

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR KENTSEL ULAŞIM BİÇİMİ OLARAK
HAFİF RAYLI SİSTEMLER VE
CBS DESTEKLİ OLARAK GÜZERGÂH TAYİNİ**

**ÖMER MURAT URHAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA ANABİLİM DALI**

**GEBZE
2021**

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR KENTSEL ULAŞIM BİÇİMİ OLARAK
HAFİF RAYLI SİSTEMLER VE CBS
DESTEKLİ OLARAK GÜZERGÂH TAYİNİ

ÖMER MURAT URHAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ TAYFUN SALİHOĞLU

GEBZE
2021

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**A LIGHT RAIL TRANSIT AS A
URBAN TRANSPORTATION SYSTEM AND
CORRIDOR IDENTIFICATION BY
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM**

ÖMER MURAT URHAN
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE DEPARTMENT OF CITY AND
REGIONAL PLANNING**

THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. TAYFUN SALİHOĞLU

GEBZE

2021



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08/07/2021 tarih ve 2021/32 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 27/07/2021 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ömer Murat URHAN'ın tez çalışması Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Tayfun SALİHOĞLU

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Yaşasın ERYILMAZ

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Ali Rıza GÜNER

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Prof. Dr. Ümit DEMİR
Gebze Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada, otomobil odaklı ulaşım planlamalarından ötürü problemler yaşayan kentler için optimum çözümlerden biri olan Hafif Raylı Sistem'lerin (HRS) güzergâh planlamasına yönelik bir model geliştirilmiştir. Modelde, Çok Ölçütlü Karar Alma (ÇÖKA) yöntemlerinin en sık kullanılanlarından Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve En İyi-En Kötü Yöntemi (BWM) ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçları birlikte kullanılmaktadır. Çalışmanın amacı, Kocaeli kentinin ilçeleri olan Gebze-Darica için HRS güzergâh önerilerinin oluşturulmasıdır. Bölgeye en uygun 13 ölçüte ait uzmanlardan gelen anket sonuçları uygun AHS ve BWM bilgisayar yazılımları ile işlenerek ölçüt ağırlıklarına dönüştürülmüştür. CBS yazılımı ArcGIS'e bu ölçüt ağırlıklarının entegre edilmesi ve veriden veri üretme ve veri dönüştürme işlemleri sonucu Gebze-Darica HRS Uygunluk Haritası oluşturulmuştur. Bu harita üzerine, mevcut HRS hattı yerleştirilerek hem bu HRS hattının hem de bu çalışmada kurulan modelin doğruluğu teyit edilmiştir. Çalışmanın son bölümünde yine bu uygunluk haritası üzerinde 3 (üç) HRS güzergâh etabı öneri olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hafif Raylı Sistemler, Güzergâh Tasarımı, Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Tasarım, Çok Ölçütlü Karar Alma.

SUMMARY

In this study, a model for the route planning of Light Rail Transit (LRT), which is one of the optimum solutions for cities that have problems due to automobile-oriented transportation planning, has been developed. In the model, Analytical Hierarchy Process (AHP) and Best-Worst Method (BWM), which are the most commonly used Multi-Criteria Decision Making Methods (MCDM), and Geographic Information Systems (GIS) tools are used together. The aim of the study is to create LRT route suggestions for Gebze-Darica, which are the districts of Kocaeli city. The survey results from the experts for the 13 most appropriate criteria for the region were converted into criterion weights by processing with AHP and BWM computer software. Gebze-Darica LRT Suitability Map was created as a result of integrating these criteria weights into the GIS software ArcGIS and data generation and data conversion processes. By placing the existing LRT line on this map, the accuracy of both this LRT line and the model established in this study has been confirmed. In the last part of the study, 3 (three) LRT route stages were presented as suggestions on this suitability map.

Key Words: Light Rail Transit, Route Design, Geographical Information Systems Supported Design, Multi-Criteria Decision Making.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı hazırladığım süreçte bana her anlamda yol gösteren Dr. Öğr. Üyesi Tayfun SALİHOĞLU'na ve tez savunma jürime katılan Dr. Öğr. Üyesi Yaşasın ERYILMAZ ve Dr. Öğr. Üyesi Ali Rıza GÜNER'e yürekten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisansım boyunca bana destek olan çalışma arkadaşlarım Feray EKE, Nesrin ÖZDEMİR ve Serap BAYRAKTUTAN'a teşekkür ederim.

Bu çalışmayı oluşturabilecek zihinsel rahatlığı bana sunan sevgili eşim Derya URHAN ve kızım Gökçen URHAN'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	4
1.2. Tezin Veri ve Yöntemi	5
2. ULAŞTIRMADA RAYLI SİSTEM	6
2.1. Raylı Sistem Tanımı ve Türleri	6
2.2. Metro ve Tarihçesi	7
2.3. Hafif Raylı Sistem ve Tarihçesi	9
2.4. Dünyadan Hafif Raylı Sistem Örnekleri	10
2.5. Türkiye’deki Hafif Raylı Sistemler	14
2.6. Hafif Raylı Sistemin Avantajları	23
2.6.1. Hafif Raylı Sistemin Ekonomik Avantajları	24
2.6.2. Hafif Raylı Sistemin Çevresel Avantajları	25
2.6.3. Hafif Raylı Sistemin Sosyal Avantajları	26
2.7. Hafif Raylı Sistemin Etkin Olduğu Durum ve Kentler	28
3. HAFIF RAYLI SİSTEM GÜZERGÂH TASARIMINDA ÖNE ÇIKAN ÖLÇÜTLER	30
3.1. Arazi Kullanımı	31
3.2. Mevcut Altyapı	32
3.2.2. Otoparklar ve Kapasiteleri	32
3.2.3. Trafik Durumu	32
3.3. Mesafeler	33
3.3.1. Çalışma Alanlarına Yakınlık	33

3.3.2. Toplu Konut Alanlarına Yakınlık	34
3.3.3. Diğer Arazi Kullanım Alanlarına Yakınlık	35
3.3.4. Ulaşım Düğümlerine Yakınlık	36
3.4. Ulaşım Talebi	37
3.4.1. Yolculuk Üretimi	37
3.4.2. Nüfus Yoğunluğu	37
3.5. Mülkiyet ve Arazi Değerleri	38
3.6. Doğal Yapı Unsurları	39
3.6.1. Eğim	39
3.6.2. Fay Hatlarına Uzaklık	41
3.6.3. Hidrolojik Yapıya Uygunluk	41
3.6.4. Jeoteknik- Jeolojik, Litolojik Yapıya Ve Toprağa Uygunluk	42
3.7. Çevresel Etkiler	42
3.7.1. Gürültü	42
3.7.2. Sit Alanlarına Uzaklık	43
3.8. Demografi	43
3.8.1. Düşük Gelirli Gruplara Hizmet	43
4. HRS GÜZERGÂH TAYİNİNE İLİŞKİN GÖRGÜL ARAŞTIRMALAR	45
5. ÇALIŞMA ALANI VE METODOLOJİ	91
5.1. Çalışma Alanı	91
5.1.1. Gebze Bölgesi	91
5.1.2. Darıca Bölgesi	94
5.1.3. Gebze- Darıca Hafif Raylı Sistem Hattı	95
5.2. Araştırma Yöntemi	100
5.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Araçları	101
5.2.1.2. Yakınlık Analizleri (Proximity Analysis)	102
5.2.1.3. Harita Cebri (Map Algebra)	102
5.2.1.3.1. Raster Hesaplayıcı (Raster Calculator)	103
5.2.2. Çok Ölçütlü Karar Alma (ÇÖKA) Yöntemleri	104
5.2.2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci	105
5.2.2.2. En İyi- En Kötü Yöntemi (Best – Worst Method - BWM)	108
6. Hafif Raylı Sistem Güzergâh Problemine Çok Ölçütlü-CBS Destekli Yaklaşım: Gebze-Darıca HRS Hattı Örneği	111

6.1.Gebze-Darıca Bölgesi HRS Güzergâh Tasarım Ölçütleri	111
6.2. Çalışma Modeli	112
6.3. Materyal-Veri İşlemleri ve Yöntem Uygulamaları	114
6.3.1.HRS Güzergâh Tasarımı Ölçüt Ağırlıklarının Tespiti	114
6.3.2.Ham Veri İle Oluşturulmuş Ölçüt Haritaları	117
6.3.2.1. Seyahat Talebi	117
6.3.2.2. Yoğunluk	119
6.3.2.3. Durak ve İstasyonlar	121
6.3.2.4. Zemin Durumu (Jeoteknik-Jeolojik)	123
6.3.2.5. Zemin Durumu (Sismolojik)	124
6.3.2.6. Karayolu Trafik Yoğunluğu	125
6.3.2.7. İdari Birimler ve Donatı Alanları	127
6.3.2.8. Toplu Konutlar	129
6.3.2.9. Çalışma Alanları	131
6.3.2.10. Eğim Durumu	133
6.3.2.11. Kent İçi Yollar	134
6.3.2.12. Mülkiyet	136
6.3.2.13. Koruma Alanları	138
6.3.2.14.Havza Koruma Kuşakları	139
6.3.3.Ölçüt Alt Kırılım Çalışmaları ve Reclassify İşlemleri	142
6.3.4.Yeniden Sınıflandırılmış Veri İle Oluşturulmuş Ölçüt Haritaları	160
7. BULGULAR	165
7.1.HRS Güzergâhı İçin Uygunluk Haritaları	165
7.2.Nihai Uygunluk Haritası ve Üzerinde İnşa Halindeki Hattın Yerleştirilmesi	168
7.3.Önerilen Hafif Raylı Sistem Güzergâhları	171
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	178
 KAYNAKLAR	 181
ÖZGEÇMİŞ	193
EKLER	194

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
Ω	Empedans
dk	Dakika
km	Kilometre
km ²	Kilometrekare
m	Metre
sa	Saat
sn	Saniye
yy	Yüzyıl
AAS	Analitik Ağ Süreci
AHS	Analitik Hiyerarşi Süreci
ADK	Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon
AFAD	Afet ve Acil Durum
APTA	Amerikan Toplu Taşıma Birliği
AŞTİ	Ankara Şehirlerarası Terminal İşletmesi
AUP	Alansal Uygunluk Paunları
BWM	En İyi-En Kötü Yöntemi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CORİNE	Çevresel Bilginin Koordinasyonu
ÇÖKA	Çok Ölçütlü Karar Alma
DLH	Demiryollar Limanlar Havameydanları
GOSB	Gebze Organize Sanayi Bölgesi
GTÜ	Gebze Teknik Üniversitesi
HRS	Hafif Raylı Sistem
KBB	Kocaeli Büyükşehir Belediyesi
KDS	Karar Destek Sistemleri
MADA	Çok Amaçlı Nitelik Analizi
MODA	Çok Amaçlı Karar Analizi
MİA	Merkezi İş Alanı

MKDS	Mekansal Karar Destek Sistemleri
MAM	TUBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
O-D	Başlangıç- Hedef Noktaları
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
PCM	İkili Karşılaştırma Yöntemi
ResGaz	Resmi Gazete
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TAB	Trafik Analiz Bölgeleri
TO	Tutarlılık Oranı
TOG	Toplu Taşıma Odaklı Gelişim
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TTF	Tourism & Transport Forum
TUREF	Turkish National Reference Frame
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TÜSSİDE	TUBİTAK Türkiye Sanayi Sevk ve İdare Enstitüsü
USGS	Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Geleneksel Ulaşım Yaklaşımının Kısır Döngüsü.	2
1.2: Toplu Taşıma Türlerinin Kapasite ve Maliyetlerinin Şematik Gösterimi.	7
1.3: Londra Tramlink'te Kullanılan Bir Araç.	11
1.4: Madrid- Metro Ligero'da Kullanılan Bir Araç.	12
1.5: Ottawa- O-Train'de Kullanılan Bir Araç.	13
1.6: Bergen Light Rail'da Kullanılan Bir Araç.	14
1.7: Yenikapı-Kirazlı Hafif Metro'sunda Kullanılan Bir Araç.	15
1.8: Ankaray HRS'de Kullanılan Bir Araç.	16
1.9: Fahrettin Altay-Evka 3 HRS'de Kullanılan Bir Araç.	17
1.10: Bursaray HRS'de Kullanılan Bir Araç.	18
1.11: Estram HRS'de Kullanılan Bir Araç.	19
1.12: Kayseray HRS'de Kullanılan Bir Araç.	20
1.13: Antray HRS'de Kullanılan Bir Araç.	21
1.14: Adana Metro Sistemi'nde Kullanılan Bir Araç.	22
1.15: Samsun Gar- Üniversite ve Gar- Tekeköy HRS'de Kullanılan Bir Araç.	23
4.1: Memphis Bölgesi Hafif Raylı Sistem Koridor ve Güzergâh Alternatifleri.	49
4.2: Kuala Lumpur Bölgesi Model ve İşinsal Rota Düzeni İçin Izgara (Grid) Analizi Örneği.	53
4.3: Kuala Lumpur Bölgesi Rota Geometrileri ve Ağırlıkları.	54
4.4: Kırgızistan Bölgesinde Önerilen Tren Yolları.	57
4.5: Fort Lauderdale Şehir Merkezindeki Potansiyel İstasyonlar.	58
4.6: Fort Lauderdale Bölgesi Yakınlık Ölçütü İçin Uygunluk Haritası.	59
4.7: Fort Lauderdale Bölgesi Geliştirilebilirlik Ölçütü İçin Uygunluk Haritası.	60
4.8: Cochabamba Bölgesi Poligon Haritası ve Cochabamba Bölgesi Merkezine Oturtulmuş Poligon Haritası.	61

4.9:	Cochabamba Bölgesi Hedeflerin Uygunluk Haritalarının Kompozit Bir Haritaya Toplanması.	63
4.10:	Cochabamba Bölgesi Metro Güzergâhları İçin Koridorlar ve Metro Ağının Fizibilite Planları.	64
4.11:	Bağdat Bölgesinde ArcGIS Uygulaması İle Oluşturulan Alternatif Güzergâhlar.	69
4.12:	Thane Bölgesi Yeni Rotalar ile Beraber Son Durumdaki Tüm Alternatifler.	71
4.13:	Thane Bölgesi Modifiye Edilmiş Optimum Raylı Sistem Güzergâhı.	73
4.14:	Honolulu Bölgesi Aloha Stadyumu ve Kalihi Arasındaki Alternatif Güzergâhlar.	75
4.15:	İstanbul Bölgesi Raylı Sistem Güzergâh Tasarımını Etkileyen Ölçütler.	77
4.16:	İstanbul Bölgesi İçin Kullanılan 12 Ölçütün Haritalandırmaları.	79
4.17:	İstanbul Bölgesi Raylı Sistem Güzergâh Tasarımında Öncelik Verilmesi Gereken Alanlar.	80
4.18:	İstanbul Bölgesi Mevcut Olan ve İnşa Halindeki Raylı Sistemlerin Sonuç Haritası ile Entegre Edilmesi.	81
4.19:	İstanbul Avrupa Yakası- Sonuç Haritasına Göre Raylı Sistem Önerilebilecek Alanlar.	81
4.20:	İstanbul Anadolu Yakası- Sonuç Haritasına Göre Raylı Sistem Önerilebilecek Alanlar.	82
4.21:	Gazze Bölgesindeki Her Kesişme Noktasının 500m Yarıçapı Uzaklığındaki Tampon Alanı.	83
4.22:	Gazze Bölgesindeki Her Ölçüt İçin Puanlama Haritaları.	84
4.23:	Gazze Bölgesindeki Her Tampon Bölgenin Kompozit Uygunluk Haritası Puanları.	86
4.24:	Gazze Bölgesindeki Üç Öneri Metro Hattı.	87
4.25:	Gazze Bölgesindeki Önerilen İki Metro Hattı.	88
4.26:	Gazze Bölgesindeki Önerilen Metro Ağının Gelecekteki Uzantıları.	88
5.1:	Çalışma Alanı.	91
5.2:	Gebze-Darıca HRS Hattı Güzergâhı.	96

5.3:	Darıca ve Gebze İlçeleri Önemli Merkezleri.	98
5.4:	Gebze-Darıca HRS Hattının Karayolu, Demiryolu ve Havayolu ile Etkileşimi.	98
5.5:	Darıca HRS Hattının Bölgedeki Raylı Sistemler Tamamlandığı Durumdaki Diğer Hatlarla Etkileşimi.	99
5.6:	Temel Bir Raster Calculator İşlemi.	103
5.7:	Çalışmada Uygulanan BWM'nin Akış Şeması.	110
6.1:	Gebze ve Darıca Bölgesi İçin En Uygun HRS Güzergâh Tasarım Ölçütleri.	112
6.2:	Gebze ve Darıca'daki TAB'larda Gerçekleşen 2014 Yılına Ait Seyahat Değerleri Haritası.	118
6.3:	Gebze ve Darıca'daki TAB'larda Gerçekleşen 2035 Yılına Ait Seyahat Değerleri Haritası.	119
6.4:	Gebze ve Darıca'daki TAB'larda 2014 Yılına Ait Nüfus Yoğunluğu Haritası.	120
6.5:	Gebze ve Darıca'daki TAB'larda 2035 Yılına Ait Nüfus Yoğunluğu Haritası.	121
6.6:	Gebze ve Darıca'daki Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray İstasyonları ve Vapur İskeleleri.	122
6.7:	Gebze ve Darıca İçin Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanağı Haritası.	123
6.8:	Gebze ve Darıca Bölgesindeki Jeoteknik-Jeolojik Uygunluk Durumu.	124
6.9:	Gebze ve Darıca Bölgesine Yakın Olan Aktif Fay Hatları ve Sismolojik Uygunluk Durumu Haritası.	125
6.10:	Gebze ve Darıca için Trafik Yoğunluk 2014 Değerleri Haritası.	126
6.11:	Gebze ve Darıca için Trafik Yoğunluk 2035 Değerleri Haritası.	127
6.12:	Gebze ve Darıca'daki İdari Birimler ve Donatı Alanları.	128
6.13:	Gebze ve Darıca İdari Birimler ve Donatı Alanlarına Yakınlık Haritası.	129
6.14:	Gebze ve Darıca Çevresindeki Toplu Konut Alanları.	130
6.15:	Gebze ve Darıca Çevresindeki Toplu Konut Alanlarına Yakınlık Haritası.	131

6.16:	Gebze ve Darıca'daki Çalışma Alanları.	132
6.17:	Gebze ve Darıca'daki Çalışma Alanlarına Yakınlık Haritası .	133
6.18:	Gebze ve Darıca'nın Eğim Durumu Haritası.	134
6.19:	Gebze ve Darıca'daki 2014 Yılına Ait HRS ile Paylaşılabilecek Karayolları.	135
6.20:	Gebze ve Darıca'daki 2035 Yılına Ait HRS ile Paylaşılabilecek Karayolları.	136
6.21:	Gebze ve Darıca'daki Kamu Mülkiyetinde Olan Alanlar ve Diğer Alanlar.	137
6.22:	Gebze-Darıca Çevresindeki Koruma Alanları.	138
6.23:	Gebze ve Darıca Koruma Alanlarına Uzaklık Haritası.	139
6.24:	Gebze-Darıca Çevresindeki Su Alanları.	140
6.25:	Gebze ve Darıca Havza Koruma Kuşaklarına Uzaklık Haritası.	141
6.26:	Katmanlardaki Raster Verilerin Yeni Değerleri ile Yeniden Sınıflandırılan Ölçüt Haritaları- AHS.	161-162
6.27:	Katmanlardaki Raster Verilerin Yeni Değerleri ile Yeniden Sınıflandırılan Ölçüt Haritaları- BWM.	163-164
7.1:	AHS ile Ulaşılan Güzergâh Uygunluk Puanları Toplamı Haritası.	166
7.2:	BWM ile Ulaşılan Güzergâh Uygunluk Puanları Toplamı Haritası.	167
7.3:	Nihai HRS Güzergâh Uygunluk Puanları Haritası.	169
7.4:	Gebze-Darıca HRS'nin Güzergâh Uygunluk Haritası ile Entegrasyonu.	170
7.5:	Gebze-Darıca Bölgesi İçin Öneri Olabilecek Güzergâh Etapları.	172
7.6:	İnşaat Halindeki HRS Hattının ve 3 Öneri Etapın Bölgesel İstatistikleri.	174
7.7:	Mevcut Marmaray Güzergâhına 3 Alternatif Güzergâhın Eklenmesi ve Çalışma Alanındaki Önemli Noktaların Gösterimi.	176

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
4.1: Memphis Bölgesi Farklı Katılımcıların Güzergâh Seçimi Ölçütleri ve Ağırlıkları.	50
4.2: Memphis Bölgesi En İyi HRS Güzergâh Alternatifinin Belirlenmesi.	51
4.3: Kuala Lumpur Bölgesi İçin Hedefler ve Ölçütleri.	52
4.4: Kırgızistan Bölgesi İstasyon Yeri Seçimi Ölçütleri ve Ağırlıkları.	56
4.5: Kırgızistan Bölgesi Güzergâh Seçimi Ölçütleri ve Ağırlıkları.	56
4.6: Fort Lauderdale Bölgesi Tüm İstasyonlar İçin Model Sonuçları.	60
4.7: Cochabamba Bölgesi Merkezine Oturtulmuş Poligon Haritasında Her Poligon İçin Belirli Ölçütler.	62
4.8: Cochabamba Bölgesi Uygun Alanları Belirlemek İçin Kullanılan Ölçütler ve Ağırlıkları.	63
4.9: Cochabamba Bölgesi Üç Metro Hattının Etkilerinin Değerlendirilmesi.	65
4.10: Bağdat Bölgesi Güzergâh Seçimi Ölçütleri ve Ağırlıkları.	67
4.11: Bağdat Bölgesi Alternatif Rotaların Karakteristikleri ve Puanları.	68
4.12: Thane Bölgesi Her Aday Rota İçin Maliyet Hesaplamaları.	72
4.13: Honolulu Bölgesinde Kullanılan Ölçütler ve Ağırlık Değerleri.	74
4.14: Honolulu Bölgesi Güzergâh Alternatifleri İçin Oluşan Ağırlıklandırılmış Ölçüt Puanları ve Toplamları.	76
4.15: İstanbul Raylı Sistem Tasarıma Etki Eden Ölçütler ve Ağırlıkları.	78
4.16: Gazze Bölgesindeki Tüm Ölçüt Ağırlıkları.	85
5.1: Gebze İlçesi 1965-2019 Yılları Arası Nüfusları.	93
5.2: Darıca İlçesi 2008-2019 Yılları Arası Nüfusları.	94
5.3: Saaty'nin Ortaya Attığı İkili Karşılaştırma İçin Kullanılan Ölçekler.	106
5.4: Literatürde Kullanılan AHS İkili Karşılaştırma Tablolarından Biri.	107
6.1: Araştırma Süreci.	113
6.2: BWM Ölçüt Başlıklandırması.	115
6.3: AHS Yöntemi ile Ulaşın Ölçüt Ağırlıklandırmaları.	115
6.4: BWM ile Ulaşılan Ölçüt Ağırlıklandırmaları.	116

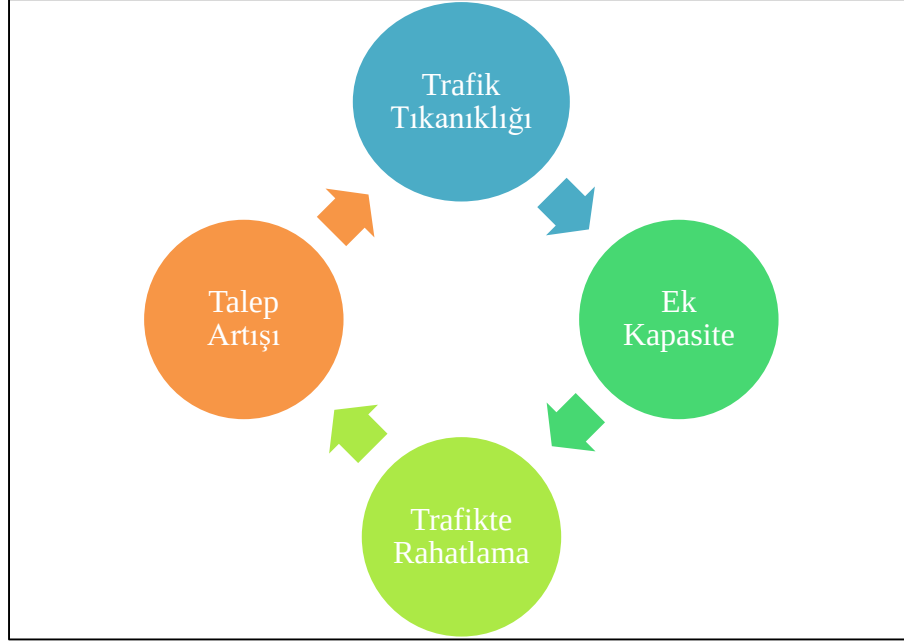
6.5:	Ölçüt Ana Ağırlıklıları ve Ölçüt Alt Kırılım Değerleri.	143-144
6.6:	Seyahat Talebi (2014 ve 2035) Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	146
6.7:	Yoğunluk (2014) Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	147
6.8:	Yoğunluk (2035) Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	148
6.9:	Durak ve İstasyonlar Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	149
6.10:	Zemin Durumu (Jeoteknik-Jeolojik) Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	150
6.11:	Zemin Durumu (Sismolojik) Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	151
6.12:	Karayolu Trafik Yoğunluğu (2014) Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	152
6.13:	Karayolu Trafik Yoğunluğu (2035) Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	153
6.14:	İdari Birimler ve Donatı Alanları Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	154
6.15:	Eğim Durumu Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	155
6.16:	Çalışma Alanları Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	156
6.17:	Toplu Konutlar Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	157
6.18:	Kent İçi Yollar (2014 ve 2035) Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	157
6.19:	Havza Koruma Kuşakları Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	158
6.20:	Koruma Alanları Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	159
6.21:	Mülkiyet Ölçütü Alt Kırılımlarının Reclassify İşlemleri.	159

1. GİRİŞ

Her geçen gün nüfusu artan kentsel mekânda, ulaşım planlaması ve ulaşım kararlarının önemi de artmaktadır. Bu planlama kararlarının yalnızca yolcu ve işletmecileri değil, tüm şehir etki etmesi nedeniyle bu konulara kent idareleri tarafından çok farklı açılardan aynı anda bakılması gerekmektedir (Buchanan, 1963).

Yapılan planlar şehirlerin nereye doğru büyüyeceğini, nerelerde rant oluşturacağını, hangi alanları kalkındıracağını ve hangi alanların çekiciliğini yitireceğini belirleyebilir. Bu nedenle ulaşım alanındaki plan ve proje faaliyetlerinin uzun vadeli, kaynağını çok çeşitli ve doğru veriden alan çalışmalar olması istenmektedir.

Modern kent yapılarında, yüksek sayıdaki yolculuk taleplerine ulaşılmasına rağmen hâlâ benimsenmekte olan otomobil ağırlıklı geleneksel ulaşım yaklaşımı yeni çözümsüzlükler oluşturmaktadır [Elker, 1999]. Şekil 1.1’de bu çözümsüzlük en yalın hali ile anlatılmıştır [Elker, 2004]. Yolculuk taleplerindeki yükselme, karayollarının kapasite sınırları nedeniyle trafik sıkışıklığına sebep olmaktadır. Yerel ve merkezi yönetimler bu tıkanıklık problemlerini gidermek amacıyla karayollarına ek kapasite yaratmak adına yeni yollar inşa etme ve mevcut yolları genişletme çözümlerini üretmektedir. Bu çözümler kısa bir zaman aralığı için trafikte rahatlamaya sebep olmakta ve bu rahatlama, o yolu kullanmayan diğer yolcular için de tercih sebebi olarak bir talep artışı oluşturmaktadır. Bu talep artışının neticesinde, çözüm olarak üretilen yeni yolda da trafik sıkışıklığı oluşmaya başlayarak döngüde başa gelinmektedir.



Şekil 1.1: Geleneksel ulaşım yaklaşımının kısır döngüsü.

Colin Buchanan'ın [1963] "Traffic in Towns" isimli eserinde, modern şehirlerde bu kısır döngüden çıkılması gerektiğinden bahsetmiştir. Buchanan, otomobilin ulaşım için çok pahalı ve sorunlu bir çözüm olduğunu bu nedenle nüfusu 100 binden fazla olan kentlerde farklı sistemlerin geliştirilmesi gerekliliğini vurgulamıştır [Buchanan, 1963]. Çözumsuzlüğün ortadan kaldırılması için önemli tavsiyelerden biri raylı sistemler temellidir.

Türkiye'de ulusal politika ve planlama belgelerinde raylı sistemlerin önemi vurgulanmaktadır. Onuncu [T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2013] ve On birinci [T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019] Kalkınma Planı'nda, Türkiye Habitat III Ulusal Raporu'nda [T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014] ve 11. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Şûrası'nın Raporu ve Sonuç Bildirgesi'nde [T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2013a; 2013b]; Türkiye'nin geleceğinde raylı ulaşım sistemlerinin üretim, ihracat, yerlilik, hat uzunluğu, ulaşımındaki yolcu payı ve finansman konularında iyileşmeler olması konusundaki amaçlar ifade edilmiştir.

Bu tez çalışması ile Türkiye ve dünya için giderek önemi artmakta olan raylı sistemler konusunda, sistemin şehir planlamasındaki en önemli bileşenlerinin ilki olan güzergâh belirleme evresi için çok ölçütlü karar alma (ÇÖKA) ile coğrafi bilgi sistemlerini (CBS) birleştiren bir modelin denenmesi hedeflenmektedir.

Çalışmada, Kocaeli kentinin Gebze-Darica ilçeleri (çalışma alanı) arasında planlanmış ve 2021 yılı itibari ile inşa halinde olan Hafif Raylı Sistem (HRS) güzergâhının, analitik metotlar ile alternatiflerinin belirlenmesi ve bu alternatiflerin planlanmış olan güzergâha olan uygunluğunun tespiti hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşmak için, HRS güzergâhının seçiminde, ÇÖKA ile CBS'yi entegre eden bir metodun test edilmesi ve sonuçlarının mevcut güzergâh seçimi ile kıyaslaması amaçlanmaktadır.

Literatürde planlama alanında CBS ve ÇÖKA'yı birlikte kullanan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu araştırma, şehir planlamanın önemli bileşenlerinden birisi olan kentsel ulaşım sistemlerinin modern ve sürdürülebilir bir alt başlığı olarak HRS'lerin planlanmasına, çok ölçütlü ve CBS destekli bir yöntem sunması ile analitik arka plana sahip görgül çalışmalar havuzunun genişlemesine katkı sağlamaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde otomobil odaklı ulaşım planlamalarının bir kısır döngüye dönüştüğü ve bu döngüden çıkabilmenin en iyi yolunun da raylı sistemler temelli olduğu vurgulanmıştır. Raylı sistemlere Türkiye ulusal politika ve planlama belgelerinde verilen yer belirtilmiştir. Tezin amacı, katkısı, içeriği, veri ve yöntemi anlatılmıştır.

