yerleşimleri, engellilere tanınan pozitif ayrımcılık gibi birçok nitelik uygulanabilirliği açısından değerlendirilmiştir. Son olarak, yeni otopark yönetmeliğinde de uygulama yönünden olumsuzluklar oluşturabilecek, yetersizliklere sebebiyet verecek, sorunun çözümünden uzak sonuçlar doğuracak durumlara dikkat çekilerek yönetmeliğin iyileştirilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Otopark problemi, Kentleşme, Trafik, Karayolu ağı, Yönetmelik.

### Giriş

Türkiye İstatistik Kurumu 2018 yılı verilerine göre ülkemiz genelinde tüm taşıt türlerinin % 54'ünü oluşturan otomobiller günde ortalama yaklaşık 36 km yol kat etmektedirler (TÜİK, 2016). Bu durum, otomobiller ile şehir içi hız limiti olan 50 km/sa'ın altında bir hızla dahi gün içerisinde en fazla 1 saat yolculuk yapıldığını, günün geri kalan 23 saatinde otomobillerin park halinde olduğunu göstermektedir. Diğer tür taşıtlar için otopark süreleri çok daha kısa olduğu söylenebilmektedir. Bununla beraber, ülkemizde son on beş yılda taşıt sayısı her yıl ortalama % 6 oranında artış göstermekte, buna bağlı olarak otopark ihtiyacı da bu oranda artmaya devam etmektedir.

Günümüzde tüm dünyada, otopark alanları insanın doğal bir ihtiyacı olduğu kabulü ile yaşam alanı olarak tasarlanan binaların fonksiyonunun bir parçası olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer bir deyişle, konut, alışveriş vb. herhangi bir amacı yerine getirmek



amacıyla yapılacak bir binanın bulunduğu parsel içerisinde ihtiyaç duyulan kadar otoparka sahip olması tasarım esası olarak kabul edilmektedir. Bu esas çerçevesinde bina üreticileri ihtiyaç duyulan otopark alanlarını tesis etmeleri için hukuki bağlayıcılığı olan yönetmeliklerle kontrol ve himaye edilmektedir.

Ülkemizde otoparklarla ilgili mevzuat düzenlemeleri ilk olarak yerel yönetimlerin girişimleri ile şehirleşmede tedbir alınması gereken bölgelerde ilgili belediyelerin sorumluluk sınırlarında geçerli olacak şekilde yapılmıştır. Ülke genelinde yapılaşmayı disipline edecek ilk otopark yönetmeliği kendi adını taşımadan 07.05.1976 tarihli 15580 sayılı resmi gazetede “Belediyelerin İmar Yönetmeliklerine Ek yönetmelik” adı altında yayımlanmıştır (Birinci, 2016). Yürürlükte kaldığı dönemde 2 defa değişikliğe uğrayarak geçerli olmuştur. Sonrasında, yine imar yönetmeliklerine ek yönetmelik olarak 1981 yılında bir kez daha yayımlanmıştır. Kendi adıyla ilk otopark yönetmeliği 18.04.1984 tarihli 18376 sayılı resmi gazetede yayımlanmıştır. Yönetmeliğin yayımlanmasına takip eden sekizinci günde aynı yönetmelik ufak değişikliklerle tekrar yayımlanmıştır. Bu yönetmelik 1 defa değişiklik geçirerek 1985 yılında yayımlanan yönetmelikle yürürlükten kaldırılmıştır. 1985 yönetmeliği 1 defa değişiklik göstererek 1990 yılına kadar yürürlükte kalmış 1990 yönetmeliği ile yürürlükten kaldırılmıştır. 1990 yönetmeliği 1 defa değişiklik göstermiş ve 1991 yılına kadar yürürlükte kalmıştır. Otopark yönetmeliği kendi adı ile içerisinde önemli değişiklikleri de barındırır şekilde 1991 yılı içerisinde iki defa yayımlanmıştır. Sonrasında 1993 yılında yayımlanan yeni bir yönetmelikle bu yönetmelik yürürlükten kaldırılmıştır. 1993 yönetmeliği otopark kriterlerini detaylandıran 2 adet ilave tebliğ ile birlikte 6 defa değişikliğe uğramıştır. Günümüzde binaların yapımında otopark kriterlerini belirleme konusunda geçerli olan bu 1993 tarihli otopark yönetmeliğidir. 22.02.2018 tarihli resmi gazetede otopark yönetmeliği günümüz teknik koşulları ve ihtiyaçlarını içeren güncellemelerle tekrar yayımlanmıştır. İlk yayımlandığı metne göre Haziran 2018’de yürürlüğe girmesi beklenirken sonrasında yayımlanan düzenlemelerle yürürlük tarihi 2020 yılına ertelenmiştir. Otopark yönetmeliklerini mevzuat tarihi boyunca değişimi Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1 Otopark yönetmeliklerinin kronolojisi.

