



**KENT İÇİ RAYLI ULAŞIMDA YOL
KULLANIM HAKKI KAVRAMI VE
ESKİŞEHİR BATIKENT TRAMVAY HATTI
DURAKLARININ HİZMET
PERFORMANSININ ÇOK KRİTERLİ
KARAR VERME YAKLAŞIMI İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Nurseda ÖZTAŞ

ESKİŞEHİR 2023

**KENT İÇİ RAYLI ULAŞIMDA YOL KULLANIM HAKKI KAVRAMI VE
ESKİŞEHİR BATIKENT TRAMVAY HATTI DURAKLARININ HİZMET
PERFORMANSININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Nurseda ÖZTAŞ

Yüksek Lisans Tezi

Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doktor Öğretim Üyesi Seyfettin Umut UMU

(İkinci Danışman: Doktor Öğretim Üyesi Fatma YAŞLI)

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2023

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Nurseda ÖZTAŞ'ın KENT İÇİ RAYLI ULAŞIMDA YOL KULLANIM HAKKI KAVRAMI VE ESKİŞEHİR BATIKENT TRAMVAY HATTI DURAKLARININ HİZMET PERFORMANSININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ başlıklı çalışması 06/01/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye	: Dr. Öğr. Üyesi S. Umut UMU
Üye	: Prof. Dr. D. Volkan OKUR
Üye	: Doçent Dr. M. Mete ÖZTÜRK
Yedek	: Dr. Öğr. Üyesi Fatih BOZKURT
Yedek	: Dr. Öğr. Üyesi Şenay LEZKİ

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Nurseda ZTAş, KENT İÇİ RAYLI ULAşIMDA YOL KULLANIM HAKKI KAVRAMI VE ESKİşEHİR BATIKENT TRAMVAY HATTI DURAKLARININ HİZMET PERFORMANSININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAşIMI İLE DEğERLENDİRİLMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Doktor ğretim yesi Seyfettin Umut UMU

ÖZET

KENT İÇİ RAYLI ULAŞIMDA YOL KULLANIM HAKKI KAVRAMI VE
ESKİŞEHİR BATIKENT TRAMVAY HATTI DURAKLARININ HİZMET
PERFORMANSININ ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ

Nursedada ÖZTAŞ

Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2023

Danışman: Doktor Öğretim Üyesi Seyfettin Umut UMU

(İkinci Danışman: Doktor Öğretim Üyesi Fatma YAŞLI)

Yirminci yüzyıl gerek sanayi devriminin gerekse buna bağlı teknolojik gelişmelerin insan hayatını etkilediği zamanlardır. Bu etkileşim ile insanların ihtiyaçları, çalışma şekilleri ve bunlara bağlı olarak yaşam alanları şekillenmiştir. Bu değişim elbette kentleri de etkilemiş ve nüfus yoğunluğunun artmasına ve ulaşım problemlerinin doğmasına sebebiyet vermiştir. Kentler daha karmaşık hale gelmiş ve alan sıkıntısından ve artış gösteren ulaşım hareketi isteğinden dolayı çeşitli ulaştırma modlarının gelişmesinin önü açılmıştır. Raylı sistemler kentlerde verimli kullanımı ile ön plana çıkan bir ulaştırma modu olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmamızda bir sistemden elde edilebilecek verimi, raylı sistem taşıtlarının hareketini etkileyen ve 3 temel tipe (tip A, tip B ve tip C) sahip olan yol kullanım hakkı terimi ve çeşitleri açıklanmış; C ile B tipi yol kullanım hakkının iyileştirmesinde kullanılabilecek uygulamalar incelenmiştir. Sonrasında, bir tramvay hattındaki durakların hizmet performansının incelenmesinde kullanılabilecek, durağın potansiyel yolcu sayısı (hizmet alanı), planlı çizelgeye uyum (güvenilirlik), tramvay durağa ulaşana kadar yolcunun duraktaki rahatlık düzeyi (konfor) ve durağa erişim kolaylığı (güvenlik) ölçütlerini içeren AHP-TOPSIS ve uzman görüşleri kullanılarak uygulanan bir metodoloji önerisinde bulunulmuştur. Önerilen metodolojinin Batıkent hattında uygulaması ile kullanımına örnek verilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yol kullanım hakkı, Tramvay durağı, Hizmet performansı, AHP, TOPSIS.

ABSTRACT

THE RIGHT OF WAY IN URBAN RAILWAY SYSTEM AND EVALUATION OF SERVICE PERFORMANCE OF ESKİŞEHİR BATIKENT TRAM LINE STOPS WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING APPROACH

Nursedda ÖZTAŞ

Department of Rail Transport Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2023

Supervisor: Assistant Professor Doctor Seyfettin Umut UMU

(Co-Supervisor: Assistant Professor Doctor Fatma YAŞLI)

The twentieth century was a time when both the industrial revolution and related technological developments affected human life. With this interaction, people's needs, ways of working and accordingly, their living spaces have been shaped. This change, of course, has also affected cities, leading to increased population density and transportation problems. Cities have become more complex and space constraints and the increasing demand for transportation movement paved the way for the development of various modes of transportation. Rail systems have started to be used as a transportation mode that stands out with its efficient use in cities. In this study, the right of way term and its types, which affect the efficiency that can be obtained from a transportation system and the movement of rail system vehicles and have 3 basic types (type A, type B and type C), are explained; The applications that can be used for the improvement of type C and type B right of way are analyzed. Afterwards, a methodology is proposed for examining the service performance of stops on a tram line using AHP-TOPSIS and expert opinions, which includes the potential number of passengers (service area), compliance with the planned schedule (reliability), the comfort level of the passenger at the stop until the tram reaches the stop (comfort) and the ease of access to the stop (safety). An example of the use of the proposed methodology is given with its application on the Batıkent tram line.

Keywords: Right of way, Tramway stop, Service performance, AHP, TOPSIS.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam ve hayatım boyunca her zaman beni destekleyen ve bana güvenen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın tamamlanmasında çok büyük emekleri olan danışmanlarım Doktor Öğretim Üyesi Seyfettin Umut UMU ile Doktor Öğretim Üyesi Fatma YAŞLI' ya ve çalışmaya sundukları desteklerinden dolayı Tepebaşı Belediyesi ve EsTram işletmesi Genel Müdürü Hakan Murat BAYINDIR ve yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

Nurseda ÖZTAŞ



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Nurseda ÖZTAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar DİZİNİ	xi
GÖRSELLER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR.....	5
3. KENT İÇİ RAYLI TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİ.....	20
3.1. Tramvaylar	21
3.2. Hafif Raylı Sistemler.....	23
3.3. Hafif Raylı Hızlı Ulaşım	24
3.4. Metro	25
3.5. Monoray.....	26
3.6. Maglev (Manyetik Kaldırmalı) Sistemler	28
3.7. Bölgesel Demiryolu Sistemi.....	28
3.8. Tramvay Tren Sistemi.....	30
4. YOL KULLANIM HAKKI KAVRAMI.....	32
4.1. Ortak Yol Kullanım Hakkı (Tip C).....	34
4.2. Yarı-Özel Yol Kullanım Hakkı (Tip B).....	36
4.3. Özel Yol Kullanım Hakkı (Tip A)	38

4.4. C ve B Sınıfı Yol Kullanım Hakkı İyileştirme Çalışmaları ve Uygulamaları	39
4.4.1. Sarı şerit uygulaması	40
4.4.2. Bordür	41
4.4.3. Trafik işaretleri	42
4.4.4. Yaya yolu	44
4.4.5. Bitkilendirme çalışmaları	46
4.4.6. Bariyerler	47
4.4.7. Sinyalizasyon	49
4.4.7.1. Sinyal adası kavramı ve bordürlü ada tasarımı.....	51
4.4.8. Alt/üst geçit kullanımı.....	52
4.4.9. Yolun yükseltilmesi/alçaltılması çalışmaları	53
4.4.10. Alanın yayalaştırılması	53
4.4.11. Tüneller ve viyadükler	55
4.4.12. Kavşak ve çevre düzenlemesi çalışması.....	56
5. TRAMVAY DURAKLARININ HİZMET PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ METODOLOJİSİ	58
5.1. Değerlendirme Ölçütleri.....	60
5.1.1. Hizmet alanı.....	62
5.1.2. Güvenilirlik.....	65
5.1.3. Konfor	66
5.1.4. Güvenlik.....	68
5.2. Performans Değerlendirmesi için ÇKKV Yaklaşımı.....	69
5.2.1. AHP yaklaşımı.....	70
5.2.2. TOPSIS yaklaşımı	74
5.2.3. Performans değerlendirme için AHP-TOPSIS kullanımı	77
5.2.3.1. Karar verme matrisinin oluşturulması	78
5.2.3.2. AHP ile ölçütlerin ağırlıklandırılması.....	79
5.2.3.3. Problemin TOPSIS ile çözülmesi.....	79
6. ESKİŞEHİR BATIKENT HATTI DURAKLARI HİZMET PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	81
6.1. Problemin ÇKKV Yaklaşımı Altında Tanımlanması.....	81

6.2. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması.....	83
6.3. Uzmanların Belirlenmesi.....	84
6.4. Ölçüt Ağırlıklarının AHP Yöntemi ile Belirlenmesi.....	84
6.4.1. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve tutarlılık kontrollerinin yapılması	84
6.4.2. Uzman görüşlerinin birleştirilmesi.....	86
6.4.3. AHP yöntemi uygulamasının yapılması.....	87
6.5. Karar Matrisinin Oluşturulması	87
6.5.1. Durakların hizmet alanı değerlendirmesi.....	87
6.5.2. Durakların güvenilirlik değerlendirmesi.....	90
6.5.3. Durakların konfor değerlendirmesi	91
6.5.4. Durakların güvenlik değerlendirmesi	92
6.6. TOPSIS Uygulaması ile Durakların Hizmet Performansı Değerlendirmesi	94
6.6.1. Normalize karar matrisinin oluşturulması.....	95
6.6.2. Ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması.....	95
6.6.3. Pozitif ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi.....	96
6.6.4. Ayırım ölçülerinin bulunması.....	97
6.6.5. İdeal çözüme olan görelî yakınlıkların hesaplanması.....	98
6.6.6. Durakların hizmet performans sıralamasının yapılması	98
6.7. Öneriler	101
7. SONUÇ.....	102
KAYNAKÇA.....	106
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Tramvayların teknik ve operasyonel özellikleri [3].....	23
Tablo 3.2. Hafif Raylı Sistemlerin teknik ve operasyonel özellikleri [3]	24
Tablo 3.3. Metro sistemlerinin teknik ve operasyonel özellikleri [3]	26
Tablo 3.4. Bölgesel demiryolu sistemlerinin teknik ve operasyonel özellikleri [3]	30
Tablo 4.1. Toplu ulaşım kategorileri yol kullanım hakkı ve tasarım özellikleri [21, 22]	33
Tablo 4.2. Yol kullanım hakları [22, 23]	33
Tablo 5.1. Çalışmada ele alınan değerlendirme ölçütleri.....	61
Tablo 5.2. Durak güvenlik değerlendirme ölçeği.....	68
Tablo 5.3. AHP göreceli önem ölçeği [76].....	71
Tablo 5.4. İkili karşılaştırma matrisi	72
Tablo 5.5. Normalizasyon matrisi aracılığıyla birimlerin önem ağırlıklarının ‘ w_j ’ bulunması.....	73
Tablo 5.6. Rassal tutarlılık endeksi [71]	74
Tablo 5.7. TOPSIS karar matrisi.....	75
Tablo 6.1. U1 ikili karşılaştırma matrisi	84
Tablo 6.2. U2 ikili karşılaştırma matrisi	85
Tablo 6.3. U3 ikili karşılaştırma matrisi	85
Tablo 6.4. U4 ikili karşılaştırma matrisi	85
Tablo 6.5. U5 ikili karşılaştırma matrisi	85
Tablo 6.6. U6 ikili karşılaştırma matrisi	86
Tablo 6.7. Uzman görüşlerinin tutarlılık değerleri.....	86
Tablo 6.8. Uzman görüşlerinin birleştirilmesiyle elde edilen ikili karşılaştırma matrisi	86
Tablo 6.9. Normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisi.....	87
Tablo 6.10. Durakların hizmet alanı bölgelerindeki hane sayıları	88
Tablo 6.11. Durakların hizmet alanı bölgelerindeki 15 yaş üzeri nüfus sayıları	89
Tablo 6.12. Durakların hizmet alanı içindeki potansiyel kullanıcı sayıları	90
Tablo 6.13. Durakların zaman çizelgesinden sapma sürelerinin standart sapma değerleri	91
Tablo 6.14. Duraklardaki ortalama yolcu yoğunluğu	92

Tablo 6.15. Durak çevresinde güvenliği etkileyen etmenler.....	93
Tablo 6.16. Durakların güvenlik değerlendirme si	93
Tablo 6.17. Durakların hizmet performansının TOPSIS yöntemi ile değerlendirmesi için elde edilen karar matrisi	94
Tablo 6.18. TOPSIS yöntemi için normalize karar matrisi.....	95
Tablo 6.19. TOPSIS yöntemi için ağırlıklı normalize karar matrisi	96
Tablo 6.20. Pozitif ve negatif ideal çözüm değeri	96
Tablo 6.21. Durakların ayırım ölçüleri	97
Tablo 6.22. Durakların TOPSIS yöntemi ile elde edilen görel i yakınlık değeri.....	98
Tablo 6.23. Durakların sıralanması	99



GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 3.1. Ulaşım türleri ve araçları	20
Görsel 3.2. Raylı toplu ulaşım güzergahı belirlerken önem verilmesi gereken kriterler [5]	21
Görsel 3.3. Tramvay	22
Görsel 3.4. Hafif Raylı Sistem aracı (http-1)	24
Görsel 3.5. Londra hafif raylı hızlı ulaşım örneği (http-2)	25
Görsel 3.6. Metro aracı (http-3)	26
Görsel 3.7. Wuppertaler Schwebebahn askıda monoray örneği (http-4)	27
Görsel 3.8. Maglev (http-5)	28
Görsel 3.9. Bölgesel demiryolu sistemi (http-6)	29
Görsel 3.10. Tramvay Tren sistemi (http-7)	31
Görsel 4.1. Tip C yol kullanım hakkı	34
Görsel 4.2. Yarı-Özel yol kullanım hakkı örneği (http-8)	37
Görsel 4.3. Özel yol kullanım hakkı örneği (http-9)	38
Görsel 4.4. Eskişehir tramvay hattı sarı şerit kullanımı	40
Görsel 4.5. Avustralya, Melbourne tramvay güzergahında sarı şerit kullanımı [32]	41
Görsel 4.6. Eskişehir tramvay hattı bordür kullanımı	42
Görsel 4.7. Kuzey Amerika hafif raylı sistem hattında bordür kullanımı [13]	42
Görsel 4.8. Melbourne tramvay güzergahı çevresinde trafik levhası kullanımı [32]	43
Görsel 4.9. Barselona tramvay hattında trafik levhası kullanımı (http-10)	44
Görsel 4.10. Barselona tramvay hattında yatay düzlem trafik işareti kullanımı (http-10)	44
Görsel 4.11. Eskişehir tramvay hattında yaya yolu kullanımı	45
Görsel 4.12. Helsinki yerel demiryolu güzergahında yaya yolu kullanımı [21]	45
Görsel 4.13. Melbourne tramvay güzergahında yaya yolu kullanımı [35]	46
Görsel 4.14. Rotterdam tramvay hattı bitkilendirme çalışması (http-11)	46
Görsel 4.15. Barselona tramvay hattı bitkilendirme çalışması (http-12)	47
Görsel 4.16. Eskişehir tramvay güzergahında bariyer kullanımı	48
Görsel 4.17. Bursa hafif raylı sistem hattında bariyer kullanımı (http-13)	48
Görsel 4.18. Eskişehir karayolu trafiği sinyalizasyonu	50
Görsel 4.19. Eskişehir tramvay hattı sinyalizasyonu	50

Görsel 4.20. Kuzey Amerika hafif raylı sistem hattında sinyalizasyon ve bariyer kullanımı [13].....	51
Görsel 4.21. Sinyal adası ve bordürlü ada oluşumu [3]	52
Görsel 4.22. Dubai tramvay güzergâhında üst geçit kullanımı (http-14).....	52
Görsel 4.23. Eskişehir tramvay hattında bir kot farkı oluşturulması örneği	53
Görsel 4.24. Eskişehir tramvay güzergahı, yayalaştırılmış alan	54
Görsel 4.25. Yunanistan, Attika tramvay güzergahı yayalaştırılmış alan [22]	54
Görsel 4.26. Fransa, Tours şehri tramvay güzergahında yayalaştırılmış alan [39].....	55
Görsel 4.27. Sydney hafif raylı sistem metrosu Glebe tüneli girişi (http-15).....	56
Görsel 4.28. Ottawa hafif raylı sistem güzergahı tünel kullanımı (http-16).....	56
Görsel 4.29. Eskişehir Ulus Anıtı (Gar) durağı çevre düzenlemesi yapılmış hali	57
Görsel 4.30. Eskişehir Ulus Anıtı (Gar) tramvay durağı ve çevresi yapım aşaması (http-17)	57
Görsel 5.1. Metodoloji ayrıntılı akış şeması	60
Görsel 5.2. Kent içi raylı ulaşım yolcu çekme oranı grafiği [63]	63
Görsel 5.3. Tramvay duraklarının hizmet alanı temsili görseli (http-10)	64
Görsel 5.4. AHP hiyerarşik yapısı [76].....	72
Görsel 6.1. EsTram ağ haritası (http-20).....	82
Görsel 6.2. Durak hizmet performansının ÇKKV ile değerlendirilmesi metodolojik akışı.....	83
Görsel 6.3. Problemin hiyerarşik yapısı	83

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\leq$	: Küçük eşit sembolü
+15	: 15 yaş ve üstü
$\lambda_{\max}$	: Maksimum özdeğer
a	: Hane başına düşen ortalama nüfus
A	: Durak alternatifleri kümesi
A^-	: Negatif ideal çözüm
A^+	: Pozitif ideal çözüm
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
a_i	: i durağında ayakta durulabilecek alan
A_i	: Durak alternatifleri kümesi
A_j	: j ölçütünün normalizasyon matrisinde sütun değerlerinin toplamı
a_{ij}	: İkili karşılaştırma matrisi elemanları
CBR	: Vaka Tabanlı Akıl Yürütme
C	: Ölçütler kümesi
CI	: Tutarlılık endeksi
C_i	: Konfor düzeyi
C_i^+	: İdeal çözüme olan yakınlık
C_j	: Ölçütler kümesi
CR	: Tutarlılık değeri
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
d	: Bir kattaki daire sayısı
d_i^-	: Negatif ideal çözüme olan uzaklık
d_i^+	: Pozitif ideal çözüme olan uzaklık
DEA	: Veri Zarflama Analizi
GP	: Hedef Programlama
i	: Tramvay durağı alternatifi
k	: Bina kat sayısı
m	: Hizmet alanı bölgeleri
M	: İkili karşılaştırma matrisi

m^2	: Metrekare
MAUT	: Çok Özellikli Fayda Teorisi
n	: Toplam ölçüt sayısı
N	: Normalizasyon matrisi
n_{orti}	: i durağındaki ortalama yolcu sayısı
NIS	: Negatif ideal çözüm
$N_{i,m}$	: i durağının m hizmet alanı bölgesindeki nüfusu
o_m	: Hizmet alanının m bölgesindeki yolcu çekme oranı
PIS	: Pozitif ideal çözüm
P_i	: i durağının hizmet alanındaki toplam potansiyel yolcu sayısı
$P_{i,m}$	: i durağının m hizmet alanındaki potansiyel yolcu sayısı
QGIS/CBS	: Coğrafi bilgi sistemi
RI	: Rassal tutarlılık endeksi
r_i	: i durağının güvenilirliği
r_{ij}	: i alternatifinin j ölçütündeki değerinin normalizasyonu
R_{ij}	: Normalize karar matrisi
SAW	: Basit Katkılı Ağırlıklandırma
SMART	: Basit Çoklu Özellik Derecelendirme Tekniği
SS	: Standart sapma
TOPSIS	: İdeal Çözümlere Benzerliğe Göre Tercihleri Sıralama Tekniği
U	: Uzman
v_{ij}	: i alternatifinin j ölçütündeki ağırlıklı normalizasyon değeri
w	: Ölçüt ağırlıklarını belirten özvektör
w_j	: j kriterinin ölçüt ağırlığı
x_{ij}	: TOPSIS karar matrisinde i alternatifinin j ölçütünde aldığı değer
y	: İnceleme değerlendirilecek yaş aralığının şehirdeki oranı
YEMM	: Yapısal Eşitlik Karışım Modeli

1. GİRİŞ

Dünya çapında sanayileşmenin gelişmesi, kentlerde nüfusun yoğunlaştığı yaşam alanlarının oluşmasına ve şehirlerin genişlemesine yol açmıştır. Nüfus yoğunluğunun belli bir bölgede toplanması ile insanların gereksinimlerinde değişimler gözlemlenmiştir. Bu değişimin gözlemlendiği alanlardan birisi de ulaşım"dır. Ulaşım, kısacası insanların ve eşyaların bir yerden istenilen diğer bir bölgeye taşınması işlemidir.

Nüfus yoğunluğunun yükselmesi ile iş gücü ve hammaddelerin hareketinin sağlanması için düzenli ve kapsamlı bir kent içi ulaşım ağının oluşturulmasının önemi de artmıştır. Kent içi ulaşım, insanların belirli alanlarda toplanması ve kalıcı yerleşim alanı oluşturmalarına dayanmaktadır. Önceleri yaya olarak gerçekleştirilen ulaşım hareketi, teknolojinin gelişmesi ve bu gelişmeye bağlı olarak toplu ulaşım araçlarının geliştirilmesi, taşıtların ortaya çıkması ile gelişim göstermiştir. Buhar, elektrik ve fosil yakıtların kullanılmaya başlanmasıyla toplu ulaşım taşıtlarının hareket kabiliyetleri artmış, sonuç olarak ulaşım ağları da genişlemeye devam etmiştir. İnsanların ihtiyaçlarının artması ile ulaşım ağları genişlemiştir.

Toplu ulaşım sistemlerinin şehirlere entegre edilmeye başlandığı zamanlarda ulaşım ağı planlaması, taşıt trafiği odak noktası olacak şekilde kısa ve orta düzeydeki bir zaman diliminde ulaşım sisteminin kente katabileceği kazançlar düşünülerek yapılmıştır. Günümüzde kent içi toplu ulaşım hizmetinde, mevcut temel ağda gerekmediği sürece değişiklik yapılmadan tüm toplu ulaşım sistemi ağlarının birleştirilmesi amaçlanmıştır. Tüm ulaşım hizmeti ağlarının birleştirilmesi ile sürdürülebilir bir ulaşım hizmeti oluşturulmaktadır. Buradan da anlaşılacağı üzere ulaşım sisteminin odak noktası, insanlar ile çevreye olan kötü etkilerin azaltılması ve kullanıcıların verilen hizmete kolayca erişmesidir.

Kent çapındaki ulaşım ağlarının entegrasyonu sayesinde ağların kapsama alanı artmış ve şehirlerde yüksek hizmet düzeyine sahip entegre bir sürdürülebilir ulaşım altyapısı oluşturulmuştur. Bütünleştirilmiş toplu ulaşım ağlarına ait istasyonların düzenlenmesi ile çevresindeki kullanıcılara sunulan hizmetler artmış ve bu alanlarda ticari merkezler kurularak kullanıcıların ihtiyaçlarına erişimi kolaylaştırmıştır.

Şehirlerde ulaşım altyapısının oluşturulması süreci çözülmesi gereken çok sayıda problemi birlikte getirmektedir. Özellikle raylı toplu ulaşım, direksiyonlu modlar (otobüs, dolmuş, taksi vb.) ve özel ulaşım ağlarının birlikte planlanması uzun ve uğraştırıcı süreçlerdir. Farklı toplu ulaşım modlarının birlikte hareket edebildiği güzergahlar

olabilmektedir. Metro, bölgesel demiryolu gibi toplu ulaşım modlarında hız, güvenilirlik, güvenlik, kapasite, hizmet alanı gibi ölçütler diğer toplu ulaşım modlarına göre daha üst düzeyde bulunduğundan güzergahlarının diğer toplu ulaşım modlarından ayrılmalari gerekmektedir. Toplu ulaşım mühendisliğinin ana konusu olan yol kullanım hakkı kavramı bu bakış açısı ile düzenlenmektedir. Yol kullanım hakkı, genel olarak, toplu ulaşım modlarının (raylı sistemler, otobüs, dolmuş, taksi, özel ulaşım vb.) sahip oldukları güzergâh olarak tanımlanmaktadır.

Kent içi raylı ulaşım sistemlerinde yol kullanımı önceliğinin belirlenmesinde kullanılan 3 temel yol kullanım hakkı bulunmaktadır. Bunlar; tip A, tip B ve tip C yol kullanım haklarıdır. Tip A yol kullanım hakkında, yol sadece raylı sistem taşıtına aittir ve hat üzerinde istisnai bazı durumlar hariç başkaca bir mod işletilmemektedir. Metro ve bölgesel demiryolu toplu ulaşım türleri bu kategori içinde yer alır. Aynı zamanda A sınıfı yol kullanım hakkı, tam kontrollü yol kullanım hakkı olarak da tanımlanmaktadır. Bir alt tür olan Tip B yol kullanım hakkında, yolun kavşak ve köprü gibi kesişim bölgeleri (hemzemin) dışındaki kısmı sadece raylı taşıt tarafından kullanılmaktadır. Raylı sistem güzergâhı kavşaklarda diğer karayolu taşıtları ile kesişmektedir lakin bu bölgelerde sinyalizasyon sistemi ile raylı taşıtlara geçiş önceliği verilir. Hattın ayrı bir yolda konumlandırılması ve bu hattın çevresinde bordür, bariyer gibi trafik elemanları kullanarak iyileştirme çalışması yapılmasıyla da başka taşıtların raylı taşıtın hareket alanına girişi engellenir. Hafif raylı sistem gibi raylı ulaşım modları genellikle Tip B olan yol kullanım hakkında işletilmektedir. Yol kullanım hakkının en alt kategorisi ise Tip C olarak ifade edilmektedir. Bu yol kullanım hakkında, güzergâh boyunca özel bir ayırım veya iyileştirme çalışması yapılmadığı sürece raylı taşıtlar karma trafikte yol almaktadır. Karayolu taşıtlarının raylı hatta girişini engellemek amacıyla hat çevresinde bordür, bariyerler gibi trafik elemanları kullanılması ve hattın yayalaştırılmış alanda yapılması ile de karayolu taşıtlarının raylı hatta girmesi engellenebilmektedir. Birçok şehirde kullanılan Tramvay sistemleri genellikle Tip C yol kullanım hakkına sahip güzergahlarda işletilmektedir. Dolayısıyla farklı kent içi raylı toplu ulaşım araçları birbirlerinden farklı yol kullanım hakkında seyahat etmektedirler. Tramvaylar, karma trafikte işletilen kent içi raylı sistemler grubunda yer almaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde tramvayların hızları, kaza yapma riskleri (güvenlik), sunulan tarife uyum yetenekleri (güvenilirlik) karma trafikten ayrışma derecelerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Tramvayların işlediği güzergâhlar, çeşitli uygulamalar ile karma trafikten nispeten

ayrılabilir. Yol kullanım hakkında yapılacak iyileştirmeler ile tramvayların görece olarak hızları ve güvenilirlik düzeyleri artmakta ve güvenlik sorunları azalmaktadır. Kazanılan bu avantajlar sayesinde daha konforlu ve hizmet düzeyi yüksek bir raylı sistem ağı oluşturulabilir. Tramvayların yol kullanım hakkı sınıfında yapılan değişiklikler her ne kadar verilen ulaşım hizmetine olumlu yönde katkı yapsa da tramvaylar doğaları gereği karma trafikte işletilmeye devam etmek zorunda kalmaktadırlar. Dolayısıyla, hat doğrultusunda yol kullanım hakkında iyileştirmeler yapılsa da çevrenin hizmetin performansı üzerindeki etkisini azaltmak için hattın diğer trafik akışı ile kesiştiği bölgelerde çeşitli önlemlerin uygulanması gerekmektedir. Bu önlemler, basit ve kolay olabileceği gibi gelişmiş teknolojik sistemlerin kullanılması ile de yapılabilmektedir. Raylı hattın, karayolu trafiği ve yayalar ile karşılaşmak zorunda olduğu bölgelerde, öncelikli olarak sinyalizasyon sistemi kullanılarak, raylı taşıta yol önceliği verilmektedir; yayaların hareketini kolaylaştırmak içinse sinyalizasyon sistemine ek olarak yaya geçidi veya taşıt trafiğinin yoğun olduğu alanlarda üst geçitler kullanılmaktadır.

Araştırmalar göstermiştir ki, yol kullanım hakkının iyileştirilmesinde kullanılabilecek basitten karmaşığa doğru farklı teknikler bulunmaktadır ve yol kullanım hakkında yapılacak iyileştirmeler şehir ile hattın ihtiyaçları doğrultusunda yapılmalıdır.

Tramvayların yol kullanım hakkının iyileştirilmesinin yanı sıra durakların konumları, şehrin ihtiyaçlarına (jeoloji, topografya, gelişme yönü, uydu kentleşme vb.) ve potansiyel yolcuların sistemi kullanma durumuna göre belirlenmelidir. Bu konuda yapılmış araştırmalar, hizmet kalitesinin artırılmasına yönelik olsa da durak performanslarının değerlendirmesinde sınırlı çözümler üretmiştir.

Bu tez çalışmasında, kent içi raylı ulaşım sistemleri detaylı olarak tanımlanmış ve yol kullanım hakkı kavramı açıklanmıştır. Buna ek olarak yol kullanım hakkında yapılan iyileştirme çalışmalarından bahsedilerek örnekler verilmiştir. Ayrıca çalışmada, tramvay duraklarının hizmet performansını etkileyen ölçütler araştırılmış ve durak hizmet performansının incelenmesi amacıyla kullanılabilecek çok kriterli karar verme metodolojisi sunulmuştur. Bu çerçevede durakların potansiyel kullanıcı sayısının hesaplanmasını sağlayan hizmet alanı, işletmeci tarafından sunulan zaman çizelgesine uyumu gösteren güvenilirlik, durakların yoğunluğuna bağlı olarak konfor, durağa erişim sırasında ve durakta bekleme durumunda karşılaşılan güvenlik koşulları ölçümlenerek ve sayısallaştırılarak değerlendirilmiştir.

Geliştirilen metodoloji ile Eskişehir EsTram tramvay sisteminin SSK-Batıkent Ring hattındaki durakların hizmet performansı değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda, ulaşım sistemi kullanıcıları üzerinde etkiye sahip olan kaza risklerinin azaltılması, ulaşım sistemine erişimin kolaylaşması, hizmet performansının yükseltilmesi, trafiğin daha sakin ve hızlı bir seyir halinde olabilmesi, daha güvenli ve dakik bir ulaşım ağı sağlanabilmesi için durak çevresinde yapılabilecek iyileştirme çalışmaları önerilerinde bulunulmuştur.



2. LİTERATÜR

İnsanların kent içindeki ulaşım ihtiyacını karşılamak amacıyla çeşitli ulaşım modları ortaya çıkmıştır. Bu ulaşım modları kent yapısına ve teknolojik imkânlarla göre de çeşitlilik gösterir. Kent içi toplu taşıma temelde: karayolu ulaşımı, raylı sistemler ve deniz yolu ulaşımı olarak ayrılır. Kent içi toplu taşıma sistemleri, ulaşım ihtiyacı arttıkça gelişim göstermişlerdir. Bu gelişim toplu taşıma araçlarının hareketini sağladığı yolun yapısını da değiştirmiş ve yol kullanım hakkı kavramı oluşmuştur. Yol kullanım hakları, bir yolun ne tür taşıtlar tarafından kullanılabileceğini kısıtlamakta ve verilen ulaşım hizmetinin kalitesini etkilemektedir. Ulaşım hizmetinin kalitesini etkilediği için de bariyer, bordür gibi basit veya sinyalizasyon sistemi kullanımı, alanın yayalaştırılması ve toplu taşıma güzergâhında kot farkı oluşturulması gibi gelişmiş çalışmalar ile yol kullanım haklarında iyileştirmeler yapılmaktadır. Bu bölümde kent içi ulaşım modları, yol kullanım hakları ve iyileştirmeleri ile ilgili literatür çalışmalarına yer verilmiştir.

Vuchic (1975) çalışmasında, yol kullanım hakkı kategorileri ve özellikleri hakkında bilgi verip bunlar arasında karşılaştırma yapmıştır. Çeşitli toplu taşıma ulaşım modlarının sistem teknolojilerinden, güdümlü ulaşım sistemlerinin sürücü tarafından yönlendirilen ulaşım sistemlerine göre ve otomatik sistemlerin manuel sistemlere göre avantajlarından bahsetmiştir. Kent içi raylı ulaşım sistemlerini açıklamış; hafif raylı sistemlerin diğer modlar ile karşılaştırmasını yapmış; hafif raylı sistemlerinin kullanımının yaygınlaşmasında potansiyel olduğu sonucuna varmıştır.

Korve ve diğerleri (1996) yazmış oldukları kitapta, hafif raylı sistem ulaşımının mevcut yollara entegrasi, güvenlik ve işletimi, yol kullanım hakkı ve kaza nedenleri ile bu kazaları engellemek için yapılabilecek öneriler vermişlerdir. Birleşmiş Milletler ve Kanada'da bulunan Baltimore, Boston, Buffalo, Calgary, Los Angeles, Portland, Sacramento, San Diego, San Francisco ve San Jose kentlerinde bulunan hafif raylı sistemlerinde güvenlik incelemesi yapmak için güzergahındaki yol kullanım hakları ile bunların hattaki kullanım oranları ve gerçekleşen kazalar üzerinde inceleme yapmışlardır. İnceleme sonucunda, incelenmiş her şehirde sola dönüş hareketinden dolayı gerçekleşen kazaların yüksek düzeyde olduğu sonucuna ulaşmışlardır ve kazaların önlenerek hizmet performansının artması için yapılmış iyileştirme çalışmalarından bahsetmişlerdir.

Farran (1998) çalışmasında, yol kullanım hakkını sınıflandırmış ve Kuzey Amerika'da Baltimore, Boston, Buffalo, Denver, Los Angeles, Portland, Sacramento, San Diego, San Francisco ve San Jose şehirlerinde bulunan hafif raylı sistemleri

hatlarında 1995 yılında oluşan kazaları belirtmiş ve hafif raylı sistem hatlarında oluşabilecek sorunlara engellemek ve karayolu trafiği ile kesişimin olduğu alanlarda yapılabilecek iyileştirme çalışmaları için önerilerde bulunmuştur. İnceleme sonucunda hafif raylı sistem araçları ile karayolu taşıtları ve yayalar arasında gerçekleşen kazaların çoğunun cadde düzeyinde özel olmayan yol kullanım hakkının bulunduğu bölgelerde 55 km/saat hızın altında hareket edildiğinde gerçekleştiği sonucuna ulaşmıştır.

Vuchic (2002) kitabında yol kullanım haklarından, kent içi toplu taşıma sistemlerinden, transit hatlarda zaman çizelgelerinin programlamasından, transit hat planlamasından, ulaşım modunun seçiminden ve kent içi transit ulaşımın rolünden bahsetmiştir.

Vuchic (2007) kitabında kent içi ulaşım sistemleri ile tarihsel gelişimleri ve teknolojik özellikleri, yol kullanım hakları, toplu taşıma sistemleri ile duraklarının performans incelemesinde kullanılan kapasite ve sistem verimliliği gibi kriterleri, toplu taşıma taşıtlarının performansı, ulaşım sistemlerinin karşılaştırılması ve bir ulaşım sisteminde herhangi bir inceleme yapılmak istendiğinde kullanılabilecek formülasyonları belirtmiştir. Kent içi ulaşım sistemlerinin ve ulaşım hizmetini vermek için kullanılan taşıtların performansının incelenmesinde kontrol edilmesi gereken etmenlerden bahsetmiştir.

Cleghorn ve diğerleri (2009) kitaplarında, Birleşmiş Milletler ve Kanada hafif raylı sistemlerinde güvenlik üzerinde bir inceleme yapmışlardır. Güvenlik ve kaza riski üzerinde bir inceleme yapılmak istendiğinde kullanılabilecek bir metodoloji sunmuşlardır. İncelemede kullanılacak verinin nasıl elde edilebileceği, yol kullanım hakları, güvenlik sorunları ve bunların çözülmesi için yapılabilecekler hakkında öneride bulunmuşlar ve önerileri kategorize etmişlerdir. Hafif raylı sistemlerde, yol kullanım hakkını iyileştirmek için yapılan çalışmalara görseller ile örnekler vermişlerdir. Kuzey Amerika hafif raylı sistemleri güzergahlarında ve özellikle karayolu ile kesişim alanlarının bulunduğu noktalarda, yayalar ve karayolu taşıtı sürücülerinin güvenliğinin artırılması için yapılabilecek iyileştirme çalışmalarından bahsetmişlerdir.