İkinci bölümde raylı sistemlerin tanımı yapılarak metro ve HRS detaylı biçimde anlatılmıştır. Ardından dünyadan ve Türkiye'den HRS uygulama örnekleri tüm özellikleri verilerek anlatılmıştır. Bölümün devamında HRS'lerin sosyal, çevresel, ekonomik avantajları vurgulanmış ve HRS'nin etkin olduğu durumlar ve etkin olduğu kentler belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde HRS güzergâh tasarımında öne çıkan ölçütler; Arazi Kullanımı, Mevcut Altyapı, Mesafeler, Ulaşım Talebi, Mülkiyet ve Arazi Değerleri, Doğal Yapı Unsurları, Çevresel Etkiler ve Demografi başlıkları altında anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde HRS güzergâh tayinine ilişkin görgül araştırmalardan detaylı şekilde bahsedilmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan ölçüt ve metodolojiler detaylı biçimde incelenmiştir.

Beşinci bölümde çalışma alanı olarak seçilen Gebze ve Darica'dan bahsedilmiştir. Ardından inşa halinde olan Gebze Darica HRS Hattı'nın haritalarıyla birlikte özellikleri anlatılmıştır. Bölümün devamında araştırma yöntemi kısmında önce CBS ve araçları aktararak ÇÖKA metotları olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve En İyi-En Kötü Yöntemi'nin (BWM) açıklaması ve uygulaması verilmiştir.

Altıncı bölümde bu çalışma kapsamında özgün olarak belirlenen HRS güzergâh tasarım ölçütleri sunulmuştur. Ardında aşamaları ile çalışma modeli, materyal-veri işlemleri ve yöntem uygulamaları verilmiştir. Devamında AHS ve BWM kapsamında HRS güzergâh tasarımı ölçüt ağırlıklarının tespiti gerçekleştirilmiştir. Ölçüt ağırlıklandırmalarının tablolar halinde sunulmasının ardından ham veri ile oluşturulmuş ölçüt haritaları, ölçüt alt kırımlarının reclassify işlemleri tabloları ve katmanlardaki raster verilerin yeni değerleri ile yeniden sınıflandırılan ölçüt haritaları verilmiştir.

Yedinci bölümde bulgular kapsamında, tüm ölçüt haritalarının birleştirilmesi ile oluşturulan HRS güzergâhı için uygunluk haritaları ve çalışma sonucu için altlık niteliğinde olacak olan nihai uygunluk haritası paylaşılmıştır. Devamında Gebze-Darıca HRS'nin güzergâh uygunluk haritası ile entegrasyonu ve bu çalışma kapsamında önerilen HRS güzergâhları sunulmuştur.

Sonuçlar ve öneriler kısmında ise uygulanan metodun, oluşturulma metodolojisi bilinden kullanılan Gebze-Darıca HRS'nin bu çalışmada oluşturulan uygunluk haritası ile yüksek oranda uyumlu olması sebebiyle Gebze-Darıca bölgesinde başarıyla sonuçlandığı ve HRS güzergâh planlama çalışmaları için doğru bir altlık olduğu vurgulanmıştır.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Bu çalışmanın amacı; çok sayıda ülkenin kullandığı Hafif Raylı Sistemlerin güzergâh seçiminde çok ölçütlü karar alma sistemleri ile coğrafi bilgi sistemlerini birleştirerek kullanan bir bakış açısı geliştirmektir.

Tez çalışmasında yapılmak istenen, tez konusu ile ilgili literatürdeki çalışmalarda da sıklıkla kullanılan CBS ve ÇÖKA metotlarından olan AHS'yi ve BWM'yi entegre biçimde kullanarak, seçilen çalışma alanında “Hafif Raylı Sistem Güzergâh Alternatifleri” sunmaktır.

Yukarıdaki paragraftaki amaca yönelik öncelikli olarak, literatür taramasında bulunan güzergâh tayini ile ilgili tüm ölçütlerden bir model kurgulanmış, sonrasında ise ölçütlere uygun yöntemin uygulaması yapılmıştır.

Çalışmada;

- i)Raylı sistem güzergâh tayini konusunda çok ölçütlü, teknik ve bütüncül bir yaklaşımın ortaya konulması,
- ii)Yatırımların fiziki ve beşerî coğrafya ölçütleri de göz önüne alınarak yönlendirilmesine destekte bulunulması,
- iii)Sunulan sistem sayesinde yeni raylı sistem güzergâhlarının en yüksek yolcu kapasitesine sahip, en çok ihtiyaç olan ve en makul teknik koşullara sahip bölgelerden geçecek biçimde tasarlanmasına katkıda bulunulması nedenleriyle şehircilik alanındaki görgül çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1.2. Tezin Veri ve Yöntemi

Verinin toplanması, aynı formata çevrilerek birleştirilmesi, birbirleri ile ilişkilerinin kurulması, sözel ve sayısal verinin entegrasyonu, analizlerin yapılması, son haritaların üretilmesinde CBS'den faydalanılmıştır. İlgili resmi kurumlardan temin edilen ve CBS yazılımında (bu çalışma için ArcGIS 10.6.1) yapılacak çeşitli işlemler sonucunda elde edilecek model değişkenleri, ÇÖKA yöntemlerinden AHS ile uzman grubuna değerlendirilmiş, bu değerlendirmelerden AHS ve BWM çıktıları oluşturularak uygun bilgisayar yazılımları yardımıyla değişkenlerin önem dereceleri (ağırlıkları) belirlenmiştir. Elde edilen önem derecelerine bağlı olarak ArcGIS mekânsal analiz araçlarından birisi olan Raster Calculator (Raster Hesaplayıcı) yardımıyla, ızgaralara (raster) ayrılmış kent mekânı üzerinde en uygun güzergâh etapları belirlenmiştir.

2. ULAŞTIRMADA RAYLI SİSTEM

2.1. Raylı Sistem Tanımı ve Türleri

Raylı Sistemler şehirler arası ve şehir içi ulaşımında tüm dünyada kullanılan ve artan trafik yoğunluğuna alternatif bir ulaşım şeklidir [Asa ve Özcan, 2015]. Raylı sistemler, şehir içi veya banliyö bölgelerinde ve çevresinde yolcu hizmeti sağlayan çeşitli yerel demiryolu sistemleri için kapsayıcı bir terimdir. Raylı sistemler fosil yakıt kullanmayıp elektrik enerjisi ile çalışmaktadırlar. Kimi sistemlerin ve hatların farklı tiplerde çeşitleri olması sebebi ile bazen tanımlamalarında çakışmalar da olan kentsel raylı sistemler kümesi, kabaca aşağıdaki paragraflar ile verilen metro, hafif raylı sistem, tramvay, monoray ve föniküler şeklinde kategorilere ayrılabilir.

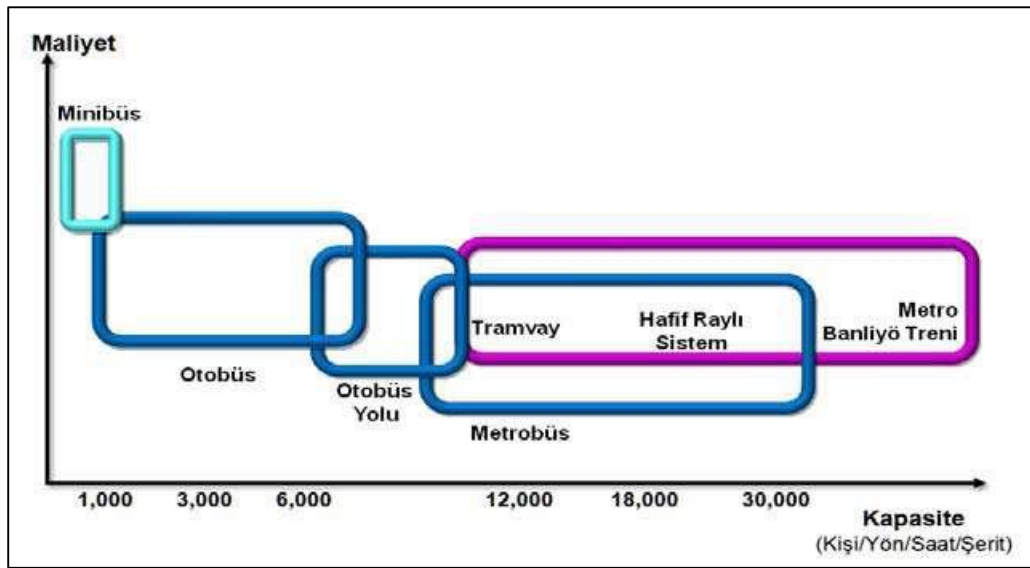
Metro (yeraltı metrosu veya ağır metro) çoğunlukla kentsel alanda, yüksek yolcu kapasitesi ve servis sıklığı ile (genellikle) diğer trafikten tamamen ayrımı olan bir raylı ulaşım sistemidir. Diğer raylı sistemlerden ayırmak için genellikle "ağır raylı sistem" olarak anılır. Türkiye'deki tasarım ölçütlerine göre tek yönde bir saat içinde 30.000'den yüksek sayıda yolculuk talebi olduğu durumlarda değerlendirilen bir teknolojidir [DLH, 2014].

Hafif raylı sistem çoğunlukla diğer trafikten ayrılmış, ancak metro sisteminin ayrıldığı gibi tamamen de ayrı olmayan, tramvaydan daha yüksek kapasiteye ve hıza sahip demiryolu tabanlı bir ulaşım sistemidir. Hafif raylı sistem genellikle çoklu ünite trenleri ile çalışır. Bu sistem tramvayların/cadde tramvaylarının değişim ve gelişimi sonucu ortaya çıkmıştır. Hafif raylı sistemler kapasite ve hız açısından büyük oranda çeşitlilik gösterebilmektedir. Az oranda geliştirilmiş tramvay sistemlerinden, esasen metroya benzeyen ancak bazı hemzemin veya demiryolu geçitlerine de sahip olan sistemlere kadar çeşitlenebilirler. Türkiye'deki tasarım ölçütlerine göre tek yönde bir saat içinde 15.000 ile 35.000 arasında yolculuk talebi olduğu durumlarda değerlendirilen bir teknolojidir [DLH, 2014].

Tramvay veya cadde tramvayı, çoğu veya tamamı cadde veya bulvar boyunca çalışan, nispeten düşük kapasiteye ve sık aralıklı duraklara sahip, raylı bir ulaşım sistemidir. Türkiye'deki tasarım ölçütlerine göre tek yönde bir saat içinde 10.000 ile 15.000 arasında yolculuk talebi olduğu durumlarda değerlendirilen bir teknolojidir [DLH, 2014].

Monoray, iki paralel raydan oluşan geleneksel hattın aksine, hattın tek bir raydan oluştuğu bir raylı ulaşım sistemidir. Extra masraflar içeren ve kapasitesi sınırlı olan bu raylı sistem, kent içi ulaşım çözüm getirmekten çok kampüs gezisi, turistik gezi vb. gibi kısıtlı bir bölgeye hizmet etmektedir.

Füniküler, çıkıştaki araçların yokuş yukarı çekilmesine yardımcı olmak için inişteki araçların ağırlığını kullanan, kablo ile çalışan eğimli bir raylı sistemdir. Kısa mesafeleri geçmek için kullanılır. Kullanımının amaç amacı diğer raylı sistemlerin geçemeyeceği seviyedeki yüksek eğimleri geçebilen teknolojisidir. Şekil 1.2’de Toplu taşıma türlerinin kapasite ve maliyetleri bir grafik ile gösterilmiştir [Ayözen, 2012].



Şekil 1.2: Toplu taşıma türlerinin kapasite ve maliyetlerinin şematik gösterimi .

2.2. Metro ve Tarihçesi

Metro veya diğer adıyla ağır raylı sistem, çoğunlukla kentlerde kullanılan yüksek kapasiteli toplu taşıma türüdür. Otobüsler veya tramvaylardan farklı olarak metrolar, özel bir geçiş hakkı (right of way (ROW)) ile işletilen, yayalar ve herhangi diğer araç tarafından erişilemeyen ve genellikle tünellerde veya yükseltilmiş yollarda (viyadük) ilerleyen sistemlerdir [Grava, 2003].

Metro sistemlerinde işletme, tipik olarak demiryolu raylarında elektrikli üniteler kullanan istasyonlar arasındaki belirlenmiş hatlarda sağlanmaktadır. İstasyonlar tipik olarak yüksek platformlara sahiptir, trenlerin içinde basamaklar yoktur ve tren ile platform arasındaki boşlukları en aza indirmek uygundur. Genellikle diğer toplu

taşıma araçlarıyla entegredirler ve genellikle aynı toplu taşıma yetkilileri tarafından işletilirler [Grava, 2003].

- Dünyanın ilk metro sistemi, 1863'te geleneksel bir demiryolu olarak açılan ve şimdi Londra Metrosu'nun bir parçasını oluşturan Metropolitan Underground'dur. 1868'de New York'ta, başlangıçta statik buhar motorlarını kullanan bir kablo çekme hattı olan yükseltilmiş West Side ve Yonkers Patent Railway hizmete başlamıştır [Dacoch, 2014].
- 2021 itibarıyla Çin, dünyadaki en fazla sayıda metro sistemine (40 metro hattı ve toplamda 4.500 km'den fazla yol) sahiptir ve son on yılda dünyadaki metro hatlarının genişlemesinin büyük çoğunluğundan sorumludur [Jia et al., 2021], [Wang et al., 2020].
- Güzergâh uzunluğuna göre dünyanın en uzun tek operatörlü metro sistemi Şanghay Metrosu'dur [Zhang et al., 2018].
- İstasyon sayısına göre dünyanın en büyük metrosu (toplamda 472 istasyon) New York Metrosu'dur [Höhne, 2015], [Wu et al., 2018].
- Yıllık yolcu sayısına göre dünyanın en yoğun metrosu Seul Metrosu'dur. 2019'da 2,9 milyar insanı taşıyan bir metro sistemine sahiptir [Kwon et al, 2008], [Lee et al., 2012].

Verilen bilgilerde de görüldüğü gibi metro, özellikle yolculuk sayıları fazla olan kentlerde uygulanması uygun olan sistemlerdir. Yolculuk sayılarının daha düşük olduğu ve metro gibi yüksek maliyetlerin karşılanamayacağı kentlerde HRS'lerin uygulanması daha makul olacaktır. Metro ve HRS uygulamaları kentlerde entegre şekilde bir arada da yer alabilmektedir. İstanbul ve Londra bu kentlere örnek olarak gösterilebilir. Ülkemizde de Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı uygulamaya koyduğu kriterler ile metro ve HRS'yi ayırmıştır. Metroda zirve saatte tek yöndeki saatlik yolcu kapasitesi maksimum 70.000 olup (80.000'e de ulaşabilmektedir) tek yönde saatlik yolcu kapasitesi 30.000 ila 70.000 arasında olmaktadır [DLH, 2014]. HRS'de zirve saatte tek yöndeki saatlik yolcu kapasitesi maksimum 35.000 olup tek yönde saatlik yolcu kapasitesi 15.000 ila 35.000 arasında olmaktadır [DLH, 2014]. Metro ve HRS'yi ayıran iki önemli noktalardan ilki kapasite, ikincisi ise metronun tamamen diğer trafikten ayrı ve yoğunlukla tünellerde işletiliyor oluşudur.

2.3. Hafif Raylı Sistem ve Tarihçesi

İngiltere, Amerika ve Türkiye de dahil olmak üzere çok sayıda ülkede metro, tramvay ve cadde tramvay sistemlerinin popülaritesi, otomobilin popülaritesinin arttığı 1950'lerden itibaren son bulmaya başlamıştır [Tekeli, 1992]. Günümüzde bazı geleneksel tramvay ve tramvay benzeri sistemler mevcut olsa da, "Hafif Raylı Sistem" terimi farklı tipte bir raylı sistem anlamına gelmektedir. II. Dünya Savaşı'ndan sonra özellikle Almanlar tramvay ağlarının çoğunu korumuş ve model hafif raylı sistemlere dönüştürmüştür. Tüm büyük ve en orta ölçekli Alman şehirleri hafif raylı ağlara sahiptir [Bottoms, 2003].

Amerika'da artan otomobil sahipliği, genel olarak toplu taşımadaki, daha özel olarak da tramvay kullanımındaki azalma, aynı yıllarda Avrupa'daki tramvay sistemlerinin hafif raylı sisteme evrilmeye başlaması, kentsel ulaşım sistemlerinde hafif raylı sistemlerin yükselişi için bir fırsat doğurmuştur [Quinby, 1962]. Genel manada hafif raylı sistemlere yönelim, 1960'larda ve 1970'lerde Kuzey Amerika'da teknolojik gelişmelerde yavaşlama olan bir dönemde ortaya çıkmıştır.

"Hafif Raylı Sistem" terimi 1972'ye kadar dünyanın çoğu bölgesinde bilinmiyordu ancak sözünü edilen kavram, bu tarihten en az on yıl önce konuşulmaya başlanmıştır. 1962'de Traffic Quarterly Dergisi, H. Dean Quinby'nin bu konsepti anlatan bir makalesi yayınlamıştır [Quinby, 1962].

Quinby, yeni bir toplu taşıma konseptinin ortaya çıkmasını sağlayan çabalarının çoğunda ortak olan iki özelliği vurgulamaktadır. İlk özellik aracın alabileceği yolcu sayısını arttırmak olarak da ifade edilebilecek olan kapasite geliştirme başlığı altında toplanabilir. Kapasiteyi attırmak için yeni ücret sistemleri ile beraber daha büyük trenlere vurgu yapan kapasite geliştirme, trenlerdeki her bir aracın çalışma sistemi ve çok daha büyük kapı boyutları çözümlerini gerektirmektedir. Bu uygulamanın en önemli sonucu, ilk kez yer üstünde giden bir toplu taşımanın, ara duraklardaki çok sayıda yolcu bu denli hızlı bir şekilde indirip bindirebilmesi olmuştur. İkinci özellik ise trafik mühendisliği ve hafif altyapı yatırımları ile başarılabilen, kritik alanlarda önemli altyapı yatırımlarının hızlı uygulamaları ile elde edilen hız iyileştirmedir. Quinby'yi [Quinby, 1962] özellikle tetikleyen şey, her iki özelliği de düşük maliyetle elde etme çabası olmuştur. Mevcut raylı sistem hatlarının her iki özelliği de vardı, ancak bunlar oldukça pahalıya mal olmaktaydı. Quinby'nin öngördüğü gibi tramvay

sisteminin yeniden şekillendirilmesinin amacı, uzun süredir kendine ait bir kapalı bölgesi (yeraltı) olan raylı sistem niteliklerini, yüzeyde çalışan raylı sisteme uygulamak ve böylece bu özellikleri daha geniş bir halk kitlesinin erişebileceği hale getirmektir [Quinby, 1962], [Thompson, 2003].

Kuzey Amerika'daki yeni hafif raylı sistemlerin ilki 1978 yılında işletilmeye başlanmıştır. HRS konsepti de bu seneden sonra popüler olmuştur ve Amerika bölgesinde şu anda 30'dan fazla hafif raylı sistem hattı bulunmaktadır [APTA, 2018], [Thompson, 2003]. İngiltere, ömrünü tamamlamış olan yerel demiryollarını 1980'lerde hafif raylı sistemlerle değiştirmeye başlamıştır. İngiltere'de HRS akımı 1992'de Manchester Metrolink sisteminin başarısı ile sağlam bir şekilde oluşturulmuştur.

Seneler boyunca ortaya atılan görüşler ve vurgulanan en önemli iki özellik (kapasite ve hız) Hafif Raylı Sistem konseptini doğurmuş ve pek çok ülkede belirli ölçütlerin uygulanmasına vesile olmuştur [Web 1, 2018]. Ülkemizde bu ölçütleri tespit edip yayınlayan kurum Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı olup hafif raylı sistemlerin tasarım hızı, ana hat üzerindeki gelir getiren işletme hattı için maksimum 80 km/saat'tir [DLH, 2014]. Bu sistemlerde zirve saatte tek yöndeki saatlik yolcu sayısı 35.000 olup tek yönde saatlik yolcu kapasitesi 15.000 ila 35.000 arasında olmaktadır [DLH, 2014].

2.4. Dünyadan Hafif Raylı Sistem Örnekleri

İngiltere- Londra, Tramlink (2000): Şimdiki adı Tramlink olan sistem, Mayıs 2000'de Croydon Tramlink ismi ile faaliyete başlamıştır ve Londra'daki ilk tramvay-HRS sistemi olmuştur [Transport for London, 2012a].

Ağ, 28 km'lik güzergâh üzerindeki 39 duraktan oluşmaktadır. Ağ, diğer trafikle paylaşılan sokakların, halka açık yollarda tahsis edilmiş yolun ve yeni yol haklarından oluşan sokak dışı yolun bir karışımıdır. Ağın Croydon'un merkezinde çakışan üç farklı hattı mevcuttur. [Cuthill et al., 2019].

Tramlink 35 araç ile işletilmektedir. Orijinal filo, Bombardier Transportation tarafından üretilen CR4000 model 24 araçtan oluşmaktaydı. 2006 yılında, CR4000 filosu yenilenmiştir ve otobüs benzeri güzergâhlama sisteminin yerini elektronik sistem almıştır. Ardından filoya Croydon Variobahn model 6 yeni araç katılmıştır. Son

aşamada ise 5 aracın daha eklenmesi ile sayı 35'e çıkmıştır. 2019/2020 finans yılı içerisinde Tramlink 27,2 milyon yolcu taşımıştır [Transport for London, 2012b].

- Hat Uzunluğu: 28 km
- İstasyon Sayısı:39
- Araç Sayısı: 35
- Maksimum Hız: 80 km/saat
- Sefer Sıklığı: 15 dk (Maksimum) [Cuthill et al., 2019], [Transport for London, 2012a, 2012b].



şekil 1.3: Londra Tramlink'te kullanılan bir araç.

İspanya- Madrid, Metro Ligerio (2007): Hafif raylı sistem ağının ML1 hattı, 2003-2007 döneminde metro ağının genişletilmesi planlarının bir parçası olarak 2007 yılında inşa edilmiştir. İnşaat alışmaları, 1997 yılı Genel Kentsel Gelişim Planı'nda yer alan Madrid şehrini kuzey kesimi için kentsel gelişim Aralık 2004'te başlamıştır. Devam eden süreçte ML2, ML3 ve ML4 hatları da hizmete sunulmuştur [Tejedor, 2017].

Sistem, bölgenin demografik ve kentsel özelliklerine uygun olup altyapı konusunda yeraltı yollarının avantajlarını, kentsel çevreye mükemmel şekilde entegre

edilmiş bir ulaşım sistemi olan tramvayın nitelikleriyle birleştirmektedir [Tejedor, 2017].

- Hat Uzunluğu: 28 km
- İstasyon Sayısı: 37
- Maksimum Hız: 70 km/saat
- Araç Kapasitesi: 200 kişi
- Sefer Sıklığı: 5 dk (Zirve Saatte) [Hernandez, 2015], [Tejedor, 2017].



Şekil 1.4: Madrid- Metro Ligero’da kullanılan bir araç.

Kanada- Ottawa, O-Train (2001): O-Train Hat 1, batıda Tunney's Pasture'dan doğuda Blair'a 13 istasyonu bağlayan 12,5 kilometrelik bir elektrikli hafif raylı sistem hizmetidir. O-Train Hat 2 (Trillium Line), sekiz kilometrelik dizel hafif raylı sistem hizmetidir. Hat 2, güneydeki Greenboro İstasyonu'ndan şehir merkezinin hemen batısındaki Bayview İstasyonu'na kadar uzanmaktadır [Hewitt and Hewitt, 2012], [Hilton and Stoney, 2007].

- Hat Uzunluğu: 20,5 km
- İstasyon Sayısı:13
- Sefer Süresi: 25 dk (Hat 1 için)
- İşletme Saatleri: 05.00 - 01.00 (Hafta içi)
- Saatlik Yolcu Sayısı: 10.700 Yolcu (Hat 1 için her yönde maksimum)

- Araç Kapasitesi: 300 kişi
- Araç Türü: %100 Elektrikli
- Sefer Sıklığı: 5 dk (Zirve Saatte) [Hewitt and Hewitt, 2012], [Hilton and Stoney, 2007], [Morgan, 2019].



Şekil 1.5: Ottawa- O-Train’de kullanılan bir araç .

Norveç, Bergen, Bergen Light Rail (2010): Bergen, Norveç'in en büyük ikinci şehridir ve yaklaşık 250.000 nüfusa sahiptir [Olesen, 2014]. Bergen Light Rail ülkenin tamamen yeni altyapı sistemiyle uygulanan ilk raylı sistemidir. Haziran 2010'da ilk hattın açılışı yapılmıştır [Olesen, 2014]. Şu anda faaliyette olan 28 Variobahn aracı mevcuttur ve 2021'in sonuna kadar teslim edilmesi planlanan altı ek araç filoya eklenecektir.

- Hat Uzunluğu: 20,4 km
- İstasyon Sayısı:27
- Sefer Süresi: 32 dk
- İşletme Hızı: 25-30 km/saat
- Günlük Yolcu Sayısı: 60.000 Yolcu

- Sefer Sıklığı: 5 dk (Zirve Saatte)
- Yapım Maliyeti: 27 milyon euro/km (2010 yılında ilk açılan kısım için)
- Toplu Taşımadaki Payı: 18% (2012) [Olesen, 2014].



Şekil 1.6: Bergen Light Rail’da kullanılan bir araç.

2.5. Türkiye’deki Hafif Raylı Sistemler

Ülkemizde faaliyette olan çok sayıda hafif raylı sistem hattı mevcuttur. Var olan bu hafif raylı sistemlerin ayrıntıları devam eden kısımda detaylarıyla açıklanmıştır.

İstanbul, Aksaray-Atatürk Havalimanı Hafif Metrosu (1989): İlk olarak 1989 yılında Aksaray-Kartaltepe arası işletilen hat, 2013 yılında Otogar-Kirazlı uzatmasının tamamlanması ile güzergâhın yarısında çatallanan bir yapı kazanıp, 2014 yılında Yenikapı İstasyonu’nun açılması ile günümüzdeki son halini almıştır. Yenikapı-Otogar-Atatürk Havalimanı ve Otogar-Kirazlı arası sistemin toplam verisi şu şekildedir:

- Hat Uzunluğu: 21 km
- İstasyon Sayısı: 18
- Araç Sayısı: 105
- Sefer Süresi: 35 dk
- İşletme Saatleri: 06.00 - 00.00 (Hafta sonu 24 saat işletme)

- Günlük Yolcu Sayısı: 400.000 Yolcu
- Günlük Sefer Sayısı: 169 Sefer/Tek Yön
- Sefer Sıklığı: 6 dk (Zirve Saatte) [Web 2, 2020].



Şekil 1.7: Yenikapı-Kirazlı Hafif Metro'sunda kullanılan bir araç.

Ankara, Ankaray Hafif Raylı Sistemi (1996): Söğütözü-Dikimevi durakları arasında ilk seferlerine başlayan sistem daha sonra günümüz halini alarak işletilmeye devam etmiştir. Ankaray Hafif Raylı Sistemi, Ankara şehir merkezinin kritik bir aksında, Ankara şehirlerarası Terminal İşletmesi (AşTİ) ve Dikimevi arasında hizmet vermektedir [Web 3, 2019]. Yakın bir tarihte hattın son durağı olan AşTİ'nin Kızılay-Çayyolu Metrosu duraklarından biri olan Söğütözü Durağı ile bağlantısının sağlanması sonucu iki hattın da etkinliğinin artacağı planlanmaktadır. [Web 3, 2019]. Hattın sistem özellikleri şu şekildedir:

- Hat Uzunluğu: 8,527 km
- İstasyon Sayısı: 11
- Yolcu Kapasitesi (maks.): 27.000 yolcu/yn/saat
- Ticari Hız: 38 km/saat
- Maksimum Hız: 80 km/saat
- Günlük Çalışma Süresi: 18 saat
- Minimum Dizi Aralığı: 120 sn (2 dakika)
- Zirve Saatler (Sabah: 7-9 ve Akşam: 17-19): 2+2 saat [Web 3, 2019].



Şekil 1.8: Ankaray HRS’de kullanılan bir araç.

İzmir, Fahrettin Altay-Evka 3 Hafif Raylı Sistemi (2000): Nisan 2000’de tamamlanan Üçyol-Bornova arası 12 km uzunluğundaki on istasyonlu ilk aşama hizmete girmiştir.

Hattın batı aksında yer alan altı istasyonlu 5,2 km uzunluğundaki Üçyol-Fahrettin Altay genişletmesi için hattın temeli atılmıştır. Devam eden dönemde İzmir Büyükşehir Belediyesi ihaleyi verdiği iki farklı şirkete de ihtarname yollayıp, kalan çalışmaları kendi olanakları ile tamamlamaya karar vermiştir. Üçyol-Fahrettin Altay hattındaki İzmirspor ve Hatay istasyonlarında deneme seferleri başlatılmış ve istasyonlar hizmete açılmıştır. Aynı hat üzerindeki Göztepe istasyonu faaliyete girmiştir [Web 4, 2014]. Bu hattaki son iki istasyon olan Poligon ve Fahrettin Altay, devam eden dönemde açılmıştır. İki istasyon arasında yer alan Güzelyalı istasyonu, bölgeden geçen yer altı deresi nedeniyle projeden çıkarılmıştır. Hattının doğu aksındaki üç istasyonlu Bornova-Bornova Merkez genişletmesinde çalışmalar başlamıştır ancak bir sene sonra durmuştur [Web 5, 2014]. Yeniden ihaleye çıkılmasının ardından hattın Evka 3 istasyonuna kadar olan 2,6 km uzunluğundaki bölümünde deneme seferleri 2012’de başlamıştır ve hattaki Ege Üniversitesi ve Evka 3 istasyonları hizmete girmiştir.

Hattının batı doğrultusundaki 7,2 km uzunluğundaki yedi istasyonlu Fahrettin Altay-Kaymakamlık genişletmesi için çalışmalar başlamıştır [Web 6, 2018]. İleride yapılacak genişletmelerle hattın doğuda Bornova’nın merkezine ve batıda Güzelbahçe’ye uzatılması hedeflenmektedir [Web 7, 2018]. Bu hafif raylı sistemin teknik özellikleri şu şekildedir:

- Hat Uzunluğu: 17,675 km
- İstasyon Sayısı: 17
- Sefer Süresi: 32 dk 16 sn [Web 8, 2020].
- Yolcu Kapasitesi (maks.): 45.000 yolcu/yön/saat
- Enerji Besleme: 3. ray
- Maksimum Hız : 80 km/sa
- İşletme Hızı : 45 km/sa [Çınarlı, 2009], [Web 4, 2014].