Yayımlanma Tarihi	Resmi Gazete Sayısı	Değişiklik Sayısı	Yürürlük Durumu	Açıklama
07.05.1976	15580	2	kaldırıldı	ek yönetmelik
15.07.1981	17401	-	kaldırıldı	ek yönetmelik
18.04.1984	18376	-	kaldırıldı	yönetmelik
26.04.1984	18383	1	kaldırıldı	yönetmelik
02.11.1985	18916	1	kaldırıldı	yönetmelik
21.11.1990	20732	1	kaldırıldı	yönetmelik
09.02.1991	20781	-	kaldırıldı	yönetmelik
20.03.1991	20820	-	kaldırıldı	yönetmelik
01.07.1993	21624	6 (ikisi tebliğ)	yürürlükte	yönetmelik
22.02.2018	30340	4	henüz değil	yönetmelik

Özellikle ülkemizde otopark problemlerinin irdelendiği çalışmalarda, belli karakteristiğe sahip bölgelerde yol üstü ve yol dışı otopark yönetim stratejileri, işletim prensipleri ve ücret politikalarının iyileştirilmesi önerilerinin araştırıldığı görülmektedir (Algburi ve

Özen, 2017; Yardım ve Ağrikli, 2014). Ulusal ve uluslararası literatürde çalışmalar, otopark problemini, mevcut imkanlar değerlendirilerek toplu taşımaya katkı sağlamak amacıyla elde edilen ekonomik kazanç karşılık ihtiyaçlar doğrultusundaki en büyük faydayı sağlayabilen bir optimizasyon veya konumlandırma problemi olarak ele almıştır. Bu amaca uygun sistem ve kavramsal stratejilerin üzerine sıklıkla çalışıldığı görülmektedir (Bayraktar ve diğ., 2015; Lakusic, 2018; Stubbs, 2010; Vlahogianni ve diğ., 2015). Literatürde, özellikle bir ülkeye ait otopark ikamesini yönlendiren mevzuatların incelendiği çalışmaların yetersizliği dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, son dönem şehirleşme faaliyetlerinin yoğun yaşandığı ve bu dönemde geçerli olan 1993 otopark yönetmeliği ile 2020 yılında geçerli olması beklenen 2018 otopark yönetmeliği karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Yeni yönetmeliğin problem çözümüne bakış açısı incelenerek, teknik kriterlerdeki önemli değişiklikler ve idarelere getirdiği zorunluluklar vurgulanmıştır.

### 1993 Otopark Yönetmeliği

01.07.1993 tarihli 21624 sayılı resmi gazetede yayımlanan otopark yönetmeliği ülkemizde son dönem şehirleşme faaliyetlerinde otopark alanlarının temin edilmesi ve tesis edilmesinde kullanılan yegâne hukuki dayanaktır. Yayımlandığı ilk dönemde yalnızca nüfusu 10.000 ve üzeri olan yerleşmelerde uygulanması öngörülmüştür. 1999 yılında yapılan düzenleme ile bu uygulamadan vazgeçilerek imar planı yapılmış olma şartı ile tüm yerleşmelerde uygulanması zorunlu hale getirilmiştir. Yönetmelikte tüm yapılar için öngörülen miktarlarda otopark yeri bırakılması zorunlu tutulmuş olup parselinde otopark ihtiyacı karşılanamaması durumunda ilgili belediyelerce genel otoparklar aracılığıyla bu ihtiyacın karşılanması şartı ile otopark bedelinin alınarak problemin çözülebilmesi imkânı tanınmıştır. Bölgesel idari meclislerce (belediye, valilik vb.) belirlenen bu otopark bedelinin bir banka hesabında toplanması ve toplanan meblağın otopark tesisi dışında başka hiçbir amaçla kullanılamaması şartı vurgulanmıştır.

Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarihte geçerli olmak kaydıyla teknik kriterleri çok daha detaylı açıklayan yönetmeliğe ilave tebliğ yayımlanmıştır. Tebliğde kabul edilen şartlara göre otopark zorunlulukları yerleşmelerin nüfuslarına göre çeşitlendirilmiştir. 10.000 – 50.000, 50.000 – 200.000 ve 200.000’den fazla olmak üzere nüfus yoğunluğuna göre otopark zorunlulukları üç farklı kategoride ele alınmıştır. Yapılar mesken, ticari amaçlı binalar ve büro binaları, konaklama tesisleri gibi kullanım çeşitlerine göre 16 adet farklı sınıfta değerlendirilmiştir. Tebliğde ayrıca zorunlu otopark yeri aranmayacak parseller teknik bilgiler ile detaylıca açıklanmıştır. Bina otoparklarının düzenleme esasları, genel otoparkların düzenleme esasları, otopark bedellerinin tahakkuku ve tahsisi gibi birçok detayın anlatıldığı tebliğ 2006 yılında bazı teknik kriterler güncellenerek tekrar yayımlanmıştır.

Otopark planlaması üzerine yapılan çalışmalarda araştırmacılar parklanma faaliyetini gündüz ve gece olmak üzere iki başlık altında değerlendirmektedir. Gündüz parklanması iş, eğitim vb. amaçlarla ve kısa süreli, gece parklanması ise barınma amacıyla yapılan uzun süreli parklanma olarak kabul edilmektedir. Aracı evinin yakınında bir alana park ederek günlerce yerinden hareket ettirme durumu da bu parklanma çeşidine dâhil edilmektedir (Okubay, 2008). Bu nedenle, meskenlere ait parklanma gece parklanması olarak kabul edilmekle birlikte, şehirlerde karşılaşılan otopark problemlerinin altında yatan en önemli sebep olarak görülmektedir (Demir,

2019; Okubay, 2008; Vahapoğlu ve diğ., 2016). 1993 yönetmeliğinin teknik kriterlerini detaylandırmak amacıyla ilk olarak 1993 yılında yayımlanan tebliğde meskenler 100 m<sup>2</sup>'ye kadar, 100-150 m<sup>2</sup> arası ve 150 m<sup>2</sup>'den büyük olmak üzere üç alt kategoride değerlendirilmiştir. Söz konusu bu tebliğin 2006 yılında yayımlanan yenilenmiş halinde ise mesken alanı tek tip olarak kabul edilmektedir. Her iki tebliğde meskenler için ayrılması gereken her 1 otopark yeri için yapı kullanım alan miktarları Tablo 2'de görülmektedir. Tabloda mesken alanının dairenin brüt yapı alanı olduğu düşünüldüğünde, yaklaşık olarak üç yatak odası ve bir salonu bulunan çoğu dairenin 150 m<sup>2</sup>'den büyük kategorisine girebileceği düşünülmektedir. Bu kabul ile 2006 yılında yayımlanan tebliğdeki düzenleme ile zorunlu otopark sayısının esnetildiği görülmektedir.