Hodgson ve Potter (2010), çalışmalarında yol kullanım haklarını belirtmişler, raylı hızlı ulaşım sistemleri modlarını açıklamışlar; hafif hızlı toplu taşıma ulaşım sistemlerinin tanımlamalarının tutarsızlığından ve farklarından bahsetmişlerdir. Birleşik Krallık toplu ulaşım sisteminde güvenliğin artırılması amacıyla kullanılan politikada değişiklikler yapılmadan önceki sorunları belirtmişlerdir. Rekabet ve güvenlik yönetmeliğindeki

değişiklikler sonrasında Birleşik Krallık'ta sunulan ulaşım hizmetinin geliştirilmesi için daha fazla fırsat olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Baştürk (2014) çalışmasında kent içi ulaşımında teknolojik, ekonomik ve çevresel kriterler üzerinden kullanılacak ulaşım sistemini belirleme de dikkat edilmesi gereken etmenleri belirtmiştir. Kent içi raylı ulaşım sistemlerini açıklamış ve Dünya'da kullanılan metro sistemlerini, Türkiye'de kullanılan kent içi raylı sistemlerini ve bu sistemlerin özelliklerini açıklamıştır. Türkiye ve Dünya'daki raylı toplu taşıma sistemlerini yapısal açıdan, yatırım ve gelir-gider yönünden, kullanıcı miktarı ve taşıt sayısı açısından incelemiş, Türkiye'de kullanılan raylı sistem araçlarının yerleştirilmesi için önerilerde bulunmuştur; kapasite incelemesi ile tasarlanan raylı sistemlerin maliyetinin, yolcu sayısına nazaran yüksek kaldığı sonucuna ulaşmıştır.

Nguyen-Phuoc ve diğerleri (2016) çalışmalarında yol kullanım haklarını açıklayarak tek ve çift şeritli yollarda, tramvay sisteminin yol kullanım hakkının trafik üzerindeki genel etkisinin incelenmesi amacıyla bir metodoloji oluşturmuş ve Melbourne şehrinde uygulamasını yapmışlardır. Bu yöntemin, tramvayın hareketinin yol ağı üzerindeki etkilerinin tahminine yönelik yaklaşım çalışmalarında bir ilerleme olduğu ve Melbourne'de yapılan incelemeye göre tramvay hattının bulunduğu yollarda, karayolu trafiğinin seyahat süresinde artış olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Çalış (2016) çalışmasında kent içi ulaşım sistemlerini açıklamış, monoray sistemleri ile diğer karayolu ve raylı kent içi toplu taşıma sistemlerini: çevresel, ekonomik ve teknolojik kriterler yönünden karşılaştırmıştır. Monoray sistemlerinin Dünya'daki uygulamalarını belirtmiş ve hat yolu, inşa metotları, istasyonları ile işletim yönetimi sistemi ve monoray sistemlerinde güneş enerjisi kullanımı hakkında bilgi vermiştir. Monoraylar ve diğer kent içi toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırılması sonucunda: monorayların imalat maliyetinin metrolara nazaran daha düşük olduğu, beton kirişlerde hareket ettiğinden tramvay ve metrolardan daha az gürültü ile titreşime neden olduğu ve havai bir hatta hareket ettiğinden yolda daha az bir alan kapladığı ama görüntü kirliliği oluşturabildiği sonucuna ulaşmıştır.

Bertrand (2016) çalışmasında Fransa'da yaya bölgelerine ve yollara tramvay sistemi hattının eklenmesi ve yollardaki çalışma koşullarına uyarlanması için yapılması gereken işlemlerden bahsetmiştir. Tramvayların: avantajları, limitleri, farklı genişliklerdeki yollarda raylı sistem hattının entegresindeki önemli etmenler ve nasıl entegre edilebileceği belirtilmiştir. Yapılan incelemenin ardından tramvay hatlarının,

yayalaştırılmış alanda hareket etmesinin kritik sorunlara yol açmadığı ve önlemler alındığı takdirde, hizmet hızı ile trafik düzeninin kabul edilebilir düzeyde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bruun, Allen ve Givoni (2018), çalışmalarında yol kullanım haklarını belirtmişler, bir toplu taşıma sistemi tasarımının planlamasındaki temel etmenlerden ve tasarım hedeflerinin ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan niteliklerden bahsetmişlerdir. Kuzey Amerika'daki toplu taşıma sistemlerinin: yol kullanım hakkı ve maliyetleri, trafikteki yolcu yoğunluğu, taşıtın hareketinin sağlaması ile bakımının maliyeti, toplu taşıma aracı maliyeti, hız, duraklar arası mesafelerinin ve toplu ulaşım hizmetlerinin genelinde yolcu deneyimi ve belirlenmiş toplu taşıma sisteminin uygulanabilirliği kriterleri ile nasıl bir inceleme yapılabileceğini açıklamışlardır. İnceleme sonucunda, bir kentte kullanılacak toplu taşıma sistemlerinden istenilen performansı elde etmeyi sağlayan bileşen ve tasarım yönlerini belirtmişlerdir.

Guerrieri (2018) çalışmasında raylı hattın bakım durumu ve karayolu taşıt sürücülerinin sinyalizasyon emrini yanlış anlaması veya verilen emre uyulmaması gibi tramvay hatlarında raylı sistem aracının yolu diğer kullanıcılar ile paylaşmak zorunda olduğu kesişim noktalarında ve tramvay güzergahı boyunca kazaların oluşmasına neden olabilecek etmenleri açıklamıştır. Raylı sistem güzergahında raylı sistem aracının yol kullanım önceliğini koruyup kaza riskini azaltmak için yapılabilecek iyileştirme çalışması önerisinde bulunmuştur. Çalışma sonucunda raylı taşıtın yol kullanım önceliğini korumak ve ulaşım sisteminin güvenliğini yükseltmek için yol geometrisi ve trafik düzenlemesi, trafik elemanları ile trafik işaretleri kullanımının en iyi uygulamalar olduğu kararına varmıştır.

Naznin, Currie ve Logan (2018), çalışmalarında Melbourne şehrindeki tramvay hattının güvenliğini etkileyen ve yol kullanım önceliği iyileştirmelerinde kullanılan trafik elemanları ile yol tasarımını, tramvay sürücüsü (vatman) gözünden incelemişlerdir. Yol kullanım önceliğinin düzenlenmesi için kullanılan trafik elemanları, taşıt dönüş hareketi düzenlemesi, durak tasarımı ve yükseltilmiş tramvay hattı kullanılması gibi işlemlerin güvenlik ve yol kullanım önceliği üzerindeki etkilerini, vatmanların gözlemlerine göre değerlendirmişlerdir. Bu çalışma ile yol kullanım önceliğine sahip bir raylı sistem hattı yapılması için kullanılan farklı etmenler, bu etmenlerin neden olduğu sorunların üstesinden gelinmesi için vatmanlara yol göstermede yardımcı olabileceği ve yeni bir

raylı sistem hattı oluşumunda önceliklendirme çalışmaları yaparken yol güvenliğine dikkat edilmesi gerektiği sonuca ulaşmışlardır.

Budzynski, Tubis ve Jamroz (2019), çalışmalarında Gdansk'ta tramvay sisteminde 2012-2016 yılları arasında; tramvaylar arasında, tramvaylar ile diğer taşıtlar veya yayalar arasında ve diğer şekillerde tramvay hattında ve hat çevresinde gerçekleşmiş kazaları harita üzerinde göstermişlerdir. Sonrasında tramvay hattının tamamı incelenerek kazaların olduğu/olabileceği ve tramvayların yol kullanım önceliğine olumsuz etkide bulunabilecek alanları belirleyip, örnek görseller ile alandaki sorunları göstermiş ve kazaların engellenmesi amacıyla yapılabilecek uygulama önerilerinde bulunmuşlardır. İnceleme sonucunda Gdansk tramvay hattında sıklıkla ulaşım hizmetinin verimliliği ile güvenilirliğini etkileyen kazaların olduğu ve bu kazaların birçoğunun elektrik kesintisi ve cer hattındaki sorunlarda kaynaklandığı belirlenmiştir.

Yaman ve Gül (2021), çalışmalarında kent içi raylı sistemleri hakkında kısaca bir bilgi verip, Ankara, Berlin, Londra ve Paris'te kullanılan kent içi raylı ulaşım sistemlerinin genel bilgileri ve ücretlendirmelerini belirtip karşılaştırma yapmışlardır. Sonucunda Türkiye'de raylı sistemlerinin kullanılmasının önceliklendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Bir toplu taşıma modunun ulaşım sistemi kullanıcılarına sunduğu hizmetin performansı, o toplu taşıma sisteminin kullanımını etkilemektedir. Bundan dolayı da verilen ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi gereken etmenlerin belirlenmesi için bu ulaşım sistemlerinde hizmet performansı incelemeleri yapılmaktadır. Kent genelinde, farklı gelişmiş toplu taşıma modları kullanılıyor ise de bu sistemlerin genel incelemesi yapılarak şehirdeki genel ulaşım hizmeti performansı incelenebilir. Kent içi raylı sistemlerinde hizmet performansı incelenirken sıklıkla sistemin: güzergahı, durak ile hat güvenliği, güvenilirlik, konfor, hizmet alanı, şehir ile görsel uyumu ve entegrasyonu, erişilebilirlik ve kullanım ücreti gibi kriterler göz önüne alınmaktadır. Bu bölümde kent içi raylı toplu taşıma sistemlerinin çeşitli hizmet performanslarının incelendiği çalışmalara yer verilmiştir.

Akad ve Gedizlioğlu (2007), çalışmalarında gitmek istenilen bir yere ulaşılması için kullanılacak çeşitli toplu taşıma araçlarının seçimini etkileyen toplu ulaşım sisteminin: yolculuk süresi, maliyeti, durakta bekleme süresi, erişim kolaylığı, yatırım ve bakım maliyetleri, çevreye olan etkisi, görsel olarak kent ile uyumu, güvenliği, sistem ömrü ve değişen talebe uyum sağlama gibi etmenleri belirtmişler ve kriterlerin Analitik

Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemiyle incelenmesiyle İstanbul kenti Beşiktaş-Levent ve Aksaray-Taksim toplu taşıma koridorlarında tramvay raylı toplu taşıma sisteminin kullanımının daha iyi olduğunu sonucuna ulaşmışlardır.

Van Oort ve van Nes (2008), çalışmalarında Hollanda'nın Lahey kentindeki toplu taşıma sisteminde, güvenilirliğin kötü düzeyde olduğunda bunun yolcuların üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu incelemeyi yapmak için erişim süresi, durakta bekleme süresi, araçta hareket halinde geçen süre, varsa transfer için gerekli süre ve istasyon veya duraktan çıkış süresinin incelemesini yapmışlar, raylı hatta güvenilirliğin artırılması için dikkat edilmesi gereken yol tasarımı ve zaman çizelgesi düzenlemesinden bahsetmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, kentteki toplu taşıma sistemi ağında ve ağdaki zaman çizelgesinde düzenlemeler yapılarak güvenilirliğin arttırılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Bauer, Dudek ve Richter (2009), çalışmalarında Krakow tramvay hattından seçilmiş hat 4 ve hat 5'te geçici olarak kapatılmış olan duraklar yerine tramvayın hareketini sağlamasında kullanılan bölgenin ve bu bölgeden önce ve sonraki duraklarda güvenilirliğin kontrol edilmesi amacıyla zaman çizelgesinden sapma miktarlarını ölçüm yöntemi ile kaydederek tüm duraklarda elde edilen değerlerin ortalaması ve standart sapmasını alıp grafik yardımı ile duraklardaki güvenilirlik düzeyini belirtmişlerdir. Alandaki trafik ile sapma değerlerine göre incelenen bölümdeki güvenilirlik üzerinde etkisi bulunan ortalama hız ve çalışma süresi belirlemişler; verilen tramvay hizmetindeki gecikmenin hızın üzerindeki kesin etkisinin, çalışmanın devam ettirilmesi halinde bulunabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Van Oort ve van Nes (2009a), çalışmalarında bir raylı ulaşım sisteminde güvenilirliğin kontrol edilmesinde kullanılabilecek olan formülleri vermiş ve güvenilirliğin iyileştirilmesi için alınabilecek olan önlemleri belirtmişlerdir. Lahey, Rotterdam ve Zoetermeer arasındaki Zoetermeerlijn'deki tramvay ağında güvenilirlik kontrolü yapmışlar; tramvay sistemindeki taşıt sayısı arttırılarak ve farklı hatlardaki tramvayların kesişim bölgesinde araçların hareket sırasının değiştirilmesi gibi önerilen iyileştirmelerin uygulanması sonucunda güvenilirliğin arttığını gözlemlemişlerdir.

Van Oort ve van Nes (2009b), çalışmalarında toplu taşıma sistemlerinin hat uzunluğunun güvenilirlik üzerindeki etkisinin incelenmesi için duraktaki ekstra bekleme süresi ve katedilen mesafeye göre seyahat süresi kullanılarak bir uygulama yapmışlardır.

Hollanda’da yapılan uygulama sonucunda, ulaşım ağı tasarımının ve zaman çizelgelerinin düzenlenmesi ile operasyonel güvenilirliğin artırılabilceği sonucuna ulaşmışlardır.

Currie ve Reynolds (2010), çalışmalarında Melbourne’de karma trafikte hareketini sağlayan tramvay sisteminin durakları çevresinde gerçekleşen kazalar ve durak tasarımı üzerinde değişiklikler yapıp yeni tasarımın uygulanmasından sonra meydana gelen kazalar ile duraklarda karayolu taşıtları ve yayaların güvenliğinin incelemesini yapmışlardır. Durak yapısında yapılan değişiklikler sonucunda ulaşım hizmetinin güvenliğinin arttığı ama hala sorunlar oluşabileceği sonucuna varmışlardır.

Van Oort ve van Nes (2010), çalışmalarında raylı ulaşım sisteminde kullanılan farklı durak tiplerinde güvenilirliği etkileyen süreçler ve bu durak tiplerinin güvenilirlik üzerindeki etkilerini açıklamışlardır. Lahey kentindeki hafif raylı sistem ağında, ekstra seyahat süresi, zaman çizelgesinden sapma değeri ve bu sapma değerlerinin hattaki gerçekleşme olasılığının kullanılmasıyla yapılan incelemeler sonucunda durak altyapısının yapılışı esnasında bunun güvenilirlik üzerindeki etkilerinin de dikkate alınması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Kepaptsoglou, Karlaftis ve Gkountis (2013), çalışmalarında bulanık AHP metodunun kullanımı ile Atina metro sisteminde bulunan istasyonları: telefon/iletişim sistemi, bilet ücreti toplama sistemi, kameralar, ışıklandırma, güç kaynağı, havalandırma ile sıcaklık düzenleme sistemi altyapısı ve fiziksel engelli kullanıcıların ulaşım sistemine erişiminin kolaylaştırılması kriterlerini göz önünde bulundurarak incelemişlerdir. Farklı unsurların değerlendirilmesindeki belirsizlikleri dikkate alarak metro ağının genel durumu incelemesinin yapılmasını sağlayan bu metodun, hattın bakımı ve iyileştirilmesi için istasyon koşullarının takip edilmesinde kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Van Oort (2014) çalışmasında, toplu taşıma hizmetinin güvenilirliğinin ve ulaşım sistemi tasarımının ilişkisinden bahsetmiştir. Ulaşım hizmeti güvenilirliğinin göstergesi olan ekstra seyahat süresi ile sistemin dakikliğinin incelemesi yapmıştır. Lahey’de bulunan tramvay toplu taşıma hizmetinin güvenilirliğini, ekstra seyahat süresi ve zaman çizelgesine uyum düzeylerine göre incelemiştir. Yapılmış olan incelemeler sonucunda güvenilirlik kriteri değerlendirilirken çoğunlukla aracın performansının izlendiği, yolcuya odaklanılmadığı ve güvenilirliğin tutarlı bir tanımlamasının bulunamadığı; Lahey şehrindeki inceleme ile ankette farklı göstergeler kullanıldığı için elde edilen güvenilirlik düzeylerinin tutarlı olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Kasımoğlu (2015) çalışmasında, tramvay sistemleri, istasyon ile araç tasarımı ve istasyonların bulunduğu bölgelerde alınan güvenlik önlemlerinden bahsetmiştir. İstanbul T1 tramvay hattındaki genel ve her bir istasyona ait yolcu istatistiği, yıllara göre hatta gerçekleşen kazalar, hattın her bir istasyonuna ait düzenlemeler, hat çevresinde güvenliğin ve istasyona kolay erişimin sağlanması için alınan önlemleri belirtmiş ve yolcu memnuniyeti anketi yapmıştır. İnceleme sonucunda tramvay sistemi durakları çevresinde güvenliği arttırmak ve erişim kolaylaştırmak amacıyla uygulanan çalışmalardaki eksikliklerin, yolcu memnuniyeti anketi sonucuyla paralel olduğunu gözlemlemiş ve önerilerde bulunmuştur.

Massami, Myamba ve Edward (2016), çalışmalarında Tanzanya'daki Dar es Salam şehrinin toplu taşıma ulaşım servisi kalitesini, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden birisi olan bulanık İdeal Çözümlere Benzerliğe Göre Tercihleri Sıralama Tekniği (TOPSIS) yöntemi ve entropi yöntemini kullanarak güvenlik, ulaşılabilirlik, güvenilirlik, konfor, görevli davranışları gibi birçok kriterlerin ele alınması ile incelemişlerdir. İncelemede, şehirdeki toplu taşıma hizmetinin yeterince tatmin edici olmadığı, karayolu toplu taşıma hizmetinin trafikteki yoğunluğu arttırarak zaman kaybına, yol güvenliğinin azalmasına ve çevreye olan zararlı etkinin artmasına neden olduğu; kent içi raylı ulaşımın karayolu ulaşımına göre daha iyi bir hizmet performansına sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Björklund ve Swärdh (2017), çalışmalarında Stokholm, Göteborg ve Malmö şehirlerinde 18 yaş üstü toplu taşıma hizmeti kullanıcılarından katılımcılar seçip kent içi toplu taşıma araçlarının konfor düzeyinin incelenmesi için bir anket yapmışlardır. Kentlerdeki toplu taşıma sistemlerini kullanırken oturarak veya ayakta seyahat etme, ayakta duruluyor ise metrekareye düşen yolcu sayısı, seyahat süresi ve ulaşım hizmeti kullanım ücreti kriterleri kullanılarak, toplu taşıma aracı içindeki kalabalıklık düzeyinin azaltılarak taşıt içi konforunun artırılmasında, kriterlerin etkilerini gözlemlemişlerdir. Stokholm, Göteborg ve Malmö şehirlerinde yapılan inceleme sonucunda, bu şehirlerdeki toplu taşıma aracı içi konfor ve kalabalıklık tercihlerinin: yolculuk amacından, katılımcı gelirinden ve yolculuk modundan etkilendiği sonucuna ulaşmışlardır.

D'orso ve Migliore (2017), çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemleri (QGIS) uygulaması ve nüfus verilerini kullanarak Palermo kentindeki raylı sistem duraklarının 150 metre, 300 metre ve 500 metre çevresindeki hizmet alanındaki yolcuların sistemi kullanımını incelemişlerdir. Sistemde yapılabilecek değişiklikler ile örnek senaryolar

vererek her bir senaryo için hizmet alanındaki nüfusun, işgücünün ve genel nüfusun potansiyel talep yüzdesini göstermişlerdir. Bu uygulamayı kentsel toplu taşıma sisteminin mekânsal erişilebilirliği ve ulaşım hizmetinin kullanımındaki sosyal eşitliğin incelenmesi için yapmışlardır. Raylı sistem ulaşım hizmeti veren hatlar ve tüm ulaşım hizmetlerinin bütünleşmesi sonucu oluşan senaryoda ağların potansiyel taleplerinin gözlemlenmesi sağlanmış; önerilen senaryolar ile toplu taşıma ulaşım hizmetinin daha cazip hale gelip, hizmet alanının genişlediği sonucuna varmışlardır.

Maitre (2017) çalışmasında Fransa'daki Marsilya kentinin 1 ve 2 numaralı tramvay hatlarında, 2001-2003 (öncesi periyodu) ve 2008-2011 (sonrası periyodu) yılları arasında gerçekleşen kazaların incelemesini yapmıştır. Kazaların hat üzerindeki dağılımını harita yardımı ile göstermiş ve nedenlerini vermiştir. Yapılan inceleme sonucunda modern tramvay sistemlerinin kullanımı ile tramvay hattında gerçekleşen kaza sayısının azaldığı, ama bu kazaların başka bölgelere aktarılmış olabileceği sonucuna varmıştır.

Podciborski (2017) çalışmasında tramvay duraklarının incelenmesinde yolcuların beklentilerine ve fiziksel engelli kullanıcıların ihtiyaçlarına göre temel ve alt kriterlerin belirlenmesini, alt kriterlerin puanlandırılması ile de temel kriterlerin ağırlıklı önem derecesinin bulunmasını amaçlamıştır. Uygulamayı, Polonya'da merkezi bir şehir olan Olsztyn kentinde bulunan tramvay duraklarında: durak tasarımı, durak boyutu, duraktaki teknik durum, görme engelli yolcular için hissedilebilir kaldırım bulunması, fiziksel engelli yolcuların taşıta rahat erişimi, durağın aydınlatma sistemi ve durakta kamera bulunması gibi özelliklere göre kalite değerlendirmesi yapmıştır. Uygulama sonucunda, bu yöntemin kullanılması ile tramvay duraklarının kalite değerlerine göre durakların altyapı eksiklerinin belirlenebileceği sonucuna ulaşmıştır.

Lee (2018) çalışmasında, gelişmiş toplu taşıma modlarını önceliklendirmek için Çok Kriterli Karar Analizi yöntemi kullanmıştır. Bu yöntem ile hizmeti sunan firmalar ve kullanıcıların önemsendiği düşünülen kriterler (güvenilirlik, güvenlik, erişim kolaylığı, sistemin çalıştırılması ve bakımının maliyetleri, taşıt ve altyapı maliyetleri, entegrasyon, çevreye etki, ulaşım sisteminin şehrin görüntüsü ile uyumu ve ulaşım hizmeti isteği vb.) uzman görüşleri ile belirlemiş ve bu kriterlere ağırlık değeri verilmiştir. Güney Kore'de uygulaması yapılırken, yeni gelişmekte olan bir alanda ulaşım ihtiyacını karşılamak için yerleştirilebilecek olan çeşitli kent içi ulaşım sistemleri uzman görüşleri ve bölgedeki nüfusa dikkat edilerek incelenmiştir. İnceleme sonucunda, şehir büyüklüğüne göre hangi

tür ulaşımın sistemi kullanımının ne kadarlık bir yüzdelik dilimi kapsaması gerektiği ve kriterlerin farklı bölgelerdeki önem düzeyi sıralaması belirtilmiştir.

Márquez, Alfonso A. ve Poveda (2019), çalışmalarında toplu taşıma taşıtındaki kalabalıklık düzeyi ve etkilerini; ayakta duran yolcu yoğunluğu, yolcular tarafından seyahat süresince algılanan güvenlik düzeyi ve konfor düzeyi olarak ayırarak incelenmekte; bunun sonucunda, bir toplu taşıma hizmetinin başarılı olabilmesi için araç içi kalabalıklık durumuna ek olarak durak platformu ve durağa erişim yolunun kalabalıklık düzeyine de önem gösterilmesi gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Tzouras (2019) çalışmasında tramvay altyapısı ve tasarımı, güvenlik üzerinde etkisi bulunan sürücü davranışı, yolda karşılaşılan zorluklar gibi etmenleri açıklamış, kentsel alanlarda karma trafik bulunması durumunda savunmasız yol kullanıcılarının güvenliğinin incelemesini yapmıştır. Atina ve Amsterdam kentlerinde anket uygulaması ve tramvay ulaşım hattının incelenmesi ile vatmanlar tarafından raylı yolun kullanımında hissedilen güvenlik düzeyini belirlemiş, yayalaştırılmış alanlarda hissedilen ve alandaki kazalar ile gözlemlenen güvenlik düzeyi benzer düzeyde, çok riskli bölgeler oldukları gözlemini yapmış; yarı-özel yol kullanım hattı bulunan alanlarda hissedilen güvenlik düzeyinin ise alandaki kazalara göre ters orantılı bir gözlem yapıldığı sonucuna ulaşmıştır.

Özgür-Cevher, Altıntaş ve Tüydeş-Yaman (2020) çalışmalarında toplu taşımada, kent içi raylı ulaşım modellemesi, kullanıcı yoğunluğu, entegrasyon ve erişim gibi mekânsal parametreleri belirtmişlerdir. Mekânsal parametrelerin kullanımı ile Ankara'daki metro ve hafif raylı sistem durakları çevresinde, nüfus yoğunluğu, arazi kullanımı, erişilebilirlik ve entegrasyon üzerinde inceleme yapmışlar, bunun sonucunda kent içi raylı ulaşım durakları planlaması ve tasarımı üzerine önerilerde bulunmuşlardır. Ankara'nın kent içi raylı toplu taşıma hizmetlerinde potansiyel yolcu sayısının, her zaman durak çevresindeki nüfus ile doğrusal oranda olmadığı ve diğer toplu taşıma modları ile entegrasyonundan daha fazla etkilendiği sonucuna ulaşmıştır.

Diemer ve diğerleri (2021), çalışmalarında Melbourne kentinde çağdaştırılmış olan tramvay hattı ve hat çevresi yenilenmiş alan ile bölgenin önceki hali arasında: form (konfor, yol önceliği, yeşillendirilmiş alan gibi kriterler), işlevsellik ve güven, ferahlık hissi ile tarihsel veya kültürel kimlik gibi yönlerden kullanıcıya verdiği his üzerinde anket kullanımı ile incelemeler yapmışlardır. Yapılmış olan anketler sonucunda form kriterleri açısından, kullanıcının tramvay sisteminin çağdaştırılmış halini daha kaliteli

bulduğuna, işlevsellik ve sistemin verdiği his bakımından elde edilen sonuçlara genel olarak bakıldığında ise çağdaştırılmış sistemlerin kullanıcılar tarafından daha kaliteli bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Li ve diğerleri (2021), çalışmalarında Şanghay Metrosu Halk Meydanı durağında, aydınlatma ve tasarım gibi karakteristik özellikleri, konfor, ulaşım sistemini kullanım ücreti ve istasyon bilgilerine kolay ulaşılabilirlik, kullanışlılık, bekleme süresi ve istasyon çevresinde park alanı olması gibi kriterleri kullanıcı memnuniyeti yönünden incelemiştir. Yapısal Eşitlik Karışım Modeli (YEMM) yönteminin kullanımı ile incelenen kriterlerin ağırlık değerini bulmuş ve kullanıcıların cevapları ile her kriter ve istasyonun genel olarak kullanıcı memnuniyetini basit bir bulut değerlendirme modeli olarak vermişlerdir. Bu yöntem ile hem kullanıcıların genel memnuniyet düzeyinin hem de bu memnuniyet düzeyinin tutarlılığının gözlemlenebildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Nikolaeva (2021) çalışmasında tramvay durakları ve çevresinin tasarımının güvenliğini, yaya ve diğer taşıt kullanıcılarının davranışlarını gözlemleyerek incelemiştir. Kaza kentindeki Yunusovskaya Meydanı ve Vladimir Kulagin Sokağı tramvay duraklarında yayaların karşıdan karşıya geçiş hareketini: tramvayın durakta bulunması, durağa yanaşması ve tramvayın alanda olmaması yönlerinden incelemiş ve davranışlarının yüzdesel olarak paylarını göstermiştir. Durakta platform bulunması, durak çevresinde yaya geçidi bulunması ve yaya geçidinin durağa mesafesi kriterleri ile durak güvenliği incelemesi yapmıştır. Bunların sonucunda tehlikeli yaya davranışları, güvenliği etkileyen durak altyapı elemanları, tramvay durakları ve yapılacakları alanın bir bütün olarak görülüp bu şekilde konumlandırma ve durak tasarımı yapılması gerektiği sonucuna ulaşmıştır.

Sülüşoğlu (2021) çalışmasında, kent içi raylı sistemlerini açıklayıp Dünya ve Türkiye'deki gelişiminden bahsetmiş, kent içi toplu taşıma sistemlerini: hat özerkliği, düzenlilik, ekonomiklik, erişim rahatlığı, konfor, kapasite, enerji tüketimleri, güvenlik ve gürültü gibi yönlerden karşılaştırmış ve tramvay kazalarının nedenleri ile sonuçlarını belirtmiştir. ÇKKV yöntemleri olan AHP ve TOPSIS kullanımı ile Eskişehir kentindeki tramvay ağında gerçekleşen kazalar üzerinde inceleme yapmıştır. İnceleme sonucunda tramvay kazalarında en büyük etkisi bulunan ölçütün diğer taşıtların kusuru olduğu ve vatmanların cinsiyeti ile eğitim düzeyinin tramvay sürücü kusurları arasında etkilerinin çok düşük bir düzeyde olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin birçok konuyu kapsayan kullanım alanları vardır. Ulaşım sistemleri de bu alanlardan birisidir. ÇKKV yöntemleri arasında, AHP ve TOPSIS yöntemleri ulaşım sistemlerinin incelenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemler, farklı seçimler arasında en uygun ulaşım güzergahının, bu güzergahta kullanılacak taşıtın ve durakların konumunun belirlenmesinde kullanılabileceği gibi verilen ulaşım hizmetinin performansının incelenmesinde de kullanılabilir. Bu bölümde ÇKKV yöntemlerinin incelendiği çalışmalara yer verilmiştir.

Saaty (1977) çalışmasında bir hiyerarşik yapıda oluşturuluşunu açıklayıp yapıdaki etmenlerin önceliklendirilebilmesi için ölçeklendirme yöntemi oluşturmuş ve geliştirilen ölçek değerlerini tanımlamıştır. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturuluşu, öncelik ölçek değerinin belirlenmesi ve belirlenen değerlerin tutarlılığının bulunması için takip edilmesi gereken adımlar ile bu adımların gerçekleştirilmesinde gerekli formülasyonları belirtmiştir. Hava yolculuğu mesafe tahmini ve çeşitli okullar veya farklı işler arasında, çoklu kriter incelemesi ile seçim yapmaya yönelik örnekler vermiştir. Sonuç olarak karmaşık yapıdaki sorunların hiyerarşik bir yapı haline getirilmesinin karar vericilerin katılımı ve etkileşimini arttırdığı, teorisinin üzerinde çalışılmaya devam edilerek geliştirilebileceği kararına varmıştır.

Saaty (1980) kitabında, AHP metodunda hiyerarşi oluşturuluşu, etmenlerin önceliklendirmesinin nasıl gerçekleştirilebileceğini ve bu değerlerin tutarlılığının kontrolünün yapılışını açıklamış, AHP metodu ile bir uygulama gerçekleştirilirken takip edilmesi gereken adımları, bu adımların yapılmasında gerekli matematiksel işlemleri belirtmiştir. Metodun uygulamasıyla ilgili örnekler sunmuştur.

Hwang ve Yoon (1981), kitaplarında yüksek sayıda kritere sahip karar verme yapısı oluşturuluşundaki temel etmenler olan hiyerarşik yapı oluşturuluşu, bir karara ulaşmak için takip edilen yapı, verilerin tek bir yapıya dönüştürülerek incelemeye hazır hale getirilmesi işlemi, bulanık nitelikte ve kesinlik içermeyen verilerin incelenmesindeki kurallar ve kriter ağırlığı belirleme yöntemlerini açıklamışlardır. Çoklu nitelikteki karar verme problemlerinin nasıl gerçekleştirilebileceğini açıklayıp uygulama örnekleri vermişlerdir. Çalışma sonucunda karar verme yapısında belirsiz nitelikteki değerlerin incelenebilmesi için geliştirmeler yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Saaty (1987) çalışmasında AHP metodunun ne olduğunu açıklamış ve uygulanmasında takip edilmesi gereken adımları belirtmiştir. Metodun uygulanmasına ilişkin alternatifler arasında en iyi üniversitenin seçilmesi için örnek vermiştir. AHP'nin

ilkeleri olan ayrıştırma, yargıların karşılaştırılması ve önceliklerin belirlenmesi işlevlerini, kriter ağırlığı ve bu değerlerin tutarlılığının incelemesindeki işlemleri açıklamıştır. Metodun açıklamasını yaptıktan sonra üzerinde inceleme yapılması gereken, AHP ve yapay zekâ arasındaki ilişki ve hiyerarşi ile sistem ağları ve daha iyi bir tahminde bulunmada hiyerarşik yapının etkisi gibi konulardan bahsetmiştir.

Xu (2000) çalışmasında AHP metodunda elde edilen tercihlerin birleştirilmesinde sıklıkla kullanılan ağırlıklı geometrik ortalama yönteminin, çeşitli senaryolarda tutarlılığını incelemiştir. İnceleme sonucunda çok etmenli karmaşık yargıların incelenmesinde geometrik ortalama yönteminin kullanımının kabul edilir bir tutarlılık düzeyinde sonuç elde edilmesini sağladığı yargısına varmıştır.

Joshi, Banwet ve Shankar (2011) çalışmalarında, Delphi-AHP-TOPSIS metodlarının birlikte kullanımı ile bir şirket performans incelemesi yapmışlardır. Delphi metodu ile temel ve alt faktörleri tanımlayıp önceliklendirmiş ve yeni bir tutarlı ölçüm ölçeği belirlemişlerdir. AHP metodu ile incelenmekte olan şirket ile rakiplerinin ikili karşılaştırılması yapmış ve TOPSIS yöntemi ile de iyileştirme yapılması için belirlenmiş alternatifler arasında değerlendirme yapmışlardır. Çalışma sonucunda bir şirketin güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenebilmesi ve performans incelemesi yapılabilmesi için bir metodoloji sunmuşlardır.

Tzeng ve Huang (2011), kitaplarında Çok Nitelikli Karar Verme yöntemleri işlemlerinin uygulama adımları ve yöntemlerin uygulanması esnasında kullanılması gereken formülleri verip, ayrıntılı bir şekilde açıklamışlardır. Her bir yöntem için bir uygulama örneği vermişlerdir.

Velasquez ve Hester (2013), çalışmalarında ÇKKV yöntemlerini belirtmişler; bu yöntemlerin hangi alanlarda ne tür incelemelerin yapılması için kullanıldığını açıklamışlardır. Açıklamalar sonucunda, ÇKKV yöntemlerinin kullanım alanlarını, avantajlarını ve dezavantajlarını göstermişlerdir.

Soltani, Marandi ve Ivaki (2013) çalışmalarında, otobüs güzergahlarının değerlendirmesinde bulanık AHP ve TOPSIS hibrit metodu kullanarak Shiraz otobüs ağında, güzergâh tasarımı, nüfus yoğunluğu, çalışan nüfus yoğunluğu, ağların kapsama alanı, entegrasyonu ve çakışma durumu ve sistem verimi gibi birçok kriteri inceleyerek çalışma sonucunda otobüs ağı değerlendirmesi için operasyonel bir çerçeve geliştirmişlerdir.

Patil ve Kant (2014) çalışmalarında tedarik zincirinde bilgi yönetiminin gelişmesi ve kullanımının önündeki engelleri aşmak amacıyla bulanık AHP ve TOPSIS kullanımı ile elde edilen çözümlerin sıralamasının yapılmasını sağlayacak bir hibrit yöntem ortaya koymuşlardır.

Tyagi, Kumar ve Kumar (2014) çalışmalarında elektronik tedarik zincirlerinde performans analizinin yapılmasında kullanılabilecek AHP ve TOPSIS metotlarının kullanıldığı hibrit yaklaşım önerisinde bulunmuşlardır. Elektronik tedarik zincirlerinde performans değerlendirme endeksi kriterlerini belirtip yapılan inceleme sonucunda üretim verimliliğinde gelişme ve zamanında teslimat kriterlerinin en önemli kriterler olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Ahmed ve Asmael (2015) çalışmalarında güzergâh seçiminde kullanılması için ÇKKV yöntemine dayalı Coğrafi Bilgi Sistemine (CBS) destekli bir yöntem sunmuşlardır. Bağdat'ta alternatif metro güzergahları arasında seçim yapmak için çevreye etki, mühendislik ve maliyet kriterlerinin ele alınması ile yapılan uygulama sonucunda güzergâh alternatiflerinden birisinin inceleme yapıldığı süreçte kullanımının uygun olduğu, diğer alternatifin ise gelecekte ulaşım talebinde artış görüldüğünde kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Aziz, Sorooshian ve Mahmud (2016), çalışmalarında AHP yöntem konseptini açıklamış, karşılaştırma yapmak için kullanılan değerlendirme ölçeği ve bu yöntemin kullanılmasındaki gerekli işlemler ile formülleri vermişlerdir. AHP yönteminin kullanılması ile karmaşık ve çok kriterli sorunların çözümünün, daha kolay şekilde bulunabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Yücel (2019) çalışmasında kent içi raylı sistem araçlarını, bunların tercih edilme nedenlerini, yatırım değerlendirme yöntemlerini ve ÇKKV yöntemlerini açıklamıştır. İstanbul'da bulunan raylı sistemlerin güzergahı ve kullanımı hakkında genel bir bilgi verip, mevcut ve yapılması planlanan hatlarda raylı sistem proje seçiminde kullanımı temel olarak belirlenmiş: ekonomi-maliyet, yolcu hizmetleri, kentsel planlama ve çevre ana kriterleri ve bunların alt kriterlerini, AHP ve En İyi – En Kötü (BWM) yöntemlerini kullanarak incelemiştir. Çalışmanın sonucunda yapılması planlanan hatların kullanılan yöntemlere göre öncelik sıralamasını elde etmiştir.