Şekil 1.9: Fahrettin Altay-Evka 3 HRS’de kullanılan bir araç.

Bursa, Bursaray Hafif Raylı Sistemi (2002): Bursaray'da 7'si yeraltında olmak üzere 38 istasyon bulunmaktadır. İki hatlı güzergâh karayolu sisteminden tamamen bağımsızdır. Hattın teknik özellikleri şu şekildedir:

- Toplam Hat Uzunluğu: 39 km
- İstasyon Sayısı: 38 Adet (7 yeraltı- 5 kenar platform)
- Platform Boyu: 120 m
- Ray Açıklığı: 1.435 mm
- Enerji Besleme Tipi: Havai Hat (katener)
- Hat Gerilimi: 1.500 V DC
- Sinyalizasyon Sistemleri: Sabit Bloklü Sistem, ATP (Otomatik Tren Korumalı)
- Haberleşme Sistemleri: SCADA, CCTV, PA, TETRA
- İşletme Hızı (Maksimum): 70 km/sa [Web 9, 2020].



Şekil 1.10: Bursaray HRS’de kullanılan bir araç.

Eskişehir, Estram Hafif Raylı Sistemi (2004): Eskişehir Büyükşehir Belediyesi ulaşım ana planı ile uyumlu, şehirde modern bir tramvay sisteminin inşa edilmesi için Bombardier-Yapı Merkezi Konsorsiyumu ile bir yapım ve temin sözleşmesi imzalamıştır. Proje 20 ay gibi çok kısa sürede tamamlanmıştır [Web 10, 2020].

Uluslararası Taşımacılıkta Hafif Raylı Sistem Ödülü’nü kazanan Estram, işletmeye açılarak halkın hizmetine sunulmuştur [Web 10, 2020]. Hizmete başlayan tramvay sistemi ile diğer karayolu toplu taşıma sistemlerinin entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Şehir merkezinden geçen tramvay sistemini destekleyecek şekilde otobüs ve minibüs güzergâhları belirlenmiştir. Merkezdeki araç sayısı azaltılarak, alışveriş noktalarının yoğun olduğu büyük caddeler ağırlıklı olarak yayalara ayrılan yürüme alanları oluşturulmuştur sunulmuştur [Web 10, 2020].

Estram’da 2019 senesinde yapılan sefer sayısı 423.680 ve taşınan yolcu sayısı 41.222.395 olarak gerçekleşmiştir [Web 10, 2020]. Estram raylı sistemi teknik verisi şu şekildedir:

- Hat Uzunluğu: 45 Km
- İstasyon Sayısı: 61 Adet
- Araç Sayısı: 33 adet
- Araç Markası: Bombardier (Kanada)
- Araç Kapasitesi: 272 kişi
- Minimum Dizi Aralığı: 3 dk (180 sn)
- Ticari Hız: 25 km/sa
- Maximum Hız: 80 km/sa [AYGM, 2013], [Web 10, 2020].



Şekil 1.11: Estram HRS’de kullanılan bir araç.

Kayseri, Kayseray Hafif Raylı Sistemi (2009): Kayseray, 2009 senesinde Kayseri’de servise başlayan bir hafif raylı toplu ulaşım sistemidir. Kayseray’ın ilk etabı Organize Sanayi-Doğu Terminali’nde hizmete açılmıştır. İkinci etap olan hat İldem-Beyazşehir güzergâhında hizmete girmiştir. Böylelikle raylı sistem İldem-Beyazşehir hattıyla kentin doğusuna uzatılmıştır. Son olarak da üçüncü etap Üniversite hattı da hizmete girmiştir [Web 11, 2020]. Toplam 55 istasyon bulunan İldem-OSB raylı sistem hattı da hizmet vermeye başlamıştır. Son olarak OSB-Talas hattı faaliyete girmiştir [Pektaş, 2018]. Mevcut Kayseri raylı sistem hattı özellikleri şu şekilde verilmiştir:

- Ana Hat Uzunluğu: 37 km
- İstasyon Sayısı: 55 (17 adet orta, 38 adet kenar peron)
- T1 Hattında: 43 İstasyon
- T2 Hattında: 18 İstasyon (6’sı T1 ve T2 hattında ortak kullanılmaktadır.)
- Araç Sayısı: 69
- Proje (Maksimum) Hızı: 70 km/sa
- Ortalama İşletme Hızı: 23 km/sa
- T1 Hattı İşletme Süresi: 70 dk (27 km Hat)
- Yolcu Sayısı (Ortalama): 110.000 kişi/gün
- T2 Hattı İşletme Süresi: 33 dk (10 km Hat)
- Yolcu Sayısı (Ortalama): 20.000 kişi/gün
- Toplamda Günlük Ortalama Yolcu: 130.000 kişi [Web 11, 2020].



Şekil 1.12: Kayseray HRS’de kullanılan bir araç.

Antalya, Antray Hafif Raylı Sistemi (2009): 2009 yılında hizmete alınan 1. Etap Hafif Raylı Sistem hattı, Fatih bölgesinden başlayıp Meydan bölgesinde sonlanmaktadır. Hat yaklaşık 11 km uzunluğunda olup 16 adet istasyonu bulunmaktadır. Tüm istasyonlarda yaya geçişinin güvenli bir biçimde sağlanması için yaya hemzemin geçitleri mevcuttur [Web 12, 2020].

2016 yılında önceki hattı Expo ve Havalimanı’na bağlayan 2.Etap Raylı Sistem Hattı açılışı gerçekleştirilerek hizmet vermeye başlamıştır. 2.Etap Raylı Sistem Hattı ile ilave 15 istasyon daha yapılmış ve Raylı Sistem hattı yaklaşık 30 km’ye çıkmış, istasyon sayısı ise 31’e yükselmiştir [Web 12, 2020]. Hattın teknik özellikleri şu şekildedir:

- Hat Uzunluğu: 30 km
- İstasyon Sayısı: 31 Adet
- Güzergâh: Fatih-Havalimanı-EXPO
- Araç Sayısı: 14 Adet+18 Adet
- Araç Markası: CAF (İspanya)+ H.Eurote
- Araç Kapasitesi: 307 kişi
- Ticari Hız: 27 km/sa
- Maximum Hız: 70 km/sa [AYGM, 2013], [Web 12, 2020].



Şekil 1.13: Antray HRS’de kullanılan bir araç.

Adana, Adana Metro Sistemi (2010): Devlet Planlama Teşkilatı tarafından onaylanan metronun inşaatı Ocak 1999 tarihinde başlamıştır. Adana Metrosu Mayıs 2010 tarihinde hizmete açılmıştır. 36 adet Hyundai Rotem treni bulunmaktadır. Adana Metrosu bir demiryolu olan hızlı transit üzerinden bir kuzey-güney doğrultusu boyunca 14 km uzanan sistemdir. Bu hatta toplam 13 istasyon vardır ve saatte her yön için 21.600 yolcu taşıma kapasitesi bulunmaktadır. Günlük 660.000 yolcu taşıma yapılabilmektedir. Adana Metrosuna ilave olarak planlanan 10.3 kilometre uzunluğundaki Balcalı ve yapımı süren yeni stadyuma kadar uzanacak ikinci etap hat projesinin 23,5 km hat ve 20 istasyon olması planlanmaktadır [Pektaş, 2018]. Hattın sistem özellikleri şu şekildedir:

- Hat Uzunluğu: 13,5 Km
- İstasyon Sayısı: 13 Adet
- Araç Sayısı: 36 Adet
- Araç Markası: Hyundai Rotem (Kore)
- Araç Kapasitesi: 311 kişi, 3 araçlık katarlar halinde çalışacak sistemde; her katarın yolcu kapasitesi 933 kişi
- Minimum Dizi Aralığı: 2,5 dk (150 sn)
- Ticari Hız: 40 km/sa
- Maximum Hız: 80 km/sa [AYGM, 2013], [Pektaş, 2018].



Şekil 1.14: Adana Metro Sistemi'nde kullanılan bir araç.

Samsun, Gar- Üniversite ve Gar- Tekeköy Hafif Raylı Sistemleri (2010 ve 2016): Samsun Hafif Raylı Sistem hattı, ana hat güzergâhı 1. Etap Projesi Üniversite bölgesinden başlayıp Gar istasyonu bölgesinde son bulmaktadır. 1. Etap Raylı Sistem hattı ana hat uzunluğu 15,695 km'dir. Hattın yaklaşık olarak 14 kilometresi kapalı, 1,5 kilometresi de açık hat olarak dizayn edilmiştir. 1. Etap Raylı Sistem Hattında 21 adet istasyon bulunmaktadır. Tüm istasyonlarda yaya geçişinin güvenli bir biçimde sağlanması için yaya hemzemin geçitleri mevcuttur [Web 13, 2020].

2016 yılında Gar – Tekkeköy 2. Etap Raylı Sistem Hattı açılışı gerçekleşerek hizmete açılmış ve 8 adet Panorama markalı ülkemizin ilk yerli tramvayı Samsun'da kullanılmıştır. 2. Etap Raylı Sistem Hattı ile ilave 15 istasyon daha yapılmış ve Raylı Sistem hattı yaklaşık 29 km'ye çıkmış, istasyon sayısı ise 21'den 36'ya yükselmiştir. Son durumunda ise yaklaşık 6 km uzunluğunda 3. Etap 19 Mayıs Üniversitesi Kampüs içi Raylı Sistem Hattı uzatma çalışmaları tamamlanarak ek 7 istasyon ile hizmet vermeye başlamıştır [Web 13, 2020]. Gar-Üniversite Hattının teknik detayları şu şekildedir:

- Hat Uzunluğu: 16 km
- İstasyon Sayısı: 21 Adet
- Araç Sayısı: 16 adet+5 adet
- Araç Markası: Ansaldo Breda (İtalya)+CNR(Çin)
- Araç Kapasitesi: 279 kişi (Oturan 64 kişi)
- Maximum Hız: 70 km/sa [Web 13, 2020].

Gar-Tekkeköy Hattının teknik detayları Şu Şekildedir:

- Hat Uzunluğu: 13 km
- İstasyon Sayısı: 15 Adet
- Araç Sayısı: 8 adet
- Araç Markası: Panorama (Türkiye)
- Araç Kapasitesi: 294 kişi (Oturana 54 kişi)
- Maximum Hız: 70 km/sa [Web 13, 2020].



Şekil 1.15: Samsun Gar-  niversite ve Gar- Tekeköy HRS’de kullanılan bir araç.

Bu hatların dışında İstanbul, Kocaeli, Adana, Gaziantep, Konya ve Balıkesir başta olmak üzere çeşitli illerimizde yeni hafif raylı sistem plan ve projeleri üzerinde çalışılmaktadır.

2.6. Hafif Raylı Sistemin Avantajları

Hafif raylı sistemin diğer raylı sistemler içerisinde pek çok üstünlüğü bulunmaktadır. Hafif raylı sistem yüksek frekanslı, orta kapasiteli bir hızlı toplu taşıma türüdür. Hafif raylı sistem Şehir merkezindeki ve banliy deki hareketliliği önemli ölçüde artırabilir, tıkanıklığı azaltmaya, mahalleleri canlandırmaya ve karbon

emisyonlarını azaltmaya yardımcı olur [TTF, 2010]. Hafif raylı sistem araçları ile taşınan yolcu sayısı fazla olduğu için şehir içindeki otobüs ve minibüslere olan talebin düşmesini sağlanarak, trafik sıkışıklığı önemli ölçüde azaltılabilmektedir [Şenlik, 2003].

Hafif raylı sistem, Merkezi İş Alanı (MİA) hareketliliğini ve banliyölerde yaşayanların da seçeneklerini artırmak isteyen devlet için sağlam bir seçenek sunmaktadır. Diğer toplu taşıma araçlarıyla etkin bir şekilde bir arada kullanılabilen verimli, yüksek kapasiteli bir transit modudur [TTF, 2010].

Şehir markalaşması açısından hafif raylı sistemler mahalle sakinleri, yolcular, turistler ve diğer ziyaretçilere özel sektör pazarlama uzmanlığı ile daha da geliştirilebilir biçimde çekici gelmektedir. Kalkınma perspektifinden bakıldığında hafif raylı sistem, kentsel dönüşüm projelerine elverişlidir, kalıcı altyapı sağlar ve yeni yatırımları çekme oranı yüksektir [Şenlik, 2003]. Elektrikle çalışan hafif raylı sistem, iklim değişikliğine yanıt vermenin önemli bir hükümet önceliği ve halk endişesi olduğu bu zamanda da en sürdürülebilir ulaşım modlarından biridir [TTF, 2010].

Bir ulaşım sisteminin önemli göstergeleri, devam eden yıllarda da doğru bir yatırım olduğunu kanıtlaması ve sürdürülebilir olmasıdır. Sürdürülebilirlik ilkesinin üç ayağı olan ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik, hafif raylı sistemin avantajlarının alt başlıkları olarak sonraki bölümde işlenmektedir.

2.6.1. Hafif Raylı Sistemin Ekonomik Avantajları

En geniş anlamı ile hafif raylı sistemlerin ekonomik faydaları, daha fazla kentsel hareketlilik ve ulaşım seçeneği ile sıkışıklığı azaltmaya ve verimliliği artırmaya olan katkısını içermektedir. Hafif raylı araçların, özel araç ile seyahat eden kişilerin tercihlerini değişikliğini sağlamada özellikle etkili olduğu tespit edilmiştir biridir [TTF, 2010]. Hafif raylı sistemler verimlilik, konfor ve yüksek kapasite sunmaktadır. Hafif raylı sistem altyapısının görsel güvencesi ve düzenli ve güvenilir hizmetlerin garantisi, kentsel seyahat davranışının değişmesine yardımcı olan özellikle önemli faktörlerdir [TTF, 2010].

Amerikan Toplu Taşıma Birliği (APTA) Çalışmacıları toplu taşıma sistemlerini kurmak, işletmek ve bakımını yapmanın maliyetlerini; vergi mükellefleri, işletmeciler ve yolculara sağladığı faydalarla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak Amerika'nın

taşımacılık ağının, doğrudan maliyetlerde her 1 dolar için 4 dolardan fazla kâr sağladığı sonucuna varmışlardır [Shapiro and Hasset, 2005]. Yine APTA'nın bir yayınına göre toplu taşıma yatırımları, ilk yatırımın parasal değerinden daha fazla değer kazanarak iş genişlemesi ve ekonomik büyüme yaratmaktadır. APTA, toplu taşımaya yatırılan her 1 milyar doların 3,6 milyar dolarlık ek iş satış hacmi ürettiğini ve bunun da federal, eyalet ve yerel vergi gelirlerinde yaklaşık 500 milyon dolar artış sağladığını tahmin etmektedir [APTA, 2013]. Bu kazançların sebepleri; karayolu toplu taşıma yatırım ve işletme maliyetleri, yol bakım maliyeti, kaza maliyeti, ulaşım süresi maliyeti ve CO² emisyon temizleme maliyeti tasarruflarıdır. Bu sebepler arasında en büyük kazanç da ulaşım süresi maliyeti tasarrufları ile sağlanmaktadır [Coşkun, 2016]. Ekonomistler tarafından, toplu taşımaya yatırılan her 1 milyar dolar için 36.000'den fazla işin desteklendiğini hesaplanmıştır [APTA, 2013].

HRS işgücünün verimli kullanılmasına yardımcı olmaktadır. Her hafif raylı araç, ne kadar büyük olursa olsun, onu çalıştırmak için sadece bir kişi gerektirmektedir. Hatta 21. yy'da sürücüsüz olan sistemlerin sayısı da gittikçe artmaktadır [KBB, 2018a; 2018b]. Bakım görevleri zor ya da çok karmaşık değildir; geçmiş dönemlerde bu konuda çok deneyim kazanılmıştır ve araçlar tüm bileşenlerin kolayca erişilebilir olmasını sağlayacak biçimde tasarlanmıştır. Kabloların ve rayların bakımı olağanüstü bir çaba gerektirmemektedir [Grava, 2003].

Çoğu durumda, bir ulaşım sisteminin iş yapabilme yeteneği ve bunun için gereken maliyet, aynı madalyonun iki farklı yüzünü temsil etmektedir. Maliyet optimum noktaya ulaşmadan raylı sistemin etkinliği de arttırılamaz. Bu bağlamda, şehirlerin gelişim tarihinde HRS, sunduğu kapasitenin birçok talep durumuna cevap verdiği bir konumda yer almakta ve maliyetler makul fiyatlı kalmaktadır. Bu sonsuza dek böyle olmayabilir, ancak şu anki mevcut durumlar raylı sistemlerin üstünlüklerini kanıtlamaktadır [Grava, 2003].

2.6.2. Hafif Raylı Sistemin Çevresel Avantajları

Hafif raylı sistem içten yanmalı motorlar ile çalıştırılan, diğer ulaşım türlerine göre birçok çevresel avantajı olan, enerji tasarruflu ve sürdürülebilir bir ulaşım şeklidir. Hafif raylı sistemin enerjisini sağlamak için gereken elektrik, kentsel çevreden uzakta üretilmektedir. Bu da sera gazı emisyonlarının işletme noktasından uzaktaki elektrik üretim bölgesinde açığa çıkması anlamına gelmektedir

[TTF, 2010]. Ayrıca yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrikle hafif raylı sistem işletilmesi olasılığı da bulunmaktadır. İspanya'daki Tenerife ağı ve Kanada'daki Calgary ağı da dahil olmak üzere birkaç hafif raylı sistem tamamen yenilenebilir enerji ile çalıştırılmaktadır [TTF, 2010].

Pek çok farklı ulaşım ağına hafif raylı sistemlerin eklenmesi, tıkanıklığın çevresel etkisini azaltarak diğer ulaşım modlarından bu moda önemli bir kaymaya neden olmuştur [TTF, 2010].

HRS, nispeten az güç tüketimi ile önemli miktarda ağırlık taşıma kabiliyetine sahiptir. Petrol bazlı bir yakıt tüketmez ve çeşitli enerji kaynaklarından uzak yerlerde gerekli elektrik gücü üretilebilir. Elektrik motorlarının termal verimliliği son derece yüksektir [Grava, 2003].

Elektrik santralinde sorunlar olsa da, yerel hava kirliliği oluşmaz. Kullanılan voltaj, elektromanyetik radyasyon hakkında herhangi bir endişeye neden olacak kadar yüksek değildir. Sistem iyi korunduğu takdirde pratik olarak gürültüsüz olacaktır, ancak yerel rahatsızlıklar olabilir. Araçlar büyük olmasına rağmen, görsel görünimleri veya sokak manzarasına estetik izinleri hakkında şikayete pek rastlanmaz. Havadaki kablolarla dikkat edilmelidir, ancak insanlar çoğunlukla bunların varlıklarını görmezden gelmektedirler [Grava, 2003]. Bu tarz kaygıların olduğu bölgelerde sistemin enerjisini havai hattan (metal kablolar) değil de zeminden (3. Ray) alması kolaylıkla sağlanabilmektedir.

2.6.3. Hafif Raylı Sistemin Sosyal Avantajları

Günümüzün sanayi ve teknolojinin hâkim olduğu dünyasında, toplumlar da büyük bir mücadele hatta yarış içindedirler. Bu yarış bir gelişim yarışı, medeniyet mücadelesi olarak tanımlanabilmektedir. Olumlu ve olumsuz yanları olan bu mücadelenin pek çok parametresi mevcuttur. Bu başlık altında değerlendirilebilecek en önemli sosyal avantaj ise “yaşam kalitesi” olacaktır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) yaşam kalitesini, “kültür ve değer sistemleri bağlamında yaşamdaki konumu, yaşadıkları ve hedefleri, beklentileri, standartları ve kaygıları ile ilgili bireylerin algıları” şeklinde tanımlamaktadır [WHO, 1997]. Yaşam kalitesi, kişinin fiziksel sağlığı, psikolojik durumu, bağımsızlık düzeyi, sosyal

ilişkileri, kişisel inançları ve çevrelerinin özellikleriyle kompleks şekilde etkilenen çok geniş kapsamlı bir kavramdır [WHO, 1997].

Kanun koyucular ve araştırmacılar, halk sağlığı ve ulaştırma arasındaki bağlantıları giderek daha fazla kabul etmektedir ancak halk sağlığı alanındaki iyileştirmeler daha geniş kapsamda yaşam kalitesi etkilerini dikkate almak yerine, tipik olarak fiziksel sağlık konusunda sınırlanmaktadır. Halen, ulaşım ve yaşam kalitesinin kesişme biçimlerine dair sınırlı bir anlayış vardır. Lee ve Şener'in yaşam kalitesi ile ulaşım ilişkisini araştırdığı çalışmalarında, çoğunlukla mobilite/erişilebilirlik, yapıli çevre ve araç trafiğı biçimindeki ulaşım sisteminin üç bileşeninden etkilenen taşımacılığa ilişkin dört "yaşam kalitesi" boyutu belirlenmiştir: fiziksel boyut, zihinsel boyut, sosyal boyut ve ekonomik refah boyutu [Lee and Şener, 2016].

Bu alanda yapılan önceki çalışmalardan anlaşılacağı gibi kentsel yaşam kalitesinin önemli bileşenlerinden biri de kullanılan ulaşım sisteminin kalitesidir. Ulaşım alanındaki kaliteyi artırma üzerindeki çalışmalar her ülke yönetimi için önemli bir yatırım kolu durumundadır. Konforlu, güvenli, ucuz ve hızlı ulaşım sistemleri oluşturma çalışmaları elbette doğrudan veya dolaylı olarak vatandaşların yaşam kalitesi üzerinde etki yaratacaktır.

Ulaşım üzerine geçmişten günümüze tasarlanan gelişimlerdeki en büyük parametre "ulaşım süresi" olarak karşımıza çıkmaktadır. Ulaşımın konfor ve kalitesini geliştiren önemli etken ulaşımın süresini düşürebilmektir. Ulaşım süresini minimuma indirme üzerine yapılan çalışmalar netice olarak araştırmacıların karşısına "raylı ulaşım sistemleri"ni çıkarmıştır. Ulaşımın süresini fayda/maliyet analizlerini de göz önüne alarak optimum seviyeye düşürebilen sistemler raylı ulaşım sistemleridir. Kurulan bu basit mantıksal denklemler ile bir kente yapılacak raylı ulaşım sistemi projesinin, o kentteki yaşam kalitesini dolaylı yoldan kesinlikle arttıracığı öngörülebilmektedir.

Geliştirilmiş toplu taşıma, topluluklar ve bireyler arasındaki etkileşimi teşvik etmekte ve kalifiye işçileri o kente doğru çekmektedir. Hafif raylı sistem, yaşanabilirliği ve hayat kolaylığını geliştirerek güzergâhı boyunca yatırımcılar için bir fırsat oluşturmaktadır [TTF, 2010]. Salt Lake City, Utah'taki semt sakinlerinin tutumları ve seyahat davranışları üzerine yapılan bir araştırmada, hafif raylı ulaşımın olduğu bölgedeki vatandaşların sağlıklı yürüyüş alışkanlıkları, düşük araba kullanımı, düşük obezite, yüksek aidiyet, mahalle memnuniyeti ve transit odaklı kalkınma konusunda daha olumlu olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, hafif raylı ulaşım

araçlarının işlediği yerdeki halk, hafif raylı sistemlerin şehir yaşanabilirliğini artırdığını bildirmektedir [Brown and Werner, 2009].

Uygulanan ülkelerde gözlemlendiği üzere hafif raylı sistem ile yapılan kentsel taşımacılık, şehrin sosyal boyutuna olumlu katkı sağlamakta, yaşam kalitesini geliştirmekte ve şehri daha yaşanabilir kılmaktadır.

2.7. Hafif Raylı Sistemin Etkin Olduğu Durumlar ve Etkin Olduğu Kentler

HRS'lerin etkili olması için güzergâhı boyunca önemli sayıda yolcunun gereksinimlerini karşılamalıdır. Özel araç ile seyahat etme seçeneğine sahip yolcuları çekmek için seyahat süresi kısaltılmalıdır. Özel veya paylaşımlı geçiş hakları HRS'nin seyahat süresini en aza indirmeye ve karayolu tıkanıklığını gidermeye yardımcı olmaktadır. Paylaşılan veya dönüştürülen demiryolu güzergâhları, merkez bulvarları, özel yollar ve viyadükler veya yeraltı tünelleri, yolculuk süresini iyileştirmek için HRS'yi hızlandırmanın genel yoludur. Basit ve geleneksel olan zemin seviyesindeki raylı sistem işletmeleri HRS'nin hızından ziyade verimliliğini ispatlama konusunda etkilidir [Tennyson, 1982]. HRS uzun, hızlı, düşük yoğunluklu banliyö hatlarından kısa, yavaş, yüksek yoğunluklu merkezi kent hatlarına kadar her kent sisteminde en iyi seçenek olarak ortaya çıkmaktadır.

Trafik sıkışıklığı, hava kirliliği, kent alanlarında motorlu taşıtların kullanımı için ayrılan bölge oranlarının yüksek olması gibi durumlar için raylı sistemler çok iyi bir alternatiftir. Mevcut toplu taşıma operasyonlarının gelirlerinin, işletme maliyetinin sadece yüzde 35 ila 45'ini karşıladığı şehirler için HRS, ekonomik olanakları ile cazip bir seçenektir [Tennyson, 1982].

Enerji kaynakları ve merkezi yardım azaldıkça, bu kaynakların fiyatları yükseldikçe, şehirler geliştikçe, ulaşım yönetimi, vergi mükellefleri ve yolcular üzerindeki enflasyon baskısı arttıkça, insanları talep ettikleri yere ulaştırmak için daha iyi ve daha etkili yollar bulmak gerekmektedir. HRS, bu işin tamamen çözemez ancak belirli durumlar için o kadar büyük bir değer sunar ve asıl meziyetini kentsel ulaşımındaki geniş uygulama alanları ile göstermektedir [Tennyson, 1982].

Hafif raylı sistem trafik sıkışıklığının azaltılması, bölge sakinlerinin hareketliliğinin artırılması ve kirliliğin azaltılması gibi hedeflere ulaşmada başarılı olmaktadır. Bununla birlikte çoğunlukla, vergi veren halk için bu yatırımlar vergi yükü

oluşturmaktadır. Bu, hafif raylı sisteme hiç yatırım yapılmaması gerektiği anlamına gelmemektedir. Bazen faydalar masraflardan üstün gelebilmektedir. Bu sebeple karar vericiler, hafif raylı sisteme karar vermeden önce ellerindeki tüm seçenekleri değerlendirme yoluna gitmelidir [Web 1, 2018].

Bir şehirdeki mevcut ulaşım koşulları ve gelecekteki ulaşım ihtiyaçları, hangi ulaşım çözümünün en iyi olduğunu belirlemektedir. Yukarıda listelenen hafif raylı sistemin faydaları bir şehrin temel hedefleri ise, bu sistem etkili bir çözüm olabilmektedir. Fakat değilse, şehir otobüs, diğer metro sistemleri veya mevcut karayolu sistemini geliştirmek gibi diğer seçenekleri de dikkate almalıdır [Web 1, 2018].

Hafif raylı sistemler, daha fazla yolcu potansiyeli olduğu için yüksek nüfus yoğunluğuna sahip şehirlerde en uygun şekilde çalışabilmekte ve sistemi işletmenin fayda/maliyet oranı daha yüksek olabilmektedir. Bireysel araç sahipliğinin masraflı olduğu ve parkın sınırlı olduğu şehirler, hafif raylı araçlardan daha fazla yararlanabilmektedir [Şenlik, 2003]. Temel yaya yolu altyapısının mevcut olması, insanların istasyonlardan hedeflerine doğru yürümeleri gerektiğinden, hafif raylı sistemin etkinliğini de büyük ölçüde artırmaktadır [Web 1, 2018].

Doğru toplu taşıma çözümü şehirden şehre değişmektedir. Yerel yönetimler bir planı seçmeden önce tüm seçenekleri, faydaları ve giderleri dikkatlice tartabilmelidir. Doğru koşullar altında, bir hafif raylı sistemin bir şehre faydaları maliyetlerden daha ağır basabilmektedir [Web 1, 2018].

Ülkemizdeki duruma gelecek olursak, dünya üzerindeki tüm şehirler için kabul edilebilecek durumlar Türkiye kentleri için de geçerlidir. Fakat ülkemizde raylı sistem uygulaması için değerlendirilen en önemli parametrenin nüfus yoğunluğu olduğu görülmektedir. Türkiye’de ağır raylı sistemler (metrolar) nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa gibi kentlerde kent içi ulaşım, hafif raylı sistemler ise nüfus yoğunluğu daha düşük olan Eskişehir, Konya, Antalya, Kayseri ve Samsun şehirlerinde kent içi ulaşım da kullanılmaktadır [Şenlik, 2003].

3. HAFIF RAYLI SİSTEM GÜZERGÂH TASARIMINDA ÖNE ÇIKAN ÖLÇÜTLER

Literatür incelendiğinde; hafif raylı sistem güzergâh tasarımında öne çıkan temel ölçütlerin; Arazi Kullanımı, Mevcut Altyapı (Yolları Paylaşma Olanğı, Otoparklar ve Kapasiteleri, Trafik Durumu), Mesafeler (Çalışma Alanlarına Yakınlık, Toplu Konut Alanlarına Yakınlık, Diğer Arazi Kullanım Alanlarına Yakınlık, Ulaşım Düzğümlerine Yakınlık), Ulaşım Talebi (Yolculuk Üretimi, Nüfus Yoğunluğu), Mülkiyet ve Arazi Değerleri, Doğal Yapı Unsurları (Eğim, Fay Hatlarına Uzaklık, Hidrolojik Yapıya Uygunluk, Jeoteknik- Jeolojik, Litolojik Yapıya ve Toprağına Uygunluk), Çevresel Etkiler (Gürültü, Sit Alanlarına Uzaklık), Demografi (Düşük Gelirli Gruplara Hizmet) başlıkları altında değerlendirilebileceğı görölmektedir.

Ulaşım yatırımlarının yüksek maliyetli ve uzun zamana yayılması gereken projeler olduğundan önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Bu sebeple ulaşım projelerinin planları yapılırken çok ölçütlü düşünmek ve farklı disiplinlerde uzmanlığı bulunan kişilerin görüşlerini almak büyük önem taşır. Bunu ortaya koyabilecek modern sistem ÇÖKA sistemidir. Bu sistemde yapılacak olan çalışmayı yalnızca ekonomik, çevresel veya sosyal açıdan değerlendirmek yerine bu tasarımları etkileyebilecek tüm ölçütleri, en yüksek ağırlığı alacak olandan en düşük ağırlığı alacak olana doğru sıralayarak tüm ölçütleri planlama aşamasının içine dahil etmektir.