Konaklama tesislerinde bu zorunluluk belirli sayılardaki oda veya bölüm (ünite) için açıklanmış olup, tatil köyleri ve apart oteller haricinde her iki tebliğde bir değişiklik yapılmamıştır. Öte yandan, her iki tebliğde de diğer kullanım amaçlı binaların çoğunda zorunlu otopark miktarı genelde belirli miktarlardaki yapı alanlar için 1 otopark yeri ayrılması zorunluluğu öngörülerek tanımlanmıştır.

Tablo 2 1993 ve 2006 tebliğlerinde (1993 yönetmeliğine ek) meskenler için zorunlu otopark miktarları.

	Nüfusu 10.000-50.000 arasında olan yerleşmeler	Nüfusu 50.001-200.000 arasında olan yerleşmeler	Nüfusu 200.000'den fazla olan yerleşmeler
<i>1993 tarihli tebliğ</i>			
Alanı 100 m <sup>2</sup> 'ye kadar	4 daire için	3 daire için	2 daire için
101 - 150 m <sup>2</sup> arası	3 daire için	2 daire için	2 daire için
150 m <sup>2</sup> 'den büyük	1 daire için	1 daire için	1 daire için
<i>2006 tarihli tebliğ</i>			
Alan farketmeksizin	3 daire için	3 daire için	3 daire için

1993 yönetmeliği Temmuz ayı itibarıyla yayımlanmış olsa da Eylül ayı içerisinde yürürlüğe girmesi planlanmıştır. Fakat Eylül ayında yayımlanan bir düzenleme ile yürürlük tarihi 1994 yılına kadar ötelenmiştir.

Yönetmelikte 1999 yılında yayımlanan bir düzenleme ile ilk defa engellere kolaylık sağlayacak düzenlemelere yer verilmiştir. Bu düzenleme ile birlikte otopark planlanması ve tasarlanmasında Türk Standartları Enstitüsünce (TSE) kabul edilmiş olan standartlara da uyulma zorunluluğu getirilmiştir. Yönetmeliğin uygulamasında otopark parsellerde otopark alanı tanzim edilemeyecek durumlar aynı yıl içerisinde yayımlanan birinci tebliğ ile detaylıca açıklanmış olsa da nihai karar idarelere bırakılmıştır. Bu düzenleme ile uygulamada parselde otopark tesis edilmeme hali sorumluluğu ve uygulaması bütünüyle yapı ruhsatı veren ilçe belediyelerin inisiyatifine bırakılmıştır. Otopark yapılamayacak parseller yine belediye meclislerince belirlenen otopark bedelleri birim otomobil ücreti üzerinden büyükşehirlerde büyükşehir belediyelerince, illerde il

belediyelerince kullanılmak üzere bankalarda açılan otopark hesabına yatırılması zorunlu olmuştur. Bu anlamda yönetmelikte geçici 4. madde ile de açıklandığı gibi ilgili belediyeler bölge ve genel otoparkları planlamakla, tasarlamakla ve yapmakla görevlendirilmiştir. Öte yandan, bahsedilen bu otopark bedelinin nasıl hesaplanacağı açıkça belirlenmemiştir. İl idare kurulları (daha sonra il genel meclisi) ve belediye meclislerince belirlenen bu bedelin uygulamada bir genel otopark alanı tahsis ve tesisine karşılık gelip gelmediği uzun yıllardır tartışılan bir sorun olmuştur (Yardım ve Ağrikli, 2014). Ayrıca bu bedelin toplanması sonucu elde edilen toplam meblağ otopark yapımında kullanılmaya ayrılmış bir para olup yeterliliği ya da yetersizliği daima sorgulanmıştır. Yönetmelikte 2006 yılında yapılan revizyonda geçici 3. madde ile belediyelere bölge otopark alanı oluşturmaya imar planı değişikliklerini en geç iki yıl içerisinde tatbik etmeleri zorunlu tutulmuştur. Fakat herhangi bir kurum ya da kuruluş tarafından bu zorunluluğun ortaya çıkardığı sonuçların günümüze yansımalarını izleyebileceğimiz herhangi bir çalışma yapılmamıştır (Yardım ve Ağrikli, 2014).

### 2018 Otopark Yönetmeliği

2018 otopark yönetmeliği ilk defa 22.02.2018 tarihli 30340 sayılı resmi gazetede yayımlanmıştır. İlk yayımlandığında 01.06.2018 tarihinde yürürlüğe girmesi öngörülmüştür. Daha sonra yürürlük tarihi yeniden yapılan ilk düzenleme ile 01.01.2019 tarihine ötelenmişse de ikinci düzenleme ile 15.09.2018 tarihine tekrar geri çekilmiştir. Üçüncü düzenleme ile yine 30.06.2019 tarihine, dördüncü düzenleme ile 31.12.2019 tarihine ötelenmiştir. Görüldüğü üzere yönetmelik henüz yürürlüğe girmeden çok esaslı olmamakla birlikte dört farklı revizyon geçirmiştir.