Salavati, da Silva ve Haghshenas (2020) çalışmalarında, İsfahan kentinde toplu taşıma alternatiflerini, sürdürülebilirlikleri göz önüne alınarak AHP ve TOPSIS metotları kullanarak ve anket uygulayarak karşılaştırmışlardır. İnceleme sonucunda ulaşım sistemi

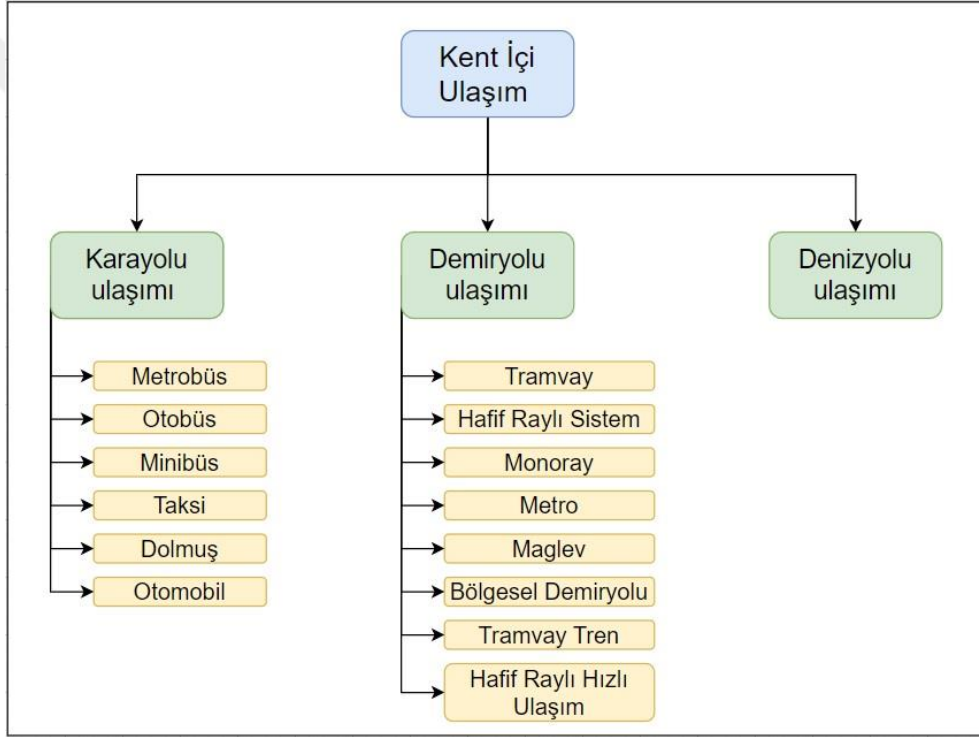
kullanıcıları ve yerel yöneticilerin bakış açılarında farklılık olduğunu gözlemlemişlerdir. Uygulama sonucunda geliştirilmiş olan metodun, simülasyon tabanlı bir analiz metodu ile birleştirilmesiyle kentsel planlamada, özellikle ulaşım sektöründe kullanımının yeni bir bakış açısı sunacağı kararına varmışlardır.

Hajduk (2021) çalışmasında, seçilmiş olan akıllı şehirlerin (Oslo, Boston, Toronto, Melbourne, Amman, Dubai, Rotterdam vd.) ulaşım sistemlerini, yolcu başına katedilen uzaklık, yıllık yolcu sayısı ve araç başına düşen yolcu sayısı gibi kriterler yönünden entropi metodu ve TOPSIS yöntemi kullanarak incelemişlerdir. İncelemenin sonunda Portland'ın ulaştırma işletmeleri için en iyi şehir, Tiflis'in ise en kötü şehir olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Hailu (2022) çalışmasında Etiyopya'da yüksek hızlı tren koridoru seçimi için AHP ve TOPSIS yöntemlerinin kullanılacağı bir metot önermiştir. AHP ve TOPSIS metotlarının uygulama işlemlerini belirtmiştir. Uygulamada nüfus, uzaklık, hafif raylı sistem kullanımı ve hattın uzunluğu gibi kriterlerin kullanımı ile yüksek hızlı tren sistemi ile birbirlerine bağlanabilme ihtimali yüksek olan şehirler kararlaştırılmıştır. Çalışma sonucunda Addis Ababa ve Hawassa ile Addis Ababa ve Dire Dawa şehirleri arasında yüksek hızlı tren ulaşımı ile bağlantı kurulabileceği sonucuna varmıştır.

3. KENT İÇİ RAYLI TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİ

Kent içi toplu ulaşım, sanayileşme, toplumsal hareketlilik, ihtiyaçların artması ve bunların sonucu olarak kentlerin büyümesi ile günümüzde giderek önem kazanmıştır. Şehrin, sosyoekonomik yapısına, şehir bölge planına, topoğrafyasına ve teknolojik imkânlarla göre ulaşım hizmetinin sağlanması için kullanılabilir çeşitli toplu taşıma sistemleri bulunmaktadır. Toplu taşıma sistemleri temel olarak; kara yolu ulaşımı, deniz yolu ulaşımı ve demir yolu ulaşımı olarak ayrılmaktadırlar. Farklı kent içi ulaşım modlarında (Görsel 3.1) farklı türlerde ve teknolojilerde toplu ulaşım araçları kullanılmaktadır [1, 2].

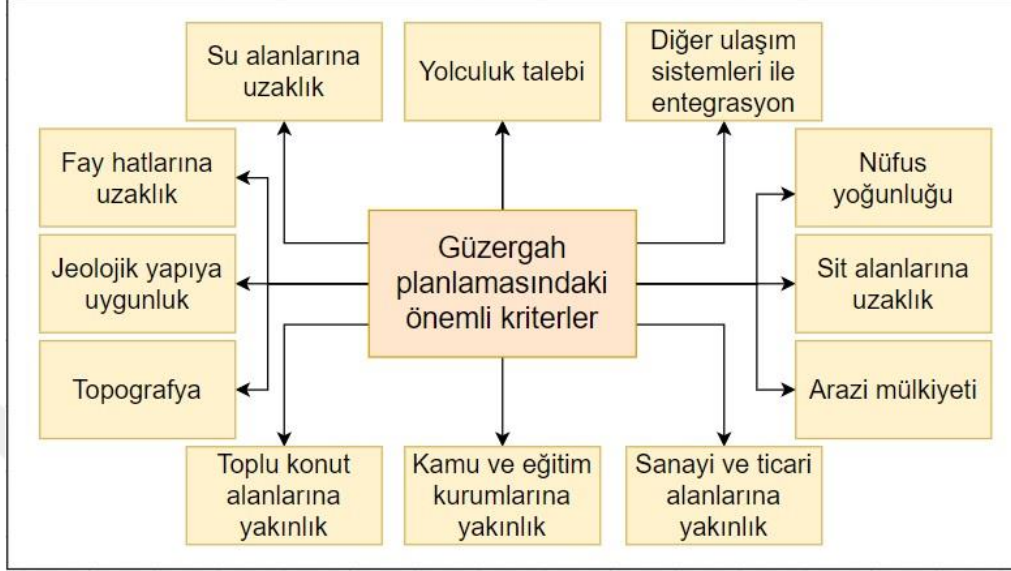


Görsel 3.1. Ulaşım türleri ve araçları

Şehrin nüfusu arttıkça toplu ulaşım alanlarının güzergâhları ve kullanılan tüm ulaşım sistemlerinin birlikte çalışabilmesi de önem kazanmaktadır [2-4].

Her türlü toplu ulaşım modunun güzergâhı belirlenirken alandaki nüfus yoğunluğuna, topoğrafyaya, kullanıcıların ulaşım hareketi isteklerine, sistem ile hattın ilk maliyetinin uygun görülen süre içinde kazanılabilmesine ve yapılması planlanan sistemin şehir ile uygunluğu gibi çeşitli etmenlere dikkat edilmektedir. Raylı toplu ulaşım hizmetleri, karayolu toplu taşıma sistemlerine nazaran daha yüksek bir ilk yatırıma sahip

ve hatta sonradan değişiklik yapılması daha zor ve maliyetli olduğundan hat planlaması yapılırken Görsel 3.2’de verilen kriterlere uyulması önem teşkil etmektedir [3].



Görsel 3.2. Raylı toplu ulaşım güzergahı belirlerken önem verilmesi gereken kriterler [5]

Günümüzde hem sayıca taşıyabileceği insan hem de çevreye dolaylı ve uzun vadede etkisi bakımından karayolu ulaşımına nazaran potansiyeli daha iyi bir düzeyde olan raylı toplu ulaşım sistemlerinin kullanımı dünya ve ülkemizde giderek artmaktadır. Raylı taşıtların kılavuzu çelik tekerlek ve ray sistemi olduğundan bu araçlar, kılavuzu insan olan karayolu toplu ulaşım sistemlerinden daha güvenli bir şekilde hareket sağlamaktadırlar.

Raylı toplu ulaşım sistemlerinin çok sayıda alt türü bulunmaktadır. Bunlar; hafif raylı sistemler, tramvay, metro, monoray, maglev, bölgesel demiryolu vb. sistemlerdir.

3.1. Tramvaylar

Tramvaylar, raylı sistemlerin en alt grubunda yer alan ve karma trafikte işletilen toplu taşıma araçlarıdır. Tramvay hatları doğaları gereği diğer taşıtlar ile aynı güzergâhı kullanılmaktadırlar. Elektrik enerjisi ile çalışan tramvaylar, bu enerjiyi hattın üstünde bulunan kablo sisteminden katener ve pantograf yardımı ile alırlar. Bazı, yeni yapılan tramvay hatlarında hareket etmek için gerekli enerji, rayların yanına döşenmiş enerji hattından alınmaktadır. Günümüzde elektromanyetik enerji kaynağından enerjisini alan Tramvay araçları da geliştirilmiştir [6-9].

Tramvay sistemlerinde durakların konumları, güzergâh doğrultusundaki karayolu toplu taşıma durakları yardımı ile belirlenebilir ve böylelikle ulaşım sistemlerinin birbirleri ile bütünleşmesi sağlanabilir [3]. Tramvay hattının tasarımında, sistemin kullanımının kolay olması ve potansiyel kullanıcıların rahat biçimde durak ve taşıta ulaşabilmesi amaçlanmıştır. Taşıta kolay erişim sağlayabilmek için araçlar alçak tabanlı (ray üstü taban yükseklikleri 20 – 40 cm) olarak, duraklar da araca girişin yürüme hızında olması amacıyla tramvayın taban yüksekliğine göre yapılmaktadırlar. Tramvay, raylı sistem toplu ulaşım taşıtları arasında düşük kapasiteli bir araçtır [10, 11].

Tramvay, C sınıfı yol kullanma hakkına sahip yolda, karma trafikte hareketini sağlamaktadır, bu nedenle tramvay araçları güzergâhları boyunca çeşitli trafik sorunları ile karşılaşabilmektedir. Buna karşın, yol kullanım hakkında yapılacak iyileştirmeler sayesinde tramvay sisteminin hizmet performansı artırılabilir ve sistemin daha cazip hale getirilmesi sağlanabilir. Artan nüfusa bağlı olarak gelişen şehirlerde Tramvay güzergâhları boyunca yol kullanım hakkı üzerinde herhangi bir iyileştirme yapılmadıysa trafiğin yoğun olduğu kısımlarda kullanımında işletme sorunları oluşabilmektedir [3]. Tramvay, karma trafikte işletildiği bölgelerde güvenli hareket etmek için diğer trafiğin kararlaştırılmış düzenine uymalıdır; yayalaştırılmış alanlarda (Görsel 3.3) ise güvenlik sürücünün görüşü ile sağlanır. Karayolu taşıtları ile sıklıkla karşılaştığı alanlar olan kavşaklarda, yol önceliği tramvaylara aittir lakin karayolu taşıtları gibi acil servis araçlarına yol verme zorunluluğu vardır.



Görsel 3.3. *Tramvay*

Hareket alanı şehir içi olduğundan ve karma bir trafikte hareket ettiğinden dolayı operasyonel hızları genellikle 12-20 km/saat civarındadır; teknik hızları 60-70 km/saat olabilmektedir. Taşıtın yolcu kapasitesi 80-300 kişi, durakları arasındaki mesafe ortalama 250 metre ile 500 metre arasındadır; kısa ve orta mesafeli yolculuklarda kullanılmaktadırlar. Tablo 3.1’de tramvay sistemlerinin bazı teknik özellikleri verilmiştir [3, 12].

Tablo 3.1. *Tramvayların teknik ve operasyonel özellikleri [3]*

Özellikler	Tramvay
Araç uzunluğu	14-35 m
Operasyonel hız	12-20 km/saat
Maksimum hız	60-70 km/saat
Duraklar arası mesafe	250-500 m
Yolcu kapasitesi	100-250

3.2. Hafif Raylı Sistemler

Hafif raylı sistem araçları, hemzemin geçit ve kavşaklar gibi zorunlu olan durumlar dışında kendilerine ait yolda hareket etmektedirler. Genellikle B sınıfı, nadiren A sınıfı yol kullanım hakkına ait bir ağ yapısına sahiptirler. Bu iki tür yol kullanım hakkı sınıfı, tek bir hattın farklı kısımlarında da kullanılabilmektedir [13]. Hattı karayolu taşıtlarıyla beraber kullanmak zorunda olduğu alanlarda C sınıfı yol kullanım hakkı kullanımına rastlanılmaktadır. Hafif raylı sistem taşıtları, katener veya hatta döşenmiş bir üçüncü raydan aldıkları elektrik enerjisi ile hareket etmektedirler (Görsel 3.4).

Hafif raylı ulaşım sistemleri, ilk olarak tramvay taşıt ve hattının özelliklerinin geliştirilmesi ile ortaya çıkmıştır; buna karşın yol kullanım hakkının daha gelişmiş bir düzeyde olması sayesinde tramvaylara nazaran daha hızlı ve güvenli hareket edebilmektedirler. Taşıyabileceği yolcu kapasitesi de tramvaylara göre daha yüksektir. Operasyonel hızları 18-50 km/saat arasındadır; buna karşın 120 km/saat hıza ulaşabilecek teknik kapasiteleri vardır. Yolcu kapasitesi 110 ile 350 kişi ve durakları arası mesafe 350 metre ile 1600 metre arasında değişmektedir. Tablo 3.2’de hafif raylı sistemlerinin bazı teknik özellikleri verilmiştir [3, 10, 11].



Görsel 3.4. Hafif Raylı Sistem aracı (<http-1>)

Tablo 3.2. Hafif Raylı Sistemlerin teknik ve operasyonel özellikleri [3]

Özellikler	Hafif Raylı Sistem
Araç uzunluğu	14-54 m
Operasyonel hız	18-50 km/saat
Maksimum hız	60-120 km/saat
Duraklar arası mesafe	350-1600 m
Yolcu kapasitesi	110-350

3.3. Hafif Raylı Hızlı Ulaşım

Hafif raylı hızlı ulaşım sistemi, hafif raylı ulaşımın daha gelişmiş bir alt türüdür. Bu sistemler, yüksek performans gerektiren buna karşın ulaşım sisteminin kullanıcı yoğunluğu daha yüksek olan raylı taşıtlara (metro ve bölgesel demiryolu vb.) ihtiyacın olmadığı bölgelerde kullanılırlar. Sadece A sınıfı yol kullanımının hakkına sahip bir hatta hareketlerini gerçekleştirirler ve diğer yol kullanıcıları ile yolu paylaşmasının zorunlu olduğu alanlarda geçiş önceliğine sahiptirler; bunun sayesinde de bu tür sistemlerde, hafif raylı ulaşımına benzer bir taşıt kullanılsa da maksimum hızları daha yüksektir. Hatta genellikle sadece onlara ait bir yol kullandıkları için hafif raylı sistemlerden daha yüksek bir işletme hızına sahiptirler. Hafif raylı hızlı ulaşım sistemleri, hareket enerjilerini hatta bulunan bir üçüncü ray sayesinde sağlamaktadırlar; hafif metro olarak da adlandırılırlar ve 2 veya 4 vagonlu olarak yapılırlar (Görsel 3.5). 2 vagonlu taşıtlarda vagon başına yolcu kapasitesi 175 kişi, 4 vagonlu taşıtlarda ise 300-340 kişi civarındadır [3, 14].



Görsel 3.5. Londra hafif raylı hızlı ulaşım örneği (<http-2>)

3.4. Metro

Metro sistemleri, kent içi raylı ulaşımında en gelişmiş yol kullanım hakkına ve diğer raylı taşıtlara göre daha yüksek verime sahip bir raylı toplu ulaşım çeşididir. Hareket sağlamak için elektrik enerjisi kullanıp, yerin altında tüneller yardımıyla ve yüzeyde kendisine ait bir yolda hareket etmektedirler; durakları da güzergâh tasarımına bağlı olarak yer altında veya yer üstünde olabilir [10].

Diğer ulaşım modları ile karşılaştırıldığında enerji verimliliği, yolculuk konforu, taşıma kapasitesi, güvenilirlik gibi özellikler bakımından işletme maliyetleri en düşük olan moddur. Metrolar, A sınıfı yol kullanım hakkına sahip güzergâhlarda hareket etmektedirler (Görsel 3.6). Güzergâhın ve sinyalizasyon sistemi planının elverişli olduğu hatlarda yüksek hızlara ulaşabilmekte ve ağı kapsadığı alanı daha kısa bir süre içinde kat edebilmektedirler. Görsel 3.5’te metro aracı örneği verilmiştir [3, 11, 12].



Görsel 3.6. Metro aracı (<http-3>)

Operasyonel hızları 25-60 km/saat arasındadır ve maksimum 80-120 km/saat düzeyinde bir hıza ulaşabilmektedir. Metro araç dizilerinde kullanılan tek bir taşıtın yolcu kapasitesi 140 ile 280 kişi arasındadır; duraklar arasındaki mesafe 500 metre ile 2000 metre civarında olacak şekilde konumlandırılabilen yüksek güvenilirliğe sahip, orta ve uzun mesafeli yolculuklarda kullanılan bir raylı toplu taşıma modudur. Tablo 3.3'te metro sistemlerinin bazı teknik özellikleri verilmiştir [3].

Tablo 3.3. Metro sistemlerinin teknik ve operasyonel özellikleri [3]

Özellikler	Metro
Araç uzunluğu	15-23 m
Operasyonel hız	25-60 km/saat
Maksimum hız	80-120 km/saat
Duraklar arası mesafe	500-2000 m
Yolcu kapasitesi	140-280

3.5. Monoray

Monoraylar, kendilerine özel güzergâhlarda hareket etmektedirler. Cadde yüzeyini kullanmadıkları için diğer toplu ulaşım ve özel araçlardan kaynaklanan herhangi bir sorun ile karşı karşıya kalmamaktadırlar. Hatları yükseltilmiş olduğundan durakları da yükseltilerek yapılmaktadır. Yükseltilmiş bir yolda ilerlediğinden, trafikteki diğer

taşıtların hareketini etkilememektedir. Bu tip yapılaşmalar genellikle iş yaşamının şehirde egemen olduğu bölgelere yerleştirilmelidir. Buna ek olarak yükseltilmiş yapıların şehrin görüntüsüne katkısı genelde olumsuz olmaktadır. Bu sebeple monoray tasarımları şehrin içinden geçen nehir, akarsu gibi hatları takip etmektedir. Bazı eski tasarımlarda kullanılan çelik yapılarda çevre gürültüsü söz konusu olmaktadır buna karşın yeni monoray hatlarında kullanılan raylar gürültünün azaltılması için betondan yapılmaktadır [3]. Bunun sonucunda, diğer raylı sistem hatlarından farklı olarak monoraylarda gürültüye neden olan temel etmenler, raylı taşıtın hareket etmesini ve durmasını sağlayan kısımlardır [15-17].

Monoray sistemlerinde taşıtlar, rayı kavrayarak hareket ederler. Hareketlerini, lastik tekerlekler ile genellikle betondan yapılmış kiriş/ray üzerinde gerçekleştirirler. Monoray taşıtının hareketini yönlendiren rayın üstüne oturtturularak (bindirme monoray), rayın üstünden gidebilir veya rayın altından (askıda monoray) (Görsel 3.7) hareket edebilirler. Rayın üstünden hareket edildiğinde rayın üst yüzeyiyle temasta olan tekerlekler ile taşıtın hareketi, rayın sağ ve sol tarafı ile temasta olan tekerlekler ile de monorayın dönüş hareketi yapması sağlanır; rayın altından hareket edildiğinde ise rayın bütünü kavranır. 80 km/saate hıza ulaşabilirler. Taşınabilecek yolcu sayısı, kullanılan vagon sayısına göre değişiklik gösterirler; monoray sistemlerinde, çoğunlukla 3 veya 6 vagonlu dizinler kullanılır [3, 10, 14, 16, 17].



Görsel 3.7. *Wuppertaler Schwebebahn askıda monoray örneği (http-4)*

3.6. Maglev (Manyetik Kaldırmalı) Sistemler

Maglev sisteminde hareket işlemi, raya yerleştirilmiş bobinler ve taşıtta bulunan mıknatısların kullanımı ile gerçekleşmektedir. Bobinlere alternatif akım enerjisi verilerek manyetik güç oluşturulması ile bobinlerin ve bobinler ile de raylı taşıt hareket ettirilir. Taşıt raylara temas etmeden hareketini sağladığı için rayda hareket ederken oluşan sürtünmeden kaynaklanan bir enerji kaybı yoktur; bundan dolayı manyetik kaldırma raylı ulaşım sisteminde kolaylıkla yüksek hızlara ulaşılabilir. Maglev sistemi raylı taşıtında tekerlekler olmadığı ve raylı hatta sürtünmeden kaynaklanan aşınma olmadığı için bakım maliyetleri ray üzerinde tekerlek ile hareketini sağlayan taşıtlara göre daha düşüktür. Maglev sistemi taşıtları (Görsel 3.8), 500 km/saat ve üzerinde maksimum hıza ulaşabilirler [10, 14, 18].



Görsel 3.8. Maglev (<http-5>)

3.7. Bölgesel Demiryolu Sistemi

Bölgesel demiryolu sistemi, merkezi şehir alanı ile sıkı bağları olan uydu kentler arasındaki (banliyö bölgesi) bağlantıyı sağlamak amacıyla kullanılan uzun mesafeli raylı

ulaşım sistemleridir. Bölgesel demiryolu sistemleri tam kontrollü yol kullanım hakkı diye de ifade edilen A sınıfı yol kullanım hakkında güzergâhlara sahiptir. Banliyöleşmenin fazla gelişmediğı veya hiç olmadığı ölkelerde şehirlerarası veya diğerk ölkelerin raylı hatları ile bağlantılı bir ray hattı bulunması halinde ölk sınırlarındaki şehirlerde ölkelerarası uzun mesafe yolculukları içinde kullanılmaktadır (Görsel 3.9). Uzun mesafe yolculuğı için kullanılması halinde, bölgesel demiryolu sisteminin şehir içi raylı ulaşım sistemleri ile bağlantılı olması büyük bir önem teşkil etmektedir. Çünkü bu ulaşım sisteminin kullanıcıları ile istasyondaki çalışanların ulaşım sistemine veya kent içinde gitmeyi amaçladıkları alanlara rahatça ulaşabilmeleri gerekmektedir [12].



Görsel 3.9. Bölgesel demiryolu sistemi (<http-6>)

Bölgesel demiryolu sistemlerinde yolculuk süreleri ve uzunlukları diğerk kent içi raylı toplu ulaşım sistemlerine göre yüksek olduğu için yolcu konforuna önem verilmektedir. Hat, genellikle bölgesel demiryolu araçlarına tahsis edildiğinden hemzemin geçitlerin dışındaki alanlarda karayolu taşıtları ile karşılaşmamaktadır. Hemzemin geçitlerde de yol önceliğı bölgesel demiryolu araçlarına aittir. Bölgesel demiryolu taşıtları, hareketlerini sağlayabilmek için fosil yakıt veya elektrik enerjisi kullanmaktadırlar. Duraklarının arasındaki mesafe 1200 metre ile 7000 metre arasında değişmektedir. Operasyonel hızları 40-75 km/saat arasındadır ve maksimum olarak 80-

130 km/saat düzeyinde hızlara ulaşılabilecek kapasiteleri bulunmaktadır. Tablo 3.4'te bölgesel demiryolu sistemlerinin bazı teknik özellikleri verilmiştir [3].

Tablo 3.4. *Bölgesel demiryolu sistemlerinin teknik ve operasyonel özellikleri [3]*

Özellikler	Bölgesel Demiryolu
Araç uzunluğu	20-26 m
Operasyonel hız	40-75 km/saat
Maksimum hız	80-130 km/saat
Duraklar arası mesafe	1200-7000 m
Yolcu kapasitesi	140-210

3.8. Tramvay Tren Sistemi

Tramvay tren sistemleri, kent içi ulaşım ile bölgesel şehirlerarası ulaşımın tek bir hat ve araç ile kat edilmesinin sağlandığı sistemlerdir. Hafif raylı sistemler ile bölgesel şehirlerarası ulaşım sistemlerini birleştirmiş bir sistemdir. Kentleşmenin ve bununla birlikte banliyö bölgelerine veya şehirlerarası ulaşım ihtiyacının artması ile ortaya çıkmışlardır. Bu tür sistemlerde kullanılacak olan hafif raylı sistem aracı hem elektrik hem de fosil yakıt enerjisini kullanılabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Kent içi ulaşımında kendine ait hattı kullanıp, bölgesel ve şehirlerarası ulaşımı sağlarken şehirlerarası taşımacılık yapan diğer trenlerle hattı paylaşmaktadırlar [3].

Kent içi bölgelerde yolu paylaşmak zorunda kalmadıkça kendileri kullanmaktadır. Banliyö bölgesine yönlendiklerinde ise bölgesel demiryolu hatlarına bağlanarak tam kontrollü yol kullanım hakkı olan A sınıfında yolculuk etmekte ve hemzemin geçitler dışında karayolu taşıtları ile yolu paylaşmamaktadırlar.

Dünya'da ilk kez Almanya'da kullanılmışlardır. Bu sistemin kullanıldığı banliyö bölgelerine olan ulaşım miktarında sistemin kullanılmaya başlanmasının ardından kullanıcı sayısında %30 ile %60 arasında artış gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda tramvay tren sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır; bu sistemi kullanmaya karar vermiş ülkeler hatlarında gerekiyor ise düzenlemeler yapmış ve sistemi kullanan ülkelerin ulaşım sistemlerinin birbirlerine daha kolay ve daha kapsamlı bir şekilde bağlanmasını sağlamışlardır [3].

Tramvay-tren sistemi (Görsel 3.10) kullanılarak, banliyöler ve şehirlerin dış bölgelerinde kalan yaşam alanlarında da artış gösteren karayolu kişisel taşıt kullanımının azaltılması, tramvay raylı toplu ulaşımı ile karayolu toplu taşıma taşıtlarının kullanımının teşvik edilmesi ve çevreye olabilecek zararın azaltılması sağlanmıştır [19].



Görsel 3.10. Tramvay Tren sistemi (<http-7>)

4. YOL KULLANIM HAKKI KAVRAMI

Ulaşımında yol kullanım hakkı, karayolu, demiryolu, yaya yolu ve bisiklet yolu gibi kişilerin kentlerdeki ulaşım isteklerini karşılaması için kullandığı yolların birbirlerinden ayrışma düzeyini ve bu yollara ait kullanım hakkını temsil etmektedir [20]. En basit tanımı ile yol kullanım hakkı tüm ulaşım araçlarının üzerinde ilerlediği güzergâh ve arazi yüzeyi olarak tanımlanabilir. Bu güzergâh ve arazi yüzeyi çeşitli ulaşım sistemlerinin teknik özelliklerine ve ihtiyaçlara göre farklılık göstermektedir.

Yol kullanım hakları yapısal olarak, yükseltilmiş veya alçaltılmış güzergâhlar, havai güzergâhlar, cadde düzeyinde bulunan güzergâhlar olarak ayrılmaktadır. Bir bölgede herhangi bir toplu taşıma ulaşım hattı konumlandırılmak istendiğinde, öncelikle bu alanın yol kullanım hakkının satın alınması (istisnai durum: tüneller) gerekmektedir. Bu satın alma işleminin sonunda alana istenilen ulaşım türü sistemi yapılabilmektedir [3].

Yol kullanım hakkı alınmış olan alanlar, istenilirse sadece bir tür ulaşım çeşidi tarafından özel olarak, bazense birçok çeşit ulaşım sistemi tarafından birlikte kullanılmaktadırlar. Ulaşım türünün alt ve üst yapı gereksinimleri, belirlenmiş bu alanlar içerisine konumlandırılmalı ve diğer kullanıcıların alanlarını işgal etmemelidir.

Yol kullanım hakkı, yolun kullanım biçimine göre 3 temel bölüme ayrılmaktadır. Bunlar:

- Ortak yol kullanım hakkı (tip C).
- Yarı-özel yol kullanım hakkı (tip B).
- Özel (Tam kontrollü) yol kullanım hakkı (tip A).

Aşağıdaki Tablo 4.1’de toplu taşıma araçlarının hareketlerini sağladığı yol kullanım haklarının temel kategorileri ve bu ulaşım sistemlerinin durakları arası mesafe ve servis sürekliliği gibi bazı özellikleri verilmiştir.

3 temel yol kullanım hakkı da çeşitli değişimlerden dolayı alt bölümlere ayrılmaktadır. Ortak yol kullanım hakkı olan tip C 3’e, yarı-özel yol kullanım hakkı olan tip B 5’e ayrılmaktadır. Özel yol kullanım hakkı olan tip A’da ise yol tamamı ile raylı taşıta ait olduğundan yol kullanım hakkının geliştirilmesi için herhangi bir değişim yapılmamakta, bundan dolayı bir ayırım bulunmamaktadır. Tablo 4.2’de yol kullanım hakları belirtilmiştir [21-25].

Tablo 4.1. Toplu ulaşım kategorileri yol kullanım hakkı ve tasarım özellikleri [21, 22]

Toplu taşıma kategorisi	Duraklar arası mesafe	Yol kullanım hakkı	Servis sürekliliği (saatte)	Kullanılan araç
Yerel	100m-400m	C	1 ve 20 arası (saate göre)	Otobüs/Tramvay
Yerel/özel	100m-400m (az sayıda)	Yerel C, Özel A veya C	Yerel ulaşım gibi onu destekleyici	Otobüs/Tramvay
Yarı Hızlı	300m-1000m	Çoğunlukla B, nadiren A veya C	4 ve 8 arası	Metrobüs/Hafif raylı sistem veya tramvay
Hızlı	400m-2000m	A	4 ve 30 arası	Metrobüs/Metro
Hızlı/Bölgesel	Kalabalık alanda hızlı taşıma, diğer yerler bölgesel gibi	A	4 ve 8 arası	Bölgesel otobüs/Metro
Bölgesel	≥2000m	A	1 ve 4 arası	Bölgesel otobüs/Bölgesel tren

Tablo 4.2. Yol kullanım hakları [22, 23]

Yol Kullanım hakkı sınıfı	Ana kategori	Alt kategori	Erişim denetimi açıklaması
Özel	A	Tip A	Yol yükseklik farkı ile tamamıyla ayrılmıştır.
		Tip B.1	Ayrı bir yolda hareket edilir.
		Tip B.2	Ortak kullanılan yol bordür ve bariyerle ayrılır.
Yarı-özel	B	Tip B.3	Ortak kullanılan yol bordür ile ayrılır.
		Tip B.4	Ortak kullanılan yol bordür, şerit ve şerit tanımlama ile ayrılır.
		Tip B.5	Yayalaştırılmış alanda hat paralel bir yola bitişik olarak konumlandırılır.
Özel olmayan	C	Tip C.1	Karışık trafikte ilerlenir.
		Tip C.2	Toplu taşıma hareket alanında ilerlenir.
		Tip C.3	Yayalaştırılmış alanda ilerlenir.

Yol kullanım haklarında alt kategorilerin bulunmasının nedeni, çeşitli iyileştirme çalışmaları yapılarak raylı toplu taşıma sistemi taşıtlarının yol önceliğinin düzenlenmiş olmasıdır. İyileştirme çalışmaları uygulayarak, yolun kullanım hakkını mümkün olduğunca bir üst düzeye yaklaştırmaya ve verilen raylı toplu taşıma hizmetinin de verimi yükseltilmeye çalışılmaktadır.

Raylı toplu ulaşım sistemlerinin yapımı sırasında sahip olunan yol kullanım hakkı bölgesi, durakların konumlandırılmasında büyük öneme sahiptir çünkü durakların konumu raylı toplu taşıma sisteminin hizmet alanını; hat ile durak çevresinde uygulanan iyileştirme çalışmaları da verilen ulaşım hizmetinin güvenliğini, güvenilirliğini ve ulaşım hizmetine erişim kolaylığını etkilemektedir.

4.1. Ortak Yol Kullanım Hakkı (Tip C)

Ortak yol kullanım hakkı olan tip C yol kullanım hakkı aynı zamanda cadde yüzeyi yol kullanım hakkı olarak da adlandırılmaktadır. Cadde yüzeyinde karma trafikte özel taşıtlar ve toplu taşıma araçları aynı alanı paylaşılmaktadır (Görsel 4.1). Bu tip yol kullanım hakkında, basit uygulamalar ile yol kullanım hakkında iyileştirme yapılabilmektedir. Yeterli alan olması halinde yolun, raylı sistemler ve karayolu taşıt türleri kullanımına göre ayrılması da mümkün olabilmektedir.



Görsel 4.1. *Tip C yol kullanım hakkı*

Herhangi bir toplu taşıma sistemine öncelik verilmek istendiğinde, sinyalizasyon sisteminin düzenlenmesi, çeşitli trafik elemanlarının kullanılması ve yol yapısında düzenlemeler, eklemeler yapılması gerekmektedir [26].

Tip C türü yol kullanım hakkında güzergâh ve arazi şeridinde raylı toplu ulaşım hattının yapımı aşamasındaki uygulamalar trafiği kesintiye uğratan ya da altyapının inşasını gerektiren uygulamalar olmadığından ve hatların altyapı ile üstyapı elemanları dışında maddi bir ihtiyaca gerek duyulmadığından, diğer yol kullanım hakkı tiplerine göre yatırım maliyeti en düşük tür olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tip yol kullanım hakkına sahip olan raylı ulaşım sistemlerinde, yolda herhangi bir düzenleme ve raylı sistem

taşıtının lehine bir iyileştirme işlemi yapılmadığında, ulaşım sisteminin seyir hızı genellikle direksiyonlu ulaşım modları ile yapılan ulaşımdan daha düşük olmaktadır [21, 27].

C tipi yol kullanım hakkında, karayolu ve raylı sistem taşıtları yolu birlikte kullandıklarından, bu durum toplu taşımanın güvenilirliğini ve güvenliği etkilemektedir. C tipi yol kullanım hakkının 3 alt grubu bulunmaktadır. Kişisel taşıtlar ile toplu taşıma sistemi araçları yolu birlikte kullandığında, yoldaki taşıt miktarı fazladır ve dolayısıyla güvenli bir hizmet vermek amacıyla toplu taşıma araçlarının trafikteki seyir hızı düşüktür. Bunlara ek olarak C tipi yol kullanımı hakkında, sadece toplu taşıma araçlarının kullanımına ayrılmış ve kişisel taşıtların bulunmadığı güzergâhlar da vardır. Bu tür ulaşım da toplu taşıma aracının hızı, karma trafiğin olduğu bölgelere nazaran daha yüksek olabilir ama yine de karayolu ve raylı sistem toplu taşıma araçları aynı yolda hareket ettiğinden raylı taşıtların hareket hızları sınırlıdır; başka bir taşıtla çarpışma riski bulunmaktadır. Sadece yayalar ve raylı toplu taşıma araçlarının aynı alanları kullandığı yayalaştırılmış, karayolu taşıtlarının bulunmadığı bölgelerde de tip c yol kullanım hakkına rastlanır. Bu durumdaki raylı sistem taşıtları, yayalara dikkat ederek hareket etmek zorunda olduğundan düşük hızda hareket etmektedirler çünkü herhangi bir kaza olduğu takdirde, ağır yaralanma ve hatta ölümle sonuçlanma ihtimali yüksektir [23].