Bu tez çalışmasındaki hedef, HRS güzergâh planlaması için CBS [Web 14, 2020] tabanlı bir tasarım modeli geliştirilmeye çalışmaktır. Güzergâhların seçiminde AHS ve BWM işleminden yararlanılacaktır. HRS güzergâh tasarımı yapabilmek için ilk olarak tasarım ölçütlerinin belirlenmesi, her bir ölçüt için İkili Karşılaştırma Yöntemi'ni kullanarak uzman grubu yardımı ile farklı ağırlıkların tespit edilmesi ve ölçüt ağırlık değerlerinin CBS [Web 15, 2020] üzerinden oluşturulan ölçüt haritalarının piksel değerleri ile çarpılarak optimum sonuç haritasının üretilmesi gerekmektedir. Yerli ve yabancı literatür taramalarının sonrasında, sonraki bölümde verilen ölçütlerin HRS güzergâh tasarımı için en uygun ölçütler olduğuna karar verilmiştir.

Bu ölçütler, AHS ve BWM ile değerlendirilecek, ana hedefe uygun olarak gerekli analizler gerçekleştirilerek raylı sistem güzergâhı için Kocaeli kentinin Gebze ve Darıca ilçeleri özelinde uygunluk tespit edilmeye çalışılacaktır.

3.1. Arazi Kullanımı

Arazi kullanımı; yeryüzü üzerindeki tarım, inşaat, yerleşim ve ulaşım ağları gibi insanoğlu tarafından yapılan ve yeryüzünün doğal örtüsünü değiştiren çalışmaların tümü olarak tanımlanabilir [Giuliano, 1989]. Bu arazinin nasıl kullanıldığı elbette planlanacak raylı sistemin güzergâhını etkileyecek bir noktadır. Şehrin mekânsal gelişimi için ulaşım faktörünün etkisi, zaman içerisinde arazi kullanımında oluşan değişiklik ve ulaşım ilişkisinin iyi sentezlenmesi ile anlaşılabilir [Giuliano, 1989]. Ahmed ve Asmael'in makalesinde arazi kullanımı başlığının çalışmadaki en yüksek değere sahip faktör oluşu bu ölçütün ne derece önemli olduğunu anlatmaktadır [Ahmed and Asmael, 2009]. Güzergâh tasarımına yön veren arazi kullanım başlıkları:

- Tarım Alanları,
- Gelişim Sınırlamalı Alanlar,
- Tesis Alanları,
- Ulaşım Alanları,
- Kamu Hizmeti Alanları,
- Endüstriyel Alanlar,
- Ticari Alanlar,
- Yönetimsel Alanlar,
- Kurumsal Alanlar,
- Boş Alanlar,
- Yerleşim Alanları olarak sınıflanabilir.

Ahmed ve Asmael'in çalışmasında, raylı sistemin üzerinden geçeceği arazi kullanımları uygun olandan uygun olmayana doğru şu şekilde sıralanmıştır:

- i)Boş Alanlar
- ii)Tarım Alanları
- iii)Yerleşim Alanları
- iv)Yönetimsel Alanlar
- v)Endüstriyel Alanlar
- vi)Ticari Alanlar [Ahmed and Asmael, 2009].

3.2. Mevcut Altyapı

3.2.1. Yolları Paylaşma Olanağı

Farklı ulaşım modlarının aynı ortamı paylaşması olarak tanımlanabilecek var olan yolları paylaşma olanağı, hafif raylı sistemlerin üstünlüklerinden biri olarak görülebilmektedir. Ulaşım modlarının çeşitlendirilmesi, halkın seçeneklerini arttıracak için yaşam kalitesini arttırmada uygun bir çözüm olarak görülebilmektedir. Bu bağlamda hafif raylı sistemlerin mevcut olan diğer trafik modları ile aynı yolu paylaşarak hizmet vermesi her iki mod için karşılıklı olarak olumlu etki yapmaktadır [Banai, 2006].

Yapılan çalışmalarda bu alanda sayısal sınır değerleri net olarak belirlenmiş olmamakla beraber 20 metreden dar olan karayolları veto edilip daha geniş olanlar uygun olarak seçilebilmektedir [Brunner et al., 2011].

3.2.2. Otoparklar ve Kapasiteleri

Karayolu için kullanılan tüm taşıtların faal olarak kullanılmadıkları zaman dilimi içerisinde bekledikleri alanlar olan otoparklar, hafif raylı sistemlerin etkinliğine direk olarak etki yapıyor gibi gözükmeseler de raylı sistemlerin faaliyetlerine yardımcı olmaktadır. Raylı sistem durağının çevresinde özel araçlar için bir otopark bulunduğu takdirde araç sahibi, aracını bu noktaya güvenle park edip raylı sistemi kullanarak şehir merkezine veya istediği herhangi bir noktaya şahsi aracının kullanması durumunda yapacağı harcamanın çok daha altında bir harcama ile ulaşabilmektedir [Rosenberg and Esnard, 2008].

Aracını park edip raylı sistem ile yoluna devam etmeyi seçen yolcular için devletler park et-devam et (park & ride) vb. sistemler ile yolcuların araçlarını bu bölgelere park etmelerini teşvik edip kent merkezlerindeki araç yoğunluğunu azaltmayı amaçlamaktadır. Bunun karşılığında da bu yolculardan otopark ücreti almama veya raylı sistem biletlerini çok uygun fiyatlı sağlama gibi yöntemler uygulanmaktadır [El-Hallaq and El-Yazory, 2017].

Rosenberg ve Esnard'ın çalışmalarında tespit ettikleri değer otoparkların, raylı sistem istasyonlarından birinin en fazla 400 metre uzaklığında yer alması gerektiğidir [Rosenberg and Esnard, 2008]. El-Hallaq ve El-Yazory'nin makalelerinde bu konu ile

ilgili vurguladıkları, özel araç kullanıcılarını raylı sistem kullanmaya teşvik etmek için park imkanı sunulmasıdır [El-Hallaq and El-Yazory, 2017].

3.2.3. Trafik Durumu

Bir hafif raylı sistem uygulanmadan önce o bölgedeki trafik durumu iyi analiz edilmelidir. Ülkemizde bu veri TAB (Trafik Analiz Bölgeleri) sistemi ile düzenli olarak belirli bölgelerde kaydedilmektedir.

Bu verinin şehir planlama konusundaki getirisi ise trafik sıkışıklığı olan bölgelere hafif raylı sistem planlamak olarak karşılık bulmaktadır. Raylı sistemin, trafiği yoğun olan bir güzergâha kurulmasının iki önemli faydası vardır. İlk faydası, raylı sistem uygulandıktan sonra kişisel araçlarından vazgeçip raylı sistem ile seyahat eden yolcuların daha ucuz ve daha hızlı bir yolculuk yapmalarındır. İkinci faydası ise raylı sistemi kullanmayı tercih etmeyip özel araçları ile yola devam etmeyi tercih edenlerin daha açık bir yolda trafik sıkışıklığı yaşamadan seyahat edebilmeleridir [El-Hallaq and El-Yazory, 2017]. Banai çalışmasında, raylı sistem planlanacak bir yolun trafik sıkışıklığı oranları için yüzdelik cinsinden değerlendirmeler yapmıştır [Banai, 2006].

3.3. Mesafeler

3.3.1. Çalışma Alanlarına Yakınlık

Gün içinde bir noktadan başka bir noktaya seyahat eden yolcular ile yapılan hane halkı anketlerinde; evden işe işten eve, evden okula okuldan eve gibi cevaplar ile yolculuk amaçları tespit edilebilmektedir [İBB, 2011].

Banai makalesinde, çalışma alanlarına yakınlık analizi yapabilmek için bu bölgelerdeki nüfus yoğunluklarını tespit etmiş ve analizi sonucunda kilometrekare başına 182'den az kişi düşen çalışma alanlarını az yoğunluklu, kilometrekare başına 664'ten çok kişi düşen çalışma alanlarını çok yoğunluklu alanlar olarak belirlemiştir [Banai, 2006].

Ludin ve Latip çalışmalarında hafif raylı sistem istasyonlarından birinin, çalışma alanlarına en fazla 500 metre uzaklıkta yer alması gerektiğini açıklamıştır [Ludin and Latip, 2006].

Rosenberg ve Esnard makalelerinde hafif raylı sistem istasyonlarından birinin, çalışma alanlarına en fazla 400 metre uzaklıkta yer alması gerektiğini belirtmiştir [Rosenberg and Esnard, 2008].

Brunner ve arkadaşlarının çalışmalarında, bir raylı sistemin şu çalışma alanlarına hizmet etmesi gerektiği vurgulanmıştır:

- Havaalanları,
- Alışveriş Merkezleri,
- Hastaneler,
- Oteller [Brunner et al., 2011].

3.3.2. Toplu Konut Alanlarına Yakınlık

Toplu konut alanlarında yaşayan insanların işlerine, okullarına ve diğer ihtiyaçlarına erişimleri ciddi biçimde ele alınmalı ve bu bölgelerden şahsi araçlarla kent merkezine olan yolculuklar mümkün mertebede azaltılmalıdır. Planlanan raylı sistem güzergâhı toplu konut alanlarına ne seviyede yakın olursa o denli yararlı olacaktır [Kırlangıçoğlu, 2014].

Toplu konut bölgesinde ya da yürüme mesafesi kadar yakınında raylı sistem istasyonu bulunması arzu edilen bir durumdur. Böylece insanlar uzun mesafeler kat etmek zorunda kalmadan toplu taşımaya ulaşabilecek ve gidecekleri yerlere en hızlı şekilde ulaşabileceklerdir. Bu bölgelerde yaşayan insanlar şahsi araçlarını otoparklarında bırakacak ve araç trafiğine ekstra yük getirmemiş olacaklardır [Rosenberg and Esnard, 2008].

Rosenberg ve Esnard makalelerinde hafif raylı sistem istasyonlarından birinin, toplu konut alanlarına en fazla 400 metre uzaklıkta yer alması gerektiğini belirtmiştir [Rosenberg and Esnard, 2008].

3.3.3. Diğer Arazi Kullanım Alanlarına Yakınlık

El-Hallaq ve El-Yazory'nin yaptıkları çalışmaya göre raylı sistem güzergâh belirlemede, nüfus yoğunluğu ile beraber en önemli ölçüt “raylı sistemin ulaştığı önemli nokta sayısı” başlığı ile öne çıkmaktadır. Bu görüşlerin dışında diğer stratejik lokasyonların bağlanması gerektiği önceki çalışmalarda vurgulanmıştır.

El-Hallaq ve El-Yazory'nin çalışmalarında;

- Üniversiteler,
- Hastaneler,
- Şirketler,
- Kamu ve Özel Kuruluşlar,
- Spor Merkezleri,
- Bakanlıklara hizmet edilmesi gerektiği vurgulanmıştır [El-Hallaq and El-Yazory, 2017].

Ludin ve Latip ise mahalle merkezlerine, yerleşim bölgelerine ve kurumsal binaların bir arada bulunduğu bölgelere raylı sistem hizmeti sunulması gerektiğini belirtmiştir [Ludin and Latip, 2006].

Toplu Taşıma Odaklı Gelişim (TOG) arazi kullanım kararlarının toplu taşıma sistemlerinin istasyonları ya da bunların ulaşım güzergâhları dikkate alınarak yapılan kentsel gelişim yaklaşımıdır [Köken, 2017]. TOG alanları, çoğunlukla farklı kentsel kullanımların beraber yer aldığı ve kentsel ana ulaşım noktalarına yakın alanlarda otomobil kullanımı olmaksızın toplu ulaşım olanaklarının yüksek olduğu kentsel bölgeler olarak ortaya çıkmıştır.

TOG sistemindeki amaçlardan biri de kentsel gelişme alanlarında gayrimenkul geliştirme projeleri üzerinden elde edilecek rantın, raylı sistem finansmanında da kullanılması biçiminde özetlenebilir [Demircan ve Oğuztimur, 2019].

TOG, toplu taşıma durağı ya da istasyonunun çevresinde yoğun ve farklı kullanımlı gelişim yaratarak farklı hizmet alanlarına araç olmaksızın direk erişilebilen yürünebilir çevreler tasarlamayı amaçlamaktadır [Kütük ve Ercoşkun, 2019].

Ülkemizde toplu taşıma odaklı gelişim boyutunda tam bir uygulama bulunmamakla beraber ulaşım ve arazi kullanım kararlarına etki edecek toplu taşıma

sistemlerinin geliştirilmesi olarak ele alınmakta, belirli hatlar boyunca merkezi iş ve çalışma alanlarını içeren yönelimler bulunmaktadır [Kütük ve Ercoşkun, 2019].

Brunner ve arkadaşları yaptıkları çalışmada raylı sistem tasarımının bir ölçütü olarak potansiyel TOG alanlarının artırılması gerektiğini belirtmişlerdir [Brunner et al., 2011].

3.3.4. Ulaşım Düğümlerine Yakınlık

Yolculuk sürelerinin uzun olduğu ve bir noktadan diğer noktaya gitmek için birkaç aktarma yapılması gereken bir kentte, tüm toplu ulaşım sisteminin birbirine entegre çalışması gerekmektedir. Yolcularını merkezi iş alanlarına, okullara, hastanelere vb. hedef noktalarına taşıyamayan ve diğer toplu taşıma sistemlerine aktarma yapamayan bir raylı sistem, beklenen hizmet düzeyine erişemeyecek ve yolcular tarafından öncelikli olarak tercih edilmeyecektir [Farkas, 2009], [Kırlangıçoğlu, 2016].

Büyük metropollerde tek bir toplu taşıma aracına binerek ve başka hiçbir vasıta kullanmayarak yapılan yolculuk sayısı oldukça düşüktür. Evden işe, işten eve, evden okula, okuldan eve ve diğer yerlerden diğer yerlere olan yolculuklar incelendiğinde toplu taşımada aktarma sisteminin yoğun olarak kullanıldığı göze çarpmaktadır. Bu sebeple, tasarlanacak raylı sistem hattına ait istasyonların diğer toplu taşıma durakları ile olan mekânsal ilişkisinin çok düzgün şekilde tasarlanması gerekmektedir [Kırlangıçoğlu, 2014].

Rosenberg ve Esnard makalelerinde hafif raylı sistem istasyonlarından birinin, önemli ulaşım düğümlerinden birine en fazla 400 metre uzaklıkta yer alması gerektiğini belirtmiştir [Rosenberg and Esnard, 2008].

Farkas çalışmasında bu konuda önemli olan noktaların, bölgenin bağlanabilirliğinin maksimize edilmesi ve diğer transit sistemlerle olan ilişkinin en yüksek seviyeye çıkarılması olduğundan bahsetmiştir [Farkas, 2009].

3.4. Ulaşım Talebi

3.4.1. Yolculuk Üretimi

Yolculuk üretimi, teknik anlamda mobilite yani hareketlilik kelimesine karşılık gelmektedir. Bu kavram, bir bölgenin gün içinde ne seviyede yolculuk ürettiğini anlatmaktadır. Bölgenin hareketliliği de yine bu anlamda kullanılmaktadır. Günümüz dünyasının modern şehirlerinde mobilite gün geçtikçe artmaktadır.

Banai'nin bu alanda yaptığı çalışmada, hareketliliğin yükselen (fayda veya memnuniyet) değeri, bir HRS koridoru tarafından sağlanan artan yoğunluk değeri (nüfus/km²) ile belirlenmektedir. Bu bağlamda genel halkın hareketliliği konusunda kilometrekare başına taşınan 157 yolcu ve aşağısı için düşük yoğunluk, kilometrede 504 yolcu ve üzeri için yüksek yoğunluklu bir mobilite olduğu ifade edilmiştir [Banai, 2006]. Önemli bir diğer nokta ise mobilitenin Banai'nin çalışmasındaki en yüksek öneme sahip olan ölçüt oluşudur.

Ludin ve Latip'in bu konudaki makalesinde yüksek ve düşük yoğunluklu yerleşim alanlarına uygun değerlendirmeler yapmak gerektiği ve kilometrekare başına düşen kişi sayısının 10.000-15.000 aralığında olan bölgelere yakın yerlere hafif raylı sistem güzergâhı kurmak gerektiği belirtilmiştir [Ludin and Latip, 2006].

Ulaşımındaki verimlilik yolcuların, eşyaların veya her türlü yükün faydalı seyahat mesafesinin taşıma aracının harcadığı toplam enerjiye bölünmesi ile elde edilen değere verilen isimdir. Bir verimlilik sisteminde amaç en az enerji ile en çok işi görmektir.

Ludin ve Latip makalelerinde, maksimum verimliliğe ulaşılabilmesi için hafif raylı sistem aracındaki kişilerin seyahat sürelerinin düşürülmesi gerekliliğini belirtmiştir [Ludin and Latip, 2006]. Yapılacak uygulamalarda verimliliğin en yüksek düzeye çekilmesi çalışmaları önemli bir ölçüt olarak öngörülmelidir.

3.4.2. Nüfus Yoğunluğu

Brunner ile arkadaşlarının çalışması ve El-Hallaq ve El-Yazory'nin bu alandaki makalesinde nüfus yoğunluğu ölçütünün diğer tüm ölçütlerden daha yüksek bir önem seviyesine sahip oluşu, nüfus yoğunluğu faktörünün değerini ortaya koymaktadır [Brunner et al., 2011], [El-Hallaq and El-Yazory, 2017].

Raylı sistemler yüksek yolculuk sayıları ile mantıklı bir yatırım olmaktadır, bu da nüfusun fazla olduğu kent ve kent bölümlerinde mümkündür. Nüfus yoğunluğu bu konudaki en önemli faktörlerdendir. Bilhassa yolculuk üretim noktaları açısından son derece belirleyici bir faktördür. Nüfusu yoğun olan bölgelerdeki insanların evlerinden çıkıp işlerine, okullarına vb. cazibe noktalarına hızlı ve güvenli erişimleri sağlanmalıdır [Kırlangıçoğlu, 2016].

Raylı sistem hattının geçeceği bölgelerde yüksek yoğunluklu nüfus yerleşiminin olması da çok önemli fayda ve yüksek kapasiteli bir hat sağlayacaktır. Nüfus yoğunluğunun düşük olduğu yerleşim alanlarından geçirilecek hatlar, düşük yolculuk sayılarına ve mali zararlara neden olacaktır [Brunner et al., 2011], [Kırlangıçoğlu, 2014].

Nüfusun yoğun olduğu alanlar genel olarak yolculuk talebinin de yüksek olduğu alanlar olmakla beraber özellikle merkezi iş alanlarında bu kural geçerli değildir. Bu bölgelerde kalıcı nüfus (gece nüfusu) olmadığı ve iş merkezleri olduğu için bu alanların nüfus büyüklükleri çok düşük olmaktadır [El-Hallaq and El-Yazory, 2017], [Kırlangıçoğlu, 2016].

3.5. Mülkiyet ve Arazi Değerleri

Maliyet ölçütü raylı sistem planlamasında, yatırıma uygun ekonomik getiriye en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Bu amaca ulaşmak için; fayda/maliyet oranı, ilk yıl geri dönüşü, iç getiri oranı, net bugünkü değer, inşaat maliyeti ve işletme maliyeti, arazi/reel değerlerin en aza indirilmesi, mülk edinimi (mülkün kamulaştırılması), mevcut arazi kullanımının yoğunlaştırılması ve alanın potansiyelinin en üst düzeye çıkarılması ölçütleri dikkate alınmalıdır [Farkas, 2009].

Planlama aşamasında bu maliyet parametrelerinin tamamının dikkate alınması pek mümkün olmamaktadır. Daha çok arazi değerlerine bağlı bir yaklaşım bulunmakta ve diğer parametreler daha çok mühendislik projesinde dikkate alınmaktadır.

Raylı sistem fizibilite çalışmaları ve koridor belirleme süreçlerinde istimlak aşamalarına önem verilmektedir. Planlanan güzergâhta kamulaştırma olması, hukuki ve mali açıdan zorlu bir döneme girileceğine işaret etmektedir. Bu sebeple istimlak gerektirecek mülkiyetler yerine mümkün olduğu kadar belediyelere veya hazineye ait araziler uygulamada kullanılmalıdır.

Ludin ve Latip'in makalesinde belirtildiği üzere, özel mülkiyetteki alanlara denk gelen istasyonlara dikkat edilmesi gerekmektedir [Ludin and Latip, 2006].

Rosenberg ve Esnard'ın çalışması, bu konu için devlet sahipliğindeki alanlar tercih edilmesi gerektiğini söylemektedir [Rosenberg and Esnard, 2008]. Özel mülkiyet sahipliğinde olan alanlarda ise üzerinde yapı bulunmayan alanların tercih edilmesi gerekmektedir.

Raylı sistemin her bir kilometresinin geçirileceği güzergâhtaki maliyetinin ne kadar olması gerektiği konusunda ise Rosenberg ve Esnard makalelerinde, raylı sistem uygulamak için seçilecek olan parsellerin, kentteki tüm parsellerin ortalama değerinden daha düşük değerde olan parsellerden seçilmesi gerektiğini vurgulamışlardır [Rosenberg and Esnard, 2008].

3.6. Doğal Yapı Unsurları

Doğal yapı unsurları diğer ölçütlere göre etkileri biraz daha değişiktir. Tasarım sürecine etkileri çok fazla değildir çünkü henüz tasarım sürecine başlamadan önce fiziki olarak 'kesinlikle' uygun olmayan alanlar belirlenmektedir. Bu alanlar daha baştan saf dışı bırakılmakta ve ölçüt olarak kullanılmamaktadır [Kırlangıçoğlu, 2014].

3.6.1. Eğim

Eğim ve arazideki kot farklılıkları raylı sistem planlama aşamasında mühim bir faktördür. Raylı sistemler gibi yer altından giden ve eğimden etkilenmiyor gibi görünen sistemlerde de güzergâh üzerindeki kot farklılıkları özellikle istasyon bölgelerinde önemli problemlere sebep olmaktadır. Rota üzerinde istasyon derinlikleri artmakta ve bu da yolcuların 45-50 metre bazen daha da fazla merdiven çıkmaları sonucuna neden olmaktadır. Bu da zaman, enerji ve mali açıdan ciddi zararlara sebep olmaktadır [Ahmed and Asmael, 2009], [Kırlangıçoğlu, 2016].

Tasarım sürecinde değerlendirilen doğal coğrafya bileşenleri zaten genel olarak ihtimal içindeki alanlar olmaktadır. Bu alanlar içinde karşılaşılan problemler de genel olarak çok ciddi boyutlarda olmayıp, bir şekilde çözülebilen sorunlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Metro sistemlerinde ise, eğim bilhassa istasyon bölgeleri için çok mühim hale gelmektedir. Rota boyunca karşılaşılan yüksek seviyede kot

farklılıkları, derin istasyonların inşasına neden olmakta ve bu da erişilebilirlik açısından sorunlar doğurmaktadır [Kırlangıçoğlu, 2014].

Ahmed ve Asmael makalelerinde raylı sistem güzergâh tasarımı için, incelenen bölgenin eğim değeri azaldıkça uygunluk değerinin arttığını belirtmektedir [Ahmed and Asmael, 2009].

Amerika’da hizmet veren bir HRS işletmecisinin çalışmasına göre, bu sistemlerde kullanılacak maksimum eğim normal operasyonlar sırasında %7’yi aşmamalıdır [Valley Metro, 2018].

Kanada’da işletilen bir HRS sistemi için hazırlanan raporda, HRS’ler için uygun görülen maksimum eğimin %6 olduğu vurgulanmıştır [Hamilton Public Works, 2020].

Eğimin düşük olduğu güzergâhlarda en sık görülen problem, drenaj problemidir. Akarsuların yatak değiştirme ve biriktirme yapma sorunları oluşur. Bu halde, yol sistemlerini halihazır durumdaki zeminden dolgu ile yükseltmek, köprü, menfez gibi yapıları inşa ederek suyun raylı sisteme zarar vermeden akışını sağlamak veya akarsu akışı için engeller yapmak gerekir [İncili, 2018]. Eğer bu sistem uygulanmazsa, güçlü aşındırıcılardan biri olan suyun sistem altyapısına zarar vererek bozulmalara, yol kalitesinin düşmesine, istenen hizmet ömrünü bitiremeden bakım onarıma muhtaç olmasına neden olması olasıdır [Özkan, 2019].

Ulaşım sistemlerinde eğim ve onun sebep olduğu kötü durumlar, farklı ulaşım modları arasından en çok demiryollarında hissedilmektedir. Bu sistemlerin eğime karşı olan hassaslığı, raylı sistem güzergâhının tespitinde daha dikkatli davranılmasını gerektirir. Hem rayların hem de tren tekerleklerinin demirden teşkil oluşu, sürtünmeyi düşürdüğünden eğimin yüksek olduğu yerlerde çekiş gücünü azaltır ve yakıt giderini yükseltir [İncili, 2018]. Eğimin fazla olduğu raylı sistemlerde, taşınacak olan yük ağırlıkları azalmaktadır. Özetle eğimin arttığı demiryolu güzergâhında enerji ve yakıt masrafları artarken taşınan yolcu ve yük miktarları azalmaktadır. Bu durum da, ekonomik zarara neden olmaktadır [Özkan, 2019].

3.6.2. Fay Hatlarına Uzaklık

Depremsellik, değerlendirilmesi gereken önemli ölçüttür. Güzergâh belirleme çalışmaları sırasında fay hatlarının konumları ve özellikleri çok iyi tespit edilmelidir. Fay hattının üzerinde ya da yakınında, özellikle fay hattına paralel yapılacak bir planlama kötü sonuçlar doğurabilecektir [Bouchon et al., 2001]. Bu sebeple fay hatlarının iyi tanınması ve mümkün olduğunca uzaktan geçilmesine çalışılmalıdır [Kırlangıçoğlu, 2016].

Gerçekleştirilecek raylı sistem projesi, faylara ne denli uzakta planlanırsa o kadar güvenli olacaktır. Fay hattı üzerine veya paralel olarak yakınına inşa edilecek raylı sistem hatları, olası bir sarsıntı durumunda yüksek risk altında olacaklardır. Fay hatlarından ne kadar uzak durulursa risk o kadar düşürülmüş olacaktır [Erdik, 2001], [Kırlangıçoğlu, 2014].

3.6.3. Hidrolojik Yapıya Uygunluk

Son yıllarda yapılan düzenlemelerle dere yataklarında ve havzalardaki yapılaşmalara büyük kısıtlamalar ve yasaklar getirilmiştir. Bilhassa içme suyu havzaları için geniş ve çok katmanlı koruma bölgeleri hazırlayarak kentleşmenin bu alanlardaki zararları kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Zaten yoğun nüfusa ve yolculuk değerlerine sahip olmayan bu alanlardan raylı sistem geçirilmesi tercih edilmemesi gereken bir durumdur [Farkas, 2009].

Su alanları için daha en baştan belirlenen ve “kesinlikle uygun olmayan” göl, baraj vb. alanlar vardır. Bu alanlar zaten tasarım sürecine katılmadıkları için tasarıma çok fazla etkileri yoktur. Ama baraj ve göllerin etrafındaki havza koruma kuşakları şehirleşmeye önemli kısıtlar getirmektedir. Yani raylı sistem güzergâh tasarımı yapılırken bu alanlar da dikkate alınmalıdır [Kırlangıçoğlu, 2014], [Valley Metro, 2018].

Havzalara ait mutlak koruma alanlarında arıtma tesisleri dışında hangi amaçla olursa olsun hiçbir şekilde yapı yapılamaz, iskan izni ile açılmaz. Baraj ve göllere yakın bölgelerde çok kesin ve yapılaşmayı engelleyici kurallar geçerlidir. Bu bölgelerden uzaklaştıkça bu kurallar hafiflemektedir [Kırlangıçoğlu, 2014].

Farkas çalışmasında, ekolojik olarak korunan tüm alanları raylı sistem güzergâh tasarımı için yapılan değerlendirme sırasında veto etmek gerektiği yani bu alanlarda raylı sistem olmaması gerektiğini belirtmiştir [Farkas, 2009].

Bunların dışında, ülkemizde pek sıklıkla ve şiddetli bir şekilde yaşanmıyor olsa da tsunami ve su yapılarının taşmasına sebep olacak güçlü rüzgar etkilerine karşı HRS'i koruyacak önlemler alınması Amerika'da yapılan çalışmalarda belirtilmiştir [Valley Metro, 2018].

3.6.4. Jeoteknik- Jeolojik, Litolojik Yapıya Ve Toprağa Uygunluk

Yapı inşası için değerlendirilen zemin ile ilgili kural ve kısıtlar, raylı sistemler için geçerli de görülebilmektedir. Yer üstünde giden tramvay veya HRS gibi toplu taşıma modlarındaki gevşek ve zayıf zeminler bölge bölge çökmelere sebebiyet verecek ve dahası büyük zarar verebilecektir [Ahmed and Asmael, 2009]. Toprak altında bu hususun yönetimi teknoloji olanakları ile güç da olsa mümkün olmakla birlikte, uygulanacak uygun sondajların sonuçları değerlendirilmeli ve güzergâh bu bağlamda belirlenmelidir [Farkas, 2009].

Ahmed ve Asmael'in makalelerinde belirttiği üzere alçıtaşı, yüksek sülfat içerikli yapılar, taşıma kapasitesi 10t/m²'den küçük alanlar, sıkı dolgu ve derin dolgu alanları ve nehirler bu ölçüt için dikkate alınmalıdır [Ahmed and Asmael, 2009].

Farkas'ın çalışmasında bu konu için zeminin mekânîği, müdahaleci kaya yapısı ve tabakalaşmanın dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır [Farkas, 2009].

3.7. Çevresel Etkiler

3.7.1. Gürültü

Gürültü raylı sistemlerin faaliyetlerinden kaynaklanan direkt bir etkidir. Bu etki yalnızca raylı sisteme bir mesafeye kadar yakın olan komşuluklarda ortaya çıkmaktadır. Bu semt sakinleri raylı sistem durağının kendilerine yakın olmasından dolayı elde ettikleri ulaşım kolaylığının karşılığında gürültü etkisi ile olumsuz yönde etkilenmektedirler. Her ne kadar günümüz teknolojisi ile tren raylarında ve istasyon

içinde kurulan özel sistemler ile bu gürültü minimum seviyeye indirilebiliyor olsa da istasyon ile arasında hiçbir engel bulunmayan yapılar bu gürültüden fazlaca etkilenmektedirler [Ludin and Latip, 2006]. Bu konuda değinilecek bir diğer nokta ise minimum rahatsızlığı verme hedefi olmalıdır.

3.7.2. Sit Alanlarına Uzaklık

Raylı sistem güzergâh planlama sürecinde mesele çoğu zaman yolculuk sayıları, eğimin elverişliliği, teknolojik ve mali kısıtlar vs. faktörler üzerinden ele alınmaktadır. Ama bu süreçler ve uygulama sonucunda doğaya mümkün olduğunca zarar verilmemesi gerekmektedir. Bu sebeple kentsel, tarihi, arkeolojik ve doğal sit alanlarına önem verilerek güzergâhlar belirlenmelidir [Ahmed and Asmael, 2009], [Kırlangıçoğlu, 2014].