2020 yılı itibarıyla uygulanmaya başlanması beklenen yönetmeliğin günümüz taşıt sahipliğine göre otopark alanı tahsisi konusunda önemli değişiklikleri barındırmanın yanında otopark alanı üretiminin artırılmasında kullanılan güncel teknik çözümleri (mekanik sistemler, taşıt asansörleri vb.) de dikkate alır şekilde hazırlandığı dikkat çekmektedir.

Yeni yönetmelikte otopark alanı üretimi konusunda bina üreticilerine esnek çözümler sağlanmaya çalışıldığı görülmektedir. Örneğin, her bir binanın otopark ihtiyacını kendi parselinde çözmeye zorlamak yerine ihtiyaç duyulan toplam sayıda otoparkın ilgili imar adası içerisinde çözülmesinin de önü açılmıştır. Bu durumun, aralarında anlaşmak suretiyle bir cephesi diğerlerine göre daha çok cazibeye sahip imar parsellerinde, otopark ihtiyacının daha az cazip olan cephelere kaydırılarak cazip olan cephelerdeki yapı fonksiyonlarından maksimum faydanın sağlanmasına, dolaylı olarak otopark ihtiyacının çözümünün daha kolay bulunacağına olanak tanıyabileceği düşünülmektedir. Ayrıca yönetmelikte mekanik sistemli otoparklar da teşvik edildiği için daha küçük alanlarda daha çok otopark yeri tesisi mümkün olabilecektir. Fakat 31.05.2019 tarihinde yapılan değişiklik ile mekanik sistemlerin yapılamaması durumunun bir teknik raporla tespit edilmesi şartı ortadan kaldırılmıştır. Bir anlamda otopark alanı yapılamıyorsa mekanik sistemler gibi ileri teknik çözümler bulmak yerine problemin genel otoparklar vasıtasıyla çözülmesi öngörülmüştür. Tüm bu düzenlemelerin rahatlıkla hayata geçirilebilmesi ve yatırım yapacak kişilere karar vermelerinde yardımcı olabilmesi için imar planlarının otopark üretimine uygun yapılması gerektiği yönetmelikte önemle vurgulanmaktadır. İmar adası içerisinde tüm parsellerin otopark ihtiyacının ortak karşılanması durumunda otopark alanlarının vaziyet planında gösterilmesi, bir bağımsız

bölüme başka bir parsel otopark tesis edilmesi halinde bu durumun tapu kütüğüne işlenmesi ve hatta her bir bağımsız bölüme ait müstakil otopark tahsisinin de önu açılmıştır.

1993 otopark yönetmeliğinde hiçbir şekilde değinilmeyen yol üstü otopark düzenlemesi 2018 yönetmeliği ile hukuki bir tanıma kavuşmuştur. Yol üstü otopark alanlarının belediyelerce işletilmesinin büyükşehir belediyelerinde UKOME, diğer belediyelerde yerel trafik/ulaşım komisyonu kararı alınmak ve yatay ve düşey işaretlemeleri yapmak kaydıyla önu açılmıştır.

Yönetmelikte, üst ölçekli planlarla uyum içerisinde olmak kaydıyla, yapının esas fonksiyonlarını yerine getirdikten sonra kalan alanların otopark alanı olarak ayrılmasına, gerekli izinlerin alınarak bu alanlarda otopark işletmeciliğinin yapılmasına izin verilmiştir. Bina üreticilerine sağlanan bu ve benzeri esnekliklerle otopark işletmeciliğinin cazip hale getirilmeye çalışıldığı düşünülmektedir.

Ayrıca, 2018 yönetmeliğinde diğer otopark yönetmeliklerinde olmadığı kadar engellilerin hayatının kolaylaştırılması gereklilikler üzerinde durulmuştur. Engelliler için fonksiyon otoparklarında (bina, AVM benzeri) her 20 otopark alanından, yol üstü otoparklarında her 30 otopark alanından bir tanesinin engellilere bırakılması zorunlu tutulmuştur. Ayrıca, engelli park alanı büyüklü kurallara uygun olacak şekilde açıkça belirtilmiştir.

Gelişmiş ülkelerde iki tekerlekli ulaşım tercihi trafik hacimlerinin azaltılmasında en önemli çözüm aracı olarak görülmektedir. Bu maksatla yönetmelikte tüm otopark alanlarını en az %1'i kadar alanın bisiklet ve motosikletler için ayrılması zorunlu tutulmuştur. Ayrıca, gelişmekte olan teknolojiler göz önüne alınarak bölge ve genel otoparklar ile AVM'lere ait otoparklarda, her 50 park yerinden en az biri elektrikli araçlara uygun olacak şekilde (şarj ünitesi dâhil) düzenlemesi gerekli kılınmıştır.

Yönetmelikte parsel içerisinde hangi alanların otopark olarak kullanılabilmesi (bodrumlar, ön-yan bahçe bölümleri vb.) ve kullanım koşulları detaylıca açıklanmış ayrıca, otoparklarda uyulacak minimum teknik kriterler net olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, özellikle yapılaşmanın yoğun olduğu bölgelerde genel otopark alanları üretilebilmesi için kamu binalarının bahçelerinin (okul bahçelerinde Milli Eğitim Bakanlığında izin alınarak) kullanım koşulları detaylarıyla belirlenmiştir. Bu alanlarda yer altında ve yer üstünde otopark işletmeciliğinin yapılabilmesine olanak tanınmıştır.