Karma trafikte yol alan raylı toplu taşıma sistemlerinin yol kullanım önceliğinin düzenlenmesi ve karayolu trafiğinden olabildiğince ayrıştırılarak verilen ulaşım hizmetinin performansının artırılması için yapılabilecek çeşitli iyileştirme çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalar aşağıda sıralanmıştır [28];

- Yaya yolu,
- Sinyalizasyon sistemi,
- Alt ve üst geçitler,
- Trafik levhaları,
- Sarı şerit,
- Bordür,
- Bariyer,
- Bitkilendirme çalışması,
- Alanın yayalaştırılması,
- Çevre düzenlemesi çalışması.
- Yolun yükseltilmesi veya alçaltılması (kot farkı oluşturma)

Ortak yol kullanım hakkına sahip bir raylı toplu ulaşım sistemi hattı tasarlanmak istendiğinde hattın, şehir ile uyumlu ve karayolu toplu taşıma sistemleri ile bütünleşik şekilde yapılması gerekir.

4.2. Yarı-Özel Yol Kullanım Hakkı (Tip B)

Yarı-özel yol kullanım hakkı olan tip B yol kullanım hakkında, raylı toplu taşıma aracı, cadde yüzeyinde veya yükseltilmiş yüzeylerde hareketini sağlamaktadır. Raylı ulaşım hattı boyunca taşıt, genelde karayolu araçlarından ayrı bir alanda ilerler ama yayaların kullanması için gerekli yaya geçiş alanları ve karayolu taşıt yolu ile kesişim bölgelerinde hemzemin geçitler olabilir. Köprüden geçilmesi gerekiyor ise alanın karayolu taşıtları ile ortak kullanılması gerekli olabilir; cadde yüzeyinde hareketin olduğu kavşaklar ve dönüş yapılması gereken bölgelerde de karayolu taşıt trafiği ile karşılaşılır; bu alanlarda geçiş önceliği raylı toplu taşıma araçlarına aittir [27, 29].

Tip B yol kullanım hakkında bir raylı ulaşım sistemi yapılması, tip C yol kullanım hakkına nazaran daha maliyetlidir. Çünkü B tipi yol kullanım hakkına sahip alanlarda, taşıt sistemlerinin hareketi için gerekli olan altyapı ve üstyapı sistemlerinin yanı sıra yolun kullanım hakkı da satın alınmalı, güzergâhta ve arazi şeridinde değişiklikler yapılmalıdır. Bunlara ek olarak karayolu taşıtlarının trafiği ile tip B yol kullanım hakkına sahip raylı toplu taşıma araçlarının hareket bölgesinin ayrımı için gerekli engeller, raylı sisteme özel, gelişmiş sinyalizasyon sistemi gibi teknolojik aletler kullanılması gerekmektedir. Bundan dolayı ilk yatırım maliyeti tip C'e göre daha yüksektir [24].

Yarı-özel yol kullanım hakkı (Görsel 4.2) 5 alt gruba ayrılmaktadır. Bu alt gruplar [13]:

- Raylı hattın yayaların hareketini sağladığı paralel ve bitişik şekilde konumlandırılması,
- Sarı şerit ile bordür kullanımıyla raylı hattın belirtilmesi veya sadece raylı taşıtın hareketini sağladığı bir şerit oluşturulması,
- Bariyer ve bordür kullanılması,
- Hattın bütününde bariyer kullanılması,
- Sadece raylı hattın bulunduğu ayrı bir yol yapılmasıdır.



Görsel 4.2. Yarı-Özel yol kullanım hakkı örneği (http-8)

Yarı özel yol kullanım hakkına sahip raylı toplu taşıma hatlarında yol kullanım hakkında yapılabilecek iyileştirme çalışmaları:

- Yaya yolu,
- Sinyalizasyon sistemi,
- Raylı hattın bulunduğu yol kısmında kot farkı oluşturulması,
- Bitkilendirme çalışması,
- Bariyer,
- Hattın bulunduğu bölgenin yayalaştırılması,
- Tünel ve viyadük kullanımı,
- Çevre düzenlemesi çalışması.

Tip B yol kullanım hakkına sahip yollarda hareket eden raylı toplu taşıma araçları, nüfus yoğunluğu kent genelinde yüksek olan alanlarda, kent merkezi, sanayi bölgeleri ve yaşam alanları arasında ulaşım hizmeti vermektedirler. Nüfus yoğunluğunun daha az olduğu bölgelerde, alt türlerde işleyen diğer raylı veya karayolu toplu taşıma araçlarının entegrasyonu ile tip B yol kullanım hakkında hareket eden raylı toplu taşıma sistemlerine erişim kolaylığı sağlanmış olur.

Kent içi ulaşımında B tip yol kullanım hakkına sahip bir hat planlanırken, eğer A tipi yol kullanım hakkına sahip olan bir raylı ulaşım sistemi yoksa, B tipi yolda hareketini

sağlayan raylı toplu ulaşım hizmeti, kentteki ulaşımın merkezinde olacak şekilde mevcut sistem ile bütünleştirilip kullanıcıların yaya olarak veya diğer toplu taşıma araçları ile bu hatta ulaşabilmeleri sağlanmalıdır [3].

4.3. Özel Yol Kullanım Hakkı (Tip A)

Özel yol kullanım hakkı olan tip A yol kullanım hakkına sahip hatta hareket eden raylı taşıt, güzergâhın büyük bir çoğunluğunda kendisine ait yollarda hareket etmektedir ve diğer taşıtlarla karşı karşıya gelmemektedir (Görsel 4.3). Aynı zamanda tam kontrollü yol kullanım hakkı olarak da isimlendirilmektedir. İstasyon tasarımları güzergâha göre yer altında ya da yer üstünde olabilmektedir.



Görsel 4.3. Özel yol kullanım hakkı örneği (<http-9>)

Özel yol kullanım hakkında herhangi bir alt grup yoktur. Bu yol kullanım hakkına sahip raylı sistem taşıtları, sadece kendilerine ait kot farkına sahip yollarda (tüneller, viyadükler vb.), köprülerde veya karayolu taşıtları ile kesişmeden cadde yüzeyinde kent içi hareket gerçekleştirmektedirler [13].

Yol kullanım hakları arasında maliyeti en yüksek olan gruptur. Hareketini sağladığı yolun büyük çoğunluğu, güzergâh planlanmasından sonra kullanılacak olan raylı sistem

taşıtının hareketinden zarar görmeyecek şekilde düzenlenerek yapılmaktadır ve tamamıyla raylı sistem aracına aittir [24].

Tip A yol kullanım hakkına sahip raylı toplu ulaşım aracı, bulunduğu şehrin ulaşımının temelini oluşturmaktadır. Güzergâh planlaması yapılırken hat, kenti oluşturan kilit noktalardan ve yüksek nüfus yoğunluğunun görüldüğü alanlardan ilerleyecek şekilde düzenlenmelidir. Bu tür yol kullanım hakkına sahip ulaşım sistemlerinin, günlük taşıyabildiği yolcu sayısı diğer yol kullanım hakkı türlerinde hareket eden toplu ulaşım türlerine göre yüksektir.

4.4. C ve B Sınıfı Yol Kullanım Hakkı İyileştirme Çalışmaları ve Uygulamaları

Kent içi raylı ulaşım sistemleri farklı yol kullanım önceliklerine sahip oldukları için hareket hızları ve verimleri de farklılık göstermektedir. C ve B sınıfı yol kullanım hakkına sahip olan raylı ulaşım sistemlerinde, hat boyunca, duraklarda ve kesişim alanlarında çeşitli düzenlemelerin yapılması ile hizmetin iyileştirilmesi amaçlanır. İyileştirme çalışmaları, hattın ilk yapıldığı biçime de bağlı olarak sınırlı etkiye sahiptir. Bir üst düzey yol kullanım hakkına sahip güzergâha geçilmek istendiğinde, hatta ve hat çevresinde maliyeti yüksek, genel toplu ulaşım trafiğini kesintiye uğratan ve uzun sürecek düzenlemeler yapılmalıdır. Bu tip iyileştirme çalışmaları yapılırsa bile sadece güzergâh konusunda gelişmeler sağlanabilirken, hız, kapasite, konfor, güvenilirlik ve güvenlik ölçütlerinde yetersizlikler devam edebilir.

Hatta ve durak çevresinde yapılabilecek olan gelişmiş veya basit iyileştirme çalışmalar vardır. Düzenlemelerde kullanılan trafik elemanları ve yol yapıları şunlardır:

- Sarı şeritler,
- Bordürler,
- Trafik levhaları,
- Yaya yolları,
- Bitkilendirme çalışmaları,
- Yatay düzlem trafik işaretleri,
- Bariyerler,
- Sinyalizasyon sistemleri,
- Alt ve üst geçitler,
- Raylı hat yükseltilerek veya alçaltılarak kot farkı oluşturulması,
- Alanın yayalaştırılması,

- Tüneller ve viyadüklerin kullanılması,
-  evre düzenleme  alışması.

Yukarıda belirtilen düzenlemeler tek tek güzergâh boyunca uygulanabileceği gibi bunların birlikte kullanımları da söz konusudur [30-34].

4.4.1. Sarı şerit uygulaması

Tramvayın hareket ettiği güzergâhın kolay bir biçimde fark edilmesini sağlar. Yolda sarı şerit kullanımı ile taşıtın ilerleyiş alanı belirtilip karayolu taşıtları ve yayaların hareket ederken dikkat etmeleri, mümkünse giriş yapmamaları gereken alan gösterilir. Zaman ile dış etkenlerden dolayı yok olabileceği için sürekli olarak kontrol edilip yenilenmelidir. Fiziksel olarak raylı hatta girişi engelleyememektedir ve hattın yapımı sırasında veya hat kullanıma başlandıktan sonra da yola eklenebilir. Eskişehir tramvay hattı (Görsel 4.4), Avustralya'nın Melbourne kenti tramvay güzergâhında (Görsel 4.5) raylı sistem aracının hareket alanını belirtmede kullanılan sarı şeritle iyileştirme çalışması örnekleri verilmiştir.



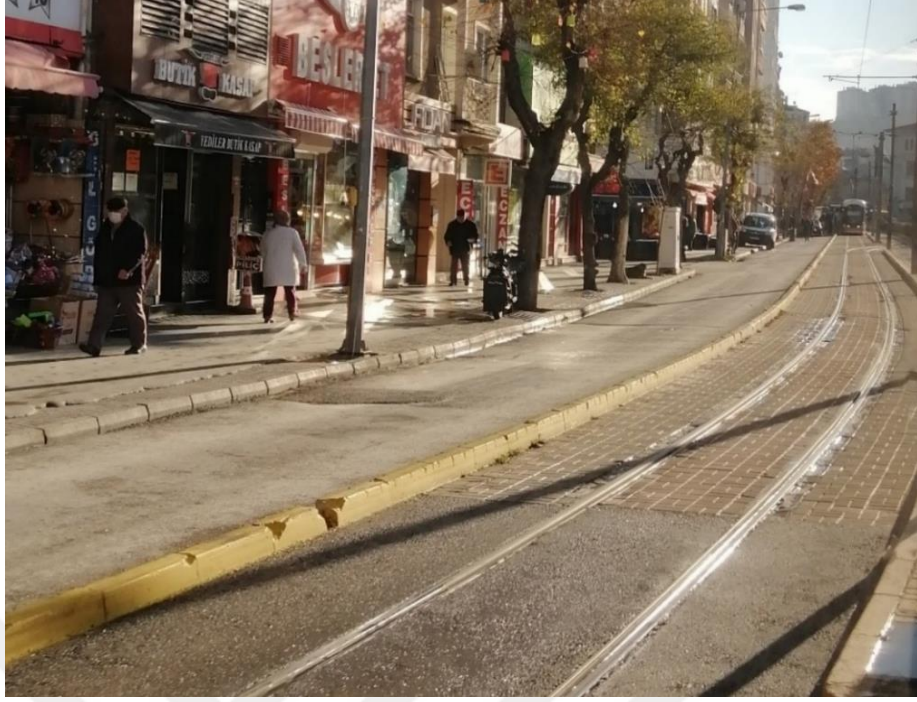
Görsel 4.4. Eskişehir tramvay hattı sarı şerit kullanımı



Görsel 4.5. *Avustralya, Melbourne tramvay güzergahında sarı şerit kullanımı [32]*

4.4.2. Bordür

Bordür, tramvay ve hafif raylı sistem araçlarının hareketlerini sağlarken raylı sistem hattına karayolu taşıtlarının girişini engellemek için kullanılan basit bir trafik elemanıdır. Hattın kenarlarında az da olsa bir yükselti oluşturarak normal bir trafikte hatta karayolu taşıtı girişini engeller; lakin oluşturulan engelin yükseltisi az olduğundan yayaları veya hayvanları engelleyici bir işlev görmez. Hattın ilk yapım aşamasında eklenmese de sonradan istenilen bölgeye rahatlıkla eklenebilir. Bordürler, boya yardımı ile daha dikkat çekici hale getirilip, geceleri karayolu taşıtları tarafından rahatça görülebilmeleri sağlanabilir. Eskişehir (Görsel 4.6) tramvay hattı ile Kuzey Amerika hafif raylı sistem güzergâhında (Görsel 4.7), hatta karayolu taşıtının girişini engellemek için bordür kullanılarak yapılmış iyileştirme çalışması örnekleri verilmiştir.



Görsel 4.6. *Eskişehir tramvay hattı bordür kullanımı*



Görsel 4.7. *Kuzey Amerika hafif raylı sistem hattında bordür kullanımı [13]*

4.4.3. Trafik işaretleri

Trafik işaretleri, dikey düzlemde levhalar ve yatay düzlemde de yolun üstünde boya yardımı ile yapılırlar. Trafik levhaları, tramvay ve hafif raylı sistem hatlarının ve duraklarının çevresinde karayolu araçlarının hızlarının sınırlandırılması, dönüş

hareketlerinin düzenlenmesi ve yaya yolu ile sinyalizasyon gibi trafik elemanlarının belirtilmesi için kullanılmaktadırlar. Ayrıca bir raylı sistem güzergâhının varlığını veya aktif levhalar ile raylı sistem aracının yaklaştığını belirtmek için de kullanılırlar. Trafikteki diğer kullanıcılara herhangi bir fiziksel engel teşkil oluşturmazlar ve yerleştirdikleri alanda, sürücü veya yaya her türlü kullanıcı tarafından görülebilecek şekilde konumlandırılmış olmasına dikkat edilmelidir. Yatay düzlemdeki trafik işaretleri, yaya yolları gibi, boya kullanımı ile yol yüzeyine yapılmaktadırlar. Yaya yolunun bulunduğu bölgelerde sinyalizasyon sistemi olmaksızın yayaya öncelik vermek için veya trafik levhaları gibi karayolu taşıtlarının hız ve dönüş hareketinin düzenlenmesinde kullanılmaktadırlar. Melbourne (Görsel 4.8) ve Barselona’da (Görsel 4.9) tramvay hattının çevresinde karayolu trafiği ile taşıt hareketlerini kontrol etmek ve yayaların hareketini kolaylaştırmak amacıyla trafik levhası; Barselona tramvay hattında raylı aracın hareket yönünü belirtmek için yatay düzlemde trafik işareti (Görsel 4.10) kullanımı örnekleri verilmiştir.



Görsel 4.8. Melbourne tramvay güzergahı çevresinde trafik levhası kullanımı [32]



Görsel 4.9. *Barcelona tramvay hattında trafik levhası kullanımı (http-10)*



Görsel 4.10. *Barcelona tramvay hattında yatay düzlem trafik işareti kullanımı (http-10)*

4.4.4. Yaya yolu

Yaya yolları, insanların trafikteki hareketini düzenlemek için kullanılan basit trafik elemanlarıdır. Yolun üst yüzeyine boya kullanılarak çizildikleri için kalıcı değildir ve sürekli olarak bakım gerektirir. Tramvay ve hafif raylı sistem durakları etrafında ve karayolu trafiği ile kesişim alanlarının bulunduğu noktalarda, sinyalizasyonlu veya sinyalizasyonsuz kullanılarak yayaların trafik içinde hareket akışını kolaylaştırıp, yayanın istediği alana güvenli bir biçimde ulaşmasını sağlamak için kullanılırlar. Eskişehir (Görsel 4.11) ve Melbourne (Görsel 4.12) şehirlerindeki tramvay hatları ile Helsinki kenti (Görsel 4.13) yerel demiryolu hattında, yayaların raylı ulaşım sistemi durağına kolay erişim sağlaması amacıyla kullanılan yaya yolu çalışma örnekleri verilmiştir.



Görsel 4.11. *Eskişehir tramvay hattında yaya yolu kullanımı*



Görsel 4.12. *Helsinki yerel demiryolu güzergahında yaya yolu kullanımı [21]*



Görsel 4.13. Melbourne tramvay güzergahında yaya yolu kullanımı [35]

4.4.5. Bitkilendirme çalışmaları

Tramvay ve hafif raylı sistem hatlarının çevresinde farklı boyut ve uzunlukta bitkilendirme çalışmaları yapılarak hat hem görsel olarak geliştirilebilir, şehir ile görsel uyum sağlanabilir, hem de fiziksel olarak karayolu taşıtlarının ve yayaların hatta girişi engellenebilir. Bitkilendirme çalışmaları hattın ilk yapımı sırasında yapılabileceği gibi sonradan da yapılabilmektedirler. Rotterdam (Görsel 4.14) ve Barselona (Görsel 4.15) şehirlerindeki tramvay güzergâhlarında, karayolu taşıtları ve yayaların raylı hatta girişini engellemek için yapılmış bitkilendirme çalışmalarına örnekler verilmiştir.



Görsel 4.14. Rotterdam tramvay hattı bitkilendirme çalışması (<http-11>)



Görsel 4.15. *Barselona tramvay hattı bitkilendirme çalışması (http-12)*

4.4.6. Bariyerler

Bariyerlerin ve çitlerin raylı sistem hattında kullanılmasıyla ray hattı ile diğer karayolu araçlarının kullandığı yol birbirlerinden fiziksel olarak ayrılmaktadır. Eğer gerek görülürse yayaların da hareketini düzenlemek, sinyalizasyon sistemine uyumu arttırmak ve tramvay hattına ani girişlerin engellenmesi için de kaldırımlarda, bariyerler ve çitler kullanılmaktadır. Bu tür trafik elemanlarının iyileştirme çalışmalarında kullanımında tasarıma dikkat edilmelidir. Bariyerlerin, rahat bir şekilde aşılamayacak bir uzunlukta ve eğer boşluklu bir yapıda ise boşlukların çocuk veya yetişkin insanlar ile hayvanların geçemeyeceği bir biçim ve boyutta olması gerekir. Hatta daha sonradan eklenebileceği gibi yapım aşamasında da eklenebilir. Özellikle yoğun yaya ve karayolu trafiği bulunan yollarda ve raylı hattın yolun bir kenarına dayalı olduğu bölgelerde de kaldırımlarda, yayaların hatta veya karayolu trafiğine girişini engellemek için kullanılabilirler. Eskişehir (Görsel 4.16) tramvay hattında karayolu taşıtları ile yayaların hatta girişini engellemek için ve Bursa (Görsel 4.17) hafif raylı sistem hattında raylı hattın karayolundan ayırmak için bariyer kullanımına ait örnekler verilmiştir.



Görsel 4.16. *Eskişehir tramvay güzergahında bariyer kullanımı*



Görsel 4.17. *Bursa hafif raylı sistem hattında bariyer kullanımı (http-13)*

4.4.7. Sinyalizasyon

Sinyalizasyon sistemleri, trafiğin yoğun olduğu ve kavşakların bulunduğu bölgelerde, trafiği sakinleştirmek ve düzenlemek, raylı sistem taşıtlarının yol kullanım önceliğini ayarlamak ve yayaların trafik içindeki hareketlerin kolaylaştırmak için kullanılmaktadırlar. Raylı sistemlerde, sinyalizasyonun kullanılacağı yerler ve sinyal fazlarının düzenlenmesi, hattın planlaması sırasında belirlenmeli ve yapımı sırasında gerçekleştirilmelidir. Yol yapısında değişiklikler yapılır ise sinyalizasyona ihtiyaç duyulduğu düşünülen alan oluşması ihtimalinde sonradan da eklenebilirler [3, 35].

Raylı taşıtlar, karayolunda kullanılan sinyalizasyon sistemleri ile aynı görünüşteki sinyalizasyon sistemlerini kullanabilirler lakin benzerlik sebebiyle algılama sorunları oluşabileceği için raylı ulaşım sistemlerinde farklı görünümde sinyal sistemleri kullanılarak bu sorunların oluşması engellenebilmektedir. Eğer karayolu trafiğinde kullanılan sinyalizasyon istemlerinden farklı, raylı sistem hattına özel bir sinyalizasyon sisteminin kullanımı mümkün değil ise karayolu ve raylı sistem hatlarının sinyalizasyon sistemleri arasında sinyal emirlerinin karıştırılmasını engelleyecek bir mesafe bırakılarak, sürücülerin dikkatsizliğinden kaynaklanan sorunlar engellenebilir [7, 23].

Sinyalizasyon sisteminin düzenlenmesi sırasında sürücülere sinyal fazlarına uyabilmek için yeterince süre verilmeli ve faz değişimleri arasında, taşıtların veya yayaların ani bir hareketi sonucu herhangi bir kaza olmasını engellemek için trafik akışını negatif etkilemeyecek şekilde bir zamanlama ayarlanmalıdır [33, 37].

Eskişehir’de karayolu ve tramvay hattının kavşakta kesiştiği bölgede karayolu trafiğini düzenlemek için (Görsel 4.18) ve tramvayın hareketini düzenlemek için (Görsel 4.19) kullanılmış sinyalizasyon sistemleri ile Kuzey Amerika hafif raylı sistem güzergahında bir hemzemin geçitte, raylı araç yaklaştığında yayaları uyarıcı bir işlev gören sinyalizasyon sistemi (Görsel 4.20) örneği verilmiştir.



Görsel 4.18. *Eskişehir karayolu trafiği sinyalizasyonu*



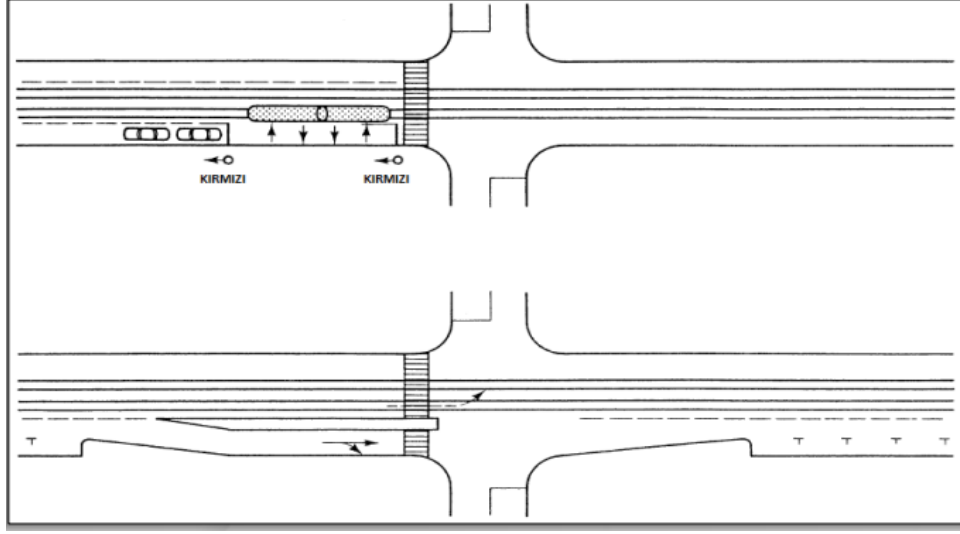
Görsel 4.19. *Eskişehir tramvay hattı sinyalizasyonu*



Görsel 4.20. Kuzey Amerika hafif raylı sistem hattında sinyalizasyon ve bariyer kullanımı [13]

4.4.7.1. Sinyal adası kavramı ve bordürlü ada tasarımı

Doğrudan karayoluna inme hareketi yapılan güzergâhların duraklarında yolcuların güvenliğinin sağlanması ve sisteme erişimlerinin kolaylaştırılması amacıyla sinyal sistemleri kullanılarak oluşturulan güvenli bölgeye sinyal adası denir. Bu tip uygulamaların olduğu raylı sistem ulaşım güzergâhı duraklarında, yolcuların raylı sistem aracına iniş ve binişini gerçekleştirmek için bir durak oluşturulmamıştır. Ulaşım hizmetinin kullanımının kolaylaştırılması amacıyla alandaki trafik yoğunluğundan dolayı yolcuların hareketinin tehlikeli olduğu durakların çevresinde yeterli alan bulunması halinde bordürlü ve fiziksel olarak karayolundan ayrılmış bölgelerde oluşturulabilir (Görsel 4.21) [3].



Görsel 4.21. Sinyal adası ve bordürlü ada oluşumu [3]

4.4.8. Alt/üst geçit kullanımı

Alt ve üst geçitler, trafiğin aşırı yoğun olduğu kavşaklar gibi alanlarda yayaaların yolun diğer tarafına geçişini daha güvenli bir şekilde gerçekleştirmek veya durağa erişimi kolaylaştırmak, raylı toplu taşıma hattının bulunduğu yolun yayalar ile paylaşılmasını engellemek, güzergâhın çevresindeki yaya ve taşıt trafiğini sağlamak, yer altında konumlandırılmış olan istasyonlara ve istasyon çevresindeki ticaret alanlarına bağlantı sağlamak için kullanılırlar. Dubai tramvay güzergâhında yayaların hareketini kolaylaştırmak için üst geçit kullanımı örneği verilmiştir (Görsel 4.22) [38].



Görsel 4.22. Dubai tramvay güzergâhında üst geçit kullanımı (http-14)

4.4.9. Yolun yükseltilmesi/alçaltılması çalışmaları

Karayolu ile raylı hat arasında yükseklik farkı oluşturan bu çalışmalar, tramvay hattına karayolu taşıtlarının ve yayaların giriş yapmasını engellemek için raylı hattın alçaltılması veya yükseltilmesi ile fiziksel engel oluştururlar. Raylı sistem hattına karayolu taşıtlarının ve yayaların girişini engellemek dışında raylı hattaki eğim düzeyinin iyileştirilmesi ve olabildiğince düşük düzeyde tutulması amacıyla da kullanılırlar. Eskişehir tramvay hattında, raylı aracın kat etmesi gereken eğimin düşürülmesi ve karayolu taşıtlarının hatta girişinin engellenmesi için yapılmış yol alçaltma çalışması örneği verilmiştir (Görsel 4.23).



Görsel 4.23. Eskişehir tramvay hattında bir kot farkı oluşturulması örneği

4.4.10. Alanın yayalaştırılması

Bir alanın yayalaştırılması, raylı hattın bulunduğu güzergâhın karayolu taşıtlarına bütünüyle kapatılarak veya bu taşıtların alana girişi sınırlandırılarak, yolun sadece yayaların kullanımına açılmasıdır. Yayalaştırma işlemi yasal olarak uygulanabileceği gibi karayolu taşıtlarının geçişi için alan bulunmayan yollarda kendiliğinden de gerçekleşebilir ve bu tür alanlardaki durakların zaman çizelgesi düzenlenirken, yayaların hareketinin engellenmemesi için raylı taşıtların art arda sıralanarak bir duvar oluşturması engellenmelidir. Yayalaştırılmış bölgeler şehrin yaşanabilirliğine de katkı yapmaktadır.

Eskişehir (Görsel 4.24), Attika (Görsel 4.25) ve Tours (Görsel 4.26) şehirlerinde tramvay hattının bulunduğu bölgenin yayalaştırılarak raylı hatta karayolu taşıtının girişinin engellendiği örnekler verilmiştir [39].



Görsel 4.24. Eskişehir tramvay güzergahı, yayalaştırılmış alan



Görsel 4.25. Yunanistan, Attika tramvay güzergahı yayalaştırılmış alan [22]



Görsel 4.26. *Fransa, Tours şehri tramvay güzergahında yayalaştırılmış alan [39]*

4.4.11. Tüneller ve viyadükler

Tüneller ve viyadükler tip C yol kullanım hakkına nazaran, tip B ve tip A yol kullanım haklarının bulunduğu güzergâhlarda uygulanmaktadır. Arazi koşullarının zorlu buna karşın nüfus yoğunluğu düşük olan şehirlerde tip C yol kullanım hakkına sahip güzergâhta hareket eden raylı toplu taşıma sistemlerinde de erişimi zorlu bölgelere ulaşımı sağlamak amacıyla kullanılabilirler. Tüneller, raylı sistem güzergâhında bulunan dağ gibi doğal engelleri aşıp verilen ulaşım hizmetinin hızının artırılması ve yerin altından hareketin gerekli olduğu durumlarda kullanılırlar. Tüneller, yüksek maliyetli ve yapımı sırasında çevreye büyük etkisi bulunan bir yapı olduğundan tasarımlarında dikkatli olunmalıdır. Viyadükler ise vadilerin ve ırmak gibi su kütlelerinin bulunduğu bölgelerde, yüksek noktalarda bulunan iki alan arasındaki mesafeyi kısaltacak şekilde köprü ile birleştiren yapılardır. Kent içi toplu taşıma sistemi güzergâhındaki viyadükler ve tüneller sadece toplu taşıma hizmetini veren taşıta aittir; bu bölgelerde tip A yol kullanım hakkı uygulanmaktadır. Sydney hafif raylı sistemi güzergâhında bulunan bir tünel (Görsel 4.27) ve Ottawa (Görsel 4.28) hafif raylı sistem güzergâhında tünel kullanımı örneği verilmiştir.



Görsel 4.27. Sydney hafif raylı sistem metrosu Glebe tüneli girişi (<http-15>)



Görsel 4.28. Ottawa hafif raylı sistem güzergahı tünel kullanımı (<http-16>)

4.4.12. Kavşak ve çevre düzenlemesi çalışması

Kent içi raylı toplu taşıma sistemi güzergâhının çevresinde ve raylı hattın karayolu ile kesiştiği alanlarda, trafiğin akışının düzenlenmesi, şehir ile görsel uyumun sağlanması ve raylı sistem aracı ile yayaların hareketlerinin kolaylaştırılması için yolun tekrar düzenlenmesi ile yapılan çalışmalardır. Eskişehir tramvay ağı Ulus Anıtı (Gar) durağı

evresinde yapılmış düzenleme alışması (Görsel 4.29) ve çalışmanın yapım aşamasına ait (Görsel 4.30) görseller verilmiştir.



Görsel 4.29. *Eskişehir Ulus Anıtı (Gar) durağı evre düzenlemesi yapılmış hali*



Görsel 4.30. *Eskişehir Ulus Anıtı (Gar) tramvay durağı ve çevresi yapım aşaması (<http-17>)*

5. TRAMVAY DURAKLARININ HİZMET PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ METODOLOJİSİ

C sınıfı yol kullanım hakkına sahip ve karma bir trafikte faaliyet gösteren tramvayların sundukları hizmetin performansını etkileyen birçok unsur vardır. Bunlar taşıt içi konfor, durak konforu, zaman çizelgesine uyum, güvenlik, erişim kolaylığı, ulaşım hizmeti bilgisine erişim, personel davranışları, kullanım ücreti ve diğer tür toplu taşıma sistemleri ile entegrasyon düzeyi olarak sıralanabilir [11, 22, 35, 36, 40-59]. Bunlara ek olarak güzergâh seçimi ve planlanmış güzergâhların incelenmesinde de topografik ve alan nüfusu gibi kriterler üzerinden hizmet performansı incelemesi yapılır [5, 60].

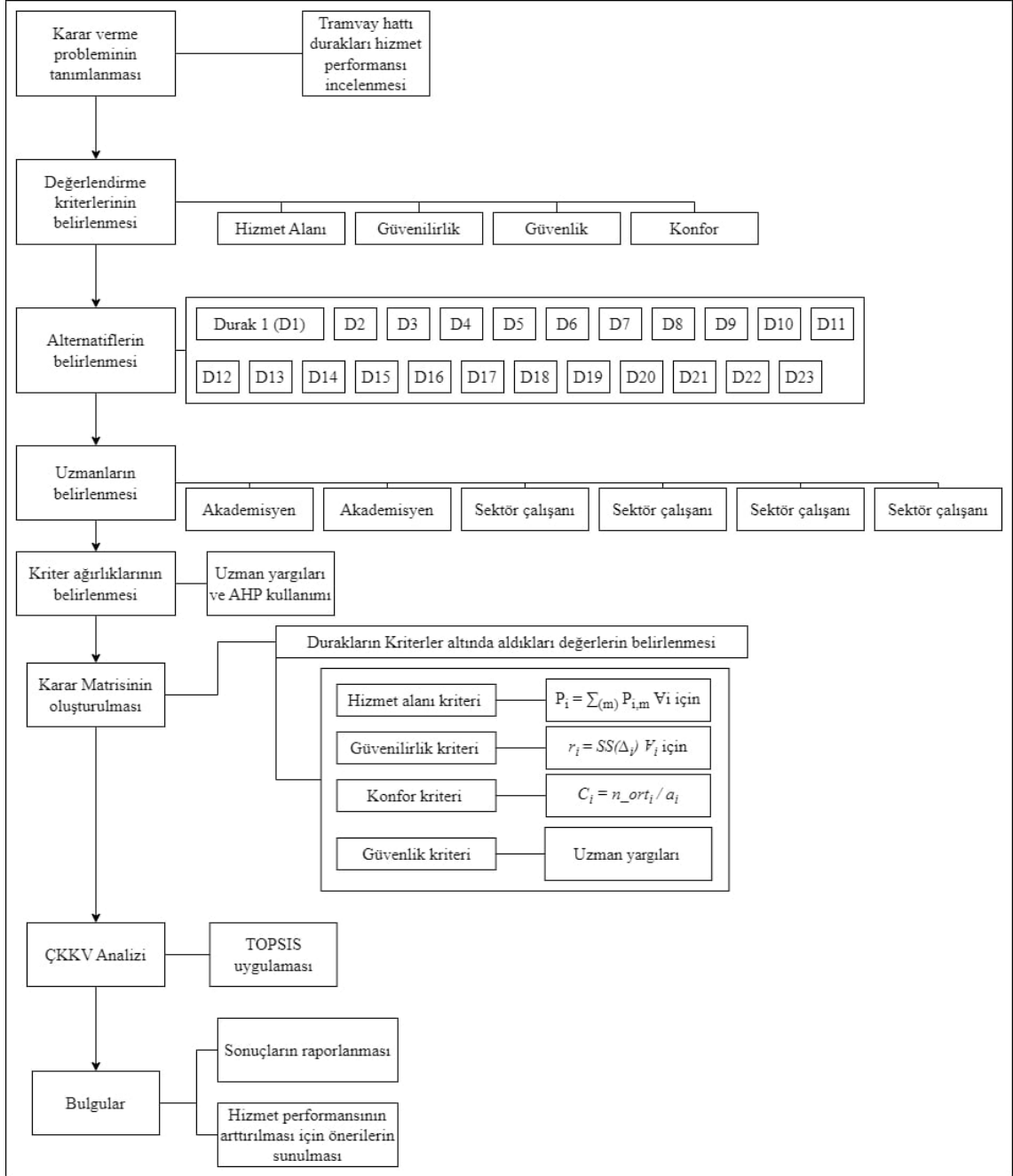
Tramvay sisteminin hizmet performansında belirleyici unsurlardan biri olan duraklarla ilgili unsurlar da sistemin inşa aşamasında büyük önem kazanır. Raylı sistemlerde hat planlaması yapılırken; durakların konumu, çevrelerinin tasarımı ve kullanıcıların ulaşım sistemine erişim şartları gibi çeşitli unsurlar dikkate alınır [35]. Hat planlamaları yapılırken her ne kadar güzergâhların ve durak konumlarının ideal koşullarda belirlenmesi amaçlanmış olsa da her durağın hizmet kalite düzeyi aynı seviyede olmayabilir. Kullanıcıların, çeşitli sebeplerden dolayı toplu ulaşım duraklarını kullanma isteğinin düşük olması, ilgili toplu ulaşım sisteminin daha az tercih edilmesine ve dolayısıyla sistem veriminin düşmesine ve işletme maliyetlerinin yükselmesine neden olduğundan, durakların hizmet performansları, önemli bir araştırma alanıdır. Bu çalışmada tramvay hattının yolcu hizmet kalitesini arttırabilmek amacıyla tramvay duraklarının hizmet performansları değerlendirilmiştir. Duraklar, toplu ulaşım hizmetinde yolcuların sunulan ulaşım hizmetiyle ilk karşılaştığı alanlar olup, kullanıcıların sistemi kullanmaları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bir hat üzerindeki durakların hizmet performanslarının incelenmesi ile duraklarla ilişkili iyileştirme yapılması gereken alanlar belirlenebilir ve böylece sunulan hizmetin daha cazip hale getirilmesi sağlanabilir.