Raylı sistem güzergâh tasarımında ve sit alanlarına mümkün olduğunca müdahale edilmemesi çok önemli bir ölçütür. Güzergâh plancıları bu meseleyi nazara almakta ve pekçok bölgeyi kesinlikle girilemez olarak kabul etmektedirler. Bazı ikinci ve üçüncü derece alanlar ise mücbir durumlarda herhangi bir zarar verilmeyecek biçimde planlama aşamasına dâhil edilebilmektedirler [Farkas, 2009], [Kırlangıçoğlu, 2014].

3.8. Demografi

3.8.1. Düşük Gelirli Gruplara Hizmet

Gelir seviyesi arttıkça alım gücüne bağlı olarak özel araç sahipliği de artmakta olduğundan, hafif raylı sistemin düşük gelirliileri kapsayacak biçimde planlanması, bir çok kentlinin mobilite ihtiyacını karşılamak açısından önem taşımaktadır [Banai,2006].

Oluşturulan raylı sistem güzergâhları, düşük gelirli ve ihtiyaç sahibi vatandaşların da ulaşım hakkı elde edebilmesini sağlayıp, kentin tüm imkanlarından her vatandaşın eşit ölçüde faydalanması için adeta bir geçit görevi görmelidir.

Banai makalesinde, bir hafif raylı sistemin hizmetin verildiği kesim içinde düşük gelirli yolcu olanların oranını:

- %0-9 ise Düşük
- %10-19 ise Orta
- >%20 ise Yüksek

olarak tespit etmiş ve bu oranın %20'nin üzerine çıkarılması gerektiğini vurgulamıştır [Banai,2006]. Bu ölçüt için diğer bir önemli nokta ise düşük gelirli popülasyon mobilitesinin ve raylı sistem hizmetinin sağlanması gerektiğidir.

Kent içi raylı sistem güzergâh planlama konusundaki çalışmalarda en çok yer verilen üç ölçütün, güzergâhın geçeceği bölgelerin nüfus yoğunluğu, çalışma alanlarına yakınlığı ve projenin maliyeti olduğu tespit edilmiştir. Bunlardan sonra en sık kullanılan beş ölçüt ise güzergâhın bağlanabilirliği ve diğer ulaşım sistemlerinin kesişme noktalarına yakınlığı, geçeceği bölgelerin mülkiyet sahipliği ve arazi değerleri, sit alanlarına olan uzaklığı, güzergâh üzerindeki insanların yolculuk üretimleri ve hattın sebep olacağı gürültü kirliliğidir. Önceki ölçütlere göre daha az kullanılsa da güzergâh üzerindeki arazi kullanımları, güzergâhın çeşitli arazi kullanımlarına yakınlığı, fay hatlarına olan yakınlığı jeolojik, litolojik yapıya ve toprağa uygunluğu da önem arz eden diğer ölçütlerdir. Yer verilme sıklığı az olan ölçütler ise; var olan yolları diğer sistemlerle paylaşabilme olanağı, güzergâh üzerindeki mevcut otoparklar ve kapasiteleri, güzergâhın geçeceği bölgedeki trafiğin mevcut durumu, güzergâhın toplu konut alanlarına yakınlığı, geçeceği bölgedeki topoğrafya, güzergâhın ekolojik yapıya uygunluğu, güzergâh üzerindeki halkın gelir durumu, hattın maksimum verimliliği sağlayabilmesi, güzergâhın uzunluğu, güzergâh boyunca toplam seyahat süresi, yolcu için güzergâhın estetiği ve güzergâh üzerindeki bölgelerdeki Transit Odaklı Gelişim (TOG) potansiyelidir. Kent içi raylı sistem güzergâh planlaması konusunda yalnızca birer makalede bahsedilen ölçütler ise; güzergâh üzerinde bulunan boş parsel oranı, güzergâhın hidrolojik yapıya uygunluğu ve güzergâhın diğer mühendislik karakteristiklerine uygunluğudur.

4. HRS GÜZERGÂH TAYİNİNE İLİŞKİN GÖRGÜL ARAŞTIRMALAR

Literatürde yer alan kentsel ulaşım planlaması, kent içi raylı sistemler, toplu taşıma sistemleri ve kentsel hafif raylı ulaşım sistemlerinin (HRS) planlaması üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu alanda yapılan çalışmalardan “hafif raylı sistemlerin güzergâh tasarımları ve istasyon yerlerinin belirlenmesi” konusunda olan kaynaklara yoğunlaşmış olup, bu alandaki tasarıma esas olarak değerlendirilebilen ölçütler detaylı olarak mercek altına alınmıştır. Gerçekleştirilen literatür taramasında kullanılan çalışmalardan bazıları sonraki paragraflarda özet olarak anlatılmıştır.

Malczewski “GIS-Based Multicriteria Decision Analysis: A Survey Of The Literature” isimli çalışmasında, CBS ve ÇÖKA entegrasyonunun literatürde kullanımını incelemektedir [Malczewski, 2006]. Bu çalışmada, çeşitli makalelerin literatür taraması ve sınıflandırılması kullanılarak veri ortaya konmaktadır. İnternet ortamında yapılan araştırma, hakemli dergilerde CBS ve ÇÖKA’nın kesiştiği 319 adet makalenin ortaya çıktığını göstermiştir. Bu çalışma, bahsedilen makalelerin sınıflandırılmasını sağlamak ve CBS-ÇÖKA için eğilimleri ve gelişmelerini tanımlamaktadır [Malczewski, 2006].

Mekânsal karar alma problemleri geniş yelpazede uygulanabilir alternatifler ve çoklu, çelişkili ve orantısız değerlendirme ölçütleri içermektedir. Alternatifler genellikle çok sayıda kişi (karar vericiler, yöneticiler, paydaşlar, çıkar grupları) tarafından değerlendirilmektedir. Bireyler, alternatiflerin değerlendirildiği ölçütlerin göreceli önemi açısından özgün tercihlerle karakterize edilmektedir. Bu sebeple birçok mekânsal karar alma problemi CBS tabanlı çok ölçütlü karar analizini yapılması ihtiyacını doğurmaktadır. İki farklı araştırma alanı olan CBS ve ÇÖKA, birbirinden faydalanabilmektedir [Chakhar and Martel, 2003], [Laaribi et al., 1996], [Malczewski, 1999], [Thill, 1999].

Malczewski’nin tamamladığı literatür taraması incelendiğinde CBS-ÇÖKA entegrasyonunun gelişimi konusunda bu paragrafta verilen bulguların elde edildiği görülmüştür. CBS-ÇÖKA gelişimi 1990’ların ilk yarısında düşük seviyede olmuştur. 319 makalenin yalnızca 26’sı (%8,2’si) 1990 ve 1995 yılları arasında yayınlanmıştır. CBS ve ÇÖKA’yı 1980’lerin sonunda ve 1990’ların başında entegre etme çabaları, CBS gelişiminin yükselme aşaması ile ilişkilendirilebilmektedir [Malczewski, 2004], [Waters, 1998]. 1995-2000 yılları arasında yayınlanan CBS-ÇÖKA makalelerinin

sayısında önemli bir ivme olmuştur. Yalnızca 1995 yılında yayınlanan sayı olan 9, 2000 yılı için 40'a yükselmiştir. 2000-2004 yılları arasında CBS-ÇÖKA için sayı çok hızlı şekilde artmaya devam etmiştir. Malczewski'nin incelediği 319 makalenin yaklaşık %70'i 2000-2004 yılları arasında yayınlanmıştır.

CBS-ÇÖKA araştırmasının hacmindeki hızlı artışın üç farklı temel sebebi bulunmaktadır. İlki CBS Bilimi'nin temel bir unsuru olarak karar analizi ve karar desteğinin daha geniş bir şekilde tanınmasıdır. İkincisi, Expert Choice [Expert Choice Inc., 1993] ve matematiksel programlama çözücüleri [Örn: LINDO Systems Inc., 1994] gibi düşük maliyetli ve kullanımı kolay ÇÖKA yazılımlarının kullanılabilirliğidir. Üçüncüsü, IDRISI [Eastman et al., 1993], SPANS [TYDAC Research Inc., 1996] ve TNT-GIS [MicroImages Inc., 2001] gibi sistemlerde ÇÖKA modüllerinin bulunmasıdır.

Malczewski'nin çalışmasında CBS-ÇÖKA araştırmasının dağılımı, CBS-ÇÖKA makaleleri için bir pazar görevi gören hakemli dergilerin yüksek sayı ve çeşitliliği ile belirtilmektedir. 2004 yılına kadar olan dönemde bu konudaki makalelerin 135 farklı dergide yayınlandığı tespit edilmiştir.

CBS-ÇÖKA yapılarının arasındaki farklılıklara rağmen, CBS tabanlı ÇÖKA prosedürlerinin beş genel bileşeni tanımlanabilmektedir: (a) Karar vericinin alternatif eylem yollarını değerlendirmesine dayanarak, bir bireyin (veya bir grubun) ilişkili değerlendirme ölçütleri (hedefler ve/veya nitelikler) ile birlikte ulaşmaya çalıştığı bir hedef veya hedefler dizisi; (b) tercihleri ile birlikte karar verme sürecinde yer alan karar verici veya karar verici grubu; (c) karar alternatifleri kümesi (veya karar değişkenleri); (d) kontrol edilemeyen değişkenler veya doğal durum kümesi (karar ortamı); ve (e) her bir alternatif-ölçüt çiftiyle ilişkili çıktılar veya sonuçların kümesi.

Bu literatür taraması çalışmasında CBS-ÇÖKA'nın genel bileşenleri göz önüne alındığında, CBS-ÇÖKA literatürü için iki sınıflandırma şeması geliştirilmiştir. İlk olarak, tüm makaleler CBS-ÇÖKA yöntemlerinin CBS bileşenlerine göre sınıflandırılmıştır. İkinci olarak ise makaleler ÇÖKA yöntemlerinin genel elemanlarına göre sınıflandırılmıştır.

CBS-ÇÖKA yaklaşımlarının CBS bileşenlerine göre sınıflandırılması, aşağıdaki üçlemeye dayanmaktadır: (1) raster & vektör veri modelleri, (2) doğrudan mekânsal ölçütler & dolaylı mekânsal ölçütler ve (3) doğrudan mekânsal alternatifler & dolaylı mekânsal alternatifler.

319 makalenin 152'sinde (%47,6) raster veri tabanlı ve 150'sinde (%47) vektör tabanlı CBS-ÇÖKA entegrasyonu uygulanmıştır [Malczewski, 2006]. Herhangi bir coğrafi veri modeli (raster veya vektör) ile bir bilgi vermeyen 17 makale bulunmaktadır [Malczewski, 2006].

CBS-ÇÖKA makalelerinin CBS veri modeline ve değerlendirme ölçütlerine göre sınıflandırılması konusunda, hem doğrudan hem dolaylı mekânsal ölçütlerin beraber kullanıldığı çalışmalar bu alanda en yüksek orana sahiptir (319 makalenin 221'i (%70)).

CBS-ÇÖKA makalelerinin CBS veri modeline ve karar alternatifine göre sınıflandırılması hususunda ise yalnızca doğrudan, yalnızca dolaylı ve hem doğrudan hem dolaylı karar alternatiflerinin kullanıldığı çalışmalar ayrı ayrı birbirlerine yakın sayıda ve orandadırlar (sırayla 319 makalenin 123, 94 ve 102'si (%38,5, 29,5 ve %32)).

CBS-ÇÖKA yaklaşımlarının ÇÖKA bileşenlerine göre sınıflandırılması, üç şekilde ayırt edilebilmektedir: (1) çok amaçlı karar analizi (MODA) & çok amaçlı nitelik analizi (MADA), (2) bireysel karar verme & grup olarak karar verme ve (3) belirsizlikte olmayan kararlar & belirsizlik altındaki kararlar (olasılık ile karar verme & bulanık mantık ile karar verme).

Makalelerin ÇÖKA bileşenlerine göre sınıflandırılma sonuçları incelendiğinde bu alanda en sık kullanılan özelliğin CBS-Çok Nitelikli Karar Analizi başlığı altındaki bireysel karar vericilerin kullanıldığı “Deterministik” özelliği olduğu görülmektedir (341 makalenin 119'u (%35), 341 sayısı 22 makalede MODA ve MADA beraber verildiği için bu konudaki çalışmalar ikişer kere sayılarak inceleme sayısı 319'a 22 eklenerek belirlenmiştir).

Çalışmaların ÇÖKA bileşenlerine göre sınıflandırılma işleminde kullanılan ÇÖKA metotlarına göre makaleler incelendiğinde en öne çıkan yöntemlerin CBS-Çok Nitelikli Karar Analizi başlığı altındaki “Ağırlıklı Ortalama/Boolean Overlay” yöntemleri olduğu görülmektedir (259 çalışmadan 143'ü (%39,3), 259 sayısı bazı makalelerin birden fazla kombinasyon kuralı sunmasından dolayı yapılan düzenleme işlemleri sonucu elde edilmiştir).

Üzerinden çalışılan makaleler aşağıdakilere maddelere göre ayrıca sınıflandırılmıştır: (1) CBS ve ÇÖKA entegrasyonun kapsamı ve (2) CBS ve ÇÖKA entegrasyonunun yönü. Entegrasyon kapsamı için dört alt kategori tanımlanmıştır: (a) entegrasyon yok, (b) gevşek bağlantı entegrasyon, (c) sıkı bağlantı entegrasyon ve (d)

tam entegrasyon [Goodchild et al., 1992], [Nyerges, 1992], [Jankowski, 1995], [Malczewski, 1999], [Jun, 2000]. Entegrasyon yönüne göre beş alt kategorisi tanımlanmıştır: (a) entegrasyon yok, (b) temel yazılım olarak CBS ile tek yönlü entegrasyon, (c) temel yazılım olarak ÇÖKA sistemi ile tek yönlü entegrasyon, (d) iki yönlü entegrasyon ve (e) dinamik entegrasyon [Jun, 2000], [Nyerges, 1992].

Bu alt kategorilerin çalışmalarda ne kadar yer bulduğu incelendiğinde ise en fazla sayıda makalede yer verilen alt kategorinin entegrasyonun kapsamı alt başlıklarında gevşek bağlantı entegrasyon (319 çalışmanın 106'sı (%32,2)), ve entegrasyonun yönü alt başlıklarında ise temel yazılım olarak CBS ile tek yönlü entegrasyon (319 çalışmanın 99'u (%31)) olduğu görülmüştür.

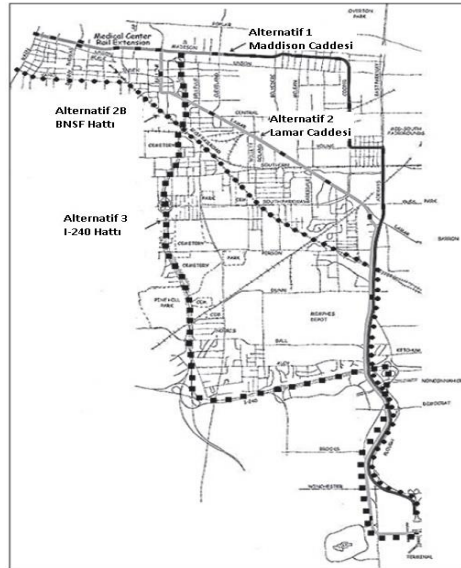
CBS-ÇÖKA entegrasyonu sağlayan çalışmaların uygulama alanları incelendiğinde en fazla kullanılan üç alanın sırayla çevre/ekoloji uygulama alanları, ulaşım uygulama alanları ve şehir/bölge planlama uygulama alanları olduğu görülmüştür (319 çalışmanın sırayla 55, 34 ve 32'si (%17,2, %10,7 ve %10)). Karar problemlerinin konularına göre bu çalışmalar sınıflandırıldığında en fazla işlenen dört konunun sırayla arazi uygunluğu konuları, karışık konulu olanlar, plan/senaryo değerlendirme konuları ve arazi tespiti/seçimi konuları olduğu tespit edilmiştir (319 çalışmanın sırayla (91, 55, 49 ve 46'sı (%28,5, %17,2, %15,4 ve %14,5)).

CBS-ÇÖKA'nın gelişimi, coğrafi bilgi teknolojisinin gelişimiyle paralel olmuştur. Yaşanan bu gelişmeler ile CBS sistemleri uzman odaklı ve kapalı sistemlerden kullanıcı odaklı ve açık bir teknolojiye dönüşmüştür [Malczewski, 2006]. Bu eğilim CBS kullanıcılarında, halkın katılımı yoluyla karar verme sürecinin demokratikleşmesini artırmak için teknolojiyi kullanma yönünde bir hareketi teşvik etmiştir [Malczewski, 2006].

Literatürde CBS-ÇÖKA'nın entegrasyonu konusunda oluşan bazı endişelerden de söz edilmektedir. ÇÖKA kullanıcıları arasında, ÇÖKA yöntemlerinin teorik temelleri ve operasyonel doğruluklarına odaklanan çok fazla tartışma olmuştur [Bana e Costa et al., 1997]. Bazı ÇÖKA prosedürlerinin uygun bir bilimsel temele sahip olmadığı ve bazı yöntemlerin gerçek dünyadaki durumları doğrulaması zor olan bir dizi katı varsayım içerdiği ileri sürülmektedir [Hobbs, 1980], [Hwang and Yoon, 1981], [Bana e Costa et al., 1997]. Bu sorunlar büyük ölçüde CBS-ÇÖKA kullanıcıları tarafından göz ardı edilmiştir. Eğer CBS-ÇÖKA'nın birincil amacı, çok sayıda değer yargısını ve mekânsal veri setini işlemek, sentezlemek ve bu değer yargısının planlama ve politika belirleme üzerindeki etkilerini incelemek ise tam da bu sebepten dolayı çok

ölçütlü prosedürlerin altında yatan varsayımlara da daha büyük bir özen gösterilmesi gerekmektedir [Malczewski, 2006].

Banai'nin Memphis'i seçtiği çalışma alanındaki “Case Analysis of the Memphis Light Rail Corridor and Route Selection with Analytic Hierarchy Process” adlı çalışmasında güzergâh tayini için; İş Merkezlerine Doğru Olan Hareketlilik, Genel Halkın Hareketliliği, Düşük Gelirli Hareketliliği, İşletme Maliyeti, Toplu Taşıma Odaklı Gelişme (TOG), Sermaye Maliyeti, Paylaşılmış Yol Haklarını Kullanma, Trafik Sıkışıklığı, Hassas Alanlara Etki ölçütlerinden faydalanılmıştır [Banai, 2006]. Çok ölçütlü olan güzergâh tasarım sürecindeki ölçüt ağırlıklarını belirlemek için AHS'den faydalanılmıştır. Her alternatif koridor ve güzergâh, birleşik bir çerçevede sahaya özgü ölçütler ve alt ölçütlere göre fonksiyonel olarak Banai tarafından çalışılmıştır. Bu çerçeve, nihai olarak göreceli etkiye sahip olan bir toplu taşıma karar sürecinin çeşitli unsurları olarak hedefleri, katılımcı grupları, ölçütleri, alt ölçütleri ve alternatifleri içerir. En iyi koridor ve güzergâh hizalama alternatifi, AHS oran skalasındaki bileşik puanla belirlenir. Son olarak, duyarlılık analiziyle, ölçütlerin veya katılımcı grup önceliğinin önemindeki bir değişimin, ölçütler ve sonuçlar arasındaki değişimi nasıl etkilediği gösterilmiştir [Banai, 2006], [MATA, 1997]. Şekil 4.1'de görüleceği gibi Banai, Memphis bölgesinde dört farklı güzergâh üzerinde çalışma yapmıştır [Banai, 2006].



Şekil 4.1: Memphis bölgesi Hafif Raylı Sistem koridor ve güzergâh alternatifleri.

Bu dört güzergâhı değerlendirmeye alacağı ölçütlerin ağırlıklarını da Tablo 4.1'deki şekilde politikacılar, bürokratlar, toplum liderleri ve sivil halktan yardım olarak oluşturmuştur. Bu farklı görüşlerin ölçütlere verdiği ağırlıklandırmalar da tablonun ikinci sütununda görülebilmektedir [Banai, 2006].

Tablo 4.1: Memphis bölgesi farklı katılımcıların güzergâh seçimi ölçütleri ve ağırlıkları.

Ölçüt	Ağırlık (Toplam= 1)
İş Merkezlerine Doğru Olan Hareketlilik	0,133
Genel Halkın Hareketliliği	0,12
Düşük Gelirlinin Hareketliliği	0,122
İşletme Maliyeti	0,119
Toplu Taşıma Odaklı Gelişme (TOG)	0,115
Sermaye Maliyeti	0,112
Paylaşılmış Yol Haklarını Kullanma	0,1
Trafik Sıkışıklığı	0,095
Hassas Alanlara Etki	0,09

Son aşama olarak ise Şekil 4.1'de verilen dört rota alternatifi arasında politikacılar, bürokratlar, toplum liderleri ve sivil halktan oluşan katılımcılar tarafından Tablo 4.1'deki ağırlıklandırmaların rotalara yansıtılması ile son bir rota puanlaması yapılmaktadır. Çalışmada bu puanlamalar, toplamaları 1 olacak biçimde verilmemesinden dolayı aynı şekli ile verilecektir. Bu puanlamalar toplamaları 1 olacak biçimde oranlanabilmektedir [Banai, 2006]. Tablo 4.2'de çalışma sonucu olarak ortaya çıkan, dört alternatifin puanlaması verilmektedir. En uygun alternatif 0,726 puanı ile Alternatif 1'dir.

Tablo 4.2: Memphis bölgesi en iyi HRS güzergâh alternatifinin belirlenmesi.

Rota Alternatifleri	Puan
Alternatif 1 (Madison Caddesinde HRS)	0,726
Alternatif 2 (Lamar Caddesinde HRS)	0,489
Alternatif 2B (BNSF Trenyolu Hattında HRS)	0,302
Alternatif 3 (I-240 Hattında Monoray)	0,474

Ludin ve Latip “Using Multi-Criteria Analysis to Identify Suitable Light Rail Transit Route” isimli çalışmasında, toplu taşımacılığın planlanması ve geliştirilmesinde, hem dış etkenlerden hem de politika yönelimli tepkilerden dolayı sürekli değişiklikler meydana geldiğini ifade etmektedir. [Ludin and Latip, 2006]. Ludin ve Latip’in çalışması, Hafif Raylı Sistem için uygun rotayı belirlemek için arazi kullanım geliştirme koridorunu formüle etmek ve değerlendirmek için mekânsal ve mekânsal olmayan verinin çok ölçütlü bir karar çerçevesi içinde nasıl entegre edilebileceğini araştırmaktadır. Bir raster tabanlı çok ölçütlü analiz modeli belirlenmiş ve spesifik hedefler, ölçütler, gösterge ve veri gereksinimi bazında geliştirilmiştir. Malezya'nın Kuala Lumpur kentinde seçilmiş bir Hafif Raylı demiryolunda bir vaka çalışması yaklaşımı ele alınmıştır. Çalışma için belirlenen ölçütler; Çalışma Alanlarına Olan Rotayı Maksimize Etme, En Az Rahatsızlığı Verme, Hareketliliği Maksimize Etme, Stratejik Lokasyonları Bağlama, Ağı Maksimize Etme, Arazi Edinimini Minimize Etme, İnşa Edilebilirlik, Verimliliği Maksimize Etme'dir. CBS ve dış bir yazılımı entegre eden model, sosyal, kurumsal ve çevresel hedefleri dikkate alan uygun HRS uyumluluğunun tanımlanabileceğini göstermektedir.

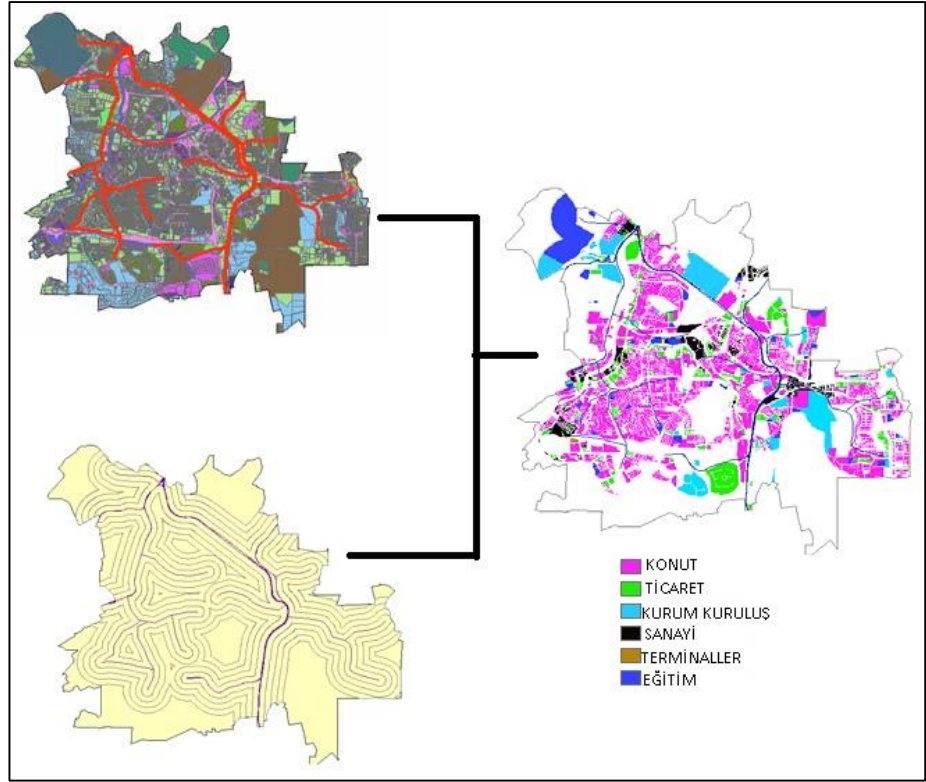
Makalenin alandaki diğer çalışmalardan ayrılan tarafı, raylı sistem tasarımı için değerlendirilmesi gereken ölçütleri belirledikten sonra, bu ölçütlerin ağırlıklandırılması yerine bu ölçütlerin uygulanacağı raylı sistem güzergâh düzenlerinin (çalışmada dallanma, döngüsel ve ışınsal olmak üzere üç düzen işlenmiş) ağırlıklandırılmasıdır. Tablo 4.3'te ağırlıklandırma olmadan çalışmada kullanılan

ölçütler Sosyal, Kurumsal ve Mühendislik üst başlıklarında toplanarak sıralanmıştır [Ludin and Latip, 2006].

Tablo 4.3: Kuala Lumpur bölgesi için hedefler ve ölçütleri.

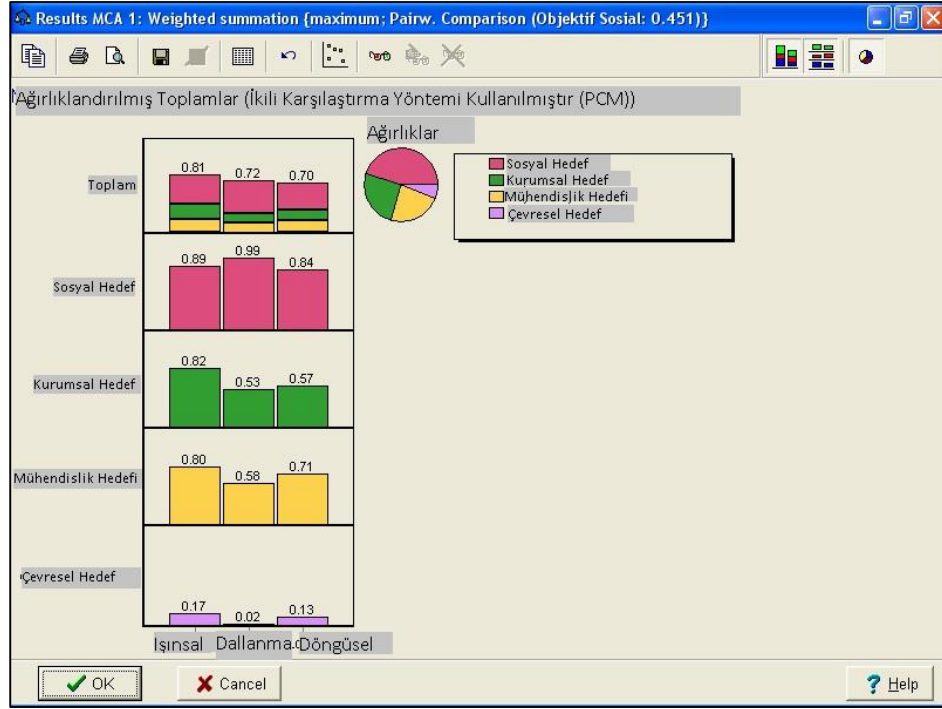
Hedefler	Ölçüt
Sosyal	Çalışma Alanlarına Olan Rotayı Maksimize Etme
	En Az Rahatsızlığı Verme
	Hareketliliği Maksimize Etme
Kurumsal	Stratejik Lokasyonları Bağlama
	Ağı Maksimize Etme
	Arazi Edinimini Minimize Etme
Mühendislik	İnşa Edilebilirlik
	Verimliliği Maksimize Etme

Şekil 4.2, alternatiflerin üretilmesi için çalışmada uygulanan modelin bir örneğini (ışınsal düzen için) göstermektedir [Ludin and Latip, 2006].



Şekil 4.2: Kuala Lumpur bölgesi model ve ışınsal rota düzeni için ızgara (grid) analizi örneği.

Ludin ve Latip'in çalışmasında CBS uygulamalarının yanında Karar Destek Sistemleri'nden de (KDS) faydalandığı anlatılmaktadır. KDS, bilgisayar tabanlı uygulamalar olup, çalışmacılara ellerindeki seçeneklerden bekledikleri özelliklere göre ağırlıklandırma yaparak karar almalarına yardımcı olan sistemlerdir. Sonuç olarak, Şekil 4.3'ün sol üst köşesindeki "Toplam" grafiklerine bakıldığında, ışınsal raylı sistem güzergâh düzeninin dallanma ve döngüsel güzergâh düzenlerinden daha tercih edilebilir olduğu görülmektedir (0,81'e karşılık diğer toplamlar 0,72 ve 0,70) [Ludin and Latip, 2006].



Şekil 4.3: Kuala Lumpur bölgesi rota geometrileri ve ağırlıkları.

İşınsal düzenin bu değeri almasındaki büyük rol kurumsal, mühendislik ve çevresel hedeflere ulaşılmasındaki ağırlığıdır. Grafikten yorumlanabilecek diğer nokta ise sosyal hedefe ulaşma amacı ile kullanılabilecek dallanma güzergâh sisteminin ne seviyede ağırlıklı olduğudur (0,99). Burada, sosyal kalkınma hedefine ulaşabilmesi için raylı sistem güzergâhlarının yalnızca merkez rotada kalmadan dallanarak kenar mahallelere de ulaşması gerektiği biçiminde bir yorum yapılabilir.