Park et devam et sistemi toplu taşıma sistemlerine olan talebi attırma konusunda yenilikçi bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Bu maksatla yönetmelikte 7. maddede park et devam et sistemine yardımcı olacak otoparkların oluşturulması üzerine durulmuştur. İlgili idarelere bölge için hazırlanan imar planlarında ve ulaşım ana planlarında bu otoparkların tesisi için gerekli düzenlemelerin yapılması zorunlu tutulmuştur.

2018 otopark yönetmeliğinde en önemli ve dikkat çekici nokta genel esasların anlatıldığı 4. maddenin s fıkrasında vurgulanan, ilgili idarelerce otopark yapılamayacağı tespit olunan ve bunun karşılığında otopark bedeli tahsil edilen yapıların, bölge ve genel otoparklardan faydalanmak için müracaat etmeleri halinde otopark sorununun nasıl çözümleneceğini, binanın hangi bölge veya genel otoparkından yararlanacağını 30 gün içinde bildirmekle yükümlü olduğu şartı getirilmiştir. Bu yenilik ile ilk defa yapı kullanma iznine başvuracak yapılar için diğer bir deyişle en azından yeni yapılacak binalar için otopark ihtiyacının parselinde, adasında veya genel otoparklarda

karşılansız yapıların iskana hazır hale getirilemeyeceği anlaşılmaktadır. Bu durumun, yapı kullanma izni (iskan) aşaması öncesi yapılan mülk satışlarında uygulamanın başladığı ilk dönemlerde bilinçsiz alıcıların mağdur olabileceğini akıllara getirirse de uygulamanın yaygınlaşması ile tüketici bilincinin artması sonucu bina üreticileri üzerinde önemli bir otokontrolün meydana gelmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir. Yeni yönetmeliğin ilgili idarelere (özellikle belediyeler), uygulamada otopark ihtiyacının karşılanmasında, yapının sakinlerine karşı sorumluluk yükleyen en önemli maddesinin bu madde olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca yönetmelikte, bina imalatını yapan yüklenicilere (müteahhit vb.) otopark ihtiyacı parselinde veya adasında karşılanacaksa otopark imalatını tamamlamadan, otopark yapılamayacağı ilgili idarece tespit edilmiş ve ihtiyaç bölge veya genel otoparklardan karşılanacaksa yüklenici tarafından otopark bedelinin tamamı ödenmeden yapı kullanma izninin (iskan) verilmeyeceği açıkça belirtilmiştir. Yönetmeliğin bina üreticilerine herhangi bir yapının sakinlerine karşı sorumluluk yükleyen önemli bir maddesinin de bu madde olduğu görülmektedir.

2018 yönetmeliğinde, 1993 yönetmeliğinden farklı olarak otopark yapılamayan parsellerde bölge ve genel otopark yapılması için alınan otopark bedeli idareler tarafından belirlenmek yerine madde 12'de anlatılan bir formülasyon kullanılarak belirlenmesi zorunlu tutulmuştur. Bu yöntemle, arsa payı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca belirlenen birim otopark rayiç bedeli ve meclis kararları ile belirlenen katılım oranı gibi girdilerle otomobil için hesaplanan otopark katılım bedelinin gerçekçi bir değer olması hedeflenmiştir.

#### 1993 ve 2018 Otopark Yönetmeliklerinin Teknik Kriterlerinin Karşılaştırılması

1993 yılında ve 2018 yılında yayımlanan otopark yönetmelikleri tüm değişiklikleri ile birlikte karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Her iki yönetmelikte de yönetmeliklerin yürürlüğe girdiği tarihten itibaren ilgili idarelerin imar planı sınırları içerisinde kalan alanlardaki yerleşmelerin otopark ihtiyacını tespit ederek, bu ihtiyacı karşılamaya yönelik bölge otopark alanı oluşturması amacıyla imar planı revizyonlarının yapılması zorunlu tutulmuştur. Ayrıca yine her iki yönetmelikte de ilgili idarelerce otopark yapılamayan parsellerden otopark (bölge veya genel) yapmak amacıyla alınan otopark ücretlerinin otopark tesisi dışında başka bir amaçla kullanılmayacağı önemle vurgulanmaktadır. 1993 yönetmeliğinde 2006 yılındaki revizyonda yayımlanan bu düzenlemelerin günümüzde uygulamada tam olarak karşılık bulmadığı varsayımı ile 2018 yönetmeliğinin de yürürlüğe girmesinden sonra benzer bir durumla karşılaşılabilmesi düşünülmektedir.

Otopark yönetmeliklerinde otopark aranması gereken farklı yapı kullanım çeşitlerinde en az bir otopark yeri ayrılması zorunlu tutulan yapıların teknik kriterleri tablolar halinde yayımlanmıştır. 1993 ve 2018 yönetmeliklerinde yalnızca değişikliğin yapıldığı yapı kullanım çeşitleri ve teknik kriterlerinin değişimi Tablo 3'de gösterilmiştir. 1993 yönetmeliğinde yerleşmelerin büyüklüklerine göre üç farklı kategoride değerlendirildiği Tablo 2'de gösterilmektedir. 2018 yönetmeliğinde yerleşim yerleri tüm nüfus yoğunlukları için tek bir kategoride değerlendirilmiştir. Günümüzde yerleşim nüfuslarının çok arttığı göz önüne alındığında karşılaştırma 1993 yönetmeliği için nüfusu 200.000'den büyük yerleşmeler ile 2018 yönetmeliği arasında yapılmıştır.