Tramvay duraklarının hizmet performansları, potansiyel kullanıcıların durağa olan uzaklığı, durağa erişim ve genel durak güvenliği ve duraktaki bekleme koşulları ile taşıtın durağa vaktinde gelmesi gibi çeşitli unsurlara bağlı olarak yapılabileceğinden, araştırma çok kriterli bir karar verme problemi olarak ele alınmıştır. Değerlendirme ölçütleri; durakların konumu itibarıyla ulaşım sistemini kullanabilecek potansiyel kullanıcılarının sayısı (hizmet alanı), tramvayın ilgili duraktaki önceden belirlenmiş olan zaman

izelgesine uyumu (güvenilirlik), yolcuların durağa ulaşımında güvenliğini sağlayan ve yolcu için çevreden gelebilecek riskleri etkileyen etmenler (güvenlik) ile durak içinde yolcuların tramvayı bekleme sürecindeki konfor düzeyleri (konfor) olarak belirlenmiştir. Bir tramvay hattı üzerindeki durakların ilgili unsurlarla ilişkili hizmet performans değerlendirmesi için, ÇKKV yaklaşımına sahip bir metodoloji bu çalışmayla sunulmuştur.

Geliştirilen metodolojide, tramvay duraklarının hizmet performansının ÇKKV yaklaşımı ile değerlendirilebilmesi için öncelikle problem ve amaç tanımlanmıştır. Performans değerlendirmesi için ele alınacak ölçütler, yapılan literatür incelemesi sonrasında hizmet alanı, güvenilirlik, konfor ve güvenlik olarak belirlenmiştir. Tramvay durakları, ÇKKV yaklaşımı kapsamında alternatif olarak kabul edilmiş ve problemle ilişkili uzman görüşlerine yönelik veri kaynağı olarak uzman belirlemesi yapılmıştır. Uzmanlara alışma hakkında kapsamlı bilgi verilmiş ve çalışmaya katılım onayları sözlü olarak alınarak AHP göreli önem lği tanıtılmıştır. Değerlendirme ltlerinin önem ağırlıklarının belirlenmesi için AHP metodu kullanılmış ve karar verme matrisinin oluşturulması için de raylı sistemler mühendisliği kapsamında belirlemeler yapılmıştır. Durakların hizmet alanı, güvenilirlik ve konfor ltleri ile ilişkili değerlendirilmeleri için matematiksel formüllerle hesaplama yaklaşımları önerilmiş, güvenlik ölçütü değerlendirmesi için de AHP yaklaşımı önerilmiştir.

Her bir alternatife ait değerlerin elde edilmesi ile oluşturulmuş olan karar matrisine TOPSIS metodunun uygulanmasıyla alternatiflerin ideal çözüme yakınlıkları bulunur. TOPSIS yöntemi uygulanması ile elde edilen bulguların kullanımıyla sonuçlar rapor haline getirilir ve hizmet performansının yükseltilmesi için önerilerde bulunulur (Görsel 5.1).



Görsel 5.1. Metodoloji ayrıntılı akış şeması

5.1. Değerlendirme Ölçütleri

Sunulan ulaşım hizmetinin duraklarının hizmet performansını ilişkisel olarak değerlendirebilmek için kullanıcının hizmet deneyimi üzerinde etkisi bulunan ölçütler ele alınmaktadır. C sınıfı yol kullanım hakkına sahip tramvay sistemi duraklarında etkiye sahip olan ölçütler:

- Durakların çevresinde incelenen ulaşım hizmetini kullanabilecek potansiyel yolcu sayısının belirlenmesinde kullanılan ve güzergâhın ilerleyişinde de etkisi bulunan ‘hizmet alanı’,
- Ulaşım sisteminin belirlenmiş olan zaman çizelgesine uyumunun incelenmesinde kullanılan ‘güvenilirlik’,
- Ulaşım sistemine erişim kolaylığını ve durak çevresindeki trafik elemanlarının yolcu güvenliği üzerindeki etkisini incelemeye kullanılan ‘güvenlik’
- Yolcuların durakta tramvayı beklerken durak yoğunluğuna bağlı rahatlığını gösteren ‘konfor’ ölçütleridir.

Ulaşım hizmeti performans değerlendirmesinde incelenecek ölçütlerin belirlenmesinde kullanılan literatür çalışmalarının değerlendirme ölçütüne göre dağılımı Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Çalışmada ele alınan değerlendirme ölçütleri

Değerlendirme Ölçütü	Ölçüt Açıklaması	Değerlendirme yöntemi
Hizmet alanı [51, 53, 56]	Ulaşım sistemi kullanıcı sayısını gösterir. Tramvay sistemi durak çevresindeki potansiyel kullanıcılarını ele alır.	Hizmet alanı değeri, tramvay durağı çevresindeki nüfus ve ulaşım sisteminin yolcu çekme oranı çarpılıp incelenen her bölgedeki potansiyel yolcu sayılarının toplanması ile elde edilir.
Güvenilirlik [41-45, 47, 49, 58]	Taşıt hareketinin zaman çizelgesine uyumunu gösterir. Planlı çizelgeden gerçekleşen sapmalar, diğer bir deyişle tramvayın vaktinde ya da vaktinden önce/sonra kalkması ele alınır.	Güvenilirlik değeri, tramvayın duraktaki hareket zamanlarının, planlı hareket zaman çizelgesinden gerçekleşen sapma sürelerinin standart sapması alınarak elde edilir.
Konfor [46, 49, 50, 52, 54, 57, 58]	Yolcunun taşıt durağa gelene kadar geçen süredeki rahatlık durumu gösterir. Tramvay durağındaki yolcu yoğunluğu ile ele alınır.	Konfor değeri, tramvay durağında bulunan ortalama yolcu sayısının duraktaki ayakta durulabilecek alana bölünmesiyle elde edilen yolcu yoğunluğu ile incelenir.
Güvenlik [11, 22, 35, 36, 40, 46, 48, 49, 52, 53, 57, 59]	Durağa erişimdeki kaza riski ve erişim kolaylığı durumunu gösterir. Tramvay durağı çevresinde durağa erişimi etkileyen trafik elemanları ile ele alınır.	Uzman görüşleri ve AHP göreceli ölçüm değerleri kullanılarak incelenir.

Yukarıdaki Tablo 5.1’de çalışmamızda hizmet performansı değerlendirmesi yapmak amacıyla incelenen ölçütler ile literatürde bu ölçütleri içeren inceleme çalışmaları

belirtilmiş ve ulaşım sistemlerinin hizmet performansı incelemesinin önemli bir araştırma konusu oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ulaşım hizmeti performans değerlendirmelerinin sadece tek bir konuya/ölçüte odaklanabildiği gibi birden fazla ölçütün de incelemesinin yapıldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, çalışmada oluşturulan metodolojide incelenmekte olan değerlendirme ölçütleri, bu ölçütlerin tanımı, ölçütler ile ilgili verilerin elde edilmesinde dikkat edilen etmenler ve ölçütlere ait verilerin birlikte değerlendirilerek hizmet performansı sıralamasının belirlenmesinde gerek duyulan ölçütlerin her bir alternatife ait değerlerinin karşılaştırılmasında uygulanması gereken yöntem belirtilmiştir.

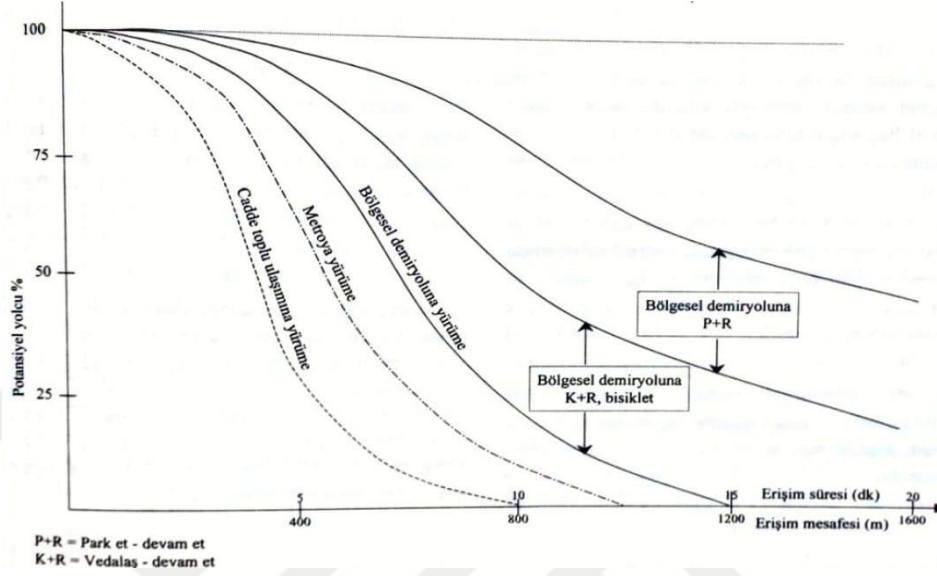
5.1.1. Hizmet alanı

Bir raylı hattın yapımı sırasında güzergâhın ilerleyeceği alanların belirlenmesinde, o alanda yaşamını sürdüren nüfus ve okul veya sanayi bölgesi gibi bir alana doğru olan ulaşım hareketi isteği dikkate alınmaktadır. Alandaki nüfus ve ulaşım hizmeti talep yoğunluğuna göre güzergâhın ilerleyiş yönü ve durakların konumu belirlenmektedir. Sunulan ulaşım hizmeti duraklarının konumlandırıldığı alanın yakın çevresindeki tahmini yolcu sayısı da hizmet alanı değerlendirmesi ile incelenebilmektedir. Hizmet alanı, herhangi bir toplu ulaşım hattındaki durağın çevresinde, ulaşım hizmetinin kullanılması için kendisine yolcu çekebildiği ve verilen hizmetin kullanıcılarının yoğunluğunun bulunduğu alanı göstermektedir. Kullanılan toplu taşıma sisteminin kapsadığı hizmet alanındaki bölge nüfusu ve hizmet alanının durağa olan yakınlığına bağlı olarak belirlenen yolcu çekme oranları aracılığıyla, ilgili durağı kullanabilecek potansiyel yolcu sayısı elde edilir [51, 56, 61, 62].

Sunulan her toplu ulaşım hizmetinin hizmet alanının büyüklüğü ve yolcu çekme yüzdesi farklılık göstermektedir. Ulaşım sisteminin, gelişmişlik düzeyi ve operasyonel hızı arttıkça hizmet alanının boyutunda ve yolcu çekme oranında da artış görülmektedir [63].

Bir durağın hizmet alanının hesaplanabilmesi için öncelikli olarak inceleme yapılacak bölge ve kullanılan sistemin hangi mesafede ve hangi oranda yolcu çekme gücünün olduğu belirlenmelidir. Duraktan uzaklaştıkça toplu ulaşım sistemlerinin yolcu çekme oranında düşüş görülmektedir. Durak merkez nokta olarak kabul edildiğinde, durağa olan mesafesine bağlı olarak farklı bölgeler ve bu bölgelerdeki nüfus belirlenmelidir. Taşıma sisteminin yolcu çekme yüzdeleri kullanılarak, durağa olan

mesafelerine göre belirlenmiş bölgelerdeki potansiyel yolcu sayıları elde edilir. Kent içi raylı ulaşım sistemlerinin mesafelere göre yolcu çekme oranlarının gözlemlendiği grafik Görsel 5.2’de verilmiştir [51, 56, 63].



Görsel 5.2. Kent içi raylı ulaşım yolcu çekme oranı grafiği [63]

Kullanıcıların kent içi raylı sistemine olan mesafesi ve ilgili mesafenin kapsadığı bölgedeki potansiyel yolcu oranları arasındaki ilişki grafiğine göre, kent içi raylı ulaşımında yolcu çekme oranının en fazla olduğu sisteme erişim mesafesi ilk 400 metredir. 400 metreden sonra tramvay sisteminin yolcu çekme oranı büyük miktarda düşüş göstermekte ve potansiyel kullanıcı sayısı belirgin bir biçimde azalmaktadır.

Yine Görsel 5.2’nin kullanımı ile durağın merkez olarak alındığı 100 metre yarıçaplı dairesel bölgede tramvay ulaşım sisteminin tercih edilme oranı olan yolcu çekme yüzdesi %95, 200 metrede %85, 300 metrede %50 ve 400 metrede %25 olduğu kabul edilebilir. Dolayısıyla, ilgili mesafeler kapsamına giren nüfus sayılarının belirlenmesi ile hat üzerindeki raylı sistem duraklarının hizmet alanı içindeki potansiyel yolcu sayılarını belirlemek mümkündür. Görsel 5.3’te örnek olarak sunulan bir uydu görüntüsünde, siyah nokta durağı gösterirken, sırasıyla sarı çember ilk 100 metre yarıçapı, turuncu çember 200 metre yarıçapı, kırmızı çember 300 metre yarıçapı ve bordo çember 400 metre yarıçapı hizmet alanını göstermektedir. Vuchic (2015)’in önerisi ile birlikte sınırları çemberlerle sunulmuş olan alanlardaki nüfus üzerine bir kestirim yapılabilmesi, tramvay durağının hizmet alanı ve kapsamındaki potansiyel yolcu sayıları üzerine

kestirim yapılmasını mümkün kılacaktır. Tramvay duraklarının önemli hizmet performanslarından olan hizmet alanı ölçütü altında aldıkları değerler, çalışma kapsamında bu şekilde belirlenmiştir.



Görsel 5.3. Tramvay duraklarının hizmet alanı temsili görseli (<http-10>)

İnceleme yapılan tramvay hattındaki, i tramvay durağının m bölgesine ait nüfusunun belirlenmesinde ($N_{i,m}$), bölgedeki bina sayısı (b_m), incelenen hat çevresinde sıklıkla karşılaşılan bina kat sayısı (k), her kattaki daire sayısı (d) ve inceleme yapılan şehirdeki hane başına düşen ortalama nüfus (a) değerleri dikkate alınmıştır. Ayrıca bölge nüfusu içindeki potansiyel yolcuların, çok genç nüfusu kapsamayacak şekilde belli bir yaş aralığında olması bekleneceğinden, kentteki nüfusun yaş dağılımı kullanılarak belirlenecek bir katsayı değeri (y) ile kullanıcı nüfus oranlaması yapılmıştır. i durağının m bölgesindeki $N_{i,m}$ ile ifade edilen kent içi raylı sistem kullanıcı sayısının belirlenmesi için gerekli olan bölge nüfusu denklem 5.1 ile hesaplanabilir:

$$N_{i,m} = y \times (b_m \times k \times d \times a) \quad \forall i \text{ ve } \forall m \text{ için} \quad (5.1)$$

Raylı sisteme olan erişim mesafesi m ile gösterilmek üzere, m yarıçapının oluşturduğu bölgedeki yolcu çekme oranı Görsel 5.1 kullanılarak o_m olarak belirlenmiştir. Buna göre 100 metre yarıçaplı dairesel alanda tramvay ulaşım sisteminin yolcu çekme

oranı %95, 200 metrede %85, 300 metrede %50 ve 400 metrede %25 olduğu kabul edildiğinden, i durağının m yarıçapı içerisindeki potansiyel yolcu sayısı ($P_{i,m}$), ilgili bölge nüfusu ($N_{i,m}$) ve o_m yolcu çekme oranı kullanılarak denklem 5.2’de verildiği gibi belirlenmektedir.

$$P_{i,m} = N_{i,m} \times o_m \quad \forall i \text{ ve } \forall m \text{ için} \quad (5.2)$$

Durak hizmet performansının değerlendirilmesinde önemli bir kriter olan i durağının hizmet alanı (P_i); 100, 200, 300 ve 400 metre olarak belirlenen m yarıçapları içindeki potansiyel yolcu sayılarına ($P_{i,m}$) bağlı olarak denklem 5.3’teki gibi hesaplanmaktadır.

$$P_i = \sum_m P_{i,m} \quad \forall i \text{ için} \quad (5.3)$$

5.1.2. Güvenilirlik

Trafik akışının planlandığı gibi devam etmesi ve sunulan toplu ulaşım hizmetinin daha cazip olması için her hattın önceden belirlenmiş olan zaman çizelgesine uyması önemlidir. Ulaştırma sistemlerinde hareket zaman çizelgesine olan uyum, sistemin güvenilirliği olarak kabul edilmektedir. Zaman çizelgesine uyum sağlanamadığında bu durum, aynı hattı kullanan diğer raylı taşıtların üzerinde ve karayolu trafiğinde de negatif etkilere neden olabilir [42].

Raylı sistem taşıtının belirlenmiş hareket zaman çizelgesinden sapma miktarının düşük olması diğer bir deyişle güvenilirlik düzeyinin yüksek olması, durak çevre düzenlemesinin ve zaman çizelgesinin hatta olan uygunluğunu ifade etmektedir. Taşıtların durak hareket zamanlarına yönelik güvenilirliğinin sağlanmasında altyapı, durak çevresindeki trafik unsurları ve yol geometrisinin etkisi vardır [43]. Raylı sistemin hareket zaman çizelgesine bağlı olan güvenilirliğinin yüksek olması, durak çevresi ve hattın bütünü ile ilgili olumsuzlukların minimum seviyede tutulmasını gerektirir [41].

Tramvayların duraklardan kalkış zamanına bağlı olan güvenilirlikleri, tramvay hareketlerinin zaman çizelgesinden sapma süresine bağlıdır. Tramvayların duraklardan kalkış zamanı ile planlanan kalkış zamanı arasındaki farkın belirlenmesi ile sapma süreleri hesaplanabilir [43]. Hesaplama için, taşıt hareket zamanları kaydedilerek veri toplanmalıdır. Hareket zamanlarına yönelik kayıt alabilmek üzere, zaman ölçüm cihazının, ölçüm yapılacak olan ilk durakta tramvayın zamanında kalkış yaptığı düşünülmektedir kalibrasyonu yapılmalıdır. Olası hafta içi ve hafta sonu zaman çizelgesi

değişikliklerinin etkisinin incelenebilmesi için tüm haftaya dair, ulaşım sisteminde yoğun kullanımın görüldüğü vakitlerde (sabah ve akşam) günlük kayıtlar alınmalıdır. Elde edilen sapma değerinin istisnai bir durum olmadığından emin olmak ve ölçümün güvenilirliğini arttırmak için art arda gerçekleşen seferler boyunca sapma ölçümlerinin alınması önerilir.

Duraklardaki tramvayların kalkış zamanlarının hareket zaman çizelgesine uyumuyla ilişkili ortaya çıkan duraklardaki güvenilirlik düzeyinin belirlenmesinde, farklı seferlere dair yapılmış ölçümler aracılığıyla elde edilen sapma sürelerinin temsili için, bu verilerin standart sapma değerleri kullanılır [44, 47]. Tramvay sistemleri sıklıkla karayolu taşıtları ile karma trafikte hareketlerini sağladıklarından, tramvaylar, yollarını paylaştıkları diğer taşıtlar sebepli duraklamalar yaşayabilmektedirler. Kimi zaman bu duraklamalar, paylaşımlı yolda meydana gelen bir kaza sebepli olup, beklenenden de uzun sürebilmekte ve istatistiksel olarak ‘outlier’ olarak kabul edilecek gecikme sürelerinin yaşanmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla planlı hareket çizelgesinden yaşanan sapmalarının ortalama değerleri istatistiksel anlamda güvenilir bir tanı sunmayabilir. Bu yüzden duraklardaki tramvay kalkış zamanlarının zaman çizelgesinden önce ya da sonra yaptıkları kalkışlarla ortaya çıkan sapma sürelerinin, ortalamaları değil standart sapma değerleri alınmıştır. Standart sapma değeri ne kadar düşükse, ilgili durağın kalkış zaman çizelgesine daha fazla uyduğu ve güvenilirlik düzeyinin yüksek olduğu kabul edilir.

İnceleme yapılan tramvay hattının i durağı için hareket zaman çizelgesinden sapma süresi, zaman çizelgesinde planlanmış olan kalkış süresi ve gerçekleşen kalkış süresi arasındaki fark ile bulunmaktadır. Taşıtın duraktan zaman çizelgesinde belirtilen süreden önce veya sonra kalkma durumlarının tümünün inceleme işlemine dâhil edilmesi ile i durağının güvenilirlik değeri (r_i), elde edilen sapma değerlerinin standart sapması (SS) kullanılarak denklem 5.4’te gösterildiği gibi elde edilmektedir.

$$r_i = SS(\Delta_i) \quad \forall i \text{ için} \quad (5.4)$$

5.1.3. Konfor

Konfor ölçütü, kullanıcının ulaşım sistemini kullanırken hissettiği rahatlık düzeyinin incelenmesi ile ilişkilendirilir. Kent içi ulaşımında konfor ölçütü taşıt içi konforu ve durak konforu olarak incelenmektedir [64-66]. Seyahat halinde iken taşıt içi konfor düzeyi incelemeleri yapılmaktadır. Bu incelemelerde oturulabilecek alan, ayakta bulunan

yolcu yoğunluğu, taşıt içi havalandırma, hissedilen titreşim ve hızın yolcular üzerindeki etkileri gibi incelenen birçok ölçüt söz konusudur.

Durakların konforunu etkileyen faktörler ise durak tasarımı, duraktaki bekleme süresince oturulabilecek alan ve ayaktaki yolcuların yoğunluğu unsurlarından oluşmaktadır [58].

Kapalı biçimde tasarlanmış veya yerin altında bulunan duraklar için konfor incelemesi yapılırken, havalandırma ve sıcaklık düzenlemesi, ışıklandırma, kanalizasyon ve su hattı gibi boru hatlarının durumu, yolcunun mevsimsel etkilere karşı korunması, oturulabilecek alan ve ayaktaki yolcu sayısı gibi faktörler dikkate alınır. Yol yüzeyinde ve kapalı olmayan duraklarda ise mevsimsel değişikliklerden korunma, oturulacak alan ve duraktaki ayakta duran yolcu sayısının, ayakta durulabilecek alana göre yoğunluğu ile konfor incelemesi yapılır [22, 46, 50, 54].

Bir hattaki durakların tümünün aynı yapıda olduğu durumlarda, ayaktaki yolcuların yoğunluğuna bağlı olarak konfor incelemesi yapılabilir. Buna bağlı olarak, bir ulaşım sistemi hizmetini kullanırken, özellikle bekleme süresi uzun ise, ayakta duran kişinin algıladığı sürede negatif etkiler görülebilir [67, 68].

Çalışma kapsamında, aynı yapıda olan durakların konfor düzeylerinin incelenmesi için, durağın metrekaresine düşen yolcu sayısı olarak ifade edilebilecek olan yolcu yoğunluğu (C_i) parametresinin kullanılabileceği kabul edilmiştir. Potansiyel kullanıcı sayısı olarak ifade edilen hizmet alanı yoğunluğuna bağlı olarak, bazı duraklar oldukça kalabalık olurken, bazı duraklarsa تنها olabilmektedir. Dolayısıyla duraklardaki bekleme konforunun hesaplanabilmesi için durak içinde ayakta durulabilen bölgenin alanı ve raylı sistem taşıtının ilgili durağa geldiği anda durakta ayakta duran ortalama yolcu sayısından yararlanılabilir. Duraktaki ortalama ayakta bulunan yolcu sayısının bulunmasında, güvenilirlik hesaplamasında olduğu gibi ölçüm yöntemi kullanılmalıdır. Farklı gün ve zamanlarda art arda yapılan sefer gözlemleri kapsamında, duraklardaki yolcu sayıları kaydedilir. i ilgili durağı göstermek üzere, her bir gözlemde tespit edilen yolcu sayılarının ortalaması (n_{ort_i}) alınır ve bu değer durakta ayakta durulabilecek alana (a_i) bölünerek duraktaki yolcu yoğunluğu elde edilebilir. Durak yoğunluğu denklem 5.5'te gösterildiği gibi hesaplanır:

$$C_i = \frac{n_{ort_i}}{a_i} \quad (5.5)$$

5.1.4. Güvenlik

Durak hizmet performansının değerlendirilmesinde önemli bir unsur olan güvenlik ölçütü, durak ve hat çevresinde taşıtın hareketi ve yolcunun ulaşım sistemine erişimini, olumlu veya olumsuz şekilde etkileyen etmenler olarak kabul edilmektedir.

Trafik elemanları ve yol geometrisi gibi etmenler, durak çevresi güvenliği üzerinde etkiye sahiptir. Raylı hattın yapılmasından önceki yol geometrisinden kaynaklanan sorunlar da güvenliği etkilemektedir. İki veya daha fazla anayol veya ara yolun kesişmesi ile oluşan kavşaklar ve kesişim noktaları güvenlik üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Karayolu taşıt sürücüleri ve yayaların düzenlenmiş olan trafik kurallarına uymaması da alandaki kaza riskini arttırmakta, güvenliği etkilemektedir [32, 33, 35, 59].

Güvenliğin sağlanmasında yaya geçidi, sürekli sinyalizasyon, sadece raylı taşıt yaklaştığında kesin emir verilen fasıllı sinyalizasyon sistemi, bariyerler ve trafik levhaları gibi trafik elemanları kullanılmaktadır [32, 33, 35, 59]. Raylı sistem hattı ve durak çevresindeki güvenlik düzeyi, kullanılan sinyalizasyon sistemi, trafik işaretleri ve alandaki yaya trafiği için mevcut geçitler ile ölçümlenebilir [33, 66].

Durak ve raylı sistem güzergâhı çevresinde güvenliğin sağlanması, tramvayın ilgili duraktaki hareket zaman çizelgesine uyumu ile ilişkili güvenilirlik ölçütü üzerinde de olumlu bir etki oluşmaktadır ve ulaşım sisteminin kullanımını daha cazip hale getirmektedir. Durağa erişim güvenliğin incelenebilmesi için öncelikle durak ve çevresindeki trafik elemanları, yol kesişimleri ve trafik kural ihlalleri gözlemlenir ve alanın güvenliği üzerinde etkiye sahip olan etmenler belirlenir. Bu unsurlara bağlı bir şekilde, durakların güvenlik ölçütü altında değerlendirilebilmesi için zorunlu olarak uzman görüşlerinden yararlanılır. 1 ‘çok riskli’ ve 9 ‘çok güvenli’ ifadesini temsil etmek üzere 9 seviyesi bulunan ve Tablo 5.2’de verilmiş olan değerlendirme ölçeği, durakların erişim güvenliği konusunda uzmanlarca etkili bir şekilde değerlendirilmesini sağlar.

Tablo 5.2. Durak güvenlik değerlendirme ölçeği

Seviye	Güvenlik seviyesi
1	Çok riskli
2	Riskli
3	Az riskli
4	Biraz riskli
5	Orta (ne riskli ne de güvenli)
6	Biraz güvenli
7	Az güvenli
8	Orta güvenli
9	Çok güvenli

5.2. Performans Değerlendirmesi için ÇKKV Yaklaşımı

Bir tramvay hattı üzerindeki durakların hizmet performansının çeşitli ölçütlere bağlı olarak değerlendirilmesi için çalışma kapsamında çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımından yararlanılmıştır.

Çoklu birimleri değerlendirmek için ele alınan unsurlar arttıkça, birimlere yönelik değerlendirme yapmak karmaşıklaşmaktadır. Değerlendirmek için sonlu alternatif ve sonlu değerlendirme kriterinin olduğu durumlarda, ÇKKV yaklaşımı, efektif bir çözüm aracı sağlamaktadır. ÇKKV yaklaşımı, matematik, ticaret, istatistik, sağlık, ekonomi, mühendislik tasarımı ve kaynak yönetimi gibi çeşitli alanlarda değerlendirme yapmak için sıklıkla kullanılmaktadırlar [40, 55, 69].

Literatürde kullanılan çeşitli ÇKKV yöntemleri şunlardır [69]:

- Çok Özellikli Fayda Teorisi (MAUT)
- Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)
- Vaka Tabanlı Akıl Yürütme (CBR)
- Veri Zarflama Analizi (DEA)
- Bulanık Küme Teorisi
- Basit Çoklu Özellik Derecelendirme Tekniği (SMART)
- Hedef Programlama (GP)
- ELECTRE
- PROMETHEE
- Basit Katkılı Ağırlıklandırma (SAW)
- İdeal Çözümlere Benzerliğe Göre Tercihleri Sıralama Tekniği (TOPSIS)

Karar verme problemleri için ÇKKV yöntemi belirlenirken, problemin hiyerarşisi, verilerin yapısı ve problemin amacı göz önüne alınır.

ÇKKV yöntemleri kullanılarak ele alınan problemlerde, verilerin sayısal olarak ifade edilmesi ve alternatiflerin içinden sıklıkla en iyisinin seçilmesi amaçlanmaktadır [55]. Seçenekler arasından en iyinin tespit edilmesinin yanı sıra problem amacı kimi zaman en kötünün belirlenmesini sağlamak, kimi zaman da seçeneklerin sadece performans sıralamasını yapmak olabilmektedir [55, 70]. Literatürde en sık kullanılan ÇKKV yöntemi olan AHP metodu [40], Saaty tarafından 1971-1975 yılları arasında geliştirilmiştir [71]. AHP yönteminde, değerlendirilen öge grupları içinde ve bu gruplar

arasındaki bağlantının tutarlılık durumuna önem verilir. Bu gruptaki öğelerin karşılaştırılması ile öğelerle ilişkili sayısal veriler elde edilir. İkili karşılaştırmalar için değerlendirme ölçeklerinden yararlanılır [71]. Değerlendirme ölçekleri uzmanların görüşlerini kolaylıkla sunabileceği dilsel bir ifade ile karşılık gelen matematiksel değerler içerir. Bu noktada matematiksel değerlerin bulanık sayı olarak kabul edildiği bulanık mantıktan yararlanılan Bulanık AHP yöntemlerine de sıkça rastlanır [40, 46].

5.2.1. AHP yaklaşımı

Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş olan AHP yöntemi [72], birden çok karar verici ile aynı anda çoklu kriterlerin incelenmesi gereken karar verme problemlerinin çözülmesinde kullanılır ve esas her alternatifin belirlenmiş olan kriterler altında ikili karşılaştırılmasına dayanmaktadır. AHP yöntemi ile bir problem modellenirken, öncelikli olarak hiyerarşik yapının oluşturulması gerekir. İncelenmekte olan sorunun amaç ile ana ölçütlerinin belirlenmesi, gerekli ise alt ölçütlere ayrılması ve seçeneklerin karşılaştırılması ile etmenler içindeki alternatiflerin ve etmenlerin arasında ağ kurularak hiyerarşik bir yapı oluşturulur ve ağın analizinin sistematik bir biçimde ilerlemesi sağlanır. Problemin çözümünü bulmak amacıyla hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra alternatifler ile ölçütlerin ikili karşılaştırmasını yapacak olan kitle veya kişiler ve karşılaştırmada kullanacakları ölçek değerleri ile bu değerlerin tanımları belirlenir. AHP yöntemi nicel verilerin sayısallaştırılması ve incelenmekte olan etmenlerin önem düzeyini belirlemekte de kullanılır. AHP yöntemi ile yapılan incelemelerde uzman görüşlerinden yararlanılır.

Uzman yargıları, tartışmalı da olsa bilimsel verilerin bir türü olarak görülür ve çalışmalarda kullanabilir hale getirilmesi için çeşitli yaklaşımlar uygulanır [73]. Uzman yargılarının bilimsel kabul edilebilirliğinde, hesap verebilirlik, yeniden üretilebilirlik, deneysel kontrol, nötrlük ve dürüstlükten oluşan bir takım bilimsel prensiplere ihtiyaç duyulur [73, 74]. Hesap verilebilirlik, uzman bilgilerinin açıklıkla sunulmasını; yeniden üretilebilirlik, toplanan verilerin ve sonuçların paylaşılmasını; deneysel kontrol, uzman görüşünün öncelikle çalışma için zorunlu veri kaynağı olması ile uzman düşüncelerinin deneysel kontrolünü en azından prensipte yapıyor olması gerekliliğini; nötrlük kullanılan çıkarım yönteminin uzmanları ön yargılarından ve yanlı tutumlardan uzak tutacak şekilde olmasını ve dürüstlük ise çıkarım için, uzmanların yargılanmadan görüş paylaşımı yapabilecekleri uygun ortamın oluşturulması gerekliliğini vurgular [75].

Çalışma kapsamında, tramvay duraklarının hizmet performansı için ele alınan değerlendirme ölçütlerinin ağırlıklarının belirlenmesi için yararlanılan AHP yaklaşımı kapsamında, zorunlu olarak uzman görüşlerinden yararlanılır.

AHP yöntemi kapsamında, uzman yargılarının bilimsel kabul edilebilirliğinin artırılmasında önemli bir payı olan tutarlılık kontrolleri yapılır. Tutarlılığı kabul edilemeyecek düzeyde olan yargılar için veri alma süreci başa alınır. Uzman yargıları ile çıkarım yapmak için AHP göreceli önem ölçeği aracılığıyla gerçekleştirilen, ikili karşılaştırmalar yönteminden yararlanılır. AHP yönteminde kullanılan ölçek değerleri ve tanımları Tablo 5.3'te verilmiştir [71].

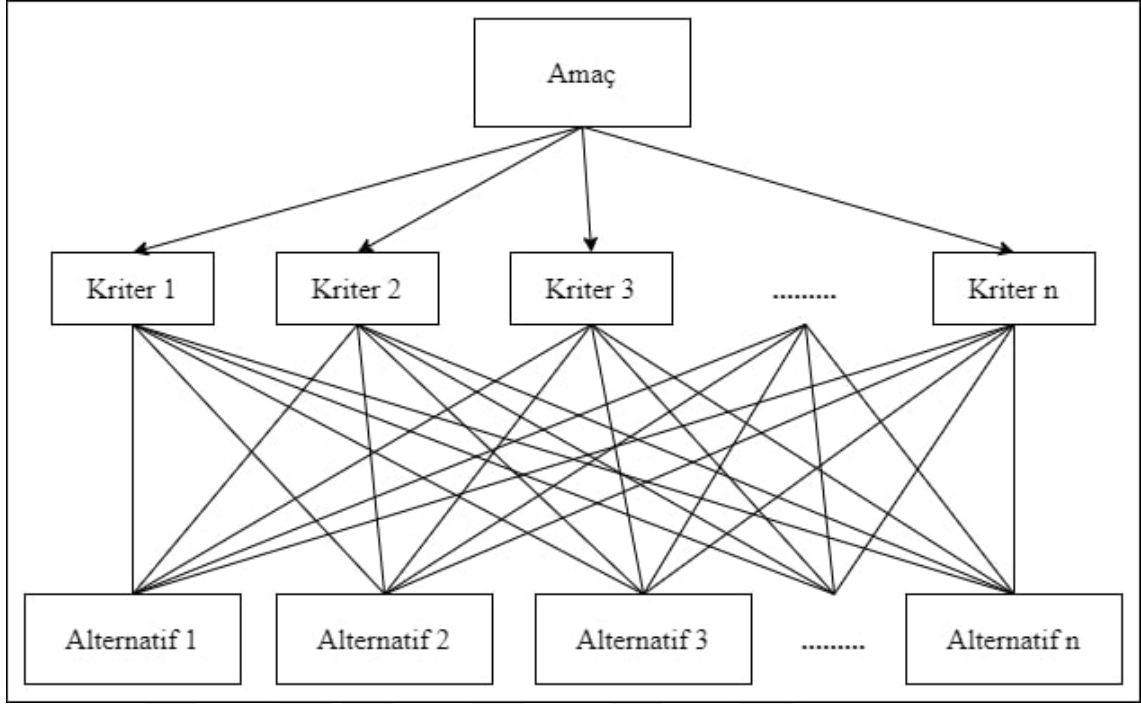
Tablo 5.3. *AHP göreceli önem ölçeği [76]*

Önem düzeyi	Tanım
1	Eşit düzeyde önemli
3	Biraz daha önemli düzeyde
5	Orta düzeyde daha önemli
7	Güçlü düzeyde daha önemli
9	Çok güçlü düzeyde daha önemli
2,4,6,8	Ara düzeyler

AHP yönteminin uygulanmasında takip edilmesi gereken adımlar aşağıda gösterilmiştir.

Adım 1: Problemin tanımlanıp hiyerarşik yapısının oluşturulması.

AHP yönteminin uygulanabilmesi için öncelikle problemin tanımlanıp, amaç ile ana ölçütlerin ve gerek duyuluyor ise alt ölçütler ile seçeneklerin belirlenmesi ve bu etmenler arasında bağlantı kurularak hiyerarşik yapının (Görsel 5.4) oluşturulması gerekir. Hiyerarşik yapı, ele alınan problemin ÇKKV yaklaşımına uygun sunumu niteliğindedir.



Görsel 5.4. AHP hiyerarşik yapısı [76]

Adım 2: İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması.