Djenaliev'in "Multicriteria Decision Making and GIS for Railroad Planning in Kyrgyzstan" isimli tezi, Kırgızistan'ın güneyinde bulunan Çin-Kırgızistan-Özbekistan demiryolunun bir bölümünü kullanarak, CBS'nin demiryolu planlama ve istasyon konumlandırma işlemlerindeki becerisinin araştırılması ve gösterilmesini amaçlamaktadır [Djenaliev, 2007].

Djenaliev bu tez çalışmasında, bu alanda çalışma yapan diğer araştırmacıların da çoğunlukla kullandığı gibi CBS bilgisayar uygulaması üzerinde Bindirme Analizi'ni (Overlay Analysis) [Web 16, 2020] uygulayarak uygunluk haritaları oluşturmuştur. Ağırlıklandırılmış Doğrusal Kombinasyon (WLC) ve AHS, bu uygunluk haritalarının türetilmesinde kullanılmıştır.

Geleneksel yöntemlerin yerine CBS'nin kullanılması gerektiğini salık veren Djenaliev, CBS uygulamalarında başarıyla oluşturulan temel haritalara çeşitli

faktörlere göre verinin işlenebileceğinden bahsetmektedir. Verilen ölçütler, analiz edilebilmekte ve bindirme (Overlay) [Web 16, 2020] uygulaması için standardize edilebilmektedir. Her bir ölçütün etkisinin değeri, önerilen istasyonunun yeri ve planlanan güzergâhı için uygun yöntemler kullanılarak değerlendirilebilmektedir.

Sonraki kısımda yazar uygulama çalışması için değerlendirdiği ölçütleri sıralamıştır. İlk ölçütü güzergâhın geçtiği alanın oluşturacağı maliyet olarak belirlemiştir. İkinci ölçüt ise yaban hayatının, yaşam alanlarının, rekreasyon alanlarının, doğal peyzaj alanlarının, arkeolojik alanların, mineral ve inşaat malzemelerini içeren alanların vb. korunmasının gerekliliğidir.

AHS, bu çalışmada etkin olarak kullanılmaktadır. AHS'nin çalışma prensibine uygun olarak konuyla ilgili ölçütlerin değerlendirmeye tabi tutulması ve bunların görelî karşılaştırmalarının yapılarak ağırlıklandırmalarının yapılması gerekmektedir. Bu aşamadan sonra çalışmada, uygulama için kullanılan ölçütler verilmektedir. Yalnız bu noktada benzer alandaki diğer çalışmalardan farklı olarak yazar, istasyon yeri seçimi ve tren güzergâhı seçimi için farklı ölçütler belirlemiştir. İstasyon yeri seçimi için belirlenen ölçütler: Uzgen Şehrine Yakınlık, Düşük Eğimli Bölge, Arazi Kullanıma Uygunluk, Yerleşim Bölgelerine Olan Mesafe, Yollara Olan Mesafe, Su Alanlarına Olan Mesafe, Güç Hatlarına Olan Mesafe, İstasyonlardan Olan Optimum Uzaklık'tır. Güzergâh seçimi için belirlenen ölçütler ise: Arazi Kullanımı, Eğim, Yerleşim, Orman, Yol, Hidroloji ve Jeoloji'dir [Djenaliev, 2007]. AHS uygulaması sonucu ortaya çıkan istasyon yeri seçimi ve güzergâh seçimi ölçütlerinin ayrı ayrı toplamaları 1 edecek şekilde etki ağırlıklandırmaları Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'teki şekilde olmaktadır [Djenaliev, 2007].

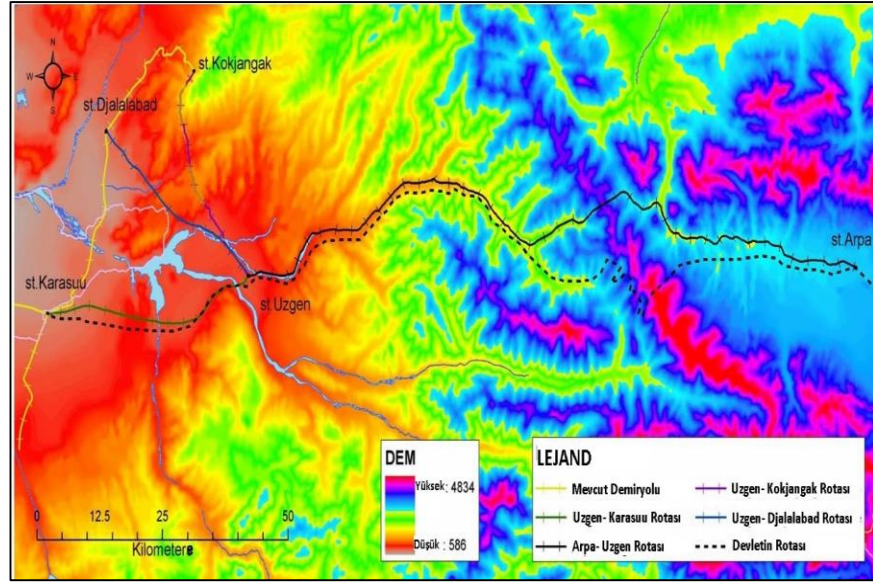
Tablo 4.4: Kırgızistan bölgesi istasyon yeri seçimi ölçütleri ve ağırlıkları.

Ölçüt	Ağırlık (Toplam=1)
Uzgen Şehrine Uzaklık	0,3215
Eğim	0,1733
Arazi Kullanım	0,1242
Yerleşim Bölgelerine Yakınlık	0,0304
Yollara Yakınlık	0,0611
Su Alanlarına Yakınlık	0,0812
Güç Hatlarına Yakınlık	0,1041
İstasyonlara Yakınlık	0,1042

Tablo 4.5: Kırgızistan bölgesi güzergâh seçimi ölçütleri ve ağırlıkları.

Ölçüt	Ağırlık (Toplam=1)
Arazi Kullanımı	0,294
Eğim	0,223
Yerleşim	0,067
Orman	0,163
Yol	0,094
Hidroloji	0,119
Jeoloji	0,040

Ölçüt ağırlıklandırmalarının tamamlanması sonrası CBS bilgisayar uygulamasındaki ölçüt verilerine bu ağırlıkların da eklenmesi ile nihai raylı sistem uygunluk haritası oluşturulmuştur. Şekil 4.4'te bu harita verilmiştir. Bu modelin uygulamasında, çalışma sonucunda elde edilen her noktanın ölçek puanı renklendirme ile haritaya yansıtılmıştır [Djenaliev, 2007].



Şekil 4.4: Kırgızistan bölgesinde önerilen tren yolları.

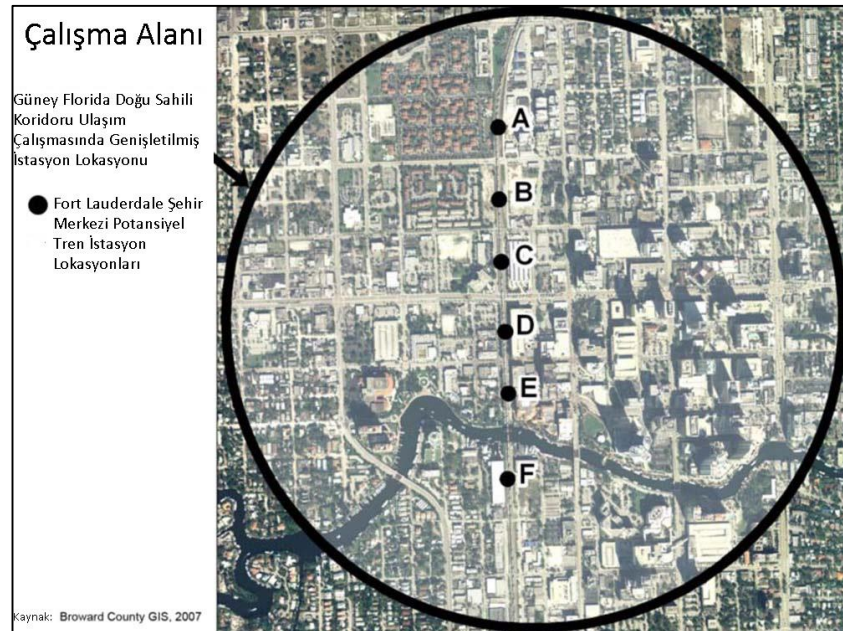
Şekil 4.4, çalışma sonucunda ortaya çıkan tren yollarını ve Kırgızistan Devleti'nin Kırgızistan'da demiryolunun tasarım ve yapımında tercih ettiği rotayı göstermektedir. Hükümetin önerdiği rota, çalışmanın güzergâhının güneyinde çok dik bir alanından geçmekte ve dört tünelin inşasını gerektirmektedir (çok uzun bir tünel dahil). Bu çalışma tarafından önerilen rota sadece bir tünel gerektirmektedir. Ayrıca, hükümetin önerdiği rota Uzgen üzerinden sadece Arpa'dan Karasuu'ya gitmekte ve Djalalabad ile Kokjangak ile bağlantı kurmamaktadır [Djenaliev, 2007].

Arpa'dan Uzgen bağlantısı ile Karasuu'ya giden yol, hükümet tarafından önerilenden farklı olsa da insanın önyargısından arınmış bir “en düşük maliyetli” yoldur. Bu nedenle faktör maliyet değerleri hakkında yapılan varsayımlar doğru ise, o yoldan emin olunabilmektedir. Çalışma tarafından önerilen güzergâh, bazı küçük ayarlamalar ile optimum bir çözüm olarak değerlendirilebilmektedir [Djenaliev, 2007].

Djenaliev'in tez çalışmasının “HRS Güzergâh Tayinine İlişkin Görgül Araştırmalar” başlığı ile verilen diğer çalışmalardan farkı, bu çalışmanın şehirler arası tren istasyon yeri ve güzergâhı planlamasını anlatırken diğer çalışmaların şehir içi raylı sistem istasyon yeri ve güzergâhı planlamasını anlatmasıdır. Bu iki farklı çalışma alanındaki (kent içi ve kentler arası raylı sistem) ölçütlerin ciddi seviyede değişebileceği hatta kimi ölçütlerin ilk konuda tercih sebebi olurken ikinci konuda tercih edilmeme sebebi olabileceği unutulmamalıdır.

Rosenberg ve Esnard'ın "Applying a Hybrid Scoring Methodology to Transit Site Selection" isimli makalesinde örnek alanı Güney Florida bölgesindedir [Rosenberg and Esnard, 2008]. Örnek alan olarak Fort Lauderdale şehir merkezinin seçildiği bu makale, altı potansiyel tren istasyonunun değerlendirilmesinde pratik ve şeffaf bir karma puanlama yaklaşımının sonuçlarını sunmaktadır. Yer seçimi ölçütleri ve alt ölçütleri, niteliksel, gözlemsel, CBS ve diğer niceliksel veri girişlerinin bir karışımından türetilmiştir ve şu başlıkları içerir: yakınlık (ulaşım, yaşam, iş ve oyun alanı kategorilerindeki bireysel hedeflere) [Web 17, 2020], geliştirilebilirlik (maliyet, kullanılabilirlik, mülkiyet, büyüklük ve arazi kullanımı) ve görsel kalite (erişilebilirlik, bağlanabilirlik, algılanan güvenlik ve genel estetik). Üç şemsiye ölçütüne göre normalize edilmiş puanlar tablo halinde alınmış ve dört değişken modelinde birleştirilmiştir. Model girdilerinin ve puanlarının netliği ve sonuçların yorumlanmasının kolaylığı, pratik planlama ve saha tasarımı uygulamalarını kolaylaştırmakta ve ayrıca diğer çalışma alanlarına kolay aktarılabilirliğe izin vermektedir.

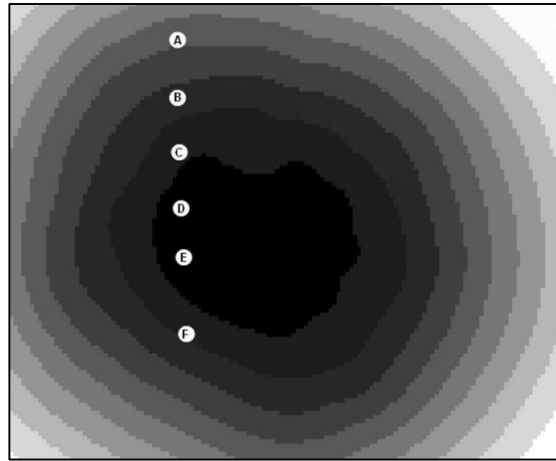
Örnek çalışma alanında (Şekil 4.5), Florida Doğu Sahili Koridoru boyunca önceden belirlenmiş genel durum çalışması alanında şehir bloklarının orta noktalarına potansiyel raylı sistem istasyon yerleri yerleştirilmiştir [Rosenberg and Esnard, 2008].



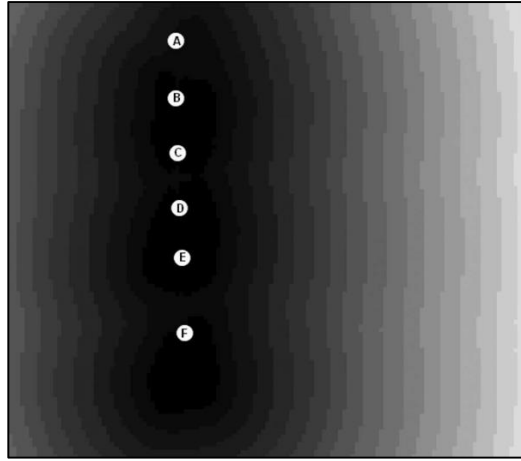
Şekil 4.5: Fort Lauderdale şehir merkezindeki potansiyel istasyonlar.

Uygunluk haritalaması ve analizi, planlama çevrelerinde, Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon (ADK) tekniğini ile pratik ve geleneksel CBS uygulamasını birleştirmektedir. Bu analiz, uygunluk haritalarının standartlaştırılmasını, uygunluk haritalarına göreceli öneme sahip ağırlıkların tahsis edilmesini ve genel bir uygunluk skoru elde etmek için ağırlık ve uygunluk haritalarının birleştirilmesini içerir [Malczewski, 2004]. Bu vaka çalışmasında, bu görevleri yerine getirmek için ArcGIS yazılımını, özellikle “Spatial Analyst” eklentisini kullanarak WLC tekniği uygulanmıştır.

Bu analizlerin sonucu oluşturulan Şekil 4.6, daha önce listelenen yakınlık ölçütlerine göre D ve E alanlarının bu ölçüte göre en uygun yerler olduğunu göstermektedir. Şekil 4.7 ise “geliştirilebilirlik” ölçütlerine göre en uygun olan B-F potansiyel alanlarını göstermektedir [Rosenberg and Esnard, 2008]. Elde edilen bu uygunluk haritalarının bir kombinasyonuna (yani yakınlık ve geliştirilebilirlik) dayanarak, C-E istasyonları, eşit ağırlıklandırma ve yakınlık ölçütüne daha yoğun ağırlıklandırma yapılarak, tren istasyonunu oturtmak için en uygun alanlar olarak ortaya çıkmaktadır [Rosenberg and Esnard, 2008].



Şekil 4.6: Fort Lauderdale bölgesi yakınlık ölçütü için uygunluk haritası.



Şekil 4.7: Fort Lauderdale bölgesi geliştirilebilirlik ölçütü için uygunluk haritası.

Çalışmanın son kısmında ise Fort Lauderdale Bölgesi Yakınlık Ölçütleri Normalize Puanları, Fort Lauderdale Bölgesi Görsel Kalite Ölçütleri Normalize Puanları, Fort Lauderdale Bölgesi Geliştirilebilirlik Ölçütleri Normalize Puanları verisi birleştirilerek, farklı hedeflere yönelik 4 farklı model oluşturulmuştur [Rosenberg and Esnard, 2008]. Bu modelin çıktıları da yine bir tablo ile (Tablo 4.6) verilmiştir. Ve netice olarak 4 model için de en tercih edilebilir istasyon, üç ölçüt başlığı için de 1 tam puan alan E istasyonu olarak belirlenmiştir [Rosenberg and Esnard, 2008].

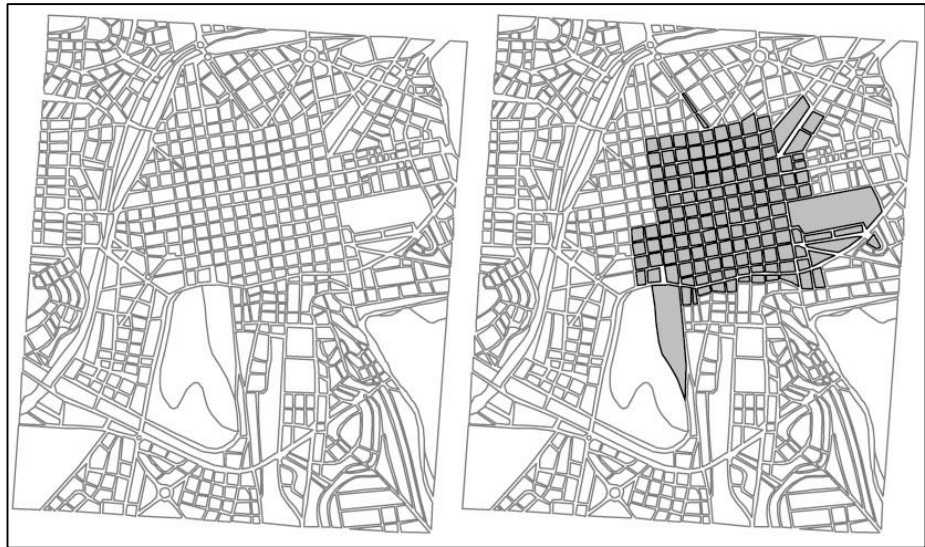
Tablo 4.6: Fort Lauderdale bölgesi tüm istasyonlar için model sonuçları.

İstasyon	Model 1 Sonuçları	Model 2 Sonuçları	Model 3 Sonuçları	Model 4 Sonuçları
A	0,26	0,26	0,25	0,24
B	0,63	0,61	0,58	0,56
C	0,59	0,57	0,6	0,59
D	0,73	0,72	0,8	0,78
E	1	1	1	1
F	0,59	0,61	0,6	0,63

Farkas'ın "Route/Site Selection of Urban Transportation Facilities: An Integrated GIS/MCDM Approach" isimli makalesine göre güzergâh/istasyon seçimi, seçim ölçütlerine göre istenen koşulları sağlayan yerleri bulma işlemidir [Farkas, 2009].

Farkas bu çalışması için Bolivya'nın Cochabamba kentini seçmiştir. Çalışmasındaki amacı ise raylı sistemler için en uygun güzergâh ve istasyon seçimini gerçekleştirmektir. Bu amaca ulaşmak için mühendislik, ekonomik, kurumsal, sosyal ve çevresel alt hedefler belirleyerek bu alt hedeflerin her biri için de özel hedefler başlığı açarak daha da detaylı hedeflemelerde bulunmuştur.

Şekil 4.8 ile Cochabamba kentindeki raylı sistem planlaması için kullanılacak olan kentin poligon formatındaki haritası (solda) ve kentin merkezinin poligon formatındaki haritası (sağda) verilmektedir [Farkas, 2009].



Şekil 4.8: Cochabamba bölgesi poligon haritası ve Cochabamba bölgesi merkezine oturtulmuş poligon haritası.

Şekil 4.8 ile verilen poligon haritasında her poligon için 5 farklı ölçüt için değerler tespit edilmiştir. Bu ölçütler Tablo 4.7 ile verilmiştir [Farkas, 2009].

Tablo 4.7: Cochabamba bölgesi merkezine oturtulmuş poligon haritasında her poligon için belirli ölçütler.

Ölçüt
Mühendislik Karakteristikleri ve Jeolojik Toprak Yapısı (Kayalar)
Ekolojik Uygunluk
Bağlanılabilirlik İndeksi
Nüfus Yoğunluğu
Proje İnşa Maliyeti

Çalışmada, hiyerarşik karar modelinin ana hedeflerinin (mühendislik, ekonomik, kurumsal, sosyal ve çevresel) ağırlıkları, AHS'nin ikili karşılaştırma matrisini kullanan beş ulaştırma mühendisinden, üç makine mühendisinden ve iki iktisatçıdan oluşan bir uzmanlar grubu tarafından belirlenmiştir.

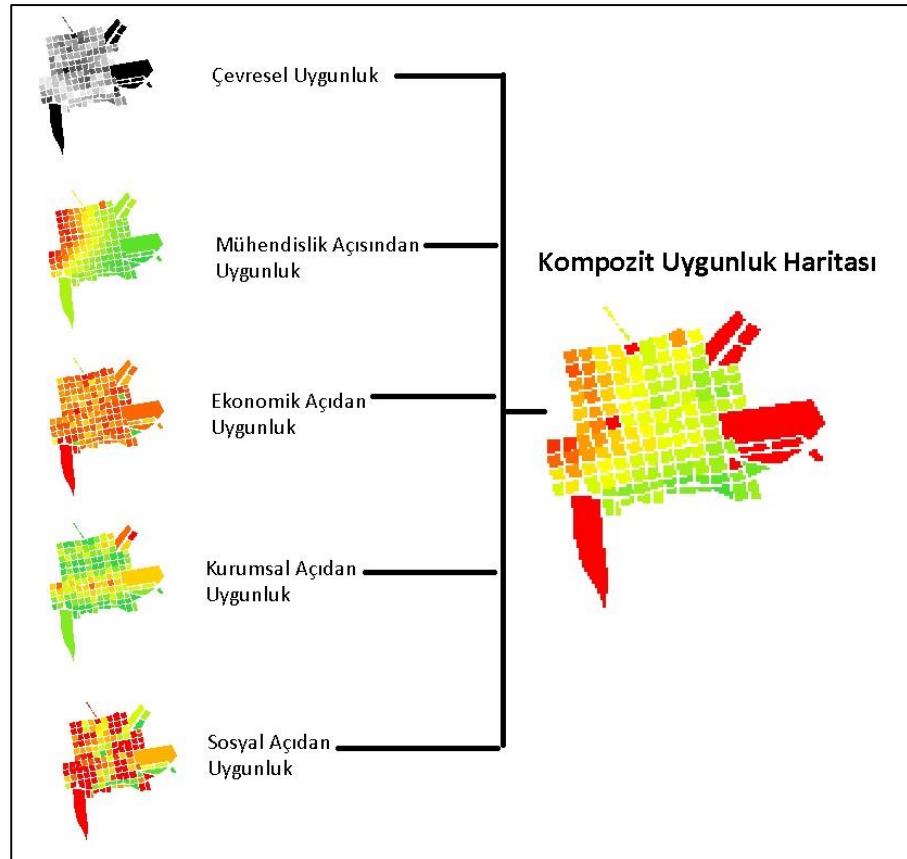
Çalışmanın sonraki aşamasında verilen hedefler için belirlenen ağırlıklandırmalar üç farklı proje politikasına göre yapılmıştır. Bunlar eşitlik vizyonu, mühendislik vizyonu ve ekonomik vizyondur.

Farkas yukarıda verilen vizyonlardan mühendislik vizyonu üzerine inceleme yapmayı tercih etmiştir ve bu vizyonun çıktısı Tablo 4.8 ile verilmektedir [Farkas, 2009]. Bu tablo mühendislik ölçütlerinin en yüksek ağırlıkta değerlendirmenin sonuçlarını vurgulamaktadır. O sebeple mühendislik hedefine ulaşmak en yüksek ağırlık olan 0,56 değerini almıştır. Tabloda çevresel hedefin bulunmamasının sebebi, mühendislik hedefi için değerlendirme yapılırken ekolojik olarak korunan alanların tamamıyla devre dışı bırakılmasıdır [Farkas, 2009].

Tablo 4.8: Cochabamba bölgesi uygun alanları belirlemek için kullanılan ölçütler ve ağırlıkları.

Uygunluk Alanları	Ağırlık (Toplam= 1)
Mühendislik Açısından Uygun Alanlar	0,56
Ekonomik Açısından Uygun Alanlar	0,06
Kurumsal Açısından Uygun Alanlar	0,26
Sosyal Açısından Uygun Alanlar	0,12

Şekil 4.9’da yukarıda bahsedilen mühendislik vizyonu ile oluşturulan uygunluk haritaları üst süte bindirilip netice olarak Kompozit Uygunluk Haritası’nın oluşturulması görselleştirilmiştir [Farkas, 2009].



Şekil 4.9: Cochabamba bölgesi hedeflerin uygunluk haritalarının kompozit bir haritaya toplanması.

Tablo 4.9: Cochabamba bölgesi üç metro hattının etkilerinin değerlendirilmesi.

	Rota 1- Mavi Hat İstasyon İsimleri ve Alansal Uygunluk Paunları (AUP)	Rota 2- Kırmızı Hat İstasyon İsimleri ve Alansal Uygunluk Paunları	Rota 3- Yeşil Hat İstasyon İsimleri ve Alansal Uygunluk Paunları
	Güney Tren İstasyonu- 0,75	Güney Tren İstasyonu- 0,75	Güney Tren İstasyonu- 0,75
	Havaalanı- 0,78	Meridian Hotel- 0,70	Dev AVM- 0,65
	Riverside- 0,74	Central Park- 0,61	Royal Square- 0,87
	Bridge Square- 0,55	Forbes- 0,31	Prince Cross- 0,80
	Kuzey Tren İstasyonu- 0,83	Kuzey Tren İstasyonu- 0,83	Kuzey Tren İstasyonu- 0,83
Rota Uzunlukları	$L_1 = 5801 \text{ m}$	$L_2 = 4443 \text{ m}$	$L_3 = 4146 \text{ m}$
Alansal Uygunluk Paunları Ortalamaları	$AUP_1 = 0,73$	$AUP_2 = 0,64$	$AUP_3 = 0,78$
Empedanslar $(1-AUP)*L$	$\Omega_1 = 1566,27$	$\Omega_2 = 1599,48$	$\Omega_3 = 912,12$

Tablo 4.9’da Alansal Uygunluk Paunları (AUP) olarak verilen sayılar, o istasyon ve çevresine ait alanın CBS uygulamasında piksel (raster) formatındaki düzenlemesinin, önceki bölümlerde verilen ölçütlere göre uygunluğunun analiz edilmesi ile hesaplanmaktadır. AUP değerinin alabileceği en iyi değer 1, en kötü değer de 0’dır. Sonuç olarak çalışmaya nokta koyan değer olan empedans ise çalışma mühendislik vizyonu seçilerek devam edildiği için mühendislik problemlerinin karşılığı olarak verilmiştir. Bu değer de ne kadar küçük ise o kadar tercih edilebilir bir rota olduğunu göstermektedir. Bu sebeple çalışmadaki en uygun Rota olarak 3 numara ($\Omega_3 = 912,12$) seçilmiştir.

Ahmed ve Asmael'in "A GIS-Assisted Optimal Urban Route Selection Based On Multi Criteria Approach" isimli çalışmalarında güzergâh seçimi, tasarım ve inşaat sürecinde önemli bir ilk adımdır ve alanın yapısını-çevresini büyük ölçüde etkileyen bir potansiyele sahiptir [Ahmed and Asmael, 2009; 2015]. Maliyeti en aza indirmek için etkili rota seçimi süreci çok önemlidir. Uygun ağı planlarken, plancılar, alanın eğimini, kullanılabilir araziye ve toprak tipi, topluluk veya ulusal yerler ve kamu yararı gibi faktörleri dikkate almışlardır [Ahmed and Asmael, 2009; 2015].

Bu makale Bağdat'ta iki bölge olan Alkadomiyah ve Algria'at'ı birbirine bağlayacak olan güzergâhı seçme problemini sunmaktadır. Yeni bir yol için en uygun rotayı seçmek adına bir karar vericiye yardımcı olacak çok ölçütlü bir yaklaşım ve Mekânsal Karar Destek Sistemi (MKDS) kullanılarak dört alternatif rota (Path 1, Path 2, Path 3, Path 4) incelenmiştir. En iyi rota alternatifini seçmek için çok ölçütlü değerlendirme adına da yalnızca dört faktör (Arazi Kullanımı, Eğim, Toprak Yapısı ve Uzaklıklar) değerlendirmeye alınmıştır. Bunlar geoteknik, geometrik, sosyal ve ekonomik faktörlerdir. Analiz ve model oluşturma gereklilikleri için ArcGIS 9.2 yazılımı kullanılmıştır. Çalışma alanı üzerindeki arazi kullanımı sekiz farklı sınıfa ayrılmıştır. Ölçütlerin ağırlıklandırılmasında AHS kullanılmıştır. Örnek olay incelemesi, çok ölçütlü yaklaşıma dayanan CBS'nin karar verici rota seçimini etkileyen faktörleri göz önünde bulundurarak optimum rota seçiminde bir araç olarak kullanıldığını kabul ettiğini göstermiştir. Ayrıca paradan, zamandan ve emekten tasarruf sağlanmıştır [Ahmed and Asmael, 2009; 2015].

Kurulan modelde, simültane olarak dört ölçütü (arazi kullanımı, eğim, toprak yapısı ve uzaklıklar) değerlendirmeye sokabilmektedir. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), arazi kullanımı ve toprak yapısı verisini, maliyet veri setini üretmek için AHS'den gelen ağırlıklandırma çıktıları kullanarak CBS'de üst üste bindirilmektedir. Tüm işlemler raster formatında uygulanmaktadır. Çalışmada güzergâh olarak kullanılacak aday yolların başlangıç ve varış noktaları ArcMap 9.2 kullanılarak oluşturulmuştur. Yeniden sınıflandırılmış harita, yol güzergâhını oluşturmak için kötüyü iyi alanlardan ayırt etmeye yardımcı olmaktadır. Sınıflandırılmış haritada, bir yol inşa etmek için düşük maliyetli bir değeri olan iyi alanları temsil etmek için "1 en iyi" değeri kullanılırken, bir yol inşa etmek için yüksek bir maliyet olan "10 en kötü" anlamına gelmektedir [Ahmed and Asmael, 2009].

Bu puanlamalar sonrasında AHS ile yapılan ağırlıklandırmalar sonucunda, kolay anlaşılabilmesi için toplamaları 1 edecek biçimde değerler uygun sayılara bölündüğünde Tablo 4.10 elde edilmektedir [Ahmed ve Asmael, 2009].

Tablo 4.10: Bağdat bölgesi güzergâh seçimi ölçütleri ve ağırlıkları.