Tablo 3 1993 ve 2018 Otopark Yönetmeliklerinin teknik kriterlerindeki değişimler

13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

Kullanım Çeşitleri	1993 Yönetmeliği Nüfusu 200.000 ve üzeri yerleşmelerde	2018 Yönetmeliği
<b>1- Meskenler</b>	3 daire için	Her daire için
<b>2- Ticari Amaçlı Binalar</b>		
Market, Süpermarket,	Yok	20 m <sup>2</sup> için
Alışveriş Merkezi	Yok	35 m <sup>2</sup> için
Büro Binaları	30 m <sup>2</sup> için	Her bağımsız bölüm için en az 1 adet olmak kaydıyla 40 m <sup>2</sup> için
Sauna ve Hamam	30 m <sup>2</sup> için	35 m <sup>2</sup> için
<b>3- Konaklama Tesisleri (İlgili mevzuatında aksi belirtilmediği durumda)</b>		
Oteller (4 ve 5 yıldızlı için)	Yalnızca Oteller başlığı altında 5 oda için	3 oda için (Emsale dahil alanı 10.000 m <sup>2</sup> 'den fazla olanlarda ayrıca 1 adet yükleme boşaltma alanı ayrılır)
Oteller (Diğerleri)		5 oda için
<b>4- Yeme, İçme, Eğlence Tesisleri</b>		
Gece Kulübü	30 m <sup>2</sup> için	20 m <sup>2</sup> için
Gazino	30 m <sup>2</sup> için	20 m <sup>2</sup> için
Diskotek	30 m <sup>2</sup> için	20 m <sup>2</sup> için
Düğün Salonu	30 m <sup>2</sup> için	20 m <sup>2</sup> için
Birahane	30 m <sup>2</sup> için	20 m <sup>2</sup> için
<b>5- Sosyal, Kültürel ve Spor Tesisleri</b>		
Kapalı Yüzme Havuzu	20 oturma yeri	100 m <sup>2</sup> ya da 20 oturma yeri için
Açık ve Kapalı Spor Salonu	10 oturma yeri	20 oturma yeri için (Tribünlü tesislerde ayrıca 500 oturma yeri için 1 otobüs park yeri ayrılır)
<b>6- Fuar, Kongre ve Sergi Merkezleri</b>	Kapasitenin %5'i oranında	Kapasitenin % 10'u oranında (Ayrıca en az 1 adet yükleme boşaltma alanı)
<b>7- Eğitim ve Sosyal Tesisler</b>		
Her Türde Yaygın Eğitim İle Öğretim Kurumu	Yok	300 m <sup>2</sup> için
Huzur Evleri Yaşlı Bakım ve Rehabilitasyon Merkezleri	Yok	300 m <sup>2</sup> için
Diğer yataklı kuruluşlar	Yok	250 m <sup>2</sup> için

Tablo 3 1993 ve 2018 Otopark Yönetmeliklerinin teknik kriterlerindeki değişimler (devam)

13. ULAŞTIRMA KONGRESİ

Yaşanabilir Kentler İçin Kent-Ulaştırma Birlikteliğinin Uyumlu Gelişiminin Yönetimi

Kullanım Çeşitleri	1993 Yönetmeliği Nüfusu 200.000 ve üzeri yerleşmelerde	2018 Yönetmeliği
<b>8- Sağlık Yapıları</b>		
Hastaneler	75 m <sup>2</sup> için	75 m <sup>2</sup> için (veya her hasta yatağı için 2 adet hesabı büyük çıkarsa, büyük sonuç dikkate alınır.)
<b>16- Açık Tesisler</b>		
Lunapark ve Benzeri Eğlence Yerleri	40 m <sup>2</sup> Alan	50 m <sup>2</sup> Alan
Çay Bahçesi	45 m <sup>2</sup> Alan	50 m <sup>2</sup> Alan
Açık Spor Alanları	50 m <sup>2</sup> Alan	75 m <sup>2</sup> Alan

Kriterlerdeki yapılan değişiklikler incelendiğinde, meskenler için her üç daire yerine her bir daire için bir otopark yeri bırakılmasının zorunlu tutulması en göze çarpan değişikliktir. 2018 yönetmeliğinde ticari amaçlı binalarda yapı kullanım çeşidi olarak market, süpermarket ve alışveriş merkezi yeni kriterler olarak ilave edilmiştir. Bu kriterlerin, özellikle tercih edilirliliği fazla olması sebebiyle kavşak bölgelerinde açılan marketlerin trafik akımı üzerinde oluşturduğu olumsuzluğu azaltacağı düşünülmektedir.