AHP yöntemi Görsel 5.4'te gösterilen hiyerarşik yapı içindeki aynı seviyedeki birimlerin ikili karşılaştırmalar yöntemi ile değerlendirilmesi temeline dayanır. Birimlerin karşılıklı olarak karşılaştırılacağı matris oluşturulur. Tablo 5.4'te, ölçüt seviyesindeki birimlerin ikili karşılaştırma matrisi sunulmuştur. $C = \{C_j | j = 1, \dots, n\}$ ölçüt kümesi olacak şekilde ve a_{ij} değerleri de satırdaki ölçütün sütundaki ölçüt ile uzmanlar tarafından karşılaştırılması sonucu AHP ölçeğine göre belirlenmiş önem düzeylerini göstermektedir. İkili karşılaştırma matrisinde $\{i, j = 1, 2, \dots, n\}$ olacak şekilde, i 'ninci ölçütün j 'ninci ölçüt ile ikili karşılaştırılması sonucu elde edilen değer a_{ij} ise; j 'ninci ölçütün i 'ninci ölçüt ile ikili karşılaştırma yapıldığındaki a_{ji} değeri ise, $1/a_{ij}$ olarak hesaplanır [72].

Tablo 5.4. İkili karşılaştırma matrisi

	Amaç	C ₁	C ₂	C ₃	...	C _n
M =	C ₁	1	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}
	C ₂	a_{21}	1	a_{23}	...	a_{2n}
	C ₃	a_{31}	a_{32}	1	...	a_{3n}
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	C _n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	1

Adım 3: Normalizasyon matrisinin oluşturulması.

İkili karşılaştırma matrisindeki her bir değer, bulunduğu sütunun değerler toplamı olan A_j değerlerine bölünerek normalize edilmiş matrise ulaşılır. A_j değerleri, denklem 5.6 kullanımı ile elde edilir [72].

$$A_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (5.6)$$

Adım 4: Karşılaştırılan birimlerin önem ağırlıklarının bulunması.

Normalizasyon matrisinin bulunmasının ardından satır ortalamaları alınarak $w = \{w_j | j = 1, \dots, n\}$ olacak biçimde birimlerin önem ağırlıkları olan w_j değerlerinin sıralamasını belirten özvektör, w elde edilir (Tablo 5.5) [72].

Tablo 5.5. Normalizasyon matrisi aracılığıyla birimlerin önem ağırlıklarının ' w_j ' bulunması

	Karşılaştırılan Birimler	C_1	C_2	C_3	...	C_n	Ölçüt Önem Ağırlığı (w_j)
$N =$	C_1	$\frac{1}{A_1}$	$\frac{a_{12}}{A_2}$	$\frac{a_{13}}{A_3}$	...	$\frac{a_{1n}}{A_n}$	$\frac{1}{A_1} + \dots + \frac{a_{1n}}{A_n}$
	C_2	$\frac{a_{21}}{A_1}$	$\frac{1}{A_2}$	$\frac{a_{23}}{A_3}$	...	$\frac{a_{2n}}{A_n}$	$\frac{a_{21}}{A_1} + \dots + \frac{a_{2n}}{A_n}$
	C_3	$\frac{a_{31}}{A_1}$	$\frac{a_{32}}{A_2}$	$\frac{1}{A_3}$	...	$\frac{a_{3n}}{A_n}$	$\frac{a_{31}}{A_1} + \dots + \frac{a_{3n}}{A_n}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	C_n	$\frac{a_{n1}}{A_1}$	$\frac{a_{n2}}{A_2}$	$\frac{a_{n3}}{A_3}$	...	$\frac{1}{A_n}$	$\frac{a_{n1}}{A_1} + \dots + \frac{1}{A_n}$
							n

Adım 5: Tutarlılık kontrolü.

Uzmanlar aracılığıyla elde edilen ikili karşılaştırma verilerinin tutarlılık kontrolü için matrisin en büyük özdeğeri olan $\lambda_{\max}$ belirlemesi yapılır (denklem 5.7) ve tutarlılık endeksi CI bulunur. Ölçüt önem değerinin tahmin edilmesinde kullanılan en büyük özdeğeri yaklaşımı ile rastgele veya arasında bir ilişki bulunmayan yargıların karşılaştırılması ve önem düzeylerinin tutarlılığının kontrolü yapılır [72].

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \quad (5.7)$$

Tutarlılık endeksinin bulunması için de elde edilen $\lambda_{\max}$ değeri ve ölçüt sayısı (n) kullanılır. Tutarlılık endeksinin hesaplanmasında kullanılan formül denklem 5.8'de verilmiştir [72]:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (5.8)$$

Adım 6: Tutarlılık değerinin (CR) bulunması.

Tutarlılık endeksi hesaplanarak bulunan sonuç, incelenen ölçüt sayısı ile kararlaştırılan rassal tutarlılık endeksine (RI) bölünerek, inceleme sonuçlarının tutarlılık değeri (CR) elde edilir. Elde edilmiş olan ölçüt ağırlıkları sonuçlarının tutarlı olabilmesi için bulunmuş olan tutarlılık değeri 0,10'dan küçük olmalıdır ($\leq 0,10$). Tutarlılık değerinin hesaplanmasında kullanılan formül, denklem 5.9'da ve rassal tutarlılık endeksi, Tablo 5.6'da verilmiştir [72]:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5.9)$$

Tablo 5.6. Rassal tutarlılık endeksi [71]

n (kriter sayısı)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RCI (RI Değeri)	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

AHP metodu uygulanarak elde etmiş olduğumuz ölçüt ağırlıklarının tutarlılığı kontrol edildikten sonra eğer tutarlılık değeri $CR \leq 0,10$ ise bu bulunmuş olan ölçüt ağırlığı değerlerinin, tutarlı olduğunu ve incelemede kullanılabileceğini gösterir. CR tutarlılık değeri 0,10 değerinden büyük ise belirtilmiş görüşün tutarsız olduğu ve ikili karşılaştırma işleminin tekrar yapılması gerektiğini gösterir. Bulunmuş ölçüt ağırlık değerlerinin incelemede kullanılabilmesi için ikili karşılaştırma işlemi CR değeri $\leq 0,10$ olana kadar tekrarlanmalıdır [55, 77-81].

5.2.2. TOPSIS yaklaşımı

Karar verme çalışmalarında diğer sıkça kullanılan ÇKKV yöntemi ise Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiş TOPSIS'tir [49, 70]. Farklı ölçütlerin birlikte incelenebilmesi ve çoklu nitelikli değerlendirmeler yapılmasını sağlar. Açılımı İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tercihi Tekniği olan TOPSIS yönteminde, değerlendirmede kullanılan ölçüt sayısını önemsemeksizin ve incelenen ölçütlerin miktarı değişse de sonuca ulaşmak için uygulanan işlem basamaklarında değişiklik olmadan, değerlendirilen birimlerin değerlendirme ölçütleri altında aldıkları değerleri kullanarak pozitif ve negatif olmak üzere iki ideal çözüm yaratılır [69, 70, 82].

Değerlendirilen birimlerin bu iki ideal noktaya olan Öklid mesafesine göre performans sıralamaları yapılır. TOPSIS yönteminde uygulanan işlemler sırasıyla verilmiştir [70, 82]:

Adım 1: Karar matrisi oluşturulması.

Verilerin birlikte değerlendirilebilmesi için alternatifler ve ölçütlerin tümünün gözlemlenebildiği bir matris oluşturulur. Bu matriste duraklar A_i , ölçütler ise C_j ile gösterilmektedir. Durak alternatifleri kümesi $A = \{A_i | i = 1, \dots, m\}$ ve incelenen ölçütlerin kümesi $C = \{C_j | j = 1, \dots, n\}$ olarak gösterilmektedir. x_{ij} durakların satır ve sütunlarda belirtilmiş olan ölçütlere göre aldığı değerler, w_j ise bu ölçütlerin AHP yöntemi aracılığıyla elde edilmiş ağırlık değerleridir (Tablo 5.7) [70, 82].

Tablo 5.7. TOPSIS karar matrisi

Durak Alternatifleri	C_1	C_2	C_3	...	C_n
A_1	x_{11}	x_{12}	x_{13}	...	x_{1n}
A_2	x_{21}	x_{22}	x_{23}	...	x_{2n}
A_3	x_{31}	x_{32}	x_{33}	...	x_{3n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
A_m	x_{m1}	x_{m2}	x_{m3}	...	x_{mn}
w	w_1	w_2	w_3	...	w_n

Adım 2: Normalize karar matrisinin R_{ij} oluşturulması.

Karar matrisi oluşturulduktan sonra tüm ölçütlerde bulunan değerlerin birlikte incelenebilmesi için bu matriste bulunan değerler boyutsuz bir hale getirilerek normalizasyon matrisi R_{ij} bulunur. Bu her bir ölçütün sonucunu, değerlerinin karesinin toplamının kareköküne bölerek elde edilir [70, 82].

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_i^2}} \quad (5.10)$$

Adım 3: Ağırlıklı normalizasyon matrisi oluşturulması.

Normalizasyon matrisinde alternatiflerin her bir ölçüt için bulunmuş olan değerleri, ölçüt ağırlıkları ile çarpılıp ağırlıklı normalizasyon karar matrisi değerleri elde edilir. v_{ij} incelenen alanın ağırlıklı değeri, w_j belirlenmiş ölçüt ağırlığı ve r_{ij} ise incelenen alandaki değer normalizasyon işleminden sonraki değerini belirtmektedir. Ağırlıklı normalizasyon matrisinde alternatiflere ait değeri, denklem 5.11'de verilmiş formül kullanılarak hesaplanır [70, 82].

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (5.11)$$

Adım 4: Pozitif ve Negatif ideal çözümlerin bulunması.

Pozitif ideal çözüm (PIS/A⁺) ve Negatif ideal çözümün (NIS/A⁻) bulunmasında, fayda ile ilgili ölçütler I, maliyet ile ilgili ölçütler J ile gösterilmek üzere ideal çözümlerin hesaplanmasında kullanılan formüller aşağıdaki denklem 5.12 ve denklem 5.13'te gösterilmiştir [70, 82]. Hizmet alanı ve güvenlik ölçütlerinin yüksek düzeyde olması ulaşım hizmetinin performansı üzerinde yararlı bir etkiye sahip olduğundan A⁺ 'da maksimum değer, A⁻ 'de minimum değer bulunur. Güvenilirlik ve konfor ölçütlerinin yüksek düzeyde olması ulaşım hizmeti performansında olumsuz etkiye neden olduğundan A⁺ 'da minimum değer, A⁻ 'de maksimum değer bulunur [70, 82].

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+) = \left(\left(\max_i v_{ij} \mid j \in I \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J \right) \right),$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (5.12)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) = \left(\left(\min_i v_{ij} \mid j \in I \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J \right) \right),$$

$$i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (5.13)$$

Adım 5: Ayırım ölçülerinin bulunması.

Alternatifler arasındaki değer Öklid mesafesi ile ölçülmektedir. Pozitif çözüme olan uzaklığın d_i^+ bulunması için denklem 5.14'teki, negatif çözüme olan uzaklığın d_i^- bulunması için denklem 5.15'teki formüller kullanılarak hesaplama yapılmaktadır [70, 82].

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (5.14)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (5.15)$$

Adım 6: İdeal sonuca olan yakınlığın bulunması.

Çözümlere olan uzaklıklar bulunduğunda, inceleme yapılan alternatiflerin pozitif çözüme olan yakınlıklarının (C_i^+) ilişkili olarak değerlendirilmesi için denklem 5.16 kullanılmaktadır. Bu denklem uygulandıktan sonra sonuçların büyükten küçüğe bir sıralaması yapılarak alternatiflerin değerlendirmesi yapılır [70, 82].

$$C_i^+ = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, C_i^+ \in [0,1], \forall i \quad (5.16)$$

5.2.3. Performans değerlendirmesi için AHP-TOPSIS kullanımı

AHP ve TOPSIS, karar verme problemlerinin efektif bir şekilde özölmenmesi için oldukça kullanışlı yöntemlerdir. AHP, karar matrisine dair verilerin, uzmanlar tarafından ikili karşılaştırmalarla çıkarım yapılmasına ve daha hiyerarşik yapılar kurulmasına imkân verirken; TOPSIS yönteminin probleme dair hiyerarşik katmanları yoktur ve değerlendirme birimleri ile ilişkili verilerin ikili karşılaştırmalar matrisine dayandırılmadan özölmenmesini sağlar. İki analiz için de uygun olan problem yapısı ve bu kapsamda sundukları avantajlar farklıdır. Dolayısıyla bu çalışmada olduğu gibi, iki analizin bir arada kullanılması karar verme problemi için gelişmiş bir analitik yaklaşım sunmaktadır. Literatürde AHP ve TOPSIS uygulamaları, birçok ölçütün birlikte değerlendirilmesi ile incelenmekte olan seçenekler arasında bir karara varılması veya alternatiflerin performans değerleri sıralamasının oluşturulmasında kullanılırlar. AHP metodu, karmaşık, yapılandırılmamış problemlerin hiyerarşik yapısının oluşturulması amacıyla kullanılır ve sayısal bir veri elde edilemeyen ölçütlerde uzman görüşlerinden destek alınarak verinin sayısallaştırılmasını, ikili karşılaştırma ile ölçütlerin ve alternatiflerin önem ağırlıklarının belirlenmesini, uygulama sonucu elde edilen değerlerin tutarlılığının kontrol edilmesini sağlar. TOPSIS metodunda ise belirlenmiş olan ölçüt ağırlıkları kullanılarak alternatiflerin ideale en yakın sonucunun elde edilmesi, alternatiflerin karşılaştırılması ve aralarındaki sıralamanın bulunması sağlanır. AHP ile TOPSIS metodlarının birlikte kullanımı ile incelenecek olan verilerin sayısallaştırılması, ölçütlerin ağırlık değerlerinin belirlenerek tutarlılığının kontrol edilmesi ve yapılması istenilen değerlendirme işleminin anlaşılır, basit bir hesaplama sürecinin uygulanması ile gerçekleştirilmesi ve en ideal sonuca ulaşılmasını sağlanır [11, 83-89].

Literatürde iki yöntemin ve bu yöntemler ile diğer ÇKKV metodlarının entegrasyonu ile ele alınmış pek çok karar verme çalışması vardır. Örnek olarak, ulaşım sisteminde kullanılacak olan aracın belirlenmesi [84, 86, 90], akıllı ulaşım sistemi ile altyapısının evre ve trafik akışı üzerindeki kötü etkisini azaltıcı önlemler ve güvenliğinin incelenmesi [91], ulaşım sisteminde kullanılacak güzergâhın kararlaştırılması [83, 89, 92], genel hizmet performansı değerlendirilmesi [85, 87, 93], kent içi toplu ve kişisel ulaşım ile ulaşım sistemleri entegrasyonunun incelenmesi [88], altyapının çevreye etkisinin değerlendirilmesi [94], trafik yoğunluğunun incelenmesi [95], istasyon alanı belirlenmesi [96], ulaşım ağı risk değerlendirmesi [97], ulaşım ağı güzergahının değerlendirilmesi [98] ve kazaların incelenmesi [11] konularında yeni bir ulaşım ağıının

oluşturulması ve sistemlerdeki mevcut eksiklerinin belirlenmesi konularının ele alındığı pek çok çalışmada AHP ve TOPSIS yöntemlerinin farklı ÇKKV yöntemleri ile bir arada kullandığı görülmüştür.

AHP ve TOPSIS yöntemlerinin sadece birisinin kullanımı ile yapılan incelemeler de bulunmaktadır. AHP ile durak alanı belirlenmesi [99], yolcu memnuniyeti ile toplu taşıma sistemi kalitesinin değerlendirilmesi [66], güzergâhların karşılaştırılması [55, 60] ve kullanılacak toplu taşıma türünün seçilmesi [40] konularının ele alındığı örnekler gözlemlenmiştir. TOPSIS yöntemi ile de güvenliğin incelemesi [40, 100, 101], kent içi ulaşım sistemi güç kaynağının değerlendirilmesi [102], toplu taşıma sistemlerinin önceliklendirilmesi uygulamasının performansının değerlendirilmesi [103] ve toplu ulaşım sisteminin genel hizmet performansı değerlendirmesi [104] konularının ele alındığı çalışmaların örneklerinin bulunduğu gözlemlenmiştir.

Tramvay duraklarının hizmet performansının AHP-TOPSIS yöntemleri ile incelenmesi için geliştirilmiş ÇKKV yaklaşımı metodolojisinin adımları aşağıdaki gibidir:

- Karar verme matrisinin oluşturulması
- Uzman görüşleri ve AHP ile ölçütlerin ağırlıklandırılması
- Uzman görüşleri ve AHP ile durakların güvenlik ölçütü altındaki değerlendirmelerinin yapılması
- Problemin TOPSIS ile çözülmesi.

5.2.3.1. Karar verme matrisinin oluşturulması

Karar verme matrisi, ele alınan alternatiflerin çoklu ölçütler altında aldıkları değerlerden ve ölçütlere yönelik belirlenen ağırlık değerlerinden oluşmaktadır. Çalışma kapsamında ele alınan ve doğası gereği sayısal değer sunan hizmet alanı, güvenilirlik ve konfor ölçütlerine yönelik matris değerleri sırasıyla 5.3, 5.4 ve 5.5 denklemleri ile elde edilir. Değerlendirme alternatifimiz olan duraklarda güvenlik ölçütünde bulunan değerlerin sayısal bir veri haline getirilebilmesi amacıyla uzman görüşlerinden yararlanılır ve çeşitli bakış açılarında ortaya çıkabilecek olan değişikliklerin de değerlendirmeye dâhil edilebilmesi için görüşlerinden yararlanan uzman grubunda inceleme yapılan çalışma alanında bilgili, akademik yönden ve sektörde deneyim sahibi olan farklı uzmanlara danışılır. AHP metodunun temelinde yer alan ve uzmanların karşılaştırmalara yönelik yargılarının belirlenmesi için kullanılacak değerlendirme ölçeği

ile değerlerin tanımları, değerlendirilme ölçütü ve değerlendirilmekte olan alternatifler konusunda uzmanlara ayrıntılı bilgi verilir. Uzmanların değerlendirmeler kapsamında sundukları görüşlere yönelik ortaya çıkan sayısal değerler, geometrik ortalama kullanılarak bir araya getirilir [72].

Her bir alternatifin incelenen ölçütler altında aldıkları nicel değerlerin, ölçütün doğasına bağlı olarak matematiksel formülasyonu ya da AHP yaklaşımı ile uzman görüşleri kullanılarak ve tek boyutlu kolay kullanılabilir hale getirilmesi ile karar matrisi oluşturulur. Buna ek olarak performans değerlendirilmesi için gerekli olan ölçüt ağırlıkları da uzman görüşleri ve AHP yaklaşımı kullanılarak elde edilebilir.

5.2.3.2.AHP ile ölçütlerin ağırlıklandırılması

Bir ulaşım sistemi durağının incelenmesinde kullanılacak olan ölçütlerin hepsinin aynı önem derecesine sahip olduğu kabul edilerek bir inceleme yapılabileceği gibi uzman görüşleri yardımı ile ölçütlerin önem dereceleri tespit edilerek, gerçeğe daha yakın bir inceleme yapılması da mümkündür. Çünkü birimlerin değerlendirilmesinde ele alınan ölçütlerin hepsi aynı önem seviyesinde olmayabilir.

Değerlendirmede kullanılmakta olan ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesinde farklı bakış açılarına göre ortaya çıkan değişiklikleri de göze alabilmek için farklı uzmanlardan yararlanılır. Uzmanların AHP kapsamındaki ölçütlerin önem seviyelerinin karşılaştırılmasına yönelik yargılarının belirlenmesi için ele alınan ölçütler ve değerlendirme ölçeği hakkında uzmanlara ayrıntılı bilgi verilir. Uzmanların ölçütlerin önem seviyelerine dair sundukları görüşleri bir araya getirilir ve AHP metodu ile ilişkili adımlar uygulanarak, ölçüt ağırlıklarına ulaşılır.

5.2.3.3.Problemin TOPSIS ile çözümlenmesi

Ulaştırma sistemlerinin amacı, kullanıcılarına (yolcularına) ulaşım hizmeti sunmaktır. Bir noktadan bir noktaya sağlanan ulaşım hizmetinin kullanıcılar tarafından hız, güvenlik ve konfor gibi çeşitli faktörler açısından değerlendirilmesi ile nihayetinde sistemden yararlanan ya da sistemi kullanmayı tercih eden toplam kullanıcı sayısı ortaya çıkar. Ulaştırma sistemlerine yönelik performans değerlendirmesi, ilgili birimlerin doğası gereği farklı açılardan değerlendirilmelerini gerektirdiği için çok kriterli yaklaşımlardan yararlanmayı zorunlu kılmaktadır. Çalışma kapsamında, tramvay sisteminin durak elemanlarının, potansiyel kullanıcıların ulaşım hizmetinin kullanımına yönelik belirleyici

rolü gözetilerek, bir tramvay hattı üzerindeki durakların hizmet performansı değerlendirilmesi yapılmıştır. ÇKKV yaklaşımlarından olan TOPSIS yöntemi ile durakların çoklu kriterler kapsamında değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

ÇKKV problemlerinin temel öğeleri olan alternatifler ve kriterlere yönelik, diğer bir deyişle duraklara ve ele alınan niteliklerine yönelik, gereken verilerin elde edilmesinin ardından, TOPSIS uygulaması için gereken adımlar gerçekleştirilir. TOPSIS yönteminin temeli olarak kabul edilebilecek olan pozitif ve negatif ideal çözümlerinin tespitinin yapılmasının ardından, her durağın bu ideal noktalara olan Öklid mesafeleri bulunur. Durakların ideal noktalara olan mesafeleri kullanılarak, değerlendirme kapsamında ortaya çıkan öncelik sıralamaları belirlenir. Performans sıralaması ve alternatiflerin her bir ölçüte ait değerlerinin bulunduğu ağırlıklı normalizasyon matrisi kullanılarak durakların performansının geliştirilmesi gereken alanlar gözlemlenebilir. Bu gözlemler ile de durakların hizmet performansının en verimli, az yatırımla büyük kazanç sağlanacak biçimde yükseltilmesi için geliştirilmesi gereken alanlar belirlenebilir.

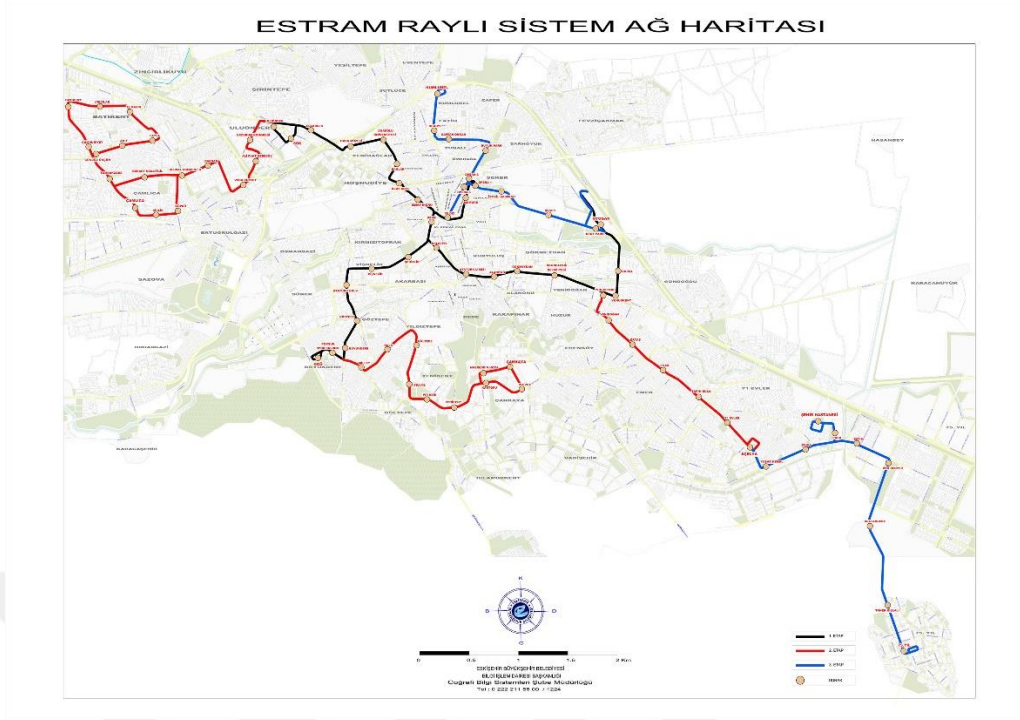
6. ESKİŞEHİR BATIKENT HATTI DURAKLARI HİZMET PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. Problemin ÇKKV Yaklaşımı Altında Tanımlanması

Eskişehir kentinde bulunan EsTram tramvay ağı 24 Aralık 2004 tarihinde kullanıma açılmıştır. EsTram ağı, sistemde ilk olarak yapılmış olan hattın uzatılması ve yeni hatların eklenmesi ile genişlemeye devam etmiştir. EsTram ağının toplam işletme hat uzunluğu, yaklaşık 55 kilometredir (http-18). Estram ağında, 2022 yılı itibari ile kullanımda olan 8 hat bulunmaktadır (Görsel 6.1). Bunlar (http-19):

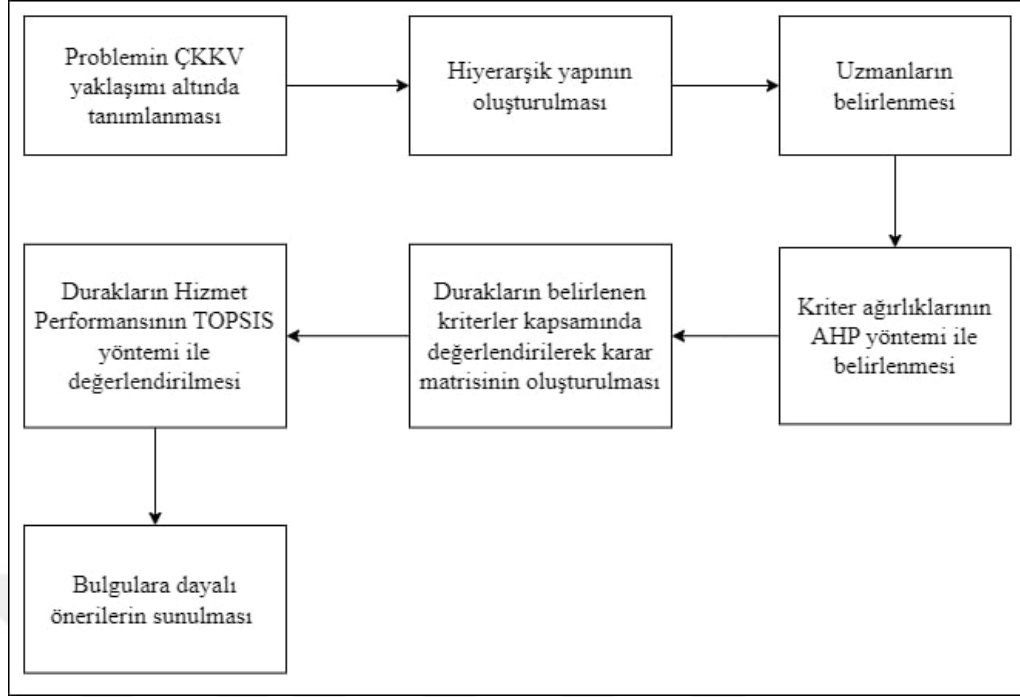
- 1 numaralı Otogar – SSK hattı
- 3 numaralı Osmangazi Üniversitesi (OGÜ) – SSK hattı
- 4 numaralı Otogar – Osmangazi Üniversitesi (OGÜ) hattı
- 7 numaralı Osmangazi Üniversitesi (OGÜ) – Çankaya Ring hattı
- 8 numaralı SSK – Batıkent Ring hattı
- 9 numaralı SSK – Çamlıca Ring hattı
- 10 numaralı Şehir Hastanesi – Kumlubel hattı
- 12 numaralı 75. Yıl – Osmangazi Üniversite (OGÜ) hattı

Bu bölümde, tramvay durakları hizmet performansının değerlendirilmesi için geliştirilen ÇKKV metodolojisinin, Eskişehir kentinde bulunan EsTram tramvay ağındaki SSK-Batıkent Ring hattı durakları üzerinde uygulaması yapılmıştır. İncelemekte olduğumuz hatta SSK durağı ilk durak olarak kabul edildiğinde başlangıç noktasına ulaşmak için SSK durağı dahil 23 duraktan geçilmektedir. Hat ring hattı olduğundan dolayı, hattın belirli bölümlerinde aynı isme sahip ve karşılıklı veya yakın olarak konumlandırılmış duraklar bulunmaktadır. Bundan dolayı, SSK durağından Batıkent durağına hareket ederken geçilen duraklara gidiş durakları, Batıkent durağından SSK durağına hareket sırasında geçilen duraklara ise dönüş durakları denilmiştir ve aynı isme sahip olan durakların hareket yönü belirtilerek ayırt edilebilmeleri sağlanmıştır. Sadece tek bir yöne hareketin gerçekleştirmesini sağlayan duraklarda ise hareket yönünün karıştırılması ihtimali olmadığından herhangi bir hareket yönü belirtilmemiştir.



Görsel 6.1. *EsTram ağ haritası (http-20)*

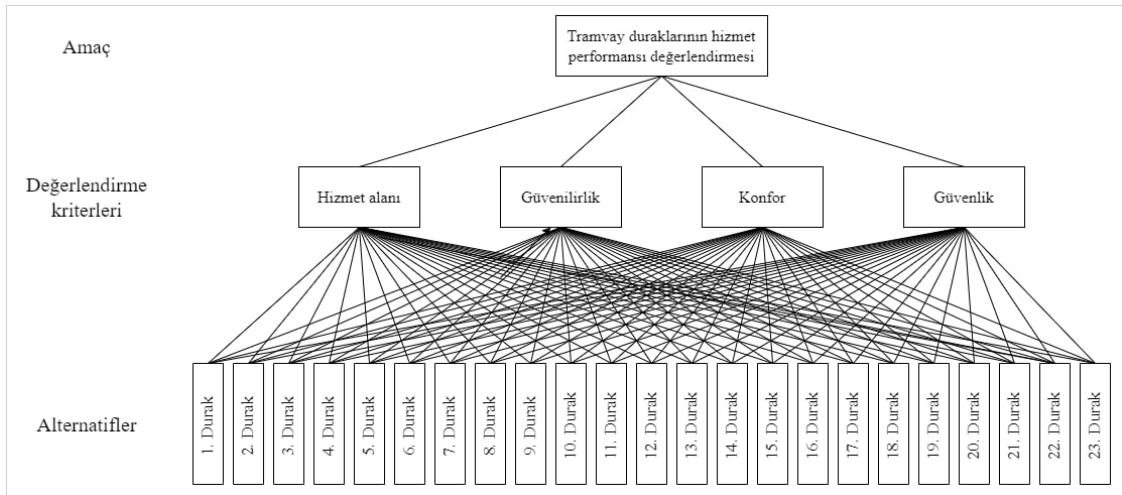
Genel hatlarıyla Görsel 6.2’de de sunulan metodolojik akışta da görüldüğü gibi, öncelikle tramvay duraklarının hizmet performansının ÇKKV yaklaşımı ile değerlendirmesine yönelik problem tanımlaması yapılmıştır. Değerlendirme için ele alınacak ölçütler, metodoloji bölümünde ayrıntılarıyla açıklanmış olup, literatür aracılığıyla belirlenmiş ve problem kapsamında ele alınacak olan duraklar alternatif olarak tanımlanarak hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. Çalışma uzmanlarının da belirlenmesinin ardından analiz için gerekli parametreler olan, değerlendirme ölçütlerinin ağırlıkları ve karar matrisi verilerinin belirlenmesi sağlanmış ve durak hizmet performanslarının değerlendirilmesine yönelik ÇKKV analizi gerçekleştirilmiştir.



Görsel 6.2. Durak hizmet performansının ÇKKV ile değerlendirilmesi metodolojik akışı

6.2. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

ÇKKV yaklaşımı ile ele alınan değerlendirme için ortaya çıkan hiyerarşik yapı Görsel 6.3'te verilmiştir.



Görsel 6.3. Problemin hiyerarşik yapısı

Şekil 6.3'te de belirtildiği gibi 23 tane alternatif olarak tanımlanan Batıkent hattı duraklarının hizmet alanı, güvenilirlik, konfor ve güvenlik ölçütleri altında, hizmet performansı değerlendirmesi amacı ile incelenmesi hedeflenmiştir.

6.3. Uzmanların Belirlenmesi

Çalışmada 4'ü raylı sistemler sektör çalışanı ve 2 tanesi raylı sistemler mühendisliği akademisyeni olan, 6 uzman görüşünden yararlanılmıştır. Uzmanların profesyonel kimlikleri aşağıda sunulmuştur:

- **U1:** Doktor Öğretim Üyesi, Geoteknik bilim doktoru, Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyesi.
- **U2:** Doçent, Makine mühendisliği bilim doktoru, Raylı Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyesi.
- **U3:** Belediye üst düzey yöneticisi.
- **U4:** EsTram işletmesi üst düzey yönetici.
- **U5:** EsTram işletmesi üst düzey yönetici.
- **U6:** EsTram sürücü şefi.

6.4. Ölçüt Ağırlıklarının AHP Yöntemi ile Belirlenmesi

SSK-Batıkent Ring hattı duraklarında uygulanacak hizmet performans değerlendirmesi için belirlenen ölçütlerin AHP yöntemi ile önem ağırlıklarının belirlenmesinde, 6 farklı uzmanın Tablo 5.2'de verilen AHP değerlendirme ölçeğinin kullanılmasıyla sundukları görüşlerden yararlanılmıştır.

6.4.1. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve tutarlılık kontrollerinin yapılması

Her bir uzmanın vermiş olduğu cevaplara göre ölçüt ağırlıklarının hesaplamasında kullanılacak olan ikili karşılaştırma matrisleri ve bu verilerin tutarlılığının incelemesi aşağıda verilmiştir. 1. uzmana ait ikili karşılaştırma matrisi (Tablo 6.1) aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.1. U1 ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	Hizmet alanı	Güvenilirlik	Güvenlik	Konfor
Hizmet alanı	1,000	3,000	0,333	7,000
Güvenilirlik	0,333	1,000	0,250	5,000
Güvenlik	3,000	4,000	1,000	9,000
Konfor	0,143	0,200	0,111	1,000

2. uzmana ait ikili karşılaştırma matrisi (Tablo 6.2) aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.2. *U2 ikili karşılaştırma matrisi*

Kriterler	Hizmet alanı	Güvenilirlik	Güvenlik	Konfor
Hizmet alanı	1,000	0,500	0,330	2,000
Güvenilirlik	2,000	1,000	0,500	3,000
Güvenlik	3,000	2,000	1,000	5,000
Konfor	0,500	0,330	0,200	1,000

3. uzmana ait ikili karşılaştırma matrisi (Tablo 6.3) aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.3. *U3 ikili karşılaştırma matrisi*

Kriterler	Hizmet alanı	Güvenilirlik	Güvenlik	Konfor
Hizmet alanı	1,000	1,000	0,333	2,000
Güvenilirlik	1,000	1,000	0,200	2,000
Güvenlik	3,000	5,000	1,000	7,000
Konfor	0,500	0,500	0,143	1,000

4. uzmana ait ikili karşılaştırma matrisi (Tablo 6.4) aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.4. *U4 ikili karşılaştırma matrisi*

Kriterler	Hizmet alanı	Güvenilirlik	Güvenlik	Konfor
Hizmet alanı	1,000	2,000	1,000	3,000
Güvenilirlik	0,500	1,000	2,000	4,000
Güvenlik	1,000	0,500	1,000	3,000
Konfor	0,333	0,250	0,333	1,000

5. uzmana ait ikili karşılaştırma matrisi (Tablo 6.15) aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.5. *U5 ikili karşılaştırma matrisi*

Kriterler	Hizmet alanı	Güvenilirlik	Güvenlik	Konfor
Hizmet alanı	1,000	0,500	1,000	2,000
Güvenilirlik	2,000	1,000	2,000	1,000
Güvenlik	1,000	0,500	1,000	2,000
Konfor	0,500	1,000	0,500	1,000

6. uzmana ait ikili karşılaştırma matrisi Tablo 6.6’da verilmiştir.