Ölçüt	Ağırlık (Toplam= 1)
Toprak Yapısı	0,0733
Uzaklıklar	0,3363
Eğim	0,1025
Arazi Kullanımı	0,488

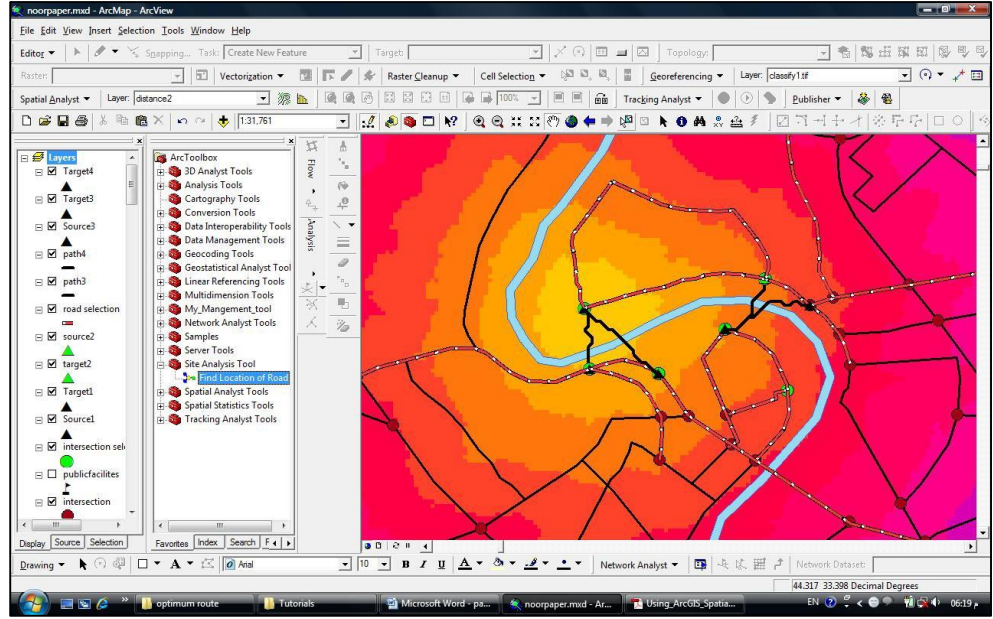
Bu ölçütlerin ağırlıkları da değerlendirilerek Rota 1, Rota 2, Rota 3 ve Rota 4 arasından seçim yapmak amacıyla bazı rota karakteristikleri ortaya konmuştur. Bunlar: Geometrik (Uzunluk, Geçit Düzeni, Eğrilik, Yol Ağını Maksimize Etme, Geometrik Sınıf), Geoteknik (Taşıma Kapasitesi), Sosyal (Nüfus Yoğunluğu, Kent Alanı) ve Ekonomik'tir (İnşa Maliyeti, Kullanıcı Maliyeti, Bakım Maliyeti, Arazi Kullanımı). Bu sistem ile parantez içinde verilen değerler için her rotaya tek tek puanlar verildiğinde sonuç olarak toplam puanlar yüzdelik cinsinden Tablo 4.11'deki şekilde ortaya çıkmaktadır. Ve bu an puanlamalara ulaşılmasını sağlayan ağırlıklandırmalar, ulaşım uzmanları görüşü dikkate alınarak hazırlanmaktadır [Ahmed and Asmael, 2009].

Tablo 4.11: Bağdat bölgesi alternatif rotaların karakteristikleri ve puanları.

Ölçüt	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4
Geometrik				
Uzunluk	10	9	6	5
Geçitler	9	4	4	9
Eğrilik	5	4	3	6
Yol Ağını Maksimize Etme	6	4	9	7
Geometrik Sınıf	E.	E.	E.	E.
Geoteknik				
Taşıma Kapasitesi	E.	E.	E.	E.
Sosyal				
Nüfus Yoğunluğu, Kent Alanı	5	6	7	7
Ekonomik				
İnşa Maliyeti	8	8	4	4
Kullanıcı Maliyeti	8	8	4	4
Bakım Maliyeti	8	8	4	4
Arazi Kullanımı	6	7	7	6
TOPLAM	65	58	48	52
Normalize Puan	%29,10	%26	%21,50	%23,30

*E.= Etkisiz

Ulaştırma planlamasında CBS uygulamasına dayalı olarak, önerilen ölçütlerde farklı etkili faktörlerin ağırlıklandırılmasında AHS kullanılmaktadır. Optimum rota seçiminde ArcGIS 9.2 Mekânsal Analist (Spatial Analyst) modülü uygulanmıştır. Şekil 4.11 bu şekilde oluşturulmuştur [Ahmed and Asmael, 2009].



Şekil 4.11: Bağdat bölgesinde ArcGIS uygulaması ile oluşturulan alternatif güzergâhlar.

Ahmed ve Asmael'in çalışması, mekânsal ve mekânsal olmayan verinin en uygun rotayı formüle etmek ve seçmek için çok ölçütlü bir karar çerçevesi içinde nasıl bütünleştirilebileceğini araştırmaktadır. Mevcut vaka çalışmasında uygulanan CBS tabanlı analiz, karar vericilerin seçimlerini etkileyen farklı faktörler göz önüne alınarak optimum rota seçimi için bir araç olarak kullanılacak çok ölçütlü bir yaklaşım tanınmaktadır. Ayrıca, paradan, zamandan ve emekten tasarruf şansı sunmaktadır [Ahmed ve Asmael, 2009; 2015].

Verma, Upadhyay, ve Goel'in Mumbai bölgesinin Thane kenti için yaptıkları "An Integrated Approach For Optimal Rail Transit Corridor Identification and Scheduling Using Geographical Information System" isimli çalışmasında, cadde tramvayı ve mevcut demiryolu tabanlı sistemin yanı sıra yeni bir demiryolu tabanlı toplu taşıma sistemi için potansiyel talebi olan şehirde, demiryolu transit koridorunu belirlemek ve programlamak için entegre bir yaklaşım önerilmektedir [Verma et al., 2011]. Yeni demiryolu transit sistemi düzenlenirken entegre yaklaşımın ana odağı, kullanıcının başlangıç-hedef (O-D) noktaları arası seyahat süresini optimize etmek ve aynı zamanda operatörlerin maliyetlerini en aza indirmeye çalışmaktır. Önerilen demiryolu koridoru tanımlama modeli üç aşamadan oluşmaktadır: toplu taşıma talep tahmini, koridor bağlantı kümesinin oluşturulması ve CBS kullanılarak demiryolu koridorunun optimizasyonu. Tren programlama modelinin amaç fonksiyonu, trenlerin

işletme maliyetinin (operatör maliyeti) ve trene binen yolcuların toplam bekleme süresi maliyetinin (kullanıcı maliyetleri) yük faktörüne ve bekleme süresi kısıtlamalarına tabi tutulması olarak belirlenmektedir [Verma et al., 2011]. Genellikle sabit kabul edilen istasyonlarda trenin bekleme süresi, trene binen ve inen yolcu sayısına bağlı olarak bir değişken olarak alınmaktadır. Tespit edilen koridorda elde edilen azami saat başına yolcu sayısının, HRS önermek için ideal olduğu tespit edilmiştir. Modelin başarılı bir şekilde uygulanması, yeni bir demiryolu sistemi için potansiyel talebi olan tipik bir Hint şehri için önerilen modelin kabiliyetini göstermektedir.

Bu çalışma öncelikle, Verma ve Dhingra'nın [2005] önceki çalışmasını iyileştirme çabasıdır ve orijini noktasından varış noktasına kadar yolcuların seyahat süresi ve aynı zamanda operatörlerin maliyetini en aza indirmeye çalışan başlangıç-hedef (O–D) seyahat zamanını optimize etmek için bir demiryolu transit koridorunu tanımlamak adına entegre bir yaklaşıma odaklanmaktadır [Verma et al., 2011]. Ulaşım organlarının kullanılabilmesi adına optimizasyonu daha kapsamlı hale getirecek fakat yine de gerçekçi kalacak bir yaklaşım oluşturmak için çaba sarf edilmiştir [Verma et al., 2011]. Bu çalışmada

“Fonksiyonun içinde, koridor uzunluğunun arttırılması inşaat ve işletme maliyetini arttıracak gibi çelişkili hedefler vardır ancak koridor uzunluğunun arttırılması istasyonlara giriş ve çıkış sürelerinin düşmesini sağlayacağından kullanıcı maliyetini düşürebilir”

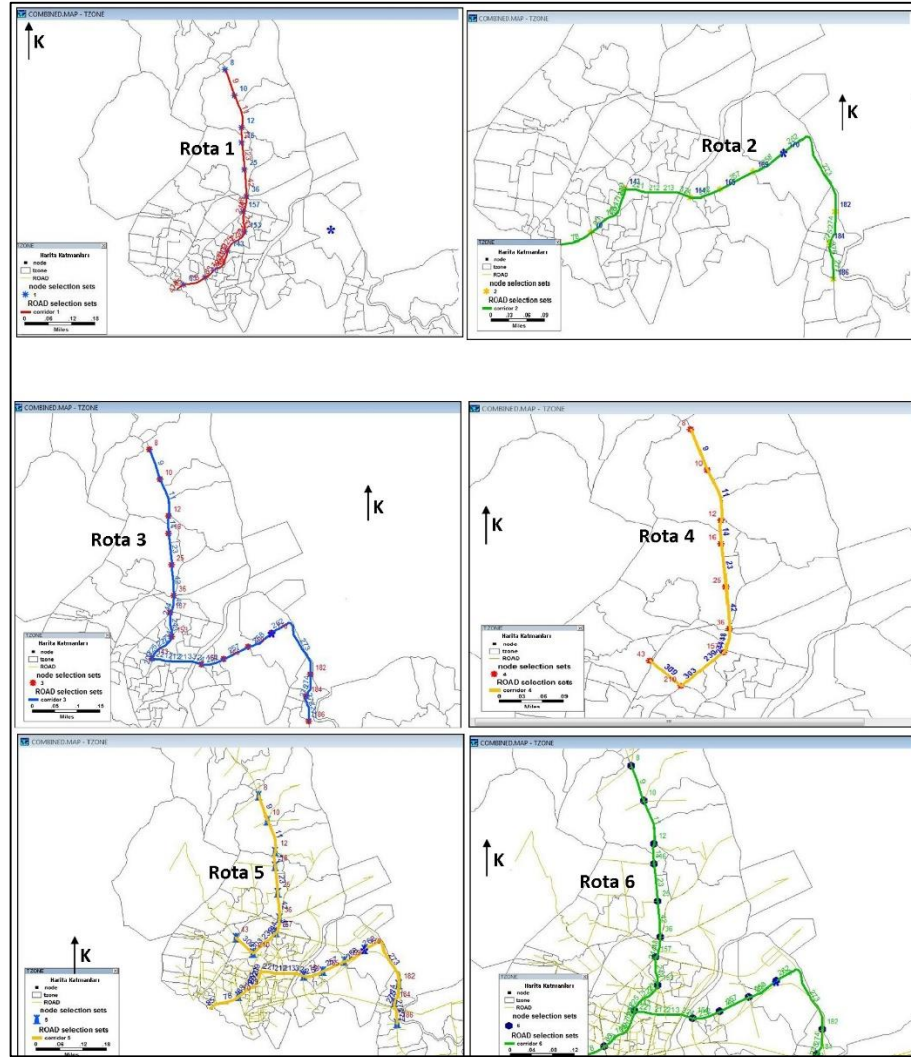
ifadesi geçmektedir. Verma ve diğerlerine göre, önerilen koridorun kullanıcı için pratik bir değeri olmayacak kadar küçük olmaması ve aynı zamanda operatör tarafından yapılan yatırımların (özellikle modelde detaylı şekilde dikkate alınmayan raylı taşıt, tren ekibi ve yönetici ekip yatırımları) doğru hamleler olduğu ulaşım yatırımlarında garanti edilmelidir [Verma et al., 2011]. Çalışmada

“Tren sistemi programlama bir optimizasyon problemi olarak düşünülebilir. Demiryolu taşımacılığının işletilmesi için, iki ayrı kurum olarak değerlendirilebilecek kullanıcı ve operatör, tek bir amaç fonksiyonunda tatmin olmak için çelişen hedeflere sahiptirler”

ifadesi yer almaktadır. Çalışmada temel (başlangıç) yılı olarak alınan 2001 yılındaki toplu taşımanın tüm taşıma sistemleri içindeki payı %34'tür. Diğer sistemlerden toplu

taşımaya geçmesi beklenen yüzdelik kayma elde edildikten sonra, ufuk (horizon) yılındaki toplu taşımacılığın gerçek mod payı, mevcut her moddan önerilen ray moduna gerçek kayma eklenerek hesaplanmıştır ve %65 olarak elde edilmiştir.

Makalenin devam eden kısmında Verma ve Dhingra'nın [2005] çalışmasında tespit edilen Rota 1 ve Rota 2'nin üzerine, Şekil 4.12'de verilen Rota 3, 4, 5 ve 6 eklenerek alternatifler çoğaltılmıştır [Verma et al., 2011].



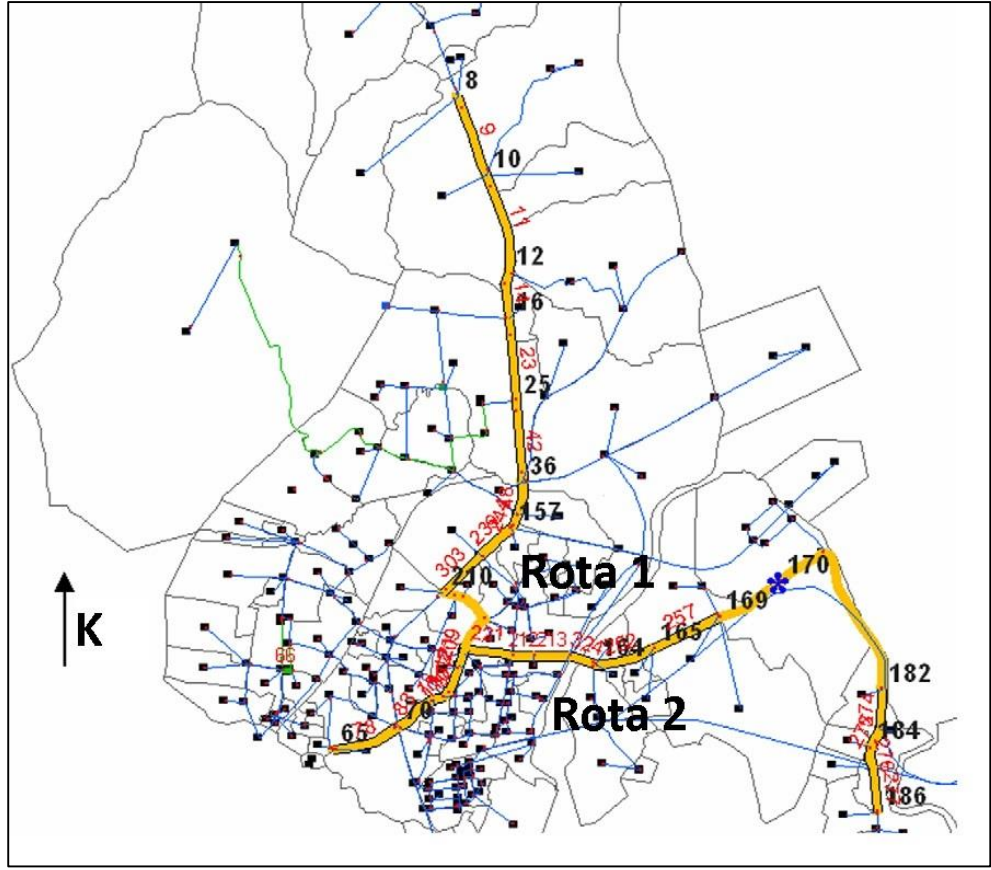
Şekil 4.12: Thane bölgesi yeni rotalar ile beraber son durumdaki tüm alternatifler (1,2,3,4,5 ve 6).

Tablo 4.12 ile öneri olarak getirilen 6 rota için de maliyet analizi yapılmıştır. Tablonun son sütununda saat başına oluşacak toplam maliyet hesabı verilmiştir. Tablodan, tüm aday rotalar arasında en düşük maliyete sahip olduğu için 5 numaralı rotanın optimum olduğu görülmektedir [Verma et al., 2011].

Tablo 4.12: Thane bölgesi her aday rota için maliyet hesaplamaları.

Rota No	Rota Uzunluğu (km)	Bölgelerin Ağırlık Merkezlerinin İstasyonlardan Ortalama Uzaklıkları (km)	İnşa Maliyeti (Rupi/saat)	İşletme Maliyeti (Rupi/saat)	Kullanıcı Maliyeti (Rupi/saat)	Toplam Maliyet (Rupi/saat)
1	9,54	3,7	61.228	20.623	3.098.680	3.180.531
2	11,41	2,8	73.230	25.693	2.407.285	2.506.208
3	15,95	2,1	102.368	54.326	1.924.691	2.081.385
4	7,04	2,45	45.183	11.869	2.061.425	2.118.478
5	18,45	1,86	118.413	63.351	1.766.852	1.948.616
6	18,45	2,08	118.413	63.353	1.978.209	2.159.975

Rota 5 en uygun alternatif olarak tespit edilmiştir fakat bu hattın kuzeyi ve güneyindeki iki parçanın birleştirilmesi gerekmektedir [Verma et al., 2011]. Bu sebeple hatta gerekli bağlantıların çıkarılıp yenilerinin eklenmesi şeklindeki düzenlemeler yapılarak Şekil 4.13'te ortaya çıkan optimum raylı sistem güzergâhı verilmiştir [Verma et al., 2011].



Şekil 4.13: Thane bölgesi modifiye edilmiş optimum raylı sistem güzergâhı.

Şekil 4.13 ile yeni optimum güzergâh tespit edildikten sonra 8 No’lu İstasyon ile 186 No’lu istasyon arası olan güzergâha Rota 1, 65 No’lu İstasyon ile 186 No’lu İstasyon arası olan güzergâha da Rota 2 olarak yeni isimlendirmeler yapılmıştır.

Önerilen metodoloji, Verma ve Dhingra [2005] tarafından daha önce geliştirilen metodolojinin demiryolu koridorunun tanımlanması için eksikliklerini ele almaktadır. Bu çalışmadaki [2011] yaklaşım inşaat maliyeti, işletme maliyeti, yolculuk maliyeti ve istasyona ulaşma/ayrılma maliyeti gibi veriyi içerdiğiden daha ayrıntılı bir çalışma olarak literatürdeki yerini almaktadır.

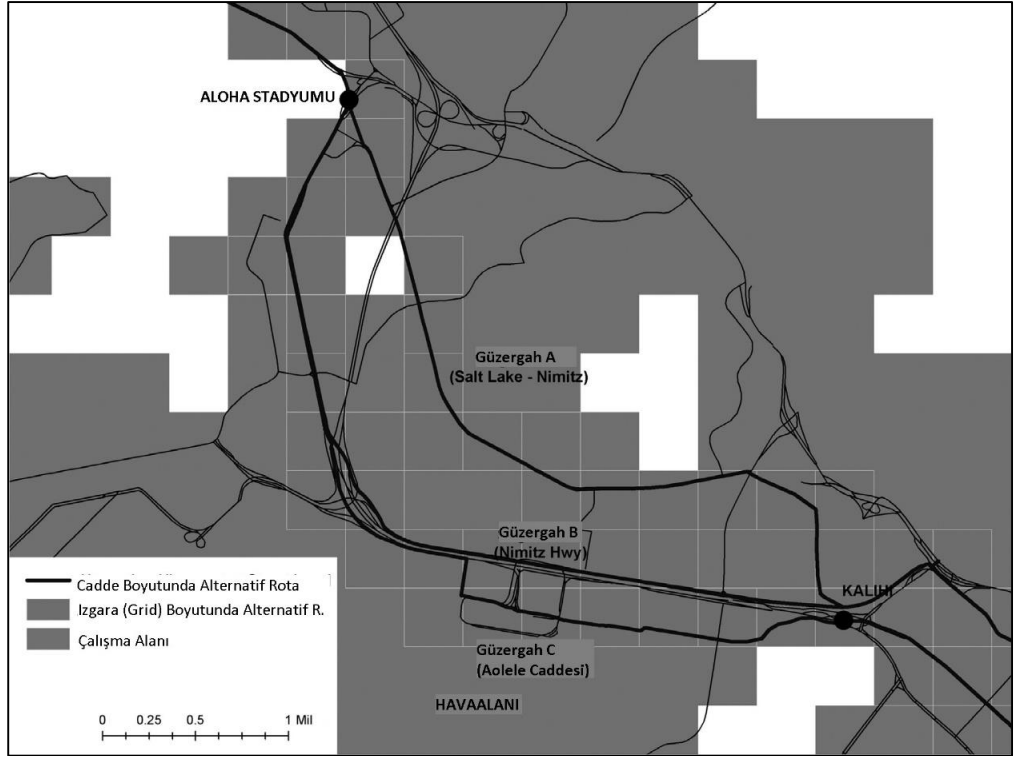
Brunner ve arkadaşlarının “Analytic Hierarchy Process and Geographic Information Systems to Identify Optimal Transit Alignments” isimli çalışması, Honolulu’daki birbirine zıt yerlerde olan Salt Lake ve Havaalanı güzergâhları arasındaki optimum transit sisteminin belirlenmesindeki karar verme süreci için AHS CBS teknolojilerini birleştirmiştir [Brunner et al., 2011]. AHS yapısının amacı ulaşım hattının konumlandırmasını belirlemektir. Bu tespit teknik, sosyal, ekonomik ve çevresel ölçütler ve uygunluk seviyeleri alternatifleri ile yapılmıştır. Çalışmada tek tip

bir ızgara yapısı (grid) geliştirilmiştir ve bağımsız değişkenlerle ilgili tematik haritalar 0,1 milkarelik bir ızgara haritasına dönüştürülmüştür. Izgara ortamında çizilebilecek bir uygunluk endeksi oluşturmak amacıyla, halka açık tercihler ve teknik ölçütler temelinde raylı taşıma sistemi için en uygun düzenlemeleri göstermek hedefiyle, AHS yapısına ızgara verisi ve araştırma sonuçları girilmiştir. Tablo 4.13 ile çalışma bölgesinde yapılan anketin sonuçlarına göre belirlenen raylı sistem tasarım ölçütleri ve ölçüt ağırlıkları verilmektedir [Brunner et al., 2011].

Tablo 4.13: Honolulu bölgesinde kullanılan ölçütler ve ağırlık değerleri.

Ölçüt	Ağırlık (Toplam= 1)
Nüfusun Çoğunun Yaşadığı Yerler	0,154
Çalışma Alanları	0,138
Düşük Gelirli Nüfusa Sahip Yerlere Hizmet Etme	0,099
Sermaye Maliyeti	0,059
Toplu Taşıma Odaklı Gelişme (TOG) Potansiyeli	0,083
Yolları Paylaşma Olanağı	0,053
Trafik Sorunlarının Olduğu Alanlara Hizmet Etme	0,126
Hassas Ortamlardan ve Tehlikeli Bölgelerden Kaçınma	0,159
Çekici Yerler	0,129

Şekil 4.14'teki Salt Lake- Nimitz, Nimitz Otoyolu ve Aolele Caddesi güzergâhları, Honolulu şehri ve kontluğu tarafından geliştirilen, alternatif güzergâh seçeneklerinin bir gösterimidir [Brunner et al., 2011].



Şekil 4.14: Honolulu bölgesi Aloha stadyumu ve Kalihi arasındaki alternatif güzergâhlar.

Gridlerden meydana gelen Şekil 4.14 oluşturulduktan sonra üç güzergâh için (Salt Lake- Nimitz, Nimitz Otoyolu ve Aolele Caddesi) her bir güzergâhın geçtikleri grid sayıları tespit edilmiştir. Daha sonrasında bu gridlerdeki her bir ölçütün değeri tespit edilmiştir. Devamında ise güzergâhlar için tespit edilen bu değerler, güzergâh değerlendirmesinde o ölçüte ait en yüksek değer 1'e eşitlenecek biçimde oransal olarak normalize hale getirilmiştir [Brunner et al., 2011]. Bu çalışmada

“Her ölçüt farklı bir veri tipi ve ölçeğinden oluşmaktadır. Örneğin, nüfus kişi sayısını yansıtırken, çekici yerler izgara (grid) sayısını yansıtmaktadır. Bir ölçütün ağırlıklı değeri karşılaştırılabilir olmalıdır. Bu, her bir ölçütün değerinin, en yüksek olarak 1 ve mümkün olan en düşük değer olarak 0 ile normalleştirilmesi gerektiği anlamına gelir”

ifadeleri geçmektedir. Şunu da belirtmek gerekir ki, çalışmayı yapan kişiler yalnızca raylı sistem güzergâh tasarımı için hangi ölçütlerin tespit edilmesi gerektiğine ihtiyaç duymamıştır. Daha derine inerek hangi yaş gruplarına ait hangi cinsiyetten insanların hangi ölçütlere ağırlık verdikleri de araştırmaya dahil edilmiştir.

Çalışmanın son kısmında ise güzergâhlardaki gridler için elde edilen bu normalize değerlerin her biri, o değerin ait olduğu ölçütün kendine has ağırlığı ile

çarpılarak Tablo 4.14’teki biçimde her rotanın ağırlıklandırılmış puanı tespit edilmiştir [Brunner et al., 2011]. Çalışmada

“Bu çalışma, uzmanlar ve halk arasında iş birliğine olanak sağlayan bir yaklaşım sunmaktadır. Uzmanlar, alternatif güzergâh haritaları sağlamada ve destek verisinde önemli bir rol oynayabilir ve topluluk üyeleri en iyi alternatifi seçmeye aktif olarak katılabilir”

ifadeleri yer almaktadır.

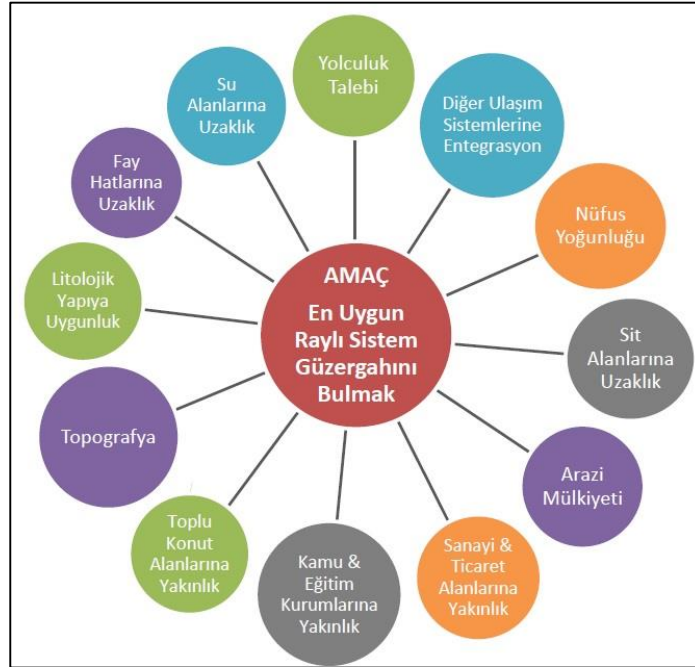
Tablo 4.14: Honolulu bölgesi güzergâh alternatifleri için oluşan ağırlıklandırılmış ölçüt puanları ve toplamaları.

Kriter	Ağırlık (Toplam= 1)	Salt Lake- Nimitz Güzergâhı Normalize Değerleri	Salt Lake- Nimitz Güzergâhı Ağırlıklandırılmış Puanları	Nimitz Otoyolu Güzergâhı Normalize Değerleri	Nimitz Otoyolu Güzergâhı Ağırlıklandırılmış Puanları	Aolele Caddesi Güzergâhı Normalize Değerleri	Aolele Caddesi Güzergâhı Ağırlıklandırılmış Puanları
Nüfusun Çoğunun Yaşadığı Yerler	0,154	1	0,154	0,403	0,062	0,283	0,044
Çalışma Alanları	0,138	0,571	0,079	0,64	0,088	1	0,138
Düşük Gelirli Nüfusa Sahip Yerlere Hizmet Etme	0,099	1	0,099	0,583	0,058	0,559	0,055
Sermaye Maliyetleri	0,059	1	0,059	0,962	0,057	0,827	0,049
Toplu Taşıma Odaklı Gelişme (TOD) Potansiyeli	0,083	0	0	1	0,083	1	0,083
Varolan Yolları Paylaşma Olanakları	0,053	0,941	0,05	1	0,053	0,864	0,046
Trafik Sorunlarının Olduğu Alanlara Hizmet Etme	0,126	0,941	0,119	1	0,126	0,864	0,109
Hassas Ortamlardan ve Tehlikeli Bölgelerden Kaçınma	0,159	0,899	0,143	0,905	0,144	0,952	0,151
Çekici Yerler	0,129	0,971	0,125	0,579	0,075	1	0,129
Toplam =		0,827	Toplam =	0,745	Toplam =	0,804	

Kırlangıçoğlu’nun “Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Raylı Sistem Güzergâh Tasarımı: İstanbul Örneği” ve “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Kent İçi Raylı Sistem Koridor Planlaması” çalışmasında bahsettiğine göre raylı sistem tasarımında en mühim aşama güzergâh tasarımıdır [Kırlangıçoğlu, 2014; 2016]. Kırlangıçoğlu’na göre bu konuda kullanılacak yöntem, ilk olarak ulaşım etüdü yapılarak toplu taşımaya ihtiyaç duyan yerlerin seçilmesi, sonra bu bölgelere hizmet edecek bir güzergâh araştırmasına başlanması ve yolculuk talebinin çok olduğu bölgeler öncelikli olmak üzere genel hatlarıyla istasyon yer seçimlerinin gerçekleştirilmesidir. İstasyon yerleri takribi olarak belli olduktan sonra bu istasyonları birbirine bağlayacak güzergâh tasarımı üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Kırlangıçoğlu çalışmasında Uzaktan Algılama (Remote Sensing) ve CBS'yi aktif olarak kullanmıştır. Bunun dışında ikinci önemli aracı da ÇÖKA metodlarından AHS'dir. CBS masaüstü bilgisayar uygulaması olan ArcGIS ile elde ettiği çeşitli haritaları, farklı ağırlıklandırmalar yapmasının ardından üst üste bindirerek sonuç olarak "Raylı Sistem Güzergâh Tasarımında Öncelik Verilmesi Gereken Bölgeler" haritasına ulaşarak çalışmasını tamamlamıştır.

Bu çalışma için, İstanbul'da raylı sistem güzergâh planlaması üzerine geleneksel yöntemlerle çalışan uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda yazar, 12 ölçüt üzerinde yoğunlaşp raylı sistem güzergâh tasarımı için Şekil 4.15'teki ölçütleri değerlendirmeyi uygun görmüştür [Kırlangıçoğlu, 2016].