Yeni yönetmelikte konaklama tesislerinde oteller 4 ve 5 yıldızlı otellerle diğer oteller olmak üzere iki farklı kategoride değerlendirilmiştir. Özellikle 4 ve 5 yıldızlı otellerde zorunlu otopark ihtiyacı arttırılmıştır. Yeme, içme, eğlence tesislerinde kolanta vb. tesislerde herhangi bir değişiklik olmazken gece kulübü, gazino, diskotek, düğün salonu ve birahanelerde kriterler atırılmıştır. Sosyal, kültürel ve spor tesislerinde, özellikle spor komplekslerinde kriterler azaltılmış, kültürel tesislerde çok fazla değişiklik olmamıştır. Fuar, kongre ve sergi merkezlerinde kriterler iki katı oranında arttırılmıştır. Eğitim ve sosyal tesislerde eğitim tesislerinde değişiklik yapılmamakla birlikte sosyal tesislerde yeni kriterler ilave edilmiştir. Sağlık yapılarından hastanelerde kriter yeniden yorumlanmıştır. Açık tesislerde ise bazı yapı kullanımlarında kriterler azaltılma yoluna gidilmiştir. Son olarak, yeni yönetmelikte ibadet yerleri, kamu kurum ve kuruluşları, sanayi ve depolama tesisleri, küçük sanayi tesisleri, oto sanayi sitesi, toptancı hali ve akaryakıt istasyonlarında herhangi bir kriter değişikliği yapılmamıştır.

**Tartışma**

Günümüzde şehirleşmenin yoğun olduğu bölgeler en çok otopark alanı ihtiyacı duyulan bölgeler olmakla birlikte, bu bölgelerde genel otoparklar için kullanılabilir alanların yetersizliği de dikkat çekmektedir. Genel otoparkların üretilmesi amacıyla arazi tahsisi için kamulaştırma yoluna gidilmesi yüksek maliyetin yanında mülkü elinden alınanlar için kamuda memnuniyetsizliğe ve tedirginliğe sebebiyet verdiği çok açıktır. Kamulaştırma sonucu ortaya çıkan hukuki süreç de ayrıca uygulamayı engelleyen bir başka sorundur. Bu sebeple belediyeler tarafından genel otoparkların üretilmesinde çoğunlukla parklar, kamu binalarının bahçeleri vb. kamuya ayrılmış alanların bu parsellerin asıl fonksiyonunu kaybettirmeksizin otopark alanı tesisis yoluna gidilmektedir. Parsellere asıl fonksiyonunu kaybettirmeden ancak yerin altına ve çok katlı olacak şekilde otopark alanı yaparak problem çözülebilmektedir. Bu durum, genel otoparklarda yüksek maliyetli ve işletme için özel düzenlemeler gerektiren bir sonuç

ortaya çıkarmaktadır. Yeni yönetmelikte otopark yapamayan parsellerden alınan otopark ücreti en azından bir formülasyona dayandırıldığı için toplanan meblağın gerçek bir bölge veya genel otoparkların tesisinde idarelere kolaylık sağlayabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, yeni otopark yönetmeliğinde getirilen önemli bir değişiklikle “otopark yapılamayacağı belirlenen ve bunun karşılığında otopark bedeli tahsil edilen yapıların bölge ve genel otoparklardan faydalanmak için müracaat etmeleri halinde otopark sorununun çözümününün 30 gün içinde ilgili idarece bulunması” şartının yeni yerleşimlerde otopark probleminin oluşmasını azaltıcı bir etki yapacağı düşünülmektedir.

Şehirlerimizde otopark alanı olarak sunulan en büyük alanlar yol üstü otoparklarıdır. 3194 sayılı yasa ile yürürlükte olan İmar kanununda 10 m genişliğin altında yolların yapılması engellenirse ayrıca, bulvar ismiyle tanımlanacak yollarda şeritlerin yanında yol üstü otopark düzenlemesi yapılabilecek banketin yapılması zorunlu hale getirilirse, bu düzenlemelerin imara açılan bölgelerde otopark probleminin azaltılması hususunda oldukça işlevsel bir çözüm sağlayacağı düşünülmektedir.

Son olarak, her iki yönetmelikte de önemle vurgulanan yürürlüğe girdikten sonra idarelerce 2 yıl içerisinde tüm sorumluluk bölgelerinde otopark planı yapmak ve hayata geçirmek zorunluluklarının uygulamaya geçirilmesi otopark problemlerinin daha da büyümeden azaltılmaya başlanması hayati önem arz etmektedir.

31.05.2012 tarih ve 28309 sayılı resmi gazetede yayımlanan “Afet riski altındaki alanların dönüştürülmesi hakkında kanun” ve 3194 sayılı kanuna eklenen geçici 16. madde ile hayata geçirilen imar barışı uygulamasının otopark problemlerinin çözümünü üzerindeki etkilerini düzenleyecek tedbirlerin alınmasının oldukça önemli olduğu düşünülmektedir.