Tablo 6.6. U6 ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	Hizmet alanı	Güvenilirlik	Güvenlik	Konfor
Hizmet alanı	1,000	1,000	0,500	1,000
Güvenilirlik	1,000	1,000	1,000	2,000
Güvenlik	2,000	1,000	1,000	2,000
Konfor	1,000	0,500	0,500	1,000

Her bir uzmana ait görüşlerin AHP metodu ile incelenmesi sonucu elde edilen tutarlılık değerleri Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7. Uzman görüşlerinin tutarlılık değerleri

Uzmanlar	$\lambda_{\max}$	Tutarlılık endeksi (CI)	Tutarlılık değeri (CR)
U1	4,167	0,056	0,062
U2	4,009	0,003	0,003
U3	4,026	0,009	0,010
U4	4,195	0,065	0,072
U5	4,250	0,083	0,093
U6	4,061	0,020	0,022

Kriterlerin ikili karşılaştırılmasına yönelik sunulan uzman görüşünün tutarlılık değerleri 0,10 değerinden küçük olduğundan dolayı, sunulan görüşlerin değerlendirmede kullanılabilecek düzeyde tutarlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

6.4.2. Uzman görüşlerinin birleştirilmesi

Durakların hizmet performans değerlendirmesinde kullanılan ölçütlerin önem ağırlıklarının belirlenmesi için, tutarlılığı kontrol edilmiş olan uzman görüşlerine ait ikili karşılaştırma matrisi verilerinin geometrik ortalaması alınarak uzman görüşleri bir araya getirilir ve Tablo 6.8’de görülen matris elde edilir.

Tablo 6.8. Uzman görüşlerinin birleştirilmesiyle elde edilen ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	Hizmet alanı	Güvenilirlik	Güvenlik	Konfor
Hizmet alanı	1,000	1,070	0,513	2,349
Güvenilirlik	0,935	1,000	0,681	2,493
Güvenlik	1,944	1,468	1,000	3,947
Konfor	0,426	0,400	0,253	1,000

6.4.3. AHP yöntemi uygulamasının yapılması

Uzman görüşlerinin birleştirilmesi sonucu elde edilmiş olan ikili karşılaştırma matrisi ile ölçüt ağırlıklarının bulunabilmesi için AHP yöntemi uygulanır.

Uzman görüşlerinin geometrik ortalaması alındıktan sonra elde edilmiş olan ikili karşılaştırmalar matrisinin (Tablo 6.8) oluşturulmasından sonra, matris normalizasyonu yapılır. Elde edilen normalizasyon matrisi Tablo 6.9’da verilmiştir.

Tablo 6.9. *Normalize edilmiş ikili karşılaştırma matrisi*

Kriterler	Hizmet alanı	Güvenilirlik	Güvenlik	Konfor	Ölçüt ağırlığı (w_j)
Hizmet alanı	0,232	0,272	0,210	0,240	0,238
Güvenilirlik	0,217	0,254	0,278	0,255	0,251
Güvenlik	0,452	0,373	0,408	0,403	0,409
Konfor	0,099	0,102	0,103	0,102	0,102

Her bir uzmandan alınan verilerin birlikte değerlendirilmesi sonucu hizmet alanının 0,238 ölçüt ağırlığına, güvenilirliğin 0,251 ölçüt ağırlığına, güvenliğin 0,409 ölçüt ağırlığına ve konforun 0,102 ölçüt ağırlığına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

6.5. Karar Matrisinin Oluşturulması

SSK-Batıkent Ring hattında bulunan tramvay durakların hizmet performansının ÇKKV yaklaşımı ile değerlendirilebilmesi için çalışma kapsamında hizmet alanı, güvenilirlik, konfor ve güvenlik ölçütlerinden oluşan dört değerlendirme ölçüt bulunmaktadır. Durakların ölçütler altında aldıkları değerlerin belirlenmesi ve karar matrisinin oluşturulması alt başlıklar halinde sunulmuştur.

6.5.1. Durakların hizmet alanı değerlendirmesi

İncelenmekte olan hatta bulunan durakların Google Earth uygulamasından elde edilen uydu görüntülerinin ve sırasıyla denklem 5.1, 5.2 ve 5.3’ün kullanılması ile her bir durağa ait hizmet alanı potansiyel yolcu sayısı ele edilir.

Durağın hizmet alanındaki nüfusun hesaplanması için alanın kuşbakışı görüntüsü kullanılıp her bir hizmet alanı bölgesi içinde bulunan konut olarak kullanılan bina sayısı b_m değerleri bulunur. Diğer yandan çalışma kapsamında hat boyunca sıklıkla gözlemlenen bina kat sayısı k değeri 3 ve her bir katta bulunan daire sayısı d değeri ise 2 olarak kabul edilmiştir. Her durağın hizmet alanı potansiyel yolcu sayısını belirlemek üzere bina, kat

ve bir kattaki daire sayısı kullanılarak her durak bölgesindeki hane sayıları Tablo 6.10’da görüldüğü gibi belirlenmiştir.

Tablo 6.10. *Durakların hizmet alanı bölgelerindeki hane sayıları*

Durak/Hane sayısı			Alandaki hane sayısı			
			100 m	200 m	300 m	400 m
GİDİŞ	1	SSK	48	240	390	690
	2	ERZURUM KONGRESİ	54	162	492	480
	3	ALİ FUAT CEBESÖY	120	252	222	252
	4	VEGA OUTLET	90	270	216	480
	5	BAKSAN	0	0	0	354
	6	ULUSAL EGEMENLİK	30	444	546	288
	7	BEHÇET NECATİGİL	336	1044	1770	1086
	8	TOMBAKZADE	240	672	1386	1392
	9	GÜNDÜZ ÖKÇÜN	156	360	786	942
	10	ANIT	144	648	804	1416
	11	FATİH	204	708	720	672
	12	ONDOKUZ MAYIS	174	300	420	492
	13	ARICILAR	102	252	336	696
	14	BATIKENT	54	168	342	372
DÖNÜŞ	15	CUMHURİYET	180	300	456	528
	16	TOMBAKZADE	258	678	1140	1290
	17	BEHÇET NECATİGİL	336	1044	1770	1086
	18	ULUSAL EGEMENLİK	30	444	546	288
	19	BAKSAN	0	0	0	354
	20	VEGA OUTLET	90	270	216	480
	21	ALİ FUAT CEBESÖY	120	198	222	324
	22	ERZURUM KONGRESİ	54	144	378	384
	23	ULUÖNDER	126	1050	498	1116

Her durağın hizmet alanındaki potansiyel yolcu sayısının bulunmasında önemli bir değişken olan hane nüfusu değeri olarak *a* değeri, TÜİK 2020 yılı ortalama hane halkı nüfusu değeri olan 2,68 olarak kabul edilmiştir. Uygulamamızda tramvay sisteminin genel kullanıcı kitlesi olarak 15 yaş ve üstü (+15) nüfus üzerinden bir inceleme

yapıldığından TÜİK 2021 illere göre nüfus değeri istatistiklerinin kullanılması ile +15 nüfusun kentteki oranı olan y değeri 0,82 olarak alınıp, denklem 5.1 kullanılarak durakların 100 metre, 200 metre, 300 metre ve 400 metre yarıçaplı bölgelerinde inceleme yapılacak kitlenin nüfusu $N_{i,m}$ değerleri elde edilir (Tablo 6.11).

Tablo 6.11. Durakların hizmet alanı bölgelerindeki 15 yaş üzeri nüfus sayıları

Durak/Hizmet alanı bölgeleri		100 m	200 m	300 m	400 m
GİRİŞ	1 SSK	105,780	528,080	857,720	1517,000
	2 ERZURUM KONGRESİ	118,900	356,700	1081,580	1055,340
	3 ALİ FUAT CEBESÖY	264,040	554,320	487,900	554,320
	4 VEGA OUTLET	198,440	593,680	474,780	1055,340
	5 BAKSAN	0,000	0,000	0,000	778,180
	6 ULUSAL EGEMENLİK	66,420	975,800	1200,480	633,040
	7 BEHÇET NECATİGİL	738,820	2294,360	3890,080	2387,020
	8 TOMBAKZADE	528,080	1476,820	3046,300	3059,420
	9 GÜNDÜZ ÖKÇÜN	343,580	791,300	1727,740	2070,500
	10 ANIT	316,520	1424,340	1767,100	3111,900
	11 FATİH	448,540	1556,360	1582,600	1476,820
	12 ONDOKUZ MAYIS	382,940	659,280	923,320	1081,580
	13 ARICILAR	224,680	554,320	738,820	1530,120
	14 BATIKENT	118,900	369,820	751,940	817,540
DÖNÜŞ	15 CUMHURİYET	396,060	659,280	1002,860	1161,120
	16 TOMBAKZADE	567,440	1490,760	2505,920	2835,560
	17 BEHÇET NECATİGİL	738,820	2294,360	3890,080	2387,020
	18 ULUSAL EGEMENLİK	66,420	975,800	1200,480	633,040
	19 BAKSAN	0,000	0,000	0,000	778,180
	20 VEGA OUTLET	198,440	593,680	474,780	1055,340
	21 ALİ FUAT CEBESÖY	264,040	435,420	487,900	712,580
	22 ERZURUM KONGRESİ	118,900	315,700	831,480	844,600
	23 ULUÖNDER	277,160	2307,480	1094,700	2452,620

Hizmet alanı bölgelerindeki +15 nüfus değeri ile Görsel 5.2’de bulunan grafiğin kullanımıyla belirlenmiş yolcu çekme oranı ve denklem 5.2 kullanılarak bölgelere ait

potansiyel yolcu sayısı $P_{i,m}$ ve denklem 5.3 kullanılarak da durağa ait 15 yaş üzerindeki genel potansiyel yolcu sayısı P_i elde edilir (Tablo 6.12).

Tablo 6.12. Durakların hizmet alanı içindeki potansiyel kullanıcı sayıları

Durak/Potansiyel kullanıcı			Potansiyel kullanıcı (+15)				Toplam P_i
			100 m $P_{i,100}$	200 m $P_{i,200}$	300 m $P_{i,300}$	400 m $P_{i,400}$	
GİRİŞ	1	SSK	100,491	448,868	428,860	379,250	1357,469
	2	ERZURUM KONGRESİ	112,955	303,195	540,790	263,835	1220,775
	3	ALİ FUAT CEBESÖY	250,838	471,172	243,950	138,580	1104,540
	4	VEGA OUTLET	188,518	504,628	237,390	263,835	1194,371
	5	BAKSAN	0,000	0,000	0,000	194,545	194,545
	6	ULUSAL EGEMENLİK	63,099	829,430	600,240	158,260	1651,029
	7	BEHÇET NECATİGİL	701,879	1950,206	1945,040	596,755	5193,880
	8	TOMBAKZADE	501,676	1255,297	1523,150	764,855	4044,978
	9	GÜNDÜZ ÖKÇÜN	326,401	672,605	863,870	517,625	2380,501
	10	ANIT	300,694	1210,689	883,550	777,975	3172,908
	11	FATİH	426,113	1322,906	791,300	369,205	2909,524
	12	ONDOKUZ MAYIS	363,793	560,388	461,660	270,395	1656,236
	13	ARICILAR	213,446	471,172	369,410	382,530	1436,558
	14	BATIKENT	112,955	314,347	375,970	204,385	1007,657
DÖNÜŞ	15	CUMHURİYET	376,257	560,388	501,430	290,280	1728,355
	16	TOMBAKZADE	539,068	1267,146	1252,960	708,890	3768,064
	17	BEHÇET NECATİGİL	701,879	1950,206	1945,040	596,755	5193,880
	18	ULUSAL EGEMENLİK	63,099	829,430	600,240	158,260	1651,029
	19	BAKSAN	0,000	0,000	0,000	194,545	194,545
	20	VEGA OUTLET	188,518	504,628	237,390	263,835	1194,371
	21	ALİ FUAT CEBESÖY	250,838	370,107	243,950	178,145	1043,040
	22	ERZURUM KONGRESİ	112,955	268,345	415,740	211,150	1008,190
	23	ULUÖNDER	263,302	1961,358	547,350	613,155	3385,165

6.5.2. Durakların güvenilirlik değerlendirmesi

İncelenen hatta bulunan durakların güvenilirlik değerlerinin belirlenebilmesi için kaydedilmiş olan zaman çizelgesinden sapma değerlerinin standart sapması alınır (denklem 5.4). Bir hafta boyunca her gün sabah ve akşam, tramvay kullanımının yoğun olduğu vakitlerde 5'er tur ölçüm yapılmıştır. Günlük 10 ölçüm ve haftalık toplam 70 ölçümden elde edilen standart sapma değerleri tabloda verilmiştir (Tablo 6.13). Tabloda gösterilmiş olan veriler dakika: saniye biçiminde yazılmıştır.

Tablo 6.13. *Durakların zaman çizelgesinden sapma sürelerinin standart sapma değerleri*

Duraklar	Genel standart sapma (dakika: saniye)
1. SSK	00:52
2. Erzurum Kongresi	00:47
3. Ali Fuat Cebesoy	00:49
4. Vega Outlet	01:29
5. Baksan	00:57
6. Ulusal Egemenlik	01:01
7. Behçet Necatigil	01:04
8. Tombakzade	01:07
9. Gündüz Ökçün	01:06
10. Anıt	01:11
11. Fatih	01:12
12. 19 Mayıs	01:19
13. Arıcılar	01:20
14. Batıkent	00:51
15. Cumhuriyet	00:55
16. Tombakzade (Dönüş)	00:55
17. Behçet Necatigil (Dönüş)	01:03
18. Ulusal Egemenlik (Dönüş)	01:06
19. Baksan (Dönüş)	01:02
20. Vega Outlet (Dönüş)	01:04
21. Ali Fuat Cebesoy (Dönüş)	01:07
22. Erzurum Kongresi (Dönüş)	01:07
23. Uluönder	01:18

6.5.3. Durakların konfor değerlendirilmesi

Konfor incelemesi yapmak için duraklardaki tramvayın durağa geldiği andaki yolcu sayılarının ortalaması ile durak yüzölçümü alan verilerinden yararlanılır ve denklem

5.5'in kullanımıyla duraklardaki yolcu yoğunluğu bulunur. Bir hafta boyunca her gün sabah ve akşam, tramvay kullanımının yoğun olduğu vakitlerde 5'şer tur ölçüm yapılmıştır. Böylelikle günlük 10 ölçüm ve haftalık toplam 70 ölçümden elde edilen ortalama yolcu değerleri ile durak alanı ve yoğunluğu değerleri tabloda verilmiştir (Tablo 6.14).

Tablo 6.14. Duraklardaki ortalama yolcu yoğunluğu

Duraklar	Genel ortalama	Alan (m ²)	Yolcu Yoğunluğu
1. SSK	25,986	139,2696	0,187
2. Erzurum Kongresi	3,843	69,9712	0,055
3. Ali Fuat Cebesoy	1,357	69,9712	0,019
4. Vega Outlet	7,514	69,9712	0,107
5. Baksan	1,186	69,9712	0,017
6. Ulusal Egemenlik	2,014	69,9712	0,029
7. Behçet Necatigil	4,100	69,9712	0,059
8. Tombakzade	2,457	69,9712	0,035
9. Gündüz Ökçün	1,129	69,9712	0,016
10. Anıt	2,000	69,9712	0,029
11. Fatih	5,014	69,9712	0,072
12. 19 Mayıs	3,257	69,9712	0,047
13. Arıcılar	3,400	69,9712	0,049
14. Batıkent	3,257	69,9712	0,047
15. Cumhuriyet	3,786	69,9712	0,054
16. Tombakzade (Dönüş)	9,071	69,9712	0,130
17. Behçet Necatigil (Dönüş)	12,229	69,9712	0,175
18. Ulusal Egemenlik (Dönüş)	3,257	69,9712	0,047
19. Baksan (Dönüş)	2,429	69,9712	0,035
20. Vega Outlet (Dönüş)	11,729	69,9712	0,168
21. Ali Fuat Cebesoy (Dönüş)	2,614	69,9712	0,037
22. Erzurum Kongresi (Dönüş)	2,957	69,9712	0,042
23. Uluönder	34,457	126,4864	0,272

6.5.4. Durakların güvenlik değerlendirilmesi

Güvenlik incelemesi yapabilmek için durağın çevresinde, yolcunun durağa erişimini etkileyen etmenlerin bir listesi oluşturulmuştur (Tablo 6.15). Uzmanlar, bu liste ve güvenlik ölçeği değerlerini (Tablo 5.2) kullanılarak her bir durağın güvenlik değerlendirmesi için 1 çok riskli, 9 çok güvenliyi göstermek üzere 1-9 arasında bir puan ataması yapar. Değerlendirme için çoklu uzman görüşünden yararlanıldığı için, uzman görüşlerinin ortalaması alınmış olup, durakların güvenlik değerlendirilmesi Tablo 6.16'daki gibi elde edilmiştir.

Tablo 6.15. Durak çevresinde güvenliği etkileyen etmenler

Etmenler/ Duraklar	GİDİŞ										DÖNÜŞ												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	SSK	ERZURUM KONGRESİ	ALİ FUAT CEBESÖY	VEGA OUTLET	BAKSAN	ULUSAL EGEMENLİK	BEHÇET NECATİGİL	TOMBAKZADE	GÜNDÜZ ÖKÇÜN	ANIT	FATİH	ONDOKUZ MAYIS	ARICILAR	BATIKENT	CUMHURİYET	TOMBAKZADE	BEHÇET NECATİGİL	ULUSAL EGEMENLİK	BAKSAN	VEGA OUTLET	ALİ FUAT CEBESÖY	ERZURUM KONGRESİ	ULUÖNDER
Yaya yolu	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x
Sinyalizasyon(Sürekli)						x												x					x
Sinyalizasyon (Fasıllı)					x		x					x	x				x		x				
Dört yol					x	x	x					x	x				x	x	x				x
Kesişim noktası	x		x				x	x	x	x	x				x	x		x			x		
Yayalaştırılmış alan			x	x																x	x		
Diğer taşıtların yol kullanım ihlali	x		x	x	x		x					x			x				x	x	x		
Yol kenarına dayalı durak																							x

Tablo 6.16. Durakların güvenlik değerlendirilmesi

Duraklar			Güvenlik derecesi						
			U1	U2	U3	U4	U5	U6	Ortalama
GİDİŞ	1	SSK	2	1	2	2	1	1	1,6
	2	ERZURUM KONGRESİ	5	3	4	7	3	4	4,4
	3	ALİ FUAT CEBESÖY	7	4	6	9	8	8	6,8
	4	VEGA OUTLET	8	6	8	9	9	9	8
	5	BAKSAN	5	3	5	7	5	8	5
	6	ULUSAL EGEMENLİK	5	5	5	4	8	8	5,4
	7	BEHÇET NECATİGİL	5	2	5	4	3	6	3,8
	8	TOMBAKZADE	4	3	4	4	4	8	3,8
	9	GÜNDÜZ ÖKÇÜN	5	4	5	7	5	8	5,2
	10	ANIT	5	4	5	7	5	8	5,2
	11	FATİH	5	4	5	7	5	8	5,2
	12	ONDOKUZ MAYIS	4	3	5	5	7	8	4,8
	13	ARICILAR	6	5	6	8	7	8	6,4
	14	BATIKENT	3	3	3	8	6	8	4,6
DÖNÜŞ	15	CUMHURİYET	3	2	2	8	6	8	4,2
	16	TOMBAKZADE	4	3	4	4	4	8	3,8
	17	BEHÇET NECATİGİL	5	3	5	4	3	6	4
	18	ULUSAL EGEMENLİK	5	4	5	4	8	8	5,2
	19	BAKSAN	5	3	5	7	5	8	5
	20	VEGA OUTLET	8	6	8	9	9	9	8
	21	ALİ FUAT CEBESÖY	7	3	6	9	8	8	6,6
	22	ERZURUM KONGRESİ	5	3	4	7	3	4	4,4
	23	ULUÖNDER	6	2	5	3	1	1	3,4

6.6. TOPSIS Uygulaması ile Durakların Hizmet Performansı Değerlendirmesi

Durakların belirlenen ölçütler altındaki değerlendirmelerinin ve uzman görüşleriyle elde edilen ölçüt önem ağırlıklarının belirlenmesinin ardından, durakların hizmet performans değerlendirmesinin yapılması amacıyla TOPSIS metodu kullanılır. Tablo 6.17’de TOPSIS yöntemi karar matrisi verilmiştir.

Tablo 6.17. Durakların hizmet performansının TOPSIS yöntemi ile değerlendirmesi için elde edilen karar matrisi

Duraklar		Hizmet alanı (yolcu sayısı)	Güvenilirlik (saniye)	Güvenlik (1-9)	Konfor (yolcu sayısı/m ²)
GİRİŞ	1 SSK	1357,469	52	1,6	0,187
	2 ERZURUM KONGRESİ	1220,775	47	4,4	0,055
	3 ALİ FUAT CEBESÖY	1104,54	49	6,8	0,019
	4 VEGA OUTLET	1194,371	89	8	0,107
	5 BAKSAN	194,545	57	5	0,017
	6 ULUSAL EGEMENLİK	1651,029	61	5,4	0,029
	7 BEHÇET NECATİGİL	5193,88	64	3,8	0,059
	8 TOMBAKZADE	4044,978	67	3,8	0,035
	9 GÜNDÜZ ÖKÇÜN	2380,501	66	5,2	0,016
	10 ANIT	3172,908	71	5,2	0,029
	11 FATİH	2909,524	72	5,2	0,072
	12 ONDOKUZ MAYIS	1656,236	79	4,8	0,047
	13 ARICILAR	1436,558	80	6,4	0,049
	14 BATIKENT	1007,657	51	4,6	0,047
DÖNÜŞ	15 CUMHURİYET	1728,355	55	4,2	0,054
	16 TOMBAKZADE	3768,064	55	3,8	0,130
	17 BEHÇET NECATİGİL	5193,88	63	4	0,175
	18 ULUSAL EGEMENLİK	1651,029	66	5,2	0,047
	19 BAKSAN	194,545	62	5	0,035
	20 VEGA OUTLET	1194,371	64	8	0,168
	21 ALİ FUAT CEBESÖY	1043,04	67	6,6	0,037
	22 ERZURUM KONGRESİ	1008,19	67	4,4	0,042
	23 ULUÖNDER	3385,165	78	3,4	0,272
Ölçüt ağırlığı		0,238	0,251	0,409	0,102

6.6.1. Normalize karar matrisinin oluşturulması

Karar matrisinin oluşturulmasının ardından matriste bulunan her bir ölçüt değerine denklem 5.10 uygulanarak ölçütlerin normalizasyon değerleri bulunur ve normalize karar matrisi oluşturulur (Tablo 6.18).

Tablo 6.18. TOPSIS yöntemi için normalize karar matrisi

Duraklar		Hizmet alanı	Güvenilirlik	Güvenlik	Konfor	
GİDİŞ	1	SSK	0,113	0,166	0,064	0,391
	2	ERZURUM KONGRESİ	0,102	0,150	0,177	0,115
	3	ALİ FUAT CEBESÖY	0,092	0,157	0,273	0,041
	4	VEGA OUTLET	0,100	0,284	0,321	0,225
	5	BAKSAN	0,016	0,182	0,201	0,036
	6	ULUSAL EGEMENLİK	0,138	0,195	0,217	0,060
	7	BEHÇET NECATİGİL	0,433	0,204	0,153	0,123
	8	TOMBAKZADE	0,337	0,214	0,153	0,074
	9	GÜNDÜZ ÖKÇÜN	0,198	0,211	0,209	0,034
	10	ANIT	0,264	0,227	0,209	0,060
	11	FATİH	0,242	0,230	0,209	0,150
	12	ONDOKUZ MAYIS	0,138	0,252	0,193	0,098
	13	ARICILAR	0,120	0,256	0,257	0,102
	14	BATIKENT	0,084	0,163	0,185	0,098
DÖNÜŞ	15	CUMHURİYET	0,144	0,176	0,169	0,113
	16	TOMBAKZADE	0,314	0,176	0,153	0,272
	17	BEHÇET NECATİGİL	0,433	0,201	0,161	0,366
	18	ULUSAL EGEMENLİK	0,138	0,211	0,209	0,098
	19	BAKSAN	0,016	0,198	0,201	0,073
	20	VEGA OUTLET	0,100	0,204	0,321	0,351
	21	ALİ FUAT CEBESÖY	0,087	0,214	0,265	0,078
	22	ERZURUM KONGRESİ	0,084	0,214	0,177	0,089
	23	ULUÖNDER	0,282	0,249	0,137	0,571
Ölçüt ağırlığı		0,238	0,251	0,409	0,102	

6.6.2. Ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması

AHP yöntemi ve uzman görüşleri aracılığıyla belirlenmiş ölçüt ağırlıklarının ve Tablo 6.19'daki normalize karar matrisi aracılığıyla ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulur.

Tablo 6.19. TOPSIS yöntemi için ağırlıklı normalize karar matrisi

Duraklar		Hizmet alanı	Güvenilirlik	Güvenlik	Konfor	
GİDİŞ	1	SSK	0,027	0,042	0,026	0,040
	2	ERZURUM KONGRESİ	0,024	0,038	0,072	0,012
	3	ALİ FUAT CEBESÖY	0,022	0,039	0,112	0,004
	4	VEGA OUTLET	0,024	0,071	0,131	0,023
	5	BAKSAN	0,004	0,046	0,082	0,004
	6	ULUSAL EGEMENLİK	0,033	0,049	0,089	0,006
	7	BEHÇET NECATİGİL	0,103	0,051	0,062	0,012
	8	TOMBAKZADE	0,080	0,054	0,062	0,007
	9	GÜNDÜZ ÖKÇÜN	0,047	0,053	0,085	0,003
	10	ANIT	0,063	0,057	0,085	0,006
	11	FATİH	0,058	0,058	0,085	0,015
	12	ONDOKUZ MAYIS	0,033	0,063	0,079	0,010
	13	ARICILAR	0,029	0,064	0,105	0,010
	14	BATIKENT	0,020	0,041	0,076	0,010
DÖNÜŞ	15	CUMHURİYET	0,034	0,044	0,069	0,012
	16	TOMBAKZADE	0,075	0,044	0,062	0,028
	17	BEHÇET NECATİGİL	0,103	0,051	0,066	0,037
	18	ULUSAL EGEMENLİK	0,033	0,053	0,085	0,010
	19	BAKSAN	0,004	0,050	0,082	0,007
	20	VEGA OUTLET	0,024	0,051	0,131	0,036
	21	ALİ FUAT CEBESÖY	0,021	0,054	0,108	0,008
	22	ERZURUM KONGRESİ	0,020	0,054	0,072	0,009
	23	ULUÖNDER	0,067	0,063	0,056	0,058
Ölçüt ağırlığı		0,238	0,251	0,409	0,102	

6.6.3. Pozitif ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi

TOPSIS yöntemi kapsamında alternatiflerin üstünlüklerinin belirlenmesinde pozitif ve negatif ideal çözüm değerlerin bulunması temel teşkil etmektedir. Hizmet alanı ve güvenlik ölçütleri fayda ölçütü iken güvenilirlik ve konfor ölçütlerinin maliyet ölçütleri olduğu göz önüne alınarak, pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri Tablo 6.20'deki gibi tespit edilmiştir.

Tablo 6.20. Pozitif ve negatif ideal çözüm değerleri

	Hizmet alanı	Güvenilirlik	Güvenlik	Konfor
A ⁺	0,103	0,038	0,131	0,003
A ⁻	0,004	0,071	0,026	0,058

6.6.4. Ayırım ölçülerinin bulunması

Alternatiflerin ayırım ölçüleri, her birinin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan öklid mesafelerinin belirlenmesi ile elde edilmektedir. Pozitif ideal çözümlere olan uzaklık olan d_i^+ için, denklem 5.14 ve negatif ideal çözümlere olan uzaklık olan d_i^- için denklem 5.15 kullanılır ve ayırım ölçüleri Tablo 6.21'deki gibi elde edilir.

Tablo 6.21. *Durakların ayırım ölçüleri*

Duraklar		d_i^+	d_i^-
GİDİŞ	1 SSK	0,135	0,042
	2 ERZURUM KONGRESİ	0,099	0,076
	3 ALİ FUAT CEBESÖY	0,084	0,107
	4 VEGA OUTLET	0,088	0,113
	5 BAKSAN	0,111	0,082
	6 ULUSAL EGEMENLİK	0,083	0,089
	7 BEHÇET NECATİGİL	0,071	0,117
	8 TOMBAKZADE	0,075	0,100
	9 GÜNDÜZ ÖKÇÜN	0,074	0,093
	10 ANIT	0,064	0,100
	11 FATİH	0,069	0,092
	12 ONDOKUZ MAYIS	0,092	0,077
	13 ARICILAR	0,084	0,096
	14 BATIKENT	0,100	0,077
DÖNÜŞ	15 CUMHURİYET	0,094	0,075
	16 TOMBAKZADE	0,079	0,090
	17 BEHÇET NECATİGİL	0,075	0,111
	18 ULUSAL EGEMENLİK	0,086	0,084
	19 BAKSAN	0,112	0,078
	20 VEGA OUTLET	0,087	0,111
	21 ALİ FUAT CEBESÖY	0,087	0,099
	22 ERZURUM KONGRESİ	0,103	0,071
	23 ULUÖNDER	0,103	0,070

6.6.5. İdeal çözüme olan göreceli yakınlıkların hesaplanması

Ayırım ölçülerinin bulunmasının ardından denklem 5.16'nın uygulanması ile durakların hizmet performans sıralamasının da yapılmasını sağlayacak göreceli yakınlıkları bulunur (Tablo 6.22).

Tablo 6.22. Durakların TOPSIS yöntemi ile elde edilen göreceli yakınlık değerleri

Duraklar		C_i^+
GİRİŞ	1 SSK	0,237
	2 ERZURUM KONGRESİ	0,435
	3 ALİ FUAT CEBESÖY	0,562
	4 VEGA OUTLET	0,560
	5 BAKSAN	0,425
	6 ULUSAL EGEMENLİK	0,517
	7 BEHÇET NECATİGİL	0,622
	8 TOMBAKZADE	0,573
	9 GÜNDÜZ ÖKÇÜN	0,558
	10 ANIT	0,608
	11 FATİH	0,572
	12 ONDOKUZ MAYIS	0,458
	13 ARICILAR	0,533
	14 BATIKENT	0,434
DÖNÜŞ	15 CUMHURİYET	0,446
	16 TOMBAKZADE	0,532
	17 BEHÇET NECATİGİL	0,597
	18 ULUSAL EGEMENLİK	0,494
	19 BAKSAN	0,413
	20 VEGA OUTLET	0,561
	21 ALİ FUAT CEBESÖY	0,532
	22 ERZURUM KONGRESİ	0,408
	23 ULUÖNDER	0,406

6.6.6. Durakların hizmet performans sıralamasının yapılması

Değerlendirme işlemi sonucunda hem ölçütler için hem de durakların hizmet performansının sıralaması elde edilir. TOPSIS yönteminin uygulanması ile elde edilen göreceli yakınlık değerleri ile yapılan, durakların hizmet performansı sıralaması Tablo 6.23'te verilmiştir.

Tablo 6.23. Durakların sıralanması

	Duraklar	Sıralamalar				
		TOPSIS hizmet performansı	Hizmet alanı	Güvenilirlik	Konfor	Güvenlik
GİDİŞ	SSK	22	12	4	18	15
	ERZURUM KONGRESİ	16	13	1	11	10
	ALİ FUAT CEBESÖY	6	15	2	3	2
	VEGA OUTLET	8	14	18	14	1
	BAKSAN	18	19	6	5	7
	ULUSAL EGEMENLİK	12	10	7	4	5
	BEHÇET NECATİGİL	1	1	10	12	13
	TOMBAKZADE	4	2	12	5	13
	GÜNDÜZ ÖKÇÜN	9	7	11	1	6
	ANIT	2	5	13	4	6
	FATİH	5	6	14	13	6
	ONDOKUZ MAYIS	14	9	16	8	8
	ARICILAR	10	11	17	9	4
	BATIKENT	17	18	3	8	9
DÖNÜŞ	CUMHURİYET	15	8	5	10	11
	TOMBAKZADE (Dönüş)	11	3	5	15	13
	BEHÇET NECATİGİL (Dönüş)	3	1	9	17	12
	ULUSAL EGEMENLİK (Dönüş)	13	10	11	8	6
	BAKSAN (Dönüş)	19	19	8	5	7
	VEGA OUTLET (Dönüş)	7	14	10	16	1
	ALİ FUAT CEBESÖY (Dönüş)	11	16	12	6	3
	ERZURUM KONGRESİ (Dönüş)	20	17	12	7	10
	ULUÖNDER	21	4	15	19	14

Yukarıdaki Tablo 6.23'e göre SSK-Batıkent Ring hattında bulunan duraklar arasından hizmet performansı en iyi olan durağın Behçet Necatigil (gidiş) durağı, en kötü olan durağın ise SSK durağı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Durakların hizmet alanındaki potansiyel yolcu sayıları incelendiğinde performansı en yüksek 3 durağın her iki yöndeki Behçet Necatigil durakları (5193), Tombakzade (gidiş) durağı (4044) ve Tombakzade (dönüş) (3768) olduğu ve performansı en kötü 3 durağın ise her iki yöndeki Baksan durakları (194), Batıkent durağı (1007) ve Erzurum Kongresi (dönüş) (1008) durağı olduğu görülmektedir.

Durakların güvenilirlik ölçütü altındaki değerlendirmeleri incelendiğinde performansı en yüksek 3 durağın Erzurum Kongresi (gidiş) (47 saniye), Ali Fuat Cebesoy (gidiş) (49 saniye) ve Batıkent durağı (51 saniye) olduğu ve performansı en kötü 3 durağın ise Vega Outlet (gidiş) (89 saniye), Arıcılar (80 saniye) ve On dokuz Mayıs (79 saniye) olduğu görülmektedir.

Durakların konfor ölçütü altındaki değerlendirmeleri incelendiğinde ise performansı en yüksek 3 durağın Gündüz Ökçün (0,016), Baksan (gidiş) (0,017) ve Ali Fuat Cebesoy (gidiş) (0,019) olduğu ve performansı en kötü 3 durağın ise Uluönder (0,272), SSK (0,187) ve Behçet Necatigil (dönüş) (0,175) olduğu görülmektedir.

Durakların güvenlik ölçütü altındaki değerlendirmeleri incelendiğinde performansı en yüksek 3 durağın her iki yöndeki Vega Outlet durakları (8), Ali Fuat Cebesoy (gidiş) (6,8) ve Ali Fuat Cebesoy (dönüş) (6,6) olduğu ve performansı en kötü 3 durağın ise SSK (1,6), Uluönder (3,4) ve her iki yöndeki Tombakzade durakları ile Behçet Necatigil (gidiş) (3,8) durakları olduğu görülmektedir.

Genel hizmet performansına bakıldığında en iyi performansa sahip olan Behçet Necatigil (gidiş) durağının en yüksek potansiyel yolcuya sahip olduğu, güvenilirlik ve konfor açısından orta düzeyde performans sergilediği ve güvenlik ölçütü yönünden iyi bir düzeyde olmadığı gözlemlenmiştir. En kötü hizmet performansına sahip olan SSK durağında ise yüksek güvenilirliğe, sıralamada orta düzeyde bir hizmet alanına ve konfor ile güvenlik yönünden çok kötü bir performansa sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Hizmet alanı ölçütünde, her iki yöndeki Behçet Necatigil ve Tombakzade duraklarının en iyi olmasının nedeni durak çevresindeki alanda yoğun bir nüfus bulunmasıdır; sanayi bölgesinde bulunan her iki yöndeki Baksan duraklarının en kötü hizmet alanına sahip olmasının nedeni, çalışmamızda hizmet alanının konut olarak kullanılan binalar üzerinden yapılmasıdır.

Güvenilirlik ölçütünde en iyi sıralamada olan duraklar, durak çevresinde tramvayın hareketini engelleyecek ve aksatacak trafik ihlalleri veya yol yapıları olmadığından yüksek güvenilirliğe sahiptirler; kötü bir güvenilirliğe sahip olan duraklarda ise dörtyol gibi tramvayın hareketini aksatabilecek bir yol yapısı veya durakta aşırı yolcu yoğunluğu vardır.

Konfor ölçütünde ise en iyi sıralamaya sahip olan duraklarda, duraklardaki alanın çevredeki potansiyel yolcu sayısına uygun olduğu, konfor ölçütü yönünden en kötü olan durakların çevresinde ise yoğun bir nüfus olduğu gözlemlenmiştir.

Güvenlik ölçütünde ise durak çevresinde bulunan yol yapılarının ve trafik elemanlarının, yolcuların durağa erişim hareketi üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmuştur. En iyi sıralamaya sahip olan duraklarda, durak çevresinin yayalaştırıldığı, en riskli olan duraklarda ise durak çevresindeki düzenlemenin çevredeki

nüfus yoğunluğu için yeterli olmadığı ve çevrede hem yolcu hem de tramvay aracının hareketinde sorun oluşturabilecek yol yapılarının bulunduğu gözlemlenmiştir.

6.7. Öneriler

TOPSIS metodunun kullanımı ile yapılmış olan hizmet performansı değerlendirmesi sonucunda elde edilen değerler ve her bir ölçüte ait performans sıralamalarına bakılarak iyileştirme çalışması yapılması gereken duraklar ve bu çalışmaların hangi faktörlere odaklanılarak yapılması ile hizmet performansında en yüksek düzeyde geri dönüş alınabileceği belirlenebilir. Bir iyileştirme çalışması yapıldığında yüksek düzeyde geri dönüş alabilmek için ilk olarak en kötü düzeyde olan ölçüte ve durağa odaklanması elbette en uygun yaklaşım olacaktır.