### Sonuç

Otopark ihtiyacının temininin konut satışları üzerindeki etkileri önemli bir araştırma konusudur. Konut alırken dikkat edilen hususlar incelendiğinde, kullanışlı bir otoparkının bulunmasının ulaşım kolaylığı, sosyal çevre, depreme dayanıklılık ve bulunduğu semtten sonra beşinci sırada tercih edildiği görülmektedir. Öte yandan otoparkın, konut fiyatının belirlenmesinde ulaşım kolaylığından sonra ikinci sırada geldiği ve konut fiyatlarına %13.6 oranında etki ettiği yapılan araştırmalardan anlaşılmaktadır (Vahapoğlu ve diğ., 2016). Bu çalışmada, 1993 otopark yönetmeliği ile 2020 yılında geçerli olması beklenen 2018 otopark yönetmeliği teknik değerlendirme kriterleri ve otopark üretimlerine karşı politikaları açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2018 otopark yönetmeliği dünyadaki diğer ülkelerin otopark yönetmelikleri ile karşılaştırıldığında, özellikle konut fonksiyonlarının kategorilere ayrılması bakımından bir çok yönetmelikle aynı olduğu görülmektedir. Öte yandan yönetmelikte, birim mesken (konut) başına 1 araçlık otopark şartının getirilmesi ile dünyada kullanılan bir çok yönetmelikle benzerlik arz ettiği dikkat çekmektedir. Diğer taraftan yeni yönetmelikte, özellikle gelişmiş ülkelerin yönetmeliklerinde kullanılan, şehirlerin gelişmişlik düzeylerine göre bölgelere (zon) ayrılması yaklaşımının tercih edilmediği önemli bir fark olarak karşımıza çıkmaktadır (Vahapoğlu ve diğ., 2016). Bununla beraber, dünyadaki ülkelerin ekonomik durumları, taşıt sahipliği oranları, toplu taşıma

kullanım tercihleri, şehirlerdeki hareketlilik katsayıları gibi bir çok faktörün birbirlerine göre çok fazla farklılıklar göstermesi sebebiyle, yönetmeliklerin yalnızca nümerik değerler açısından karşılaştırılmasının doğru bir yaklaşım olmayacağı düşünülmektedir. Gerçek karşılaştırmanın ancak, otopark ihtiyacını etkileyen tüm parametrelerin normalize edilmesi ile mümkün olabileceği kanaati hasıl olmaktadır.

Şühesiz ki bir yapının otopark ihtiyacının sağlanıp sağlanmamasının kontrolündeki en önemli mekanizma yapının potansiyel müşterileridir. Örneğe, konut amaçlı üretilen bir binada planlanmış bir otopark tesis edilmemiş ve üretici bağımsız bölümler olarak ayrılan meskenleri son kullanıcıya satmakta zorlanacağını öngörürse, mutlaka yeter sayıda otopark alanı bulduracak şekilde binalar tasarlamak/tasarlatmak zorunda kalacaktır. Öte yandan yönetmelikler, otopark tahsisi konusunda minimum şartları barındırmakla beraber bu minimum şartlar ülke genelindeki ortalama ihtiyaçlara karşılık gelmektedir. Bu mekanizma ile taşıt sahipliğinin ve dolayısıyla otopark ihtiyacının çok daha fazla olduğu yapılarda probleme gerçekçi çözümlerin bulunmasının mümkün olmayacağı düşünülmektedir. Günümüz şehirleşmelerinde yapı kullanıcılarını minimum ihtiyaçları şekillendirdiği açıkça gözlenmektedir.

### Kaynaklar

Algburi, T. F. S., ve Özen, H. (2017) Characteristics of On-Street Parking in Istanbul. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 35(4), 575-584.

Bayraktar, M. E., Arif, F., Ozen, H., Tuxen, G. (2015) Smart Parking-Management System for Commercial Vehicle Parking at Public Rest Areas. Journal of Transportation Engineering, 141(5), 04014094. doi:10.1061/(asce)te.1943-5436.0000756

Birinci, F. (2016) Kadim Kent Diyarbakır'ın Planlama Ve Dikey-Yatay Gelişme Perspektifi: Maliyet Analizli Ada-Parsel Örnekleme. Uluslararası Diyarbakır Sempozyumu, 2-5 Kasım, Diyarbakır.

Demir, A. (2019) İstanbul'da Yol Kenarı Parklarda Kullanıcı Alışkanlıklarının İncelenmesi. Teknik Dergi, 30(3), 9175 - 9211. doi:10.18400/tekderg.366692

Lakusic, S. (2018) Ranking conceptual locations for a park-and-ride parking lot using EDAS method. Journal of the Croatian Association of Civil Engineers, 70(11), 975-983. doi:10.14256/jce.1961.2016

Okubay, M. (2008) Bölgesel Otopark Yönetimi ve Stratejileri: Tarihi Yarımada - Eminönü Bölgesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Stubbs, M. (2010) Car Parking and Residential Development: Sustainability, Design and Planning Policy, and Public Perceptions of Parking Provision. Journal of Urban Design, 7(2), 213-237. doi:10.1080/135748002200012249

TÜİK (Producer). (2016). Taşıt-kilometre İstatistikleri. Retrieved from <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30846>

### 13. ULAŖTIRMA KONGRESİ

#### YaŖanabilir Kentler İçin Kent-UlaŖtırma Birlikteliğinin Uyumlu GeliŖiminin Yönetimi

Vahapoğlu, F., BaŖ, O., Külekçi, O., Horoz, M., Birgin, G., Ŗahin, M. B., Ŗahin, H. V., Kara, D., Demir, S., Ŗenbil, M., Aydınoğlu, A. . (2016) İstanbul Otopark Ana Planı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi - İspark. İstanbul.

Vlahogianni, E. I., Kepaptsoglou, K., Tsetsos, V., Karlaftis, M. G. (2015) A Real-Time Parking Prediction System for Smart Cities. Journal of Intelligent Transportation Systems, 20(2), 192-204. doi:10.1080/15472450.2015.1037955

Yardım, M. S., ve Ağrikli, M. (2014) Türkiye’de Otopark Probleminin özümüne Bir Katkı: Çok Katlı Tam Otomatik Otoparklar. 7. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, Çankaya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Bildirler Kitabı, 289-294, ISBN: 978-975-6734-16-2, 15-16 Mayıs, Ankara.