Hizmet alanında iyileştirme çalışması yapılmak isteniyor ise güzergâhın planlanması sırasında nüfusun yoğun olduğu ve nüfusta artış gözlenen yerler durak alanı olarak seçilmelidir. Eğer mevcut bir hatta iyileştirme yapılmak isteniyorsa durak çevresinde nüfusu arttırabilecek ticari bölgeler ve okul bölgesi gibi alanlar oluşturulmalı veya durağın, nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu en yakın bölgeye taşınması düşünülebilir.

Güvenilirlik ile ilgili iyileştirme çalışması yapılmak istendiğinde, güvenlik ölçütünün de bu ölçüt üzerinde etkisi bulunduğu için iki faktörün de performansında gelişme sağlayacak değişiklikler yapılmalıdır. Bunun için de yol kullanım önceliği iyileştirme çalışmaları kullanılabilir. Eğer iki ölçütün de performansı kötü bir durumda ise sürekli sinyalizasyon sistemi kullanımı ve güzergâh boyunca güvenlik ve güvenilirlik kayıplarının yaşandığı bölgelerde yolun alçaltılarak veya yükseltilerek kot farkı oluşturma gibi karmaşık ve gelişmiş düzenlemeler yapılabilir. İlgili ölçütlerin performans sıralamasının orta düzeyde olduğu kısımlarda ise yol yapısında kot farkı gibi büyük değişiklikler yapılmadan da performans iyileştirilebilir. Sadece güvenliliğin performansında sorun gözlemleniyorsa mevcut zaman çizelgesinin güzergâha uygun olmadığı ve sapma değerlerinin standart sapması göz önünde bulundurularak tekrar düzenlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Konfor ölçütünün performansında iyileştirme yapılmak istendiğinde ise duraktaki genel alanın genişletilmesi ve oturma alanının artırılması gerekebilir. Buna ek olarak durakta, yağmur, kar ve şiddetli rüzgâr gibi hava durumlarının yolcu üzerindeki etkisinin azaltılması için durak tasarımında da değişiklik yapılabilir.

7. SONUÇ

Şehirlerdeki nüfus yoğunluğunun artması ve buna bağlı olarak kentlerin niteliksel değişimleri ile insanların toplu taşıma sistemlerine olan isteği de sürekli olarak artmaktadır. Giderek artan ulaşım talebi ile birlikte de kullanılan ulaşım sistemlerinin kente ve çevresine olan etkisi de önem kazanmaktadır. Çevreye olan olumlu ve olumsuz etkilerin dikkate alınması ile artan ulaşım hizmeti ihtiyacının karşılanması amacıyla, doğaya olan olumsuz etkisi karayolu taşıtlarına nazaran çok daha düşük olan kent içi raylı toplu ulaşım sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Kent içi raylı toplu taşıma sistemlerinin, tramvay, hafif raylı ulaşım, metro, monoray ve maglev gibi birçok çeşidi vardır. Bu ulaşım sistemleri bir kentteki ana ulaşım ağı veya bu sistemlerin daha gelişmiş olan bir raylı toplu taşıma ağını destekleyici görevleri olabilir. Böylelikle kent içi raylı ulaşım sistemleri arasında entegrasyon sağlanmakta ve toplu ulaşım ağının kapsama alanı da artmaktadır.

Bu çalışmada, kent içi raylı toplu taşıma sistemlerinin hareketini sağladığı ve ilgili sistemin altyapı ve üstyapı elemanlarının konumlandırıldığı alandaki **“ulaşım sistemi yol kullanım hakları”** incelenmiştir. Özel tip A, yarı-özel tip B ve cadde yüzeyi tip C yol kullanımı olarak ayrılmış yol kullanım haklarının özellikleri ve sunulan ulaşım hizmetinin performansının artırılması için yol kullanım hakkının geliştirilmesinde kullanılabilecek iyileştirme çalışmalarından bahsedilmiştir. Hizmet performansı değerlendirmesi yapılarak tip C yol kullanım hakkında işleyen ve cadde yüzeyinde karma trafikte hareketini sağlayan tramvay ağları ve tip B yarı özel yol kullanım hakkına sahip raylı ulaşım hatlarında yol kullanım önceliğinin iyileştirmesinde kullanılan yapı ve trafik elemanları belirtilip hangi amaçla kullanıldıkları açıklanmıştır.

Tramvay duraklarının hizmet performansı değerlendirmesinde kullanılan hizmet alanı, güvenilirlik, konfor ve güvenlik ölçütleri belirlenerek tanımları yapılmıştır.

Hizmet alanı ölçütü ile tramvay sistemine ait duraklar incelenmiş, her bir durak merkez alınarak potansiyel kullanıcıların büyük çoğunluğunun bulunduğu 400 metre (5 dk. yürüme mesafesi) yarıçaplı kısım hizmet alanı bölgelerine ayrılmış ve incelenen bölgelerdeki nüfus ve yolcu çekme oranı ile duraklara ait potansiyel kullanıcı sayıları belirlenmiştir. Durağa olan uzaklık, potansiyel kullanıcı sayısını doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple durakların nüfusu yüksek bölgelerde konumlandırılması tramvay ağının cazip hale gelmesini sağlamaktadır. İnceleme sonucunda, SSK-Batıkent Ring hattı duraklarının potansiyel yolcu sayısı ile hizmet alanlarının sıralaması

oluşturulmuştur. Sıralama sonucunda en yüksek potansiyel yolcu sayısının, Batıkent durağına gidiş ve SSK durağına dönüş yolunda karşılıklı olarak yerleştirilmiş Behçet Necatigil duraklarının hizmet alanında olduğu gözlemlenmiştir.

Güvenilirlik ölçütünde, tramvayın önceden planlanmış çizelgeye uyumu incelenmiştir. Her bir durakta işletmeci tarafından sunulan zaman çizelgesine göre gerçekleşen sapma sürelerinin kullanımıyla güvenilirlik incelemesi yapılmıştır. İnceleme sonucunda daha tutarlı ve çok yüksek ve çok düşük uç değerlerin sahip olduğu aşırı etkilerin azaltılması için zaman çizelgesinden gerçekleşen sapma değerlerinin, standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Standart sapmanın hesaplamasından sonra elde edilen **“durak güvenilirlik değerinin”** düşük olması durağın güvenilirliğinin yüksek olduğu anlamına gelir ve güvenilirliğin yüksek olması tramvay ağının cazibesini arttıracaktır. İnceleme sonucunda en yüksek güvenilirlik düzeyine sahip olan durağın, Batıkent durağına gidiş yönündeki Erzurum Kongresi durağı ve zaman çizelgesinden en yüksek düzeyde sapmanın gerçekleştiği durağın gidiş yönündeki Vega Outlet durağı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Güvenilirlik ölçütünün yüksek olduğu gözlemlenen durakların yakın çevresinde trafiğin aksamasına neden olan yol yapıları gibi etmenlerin gözlemlenip yol alanını verimli şekilde kullanarak değişiklikler yapılması ile güvenilirlik artırılabilir.

Konfor ölçütüyle, yolcunun taşıtın durağa varış anına kadar beklediği süre zarfında duraktaki rahatlık durumu incelenmiştir. İnceleme yapılan duraklar yapısal olarak benzer olduklarından dolayı sadece duraktaki yolcu yoğunluğu ele alınarak konfor düzeyi belirlenmiştir. Bunun sonucunda, Gündüz Ökçün durağının en az yolcu yoğunluğuna sahip olduğu ve Uluönder durağının da en çok yolcu yoğunluğuna sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yolcu yoğunluğunun yüksek, konfor düzeyinin düşük olduğu duraklarda, durak alanı artırılarak veya durağı kullanan tramvayların seferlerinde düzenlemeler yapılarak konfor düzeyi artırılabilir.

Güvenlik ölçütü incelemesi yapılırken durak çevresinde, yolcuların ulaşım sistemine erişimi üzerinde iyi veya kötü herhangi bir etkisi bulunan yol yapıları ve trafik elemanları kontrol edilir, eğer varsa alanda gerçekleşen trafik kuralı ihlalleri gözlemlenir. Gözlemler sonucunda durağa erişim üzerinde etkisi bulunan elemanların belirtildiği bir liste kullanılarak AHP göreceli ölçek değerleri ile oluşturulmuş güvenlik düzeyi ölçüm değerleri ve uzman görüşleri kullanılarak duraklara ait güvenlik verileri sayısallaştırılır. Gözlemlenmiş olan veriler deneysel veya istatistiksel bir yolla elde edilmediği ve sayısal bir veri olmadığı için elde edilmesi zorlu uğraşlar gerektirmesine rağmen uygun metotlar

ile çıkarımlama yapılması halinde uzman yargıları kullanılması makul bir veri kaynağıdır. İnceleme sonucunda gidiş yönündeki Vega Outlet durağının hattaki en güvenli durak ve SSK durağının ise en riskli durak olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Riskli duraklarda durakların çevresinde, yaya yolu, sinyalizasyon sistemi, bariyer kullanımı ve yayalaştırma gibi işlemler uygulanarak alanın daha güvenli olması sağlanabilir ve buna ek olarak güvenilirliğinde iyileştirmesi yapılabilir.

Durakların hizmet performansının değerlendirilmesinde gerekli olan ölçüt ağırlıkları, istatistiksel bir veri tabanından elde edilemeyeceği için uzman görüşlerinin AHP yöntemi kullanılarak incelenmesi işlemi ile kararlaştırılırlar. Uzman yargıları ve AHP yönteminin birlikte kullanımı ile hizmet alanının 0,238 ölçüt ağırlığına, güvenilirliğin 0,251 ölçüt ağırlığına, konforun 0,102 ölçüt ağırlığına ve güvenliğin 0,409 ölçüt ağırlığına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Hizmet performansı değerlendirmesinde gerekli olan ölçüt ağırlıkları ve ölçütlerin her bir alternatife ait değerlerin TOPSIS yöntemi uygulanarak incelenmesiyle durakların ideal çözüme olan yakınlık sıralaması ile SSK-Batıkent Ring hattındaki duraklar arasından hizmet performansı en iyi olan durağın gidiş yönünde bulunan Behçet Necatigil durağı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

AHP ve TOPSIS yönteminin birlikte kullanımı ile yapmış olduğumuz hizmet performansı değerlendirmesi çalışmasında, tramvay duraklarının performansının incelenmesinde kullanılabilecek etmenlerden ve yol kullanım önceliğini ve bununla birlikte ulaşım hizmetinin performansını geliştirmede kullanılabilecek iyileştirme elemanlarından bahsedilmiştir. İnceleme sonucunda SSK-Batıkent Ring hattındaki durakların hizmet performansı değerlendirmesi ile durakların kendi aralarındaki hizmet performansı sıralaması bulunmuştur. İncelenen hattın genel performansının, zaman, personel ve maliyet açısından sınırlı düzeyde kaynakların kullanımı ile verimli bir biçimde artırılması için öncelikle hizmet performansında sonuncu olan duraktan başlanılarak iyileştirmeler yapılması tavsiye edilir. İnceleme ve performans değerlendirmesi sonucunda en alt basamakta yer alan alternatifin performansının iyileştirilmesi, genel performansta belirgin bir artış gözlemlenmesini sağlar.

İncelememizde kullanılan AHP ve TOPSIS yöntemlerinin doğası gereği önerilen metodolojide birtakım kısıtlamalar bulunmaktadır. Uzman yargıları ile çözümlenen çok kriterli karar verme problemleri, ölçüt ve alternatif sayılarına oldukça duyarlı olabilmektedir [69]. Tutarlılık kontrollerinin dikkatlice yapılması ve görüşlerinden

yararlanılan uzmanların titizlikle seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca uzman yargılarının bulanık küme teorileri ile sayısallaştırılıp, daha duyarlı sonuçların elde edilmesi de mümkündür.

Sonuç olarak, kent içi raylı ulaşım sistemleri, bulundukları kentin ulaşım alt yapısına güçlü katkıda bulunan toplu ulaşım sistemleridir. Tramvaylar, diğer raylı araçlara göre daha yüksek manevra kabiliyetine sahiptir ve dar sokaklardan geniş caddelere kadar her türlü güzergâh üzerinde işletilebilirler. Bu nedenle özellikle yaşam alanlarının bulunduğu bölgelere yerleştirilebilme kabiliyetleri vardır. Ek olarak, özellikle sanayileşme gösteren kentsel alanlarda veya kamu kuruluşları gibi insanların yoğun seyahat ihtiyacının olduğu bölgelerde yapılabiliyor ise tramvay hatlarına yönelik düzenlemelerin/iyileştirme çalışmalarının yapılması veya daha üst kent içi raylı modları (hafif raylı sistem vb.) tercih edilerek tramvaylar ile entegre çalışacak şekilde planlanması gerekliliği göz ardı edilmemelidir. Ayrıca, kurum ve işletmelerin hizmet performanslarını geliştirmeye yönelik zaman, personel ve ekonomik açıdan sınırlı kaynaklarının bulunması nedeniyle performans artırma uygulamaları için doğru karar verme stratejilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez çalışmasında, toplu ulaşım da yol kullanım hakkı kavramının ve entegrasyonun önemi vurgulanmış, sunulan yöntem ile tramvay duraklarının hizmet performansının iyileştirilmesi ve değerlendirilmesi konusunda bir altyapı çalışması olarak kabul edilmesi hedeflenmiş, sonuçlar ve öneriler paylaşılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Saatçioğlu, C. ve Yaşarlar, Y. (2012). Kentiçi ulaşımda toplu taşımacılık sistemleri: İstanbul örneği. Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Vol. 3, s. 117-144.
- [2] Ağaoğlu, M. N.ve Başdemir, H. (2019). Şehir İçi Ulaşım Sorunları ve Çözüm Önerileri. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, Vol. 8, s. 27-36.
- [3] Vuchic, V. R. (2007). Urban Transit Systems and Technology.
- [4] Ayataç, H. (2016). Kentsel ulaşım planlaması ve İstanbul. İTÜ Vakfı Dergisi, Vol. 71.
- [5] Kırilangoğlu, C. (2016). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Kent İçi Raylı Sistem Koridor Planlaması. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi, Vol. 33, s. 53-71.
- [6] Undre, V. S. (Tarihsiz). Catenary Free Tramway Systems.
- [7] Guerrieri, M. (2018). Tramways in Urban Areas: An Overview on Safety at Road Intersections. Urban Rail Transit, Vol. 4, s. 223-233.
- [8] Gossa, S. (2016). Analysis of Third Rail Technology for 750 V DC Power Feeder Light Railway Transportation: Case Study of AALRT (Doktora tezi, Addis Ababa Üniversitesi).
- [9] Glickenstein, H. (2016). Rio Opens Tram Line for Olympics. [Transportation Systems] IEEE Vehicular Technology Magazine, Vol. 11, s. 8-11.
- [10] Baştürk, G. (2014). Kent içi raylı toplu taşıma sistemleri incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması. Ulaştırma Haberleşme Uzmanlığı Tezi, s.1-20.
- [11] Sülüoğlu, Ş. (2021). Tramvay kazalarının nedenleri ile sonuçları arasındaki ilişkilerin çok ölçütlü karar verme teknikleri ile belirlenmesi: Bir büyükşehir belediyesi uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, s.18-71.
- [12] Yaman, K.ve Gül, M. (2021). Kent İçi Ulaşımında Raylı Sistemlerin Önemi ve Ankara, Berlin, Londra ve Paris'in Karşılaştırmalı Analizi. Uluslararası Batı Karadeniz Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi, Vol. 5, s. 43-63.
- [13] Cleghorn, D., Clavelle, A., Boone, J.ve Masliah, M. (2009). Improving pedestrian and motorist safety along light rail alignments. Transportation Research Board.
- [14] Çalış, E. A. (2016). Monoray Ulaşım Sisteminin Özellikleri ve Diğer Kentiçi Ulaşım Araçları ile Karşılaştırılması (Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü). İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Mühendisliği Programı, İstanbul Teknik Üniversitesi, s.5-10.
- [15] Hasnan, K., Didane, D. H. ve Madlan, M. A. (2006). Interior Noise Reduction Approach for Monorailsystem.
- [16] Kennedy, R. R. (2008). Considering monorail rapid transit for North American cities. The Monorail Society, Vol. 41, s.3-10.
- [17] Sirisonthi, A., Suparp, S., Joyklad, P., Hussain, Q.ve Julphunthong, P. (2021). Experimental study of the load-deformation behaviour of the precast post-tensioned continuous girder for straddle monorail: Full-scale load test under

- service and ultimate loading conditions. *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 15, s.1-3.
- [18] Lee, H.-W., Kim, K.-C.ve Lee, J. (2006). Review of maglev train technologies *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 42, s. 1917-1925.
 - [19] Hickman, R., Hall, P.ve Banister, D. (2013). Planning more for sustainable mobility *Journal of Transport Geography*, Vol. 33, s. 210-219.
 - [20] City of SeaTac Sidewalk Citizen Advisory Committee. (Tarihsiz). City of SeaTac Sidewalk Citizen Advisory Committee Manual.
 - [21] Bruun, E., Allen, D.ve Givoni, M. (2018). Choosing the Right Public Transport Solution Based on Performance of Components *Transport*, Vol. 33, s. 1017-1029.
 - [22] Tzouras, P. G. (2019). Implications of trams mixed-operations in urban areas on the safety of vulnerable road users.
 - [23] Korve, H. W., Farran, J. I., Mansel, D. M., Levinson, H. S., Chira-Chavala, T.ve Ragland, D. R. (1996). Integration of light rail transit into city streets (No. Project A-5 FY'93). *Transit Cooperative Research Program Report 17*, s. 1-10.
 - [24] Hodgson, P.ve Potter, S. (2010). Refining light rapid transit typology: a UK perspective *Transportation Planning and Technology*, Vol. 33, s. 367-384.
 - [25] Nguyen-Phuoc, D. Q., Currie, G., Young, W.ve Gruyter, C. D. (2016). Modelling the direct impact of tram operations on traffic. In *23rd World Congress on Intelligent Transport System (ITS)*, Melbourne, VIC.
 - [26] Gunnarsson, B.ve Löfgren, A. (2001). Light rail: experiences from Germany, France and Switzerland. *Yüksek Lisans Tezi, Luleå Teknoloji Üniversitesi*.
 - [27] Vuchic, V. R. (2002). Urban public transportation systems. *University of Pennsylvania, Philadelphia, PA, USA*, 5, s.2532-2558.
 - [28] Farran, J. I. (1998). The Light Rail Transit safety experience in North America. In *Urban transport IV: urban transport and the environment for the 21st century* (Lisbon, September 1998), s. 43-52.
 - [29] Vuchic, V. R. (1975). Place of light rail transit in the family of transit modes. *Transportation Research Board Special Report* (161), s.62-76 .
 - [30] Fontaine, L.ve Inturri, G. (2014). Operation and safety of tramways in interaction with public spaces-COST Action TU1103. *Transport Research Arena (TRA)*, Paris, s.9.
 - [31] Heinrich, W., Jones, K.ve Schrauth, L. (2015). Mitigation of Hazards for Street Running and Semiexclusive Light Rail Rights-of-Way In: *13th National Light Rail and Streetcar Conference*. *Transportation Research Circular*, (E-C213), s. 3-15.
 - [32] Naznin, F., Currie, G.ve Logan, D. (2018). Exploring road design factors influencing tram road safety - Melbourne tram driver focus groups. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 110, s. 52-61.
 - [33] Budzynski, M., Tubis, A.ve Jamroz, K. (2019). Identifying Selected Tram Transport Risks. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Vol.603, s.042053.

- [34] Kuter, N.ve Kaya, Z. (2019). Kentsel Donatı Elemanlarının Peyzaj Mimarlığı Açısından Değerlendirilmesi: Çankırı Örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, Vol. 21, s. 81-96.
- [35] Currie, G.ve Reynolds, J. (2010). Vehicle and Pedestrian Safety at Light Rail Stops in Mixed Traffic. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2146, s. 26-34.
- [36] Maitre, E. (2017). Safety problems and difficulties in using public spaces with modern tramways: the example of Marseilles. In 8th Young Researchers' Seminar 2017-ECTRI-FEHRL-FERSI, s. 1-16.
- [37] Wong, S. C., Sze, N. N.ve Li, Y. C. (2007). Contributory factors to traffic crashes at signalized intersections in Hong Kong. *Accident Analysis and Prevention* 20070319 ed., Vol. 39, s. 1107-1113.
- [38] Zacharias, J., Zhang, T.ve Nakajima, N. (2011). Tokyo Station City: The railway station as urban place. *URBAN DESIGN International*, Vol. 16, s. 242-251.
- [39] Bertrand, D. (2016). Inserting Streetcars into Pedestrian Areas: French Examples. *Transportation Research Circular*, (E-C213), s. 16-29.
- [40] Akad, M.ve Gedizlioğlu, E. (2007). Toplu taşıma türü seçiminde simülasyon destekli analitik hiyerarşi yaklaşımı. *itüdergisi/d mühendislik*, Vol. 6, s. 88-98.
- [41] van Oort, N.ve van Nes, R. (2008). Improving Reliability in Urban Public Transport in Strategic And Tactical Design. 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board 2008, Washington, DC, s. 1-17.
- [42] Bauer, M., Dudek, M.ve Richter, M. (2009). Reliability Of Tram-Network Section. 18th International Conference on the Application of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering.
- [43] van Oort, N.ve van Nes, R. (2009(a)). Control of Public Transportation Operations to Improve Reliability: Theory and Practice. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2112, s. 70-76.
- [44] van Oort, N.ve van Nes, R. (2009(b)). Line Length versus Operational Reliability Network Design Dilemma in Urban Public Transportation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2112, s. 104-110.
- [45] van Oort, N.ve van Nes, R. (2010). Impact of Rail Terminal Design on Transit Service Reliability. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2146, s. 109-118.
- [46] Kepaptsoglou, K., Karlaftis, M. G.ve Gkountis, J. (2013). A fuzzy AHP model for assessing the condition of metro stations. *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 17, s. 1109-1116.
- [47] van Oort, N. (2014). Incorporating service reliability in public transport design and performance requirements: International survey results and recommendations. *Research in Transportation Economics*, Vol. 48, s. 92-100.
- [48] Kasımoğlu, E. (2015). Tramvay İstasyonlarında Tasarım ve Güvenlik Esaslarının Araştırılması İstanbul T1 Tramvay Hattı İncelemesi (Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi).

- [49] Massami, E. P., Myamba, B. M.ve Edward, L. (2016). Fuzzy Analysis and Evaluation of Public Transport Service Quality: A Case Study of Dar es Salaam City, Tanzania. *Journal of Transportation Technologies*, Vol. 06, s. 297-311.
- [50] Björklund, G.ve Swärdh, J.-E. (2017). Estimating policy values for in-vehicle comfort and crowding reduction in local public transport. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 106, s. 453-472.
- [51] D’Orso, G.ve Migliore, M. (2017). A GIS-Based Methodology to Estimate the Potential Demand of an Integrated Transport System. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2017*, s. 525-540.
- [52] Podciborski, T. (2017). A Method for Evaluating Tram Stops Based on Passenger Expectations and the Needs of Disabled Persons. *Environmental Engineering, Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE*, Vol. 10, s. 1-6.
- [53] Lee, D.-J. (2018). A multi-criteria approach for prioritizing advanced public transport modes (APTM) considering urban types in Korea. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 111, s. 148-161.
- [54] Márquez, L., Alfonso A, J. V.ve Poveda, J. C. (2019). In-vehicle crowding: Integrating tangible attributes, attitudes, and perceptions in a choice context between BRT and metros *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 130, s. 452-465.
- [55] Yücel, N. (2019). İstanbul’da Yapılması Planlanan Raylı Sistem Projelerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi İle Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, İstatistik Anabilim Dalı, İstatistik Programı, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, s. 26-28.
- [56] Özgür-Cevher, Ö., Altıntasi, O.ve Tuydes-Yaman, H. (2020). Evaluating the Relation Between Station Area Design Parameters and Transit Usage for Urban Rail Systems in Ankara, Turkey. *International Journal of Civil Engineering*, Vol. 18, s. 951-966.
- [57] Diemer, M. J., Currie, G., De Gruyter, C., Kamruzzaman, M.ve Hopkins, I. (2021). A streetcar to be desired? The development of a new approach to measure perception of place quality in the context of tram network modernisation. *Journal of Transport Geography*, Vol. 94.
- [58] Li, L., Gao, T., Yu, L.ve Zhang, Y. (2021). Applying an integrated approach to metro station satisfaction evaluation: A case study in Shanghai, China *International Journal of Transportation Science and Technology*, Vol.11(4), s.780-789.
- [59] Nikolaeva, R. (2021). Pedestrian safety assessment in the area of tram stops. *E3S Web of Conferences*, Vol. 274, s. 13004.
- [60] Hamurcu, M.ve Eren, T. (2015). Ankara Büyükşehir Belediyesi’nde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi İle Monoray Güzergâh Seçimi. *Transist*, Vol.8, s. 410-419.
- [61] Durning, M.ve Townsend, C. (2015). Direct Ridership Model of Rail Rapid Transit Systems in Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2537, s. 96-102.
- [62] Litman, T., & Steele, R. (2017). Land use impacts on transport. Canada: Victoria Transport Policy Institute, Victoria, BC., s.14.

- [63] Vuchic, V. R. (2015). Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler Cilt.2 (Çevirmen ed.: Sibel Gürsoy, Zehra Savan, Aylin Külahçı, Serra Doğan), İstanbul Ulaşım A.Ş., s.228-230.
- [64] Alkharabsheh, A., Moslem, S., Oubahman, L.ve Duleba, S. (2021). An Integrated Approach of Multi-Criteria Decision-Making and Grey Theory for Evaluating Urban Public Transportation Systems. Sustainability, Vol. 13(5), 2740.
- [65] Öztürk, F. (2021). A Hybrid Type-2 Fuzzy Performance Evaluation Model for Public Transport Services. Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 46, s. 10261-10279.
- [66] Santos, J. B. d.ve Lima, J. P. (2021). Quality of public transportation based on the multi-criteria approach and from the perspective of user's satisfaction level: A case study in a Brazilian city. Case Studies on Transport Policy, Vol. 9, s. 1233-1244.
- [67] Tirachini, A., Hensher, D. A.ve Rose, J. M. (2013). Crowding in public transport systems: Effects on users, operation and implications for the estimation of demand. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 53, s. 36-52.
- [68] Hörcher, D., Graham, D. J.ve Anderson, R. J. (2017). Crowding cost estimation with large scale smart card and vehicle location data. Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 95, s. 105-125.
- [69] Velasquez, M.ve Hester, P. T. (2013). An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods. International Journal of Operations Research, Vol. 10, s. 56-66.
- [70] Tzeng, G. H.ve Huang, J. J. (2011). Multiple attribute decision making: methods and applications. CRC press.
- [71] Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical modelling. Mathematical modelling, Vol. 9(3-5), s. 161-176.
- [72] Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process McGraw-Hill, New York, 324.
- [73] Cooke, R. M.ve Goossens, L. H. (2000). Procedures guide for structural expert judgement in accident consequence modelling. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 90(3), s. 303-309.
- [74] Cooke, R. (1991). Experts in uncertainty: opinion and subjective probability in science. Oxford University Press, New York.
- [75] Yaşlı, F. (2020). Yeraltı madencilik sektörü mesleki güvenlik risk analizi. (Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi).
- [76] Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology, Vol. 15(3), s. 234-281.
- [77] Xu, Z. (2000). On consistency of the weighted geometric mean complex judgement matrix in AHP. European journal of operational research, Vol. 126(3), s. 683-687.
- [78] Joshi, R., Banwet, D. K.ve Shankar, R. (2011). A Delphi-AHP-TOPSIS based benchmarking framework for performance improvement of a cold chain. Expert Systems with Applications, Vol. 38, s. 10170-10182.

- [79] Patil, S. K.ve Kant, R. (2014). A fuzzy AHP-TOPSIS framework for ranking the solutions of Knowledge Management adoption in Supply Chain to overcome its barriers. *Expert Systems with Applications*, Vol. 41, s. 679-693.
- [80] Tyagi, M., Kumar, P.ve Kumar, D. (2014). A Hybrid Approach using AHP-TOPSIS for Analyzing e-SCM Performance. *Procedia Engineering*, Vol. 97, s. 2195-2203.
- [81] Aziz, N. F., Sorooshian, S.ve Mahmud, F. (2016). MCDM-AHP method in decision makings. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 11, pp. 7217-7220.
- [82] Hwang, C. L.ve Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making, methods and applications. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. Vol. 186: Springer-Verlag.
- [83] Ahmed, N. G.ve Asmael, N. M. (2015). A GIS-assisted optimal BAGHDAD metro route selection based on multi criteria decision making. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, Vol. 19(6), s.44-58.
- [84] Hamurcu, M.ve Eren, T. (2017). Selection of Monorail Technology by Using Multicriteria Decision Making. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, Vol. 8 (2), s. 303-314.
- [85] Salavati, A., E Nunes Da Silva, F. J. S.ve Haghshenas, H. (2020). Comparing Public Transport Alternatives Using AHP-TOPSIS and Sustainability Indicators-Case Study: City of Isfahan. *International Journal of Transportation Engineering*, Vol. 8(1), s. 85-106.
- [86] Hamurcu, M.ve Eren, T. (2020(a)). Electric Bus Selection with Multicriteria Decision Analysis for Green Transportation. *Sustainability*, Vol. 12(7), 2777.
- [87] Hamurcu, M.ve Eren, T. (2020(b)). Strategic Planning Based on Sustainability for Urban Transportation: An Application to Decision-Making. *Sustainability*, Vol. 12(9), 3589.
- [88] Hajduk, S. (2021). Multi-Criteria Analysis in the Decision-Making Approach for the Linear Ordering of Urban Transport Based on TOPSIS Technique. *Energies*, Vol. 15(1), 274.
- [89] Hailu, B. (2022). High-speed rail corridor selection in Ethiopia: A two-step screening-multicriteria decision-making approach.
- [90] Alosaimi, W., Ansari, M. T. J., Alharbi, A., Alyami, H., Ali, S., Agrawal, A.ve Khan, R. A. (2021). Toward a Unified Model Approach for Evaluating Different Electric Vehicles. *Energies*, Vol. 14(19), 6120.
- [91] Zapolskytė, S., Trépanier, M., Burinskienė, M.ve Survilė, O. (2022). Smart Urban Mobility System Evaluation Model Adaptation to Vilnius, Montreal and Weimar Cities. *Sustainability*, Vol. 14(2), 715.
- [92] Hamurcu, M.ve Eren, T. (2018). An Application of Multicriteria Decision-making for the Evaluation of Alternative Monorail Routes. *Mathematics*, Vol. 7(1), 16.
- [93] Goyal, S., Agarwal, S., Singh, N. S. S., Mathur, T.ve Mathur, N. (2022). Analysis of Hybrid MCDM Methods for the Performance Assessment and Ranking Public Transport Sector: A Case Study. *Sustainability*, Vol. 14(22), 15110.

- [94] Broniewicz, E.ve Ogrodnik, K. (2020). Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 83, 102351.
 - [95] Hao, N., Feng, Y., Zhang, K., Tian, G., Zhang, L.ve Jia, H. (2017). Evaluation of traffic congestion degree: An integrated approach. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 13(7), 1550147717723163.
 - [96] Çetinkaya, C. (2017). Bike sharing station site selection for Gaziantep. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, Vol. 35(3), s. 535-543.
 - [97] Rokhsari, S.ve Sadeghi-Niaraki, A. (2015). Urban network risk assessment using Fuzzy-AHP and TOPSIS in GIS environment. *Iranian Journal of Operations Research*, Vol. 6(2), s. 73-86.
 - [98] Soltani, A., Marandi, E. Z.ve Ivaki, Y. E. (2013). Bus route evaluation using a two-stage hybrid model of Fuzzy AHP and TOPSIS. *Journal of Transport Literature*, Vol. 7, s. 34-58.
 - [99] Rahman, A. A. A., Majid, N. A., Ramlan, M. H.ve Hakim, M. A. (2022). Allocating of New Potential Bus Stop Location Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Technique. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, Vol. 1051(1), 012016.
 - [100] Gao, F., Zhang, Z., Shang, M.ve Sun, G. (2021). Risk Evaluation Study of Urban Rail Transit Network Based on Entropy-TOPSIS-Coupling Coordination Model. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Vol. 2021, s. 1-8.
 - [101] Wu, H.-W., Li, E.-q., Sun, Y.-y.ve Dong, B.-t. (2021). Research on the operation safety evaluation of urban rail stations based on the improved TOPSIS method and entropy weight method. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, Vol. 20, 100262.
 - [102] Zuo, W., Cao, Y., Li, Y.ve An, B. (2019). An evaluation method based on TOPSIS for urban rail transit power supply system. *2019 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, IEEE, s. 1-5.
 - [103] Zhang, X., Zhang, Q., Sun, T., Zou, Y.ve Chen, H. (2018). Evaluation of urban public transport priority performance based on the improved TOPSIS method: A case study of Wuhan. *Sustainable Cities and Society*, Vol. 43, s. 357-365.
 - [104] Huang, W., Shuai, B., Sun, Y., Wang, Y.ve Antwi, E. (2018). Using entropy-TOPSIS method to evaluate urban rail transit system operation performance: The China case. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 111, s. 292-303.
- http-1:** <https://rayhaber.com/2018/12/yo zgata-hafif-rayli-sistem-uygun-degilmis/yo zgata-hafif-rayli-sistem-uygun-degilmis-2/> (Erişim tarihi: 27.10.2022)
- http-2:** https://www.flickr.com/photos/flyer_901/2997926564 (Erişim tarihi: 16.11.2022)
- http-3:** <https://www.timeoutdubai.com/moving-to-dubai/444405-dubai-metro-timings-fares-routes-and-stations> (Erişim tarihi: 26.11.2022)

- http-4:** https://www.tripadvisor.com.tr/Attraction_Review-g187388-d7156360-Reviews-Wuppertaler_Schwebbahn_Kaiserwagen-Wuppertal_North_Rhine_Westphalia.html (Erişim tarihi: 16.11.2022)
- http-5:** http://www.koreatimes.co.kr/www/news/nation/2017/08/115_197125.html (Erişim tarihi: 21.11.2022)
- http-6:** <https://www.urbantransportgroup.org/resources/types/press-release/urban-transport-group-frustrated-sidelining-city-region-role-rail> (Erişim tarihi: 16.11.2022)
- http-7:** https://en.wikipedia.org/wiki/Tram-train#/media/File:RBK_755_tram-train_approaching_Wolfhagen.JPG (Erişim tarihi: 17.12.2022)
- http-8:** <https://www.railway-technology.com/projects/madrid-light-rail/> (Erişim tarihi: 27.10.2022)
- http-9:** <https://www.metrotrainnews.in/kochi-metro-to-reach-new-heights-with-the-development-of-new-panamkutti-bridge/> (Erişim tarihi: 21.11.2022)
- http-10:** <https://earth.google.com/web/>
- http-11:** <https://urbanidentity.info/projects/tram-tracks-on-grass-surfaces/> (Erişim tarihi: 17.12.2022)
- http-12:** <https://www.rg-civilengineering.com/en/philosophy-and-background/tramway-of-barcelona/> (Erişim tarihi: 17.12.2022)
- http-13:** <https://t24.com.tr/haber/vatandaslar-rayli-sistemi-sevdi,544280> (Erişim tarihi: 11.12.2022)
- http-14:** <https://www.timeoutdubai.com/news/448344-a-brand-new-four-way-footbridge-has-opened-in-dubai-marina> (Erişim tarihi: 22.11.2022)
- http-15:** https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metro_Light_Rail_Glebe_Tunnel_Entrance.jpg (Erişim tarihi: 25.11.2022)
- http-16:** <https://www.shaw-centre.com/ceo-blog/expanded-light-rail-transit-lrt-adds-to-shaw-centres-accessibility/> (Erişim tarihi: 11.12.2022)
- http-17:** https://www.eskisehir.bel.tr/icerik-detay.php?icerik_id=612&cat_icerik=1&menu_id=24 (Erişim tarihi: 21.11.2022)
- http-18:** https://www.estramp.com.tr/sayfalar.php?sayfalar_id=10 (Erişim tarihi: 14.12.2022)
- http-19:** https://www.estramp.com.tr/sayfalar.php?sayfalar_id=19 (Erişim tarihi: 14.12.2022)
- http-20:** https://www.estramp.com.tr/img_genel/ag-harita.jpg (Erişim tarihi: 15.12.2022)

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0001-6623-3286

Adı Soyadı: Nurseda ÖZTAŞ

Yabancı Dil: İngilizce

Eğitim: Karabük Üniversitesi Raylı Sistemler Mühendisliği (İngilizce), 2015-2020.