Şekil 4.15: İstanbul bölgesi raylı sistem güzergâh tasarımı etkileyen ölçütler.

Kırlangıçoğlu uzmanlardan yalnızca ölçütleri tespit etmelerini istememiş ayrıca ölçütlerin her birine bir önem puanı vermelerini istemiştir. Bu şekilde ölçütlerin haritaları üzerinde ton geçişleri yardımı ile bir değer verme sistemi kurabilmiş ve AHS desteği ile ölçütlerin toplamaları 1 edecek şekilde ağırlık puanlarını belirleyebilmiştir. Uzmanların seçimlerinin ve bu çalışmanın sonucu olarak ortaya çıkan ölçüt ağırlıkları Tablo 4.15'teki şekildedir [Kırlangıçoğlu, 2016]. Bu çalışmada

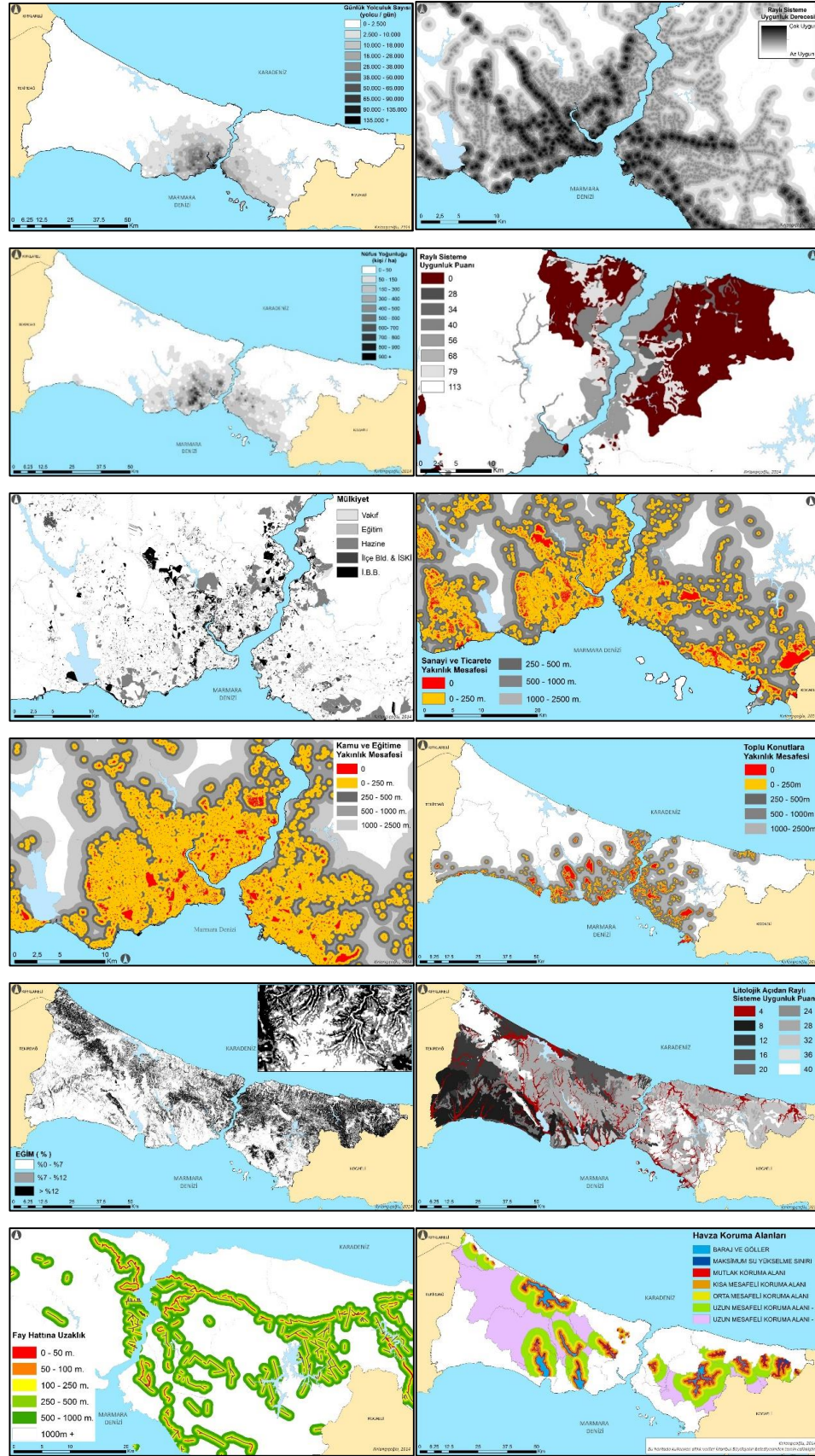
“Netice olarak, her bir faktörün diğer faktörlere göre önem derecesi ortaya çıkmıştır. Fakat her bir faktörün aynı zamanda kendi içinde de önem sıralamasına ve puanlamaya ihtiyacı bulunmaktadır. Örneğin; eğitim alanlarına ya da kamu kurumlarına çok yakın olan bir bölge ile daha uzak olan bölge arasında tercih edirlilik açısından puan farkı olacaktır. Aynı şekilde nüfus yoğunluğu yüksek olan bir bölge, yolcu potansiyelinden dolayı az yoğunluklu bir konut alanına göre daha yüksek puan alacaktır. Bu puanların her faktöre ayrı ayrı verilebilmesi ve daha sonra bir araya getirilerek tek bir haritada toplanabilmesi için her bir analiz haritasının aynı kapsamda, aynı ölçekte, aynı koordinat sisteminde ve aynı formatta olması gerekmektedir. Bu sebeple, bütün analiz haritaları raster formatına dönüştürülmüş ve 25x25 metrelik piksellere bölünmüştür. Her bir pikselin hangi faktörden ne kadar etkilendiği bulunacak ve sonuç olarak da her bir pikselin her bir faktörden aldığı puanlar toplanarak İstanbul genelinde raylı sistem ihtiyacı olan elverişli alanlar tespit edilmeye çalışılacaktır”

ifadeleri yer almaktadır.

Tablo 4.15: İstanbul raylı sistem tasarıma etki eden ölçütler ve ağırlıkları.

Ölçüt	Ağırlık (Toplam= 1)
Yolculuk Talebi	0,161
Diğer Ulaşım Entegrasyon	0,145
Nüfus Yoğunluğu	0,129
Ekolojik ve Sit Alanlarına Uzaklık	0,113
Kamulaştırma İhtiyacı	0,097
Sanayi ve Ticarete Yakınlık	0,081
Kamu ve Eğitime Yakınlık	0,073
Toplu Konutlara Yakınlık	0,065
Eğitim	0,048
Jeolojik Yapıya Uygunluk	0,04
Faylara Uzaklık	0,032
Su Alanlarına Uzaklık	0,016

Kırlangıçoğlu’nun bahsettiği her bir faktörün kendi içindeki puanlamayı ifade eden açıklamalar verildikten sonra ise bu 12 faktör (Yolculuk Talebi, Diğer Ulaşım Entegrasyon, Nüfus Yoğunluğu, Ekolojik ve Sit Alanlarına Uzaklık, Kamulaştırma İhtiyacı, Sanayi ve Ticarete Yakınlık, Kamu ve Eğitime Yakınlık, Toplu Konutlara Yakınlık, Eğitim, Jeolojik Yapıya Uygunluk, Faylara Uzaklık, Su Alanlarına Uzaklık) için önem sırasına göre Şekil 4.16’daki 12 harita tespit edilmiştir [Kırlangıçoğlu, 2016].

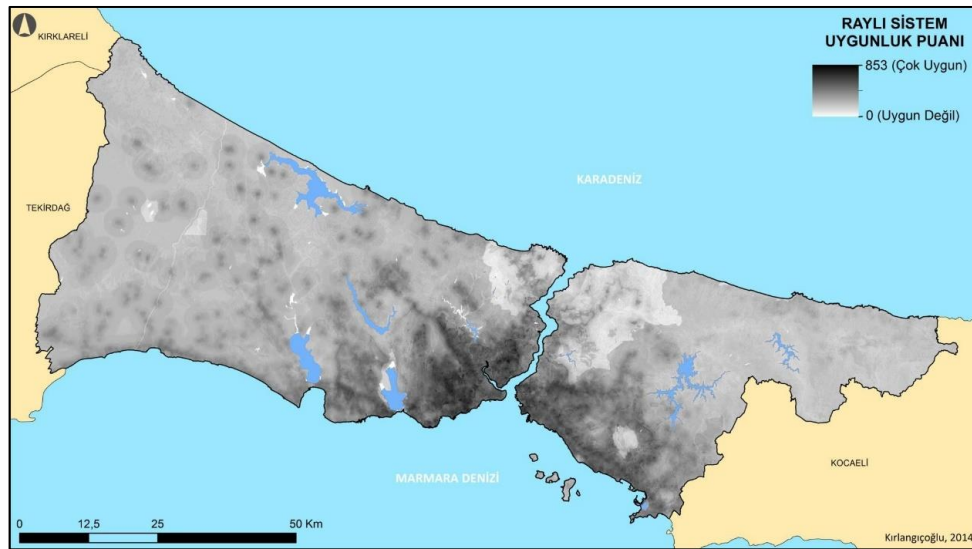


Şekil 4.16: İstanbul bölgesi için kullanılan 12 ölçütün haritalandırmaları.

Oluşturulan bu 12 haritanın, uzman ölçüt ağırlıklandırmaları da göz önüne alınarak birleştirilmesi gerekmektedir [Kırlangıçoğlu, 2014]. Çalışmada

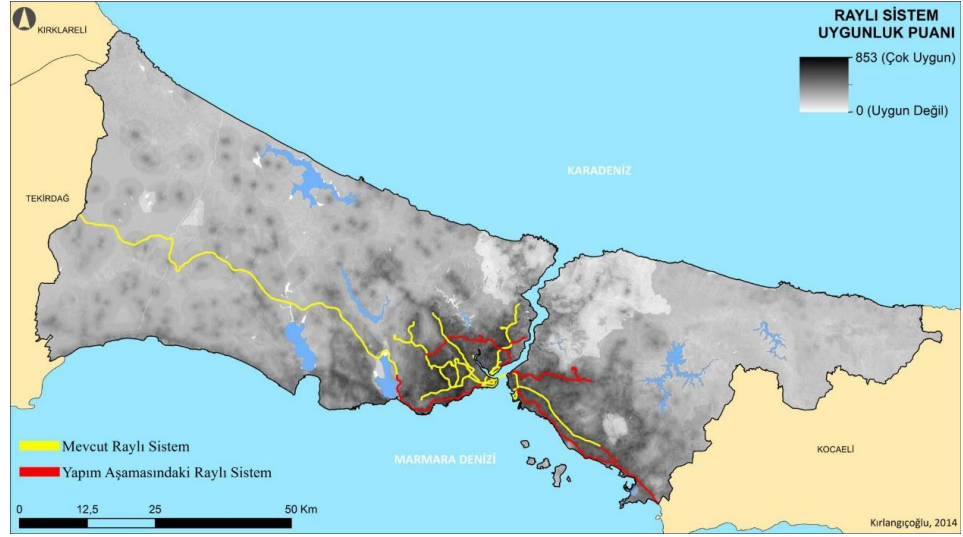
“ArcGIS yazılımındaki Raster Calculator aracı yardımıyla 12 faktöre ait haritaların üst üste konularak toplanması gerekmektedir. Bu sayede aynı koordinattaki pikseller üst üste gelecek ve her pikselin 12 faktörden aldığı ayrı ayrı puanlar toplanarak tek bir toplam puanı halinde o piksele işlenecektir. Bu yöntemle İstanbul genelindeki bütün pikseller ayrı ayrı puanlarını alacak ve yaklaşık puan alan bölgeler birbirleriyle aynı gruba dâhil olacaklardır. En yüksek puanı alan pikseller gruplanacak ve böylece raylı sistem güzergâhı için en uygun bölgeler tespit edilmiş olacaktır”

ifadeleri yer almaktadır. Bu aşamadan sonra “Raylı Sistem Güzergâh Öneri Haritasının Oluşturulması” aşamasına geçilmiş ve “Raylı Sistem Güzergâh Tasarımında Öncelik Verilmesi Gereken Bölgeler” haritası verilerek çalışmanın hedefi olan harita Şekil 4.17’deki biçimde oluşturulmuştur [Kırlangıçoğlu, 2016].



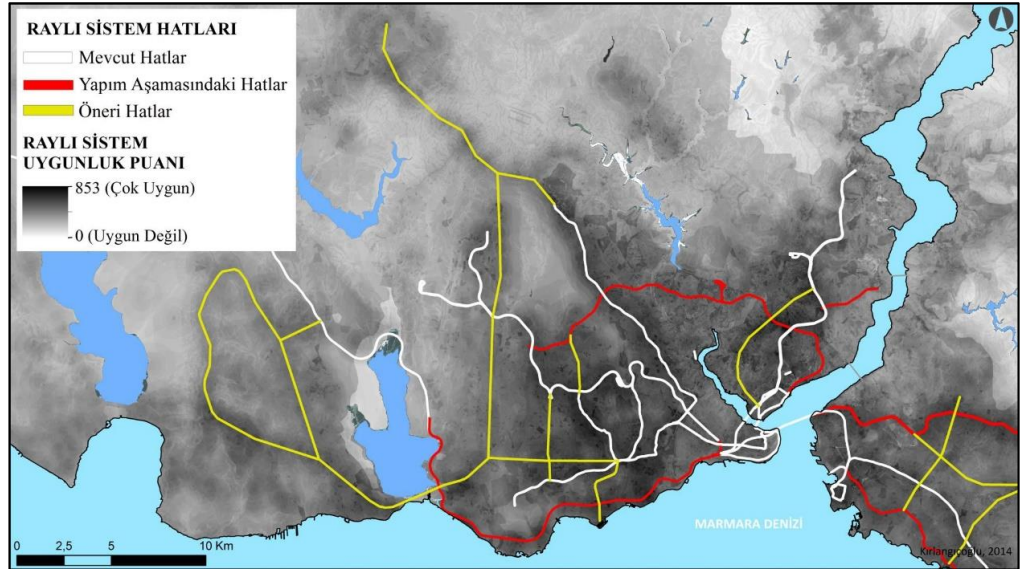
Şekil 4.17: İstanbul bölgesi raylı sistem güzergâh tasarımında öncelik verilmesi gereken alanlar.

Bu sonuç haritasını sunulduktan sonra, çalışmanın yapıldığı 2014 yılına ait “Mevcut Raylı Sistem” ve “Yapım Aşamasındaki Raylı Sistem” güzergâhları bu haritanın üzerine eklenerek (Şekil 4.18) aradaki entegrasyon düzeyi incelenmiştir. Daha sonrasında bu uyuşma yorumlanarak bu tez çalışmasında yapılan analizlerin uygulama seviyesinde ne derece doğru sonuçlara ulaşabildiği desteklenmeye çalışılmıştır [Kırlangıçoğlu, 2016].

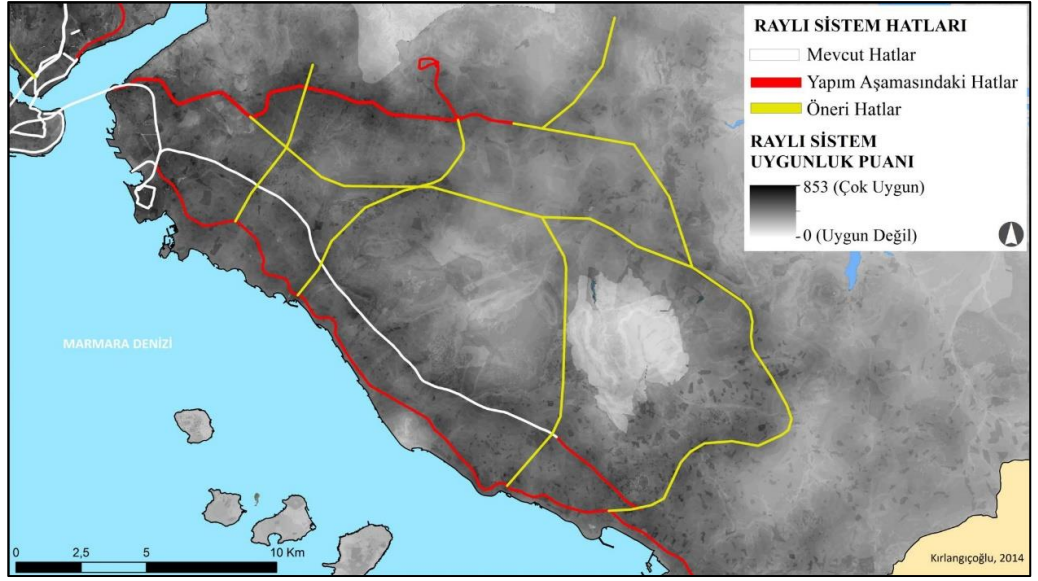


Şekil 4.18: İstanbul bölgesi mevcut olan ve inşa halindeki raylı sistemlerin sonuç haritası ile entegre edilmesi.

Son aşamada ise, bu ulaşılan haritalar neticesinde İstanbul kentinden bundan sonra yapılması gereken raylı sistem projeleri için, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20 ile Avrupa ve Anadolu ayrı ayrı olmak üzere öneri haritalar oluşturulmuştur [Kırılangoğlu, 2016].



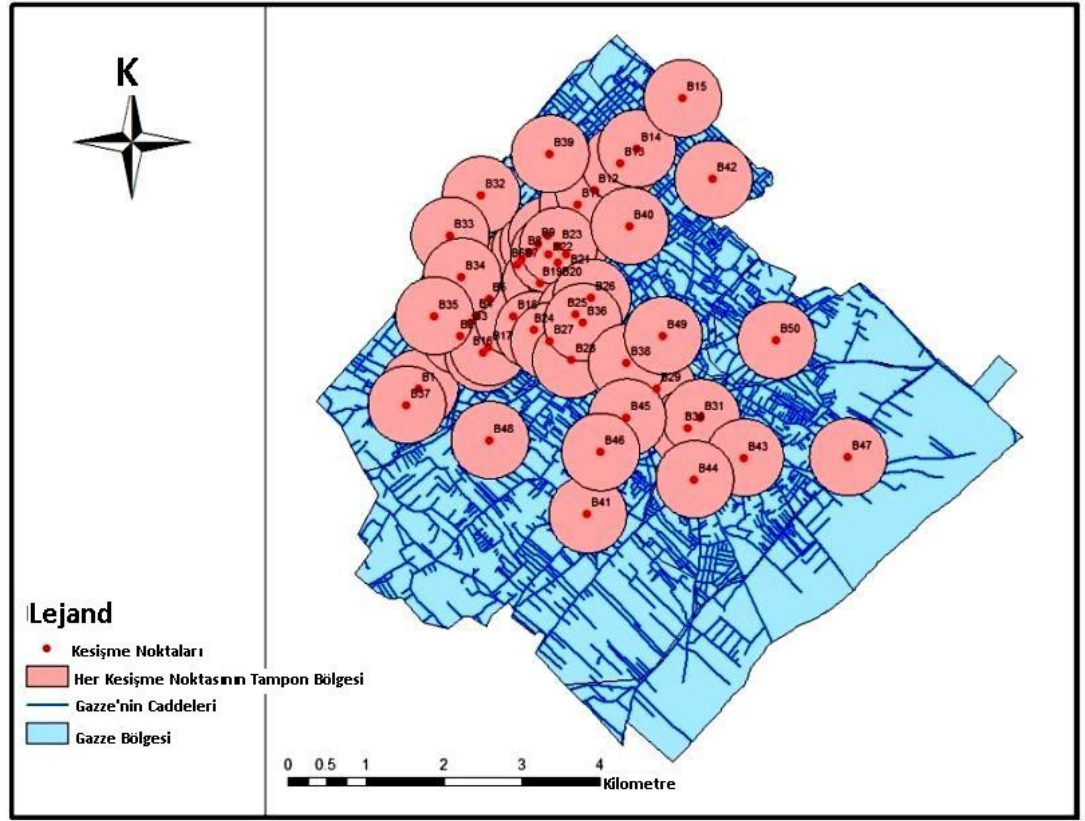
Şekil 4.19: İstanbul Avrupa yakası- sonuç haritasına göre raylı sistem önerilebilecek alanlar.



Şekil 4.20: İstanbul Anadolu yakası- sonuç haritasına göre raylı sistem önerilebilecek alanlar.

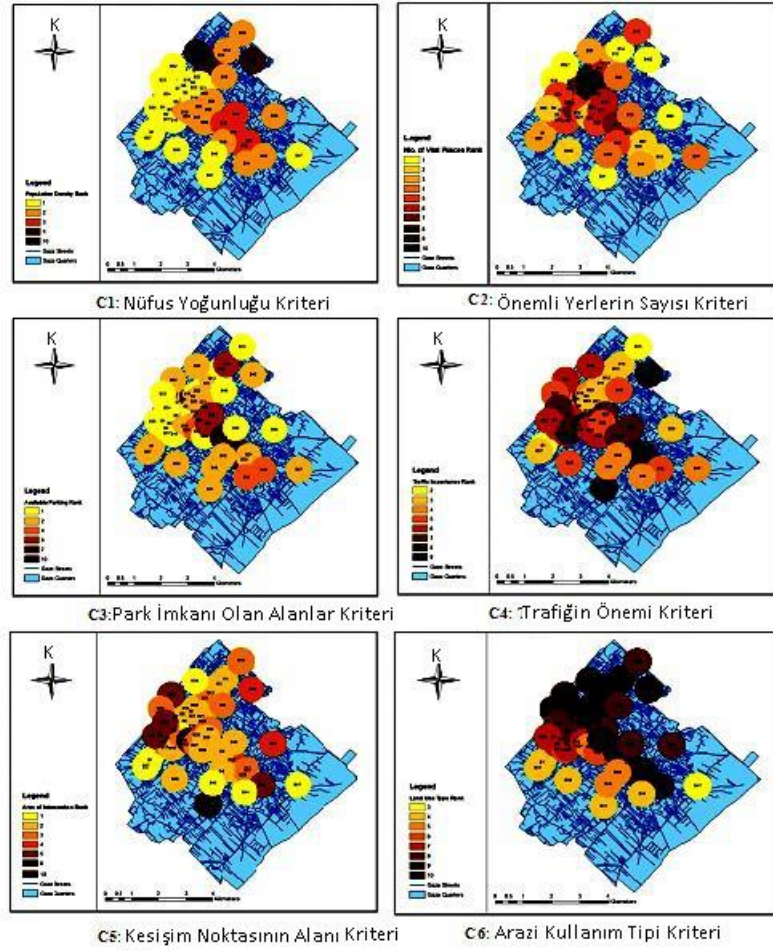
El-Hallaq ve El-Yazory'nin "Metro Route Site Selection in Gaza City Using GIS and Spatial Multi Criteria Evaluation" isimli makalesi Gazze Şehri'ndeki Metro bölgesi güzergâhının seçilmesi için bir vaka çalışmasının değerlendirilmesini içermektedir [El-Hallaq and El-Yazory, 2017]. Gazze Şehri'ndeki elli büyük kesişme noktası, her bir kesişme noktasının 500m yakınındaki alanlar raylı sistem istasyonları için aday bölgeler olarak seçilmiştir. Metro hatlarının en iyi istasyonlarını seçmek için kullanılan ölçütler nüfus yoğunluğu, önemli yerler, uygun park yerleri, kavşak alanları, kesişme noktalarındaki trafik ve arazi kullanımıdır.

Planlanan metro projesinin coğrafi alanı (network sistemi) poligon haritası "Tampon Bölgeler" ile verilmiştir ve Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Her tampon bölgenin o kesişim noktası için gerekli tüm önemli tesisleri içeren bir alan olduğu göz önüne alınarak toplamda 50 tampon bölge oluşturulmuştur [El-Hallaq and El-Yazory, 2017]. Tampon bölgesi toplamlarının alanının, Gazze mahallelerinin toplam alanına eşit olarak değerlendirilmesi gerektiği düşünülmüştür. Böylece, 500 m tampon yarıçapının bu alana uygun olduğu hesaplanmıştır. Tampon alanların nitelikleri, hayati yerler, nüfus, arazi kullanımı ve trafik verisi gibi birçok bilgi içeren metrekare cinsindeki geometrik alandır [El-Hallaq and El-Yazory, 2017].



Şekil 4.21: Gazze bölgesindeki her kesişme noktasının 500m yarıçapı uzaklığındaki tampon alanı.

Çalışmanın devam eden kısmında 6 değerlendirme ölçütü için de kodlama yapılmıştır. Buna göre C1= Nüfus Yoğunluğu, C2= Önemli Yerlerin Sayısı, C3= Park İmkânı Olan Alanlar, C4= Trafikğin Önemi, C5= Kesişim Noktasının Alanı ve C6= Arazi Kullanım ölçütü olarak belirlenmiştir. Devam eden kısımda ise bu ölçütler Şekil 4.22 ile haritalara dökülmüştür. Haritalarda açıktan koyuya doğru giden bir renk geçişi vardır. Bu renklerin oluşmasını sağlayan puanlama sisteminde de her bir ölçütün özel haritasında en düşük öneme sahip alanlar 1 puan (en açık renk) ve en yüksek öneme sahip alanlar 10 puan (en koyu renk) verilerek renklendirme yapılmıştır [El-Hallaq and El-Yazory, 2017].



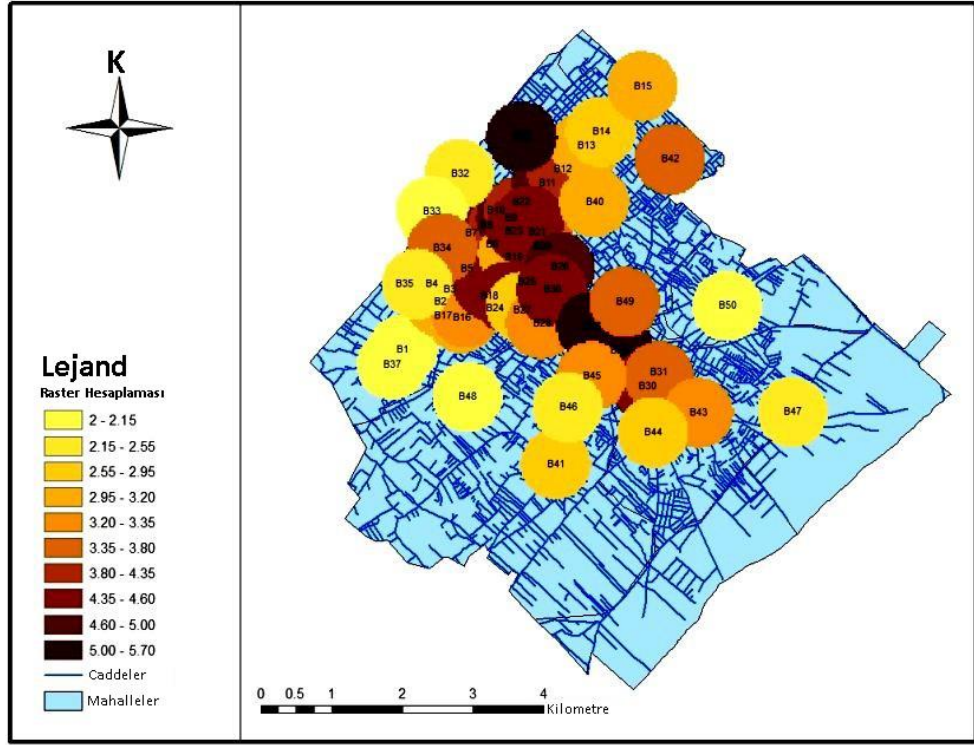
Şekil 4.22: Gazze bölgesindeki her ölçüt için puanlama haritaları.

Şekil 4.22'deki haritalandırmalar oluşturulduktan sonra bu haritaların bir araya getirilip CBS uygulaması yardımı ile kompozit sonuç haritasının çıkarılması aşamasına geçilmiştir. Bu uygulama için her bir ölçüte belirli bir ağırlık verip haritalandırmasındaki puanlamaları o ağırlık ile çarparak sonuç haritasına geçirilmesi gerekmektedir. Verilen ölçütlerin her biri, yol mühendisliği ve ulaşım sistemlerinde uzman kişiler tarafından onaylanmış olan bir ağırlığa sahiptir. Tablo 4.16 ile ölçütlerin ağırlıklandırma sonuçları verilmiştir [El-Hallaq and El-Yazory, 2017].

Tablo 4.16: Gazze bölgesindeki tüm ölçüt ağırlıkları.

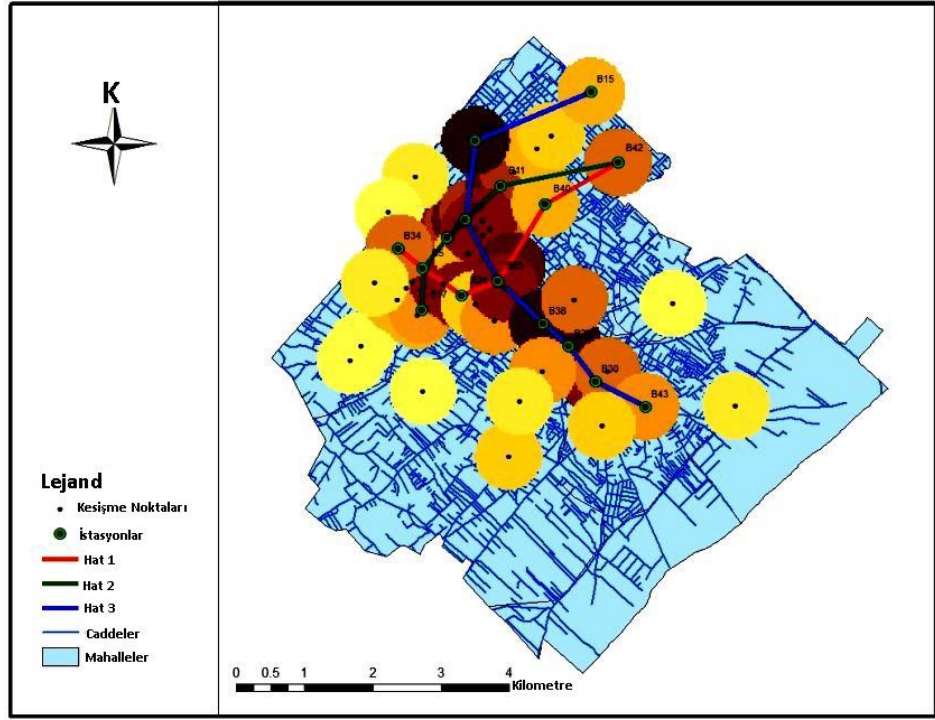
	Ölçüt	Ağırlık (Toplam= 1)
C1	Nüfus Yoğunluğu	0,3
C2	Önemli Yerlerin Sayısı	0,3
C3	Park İmkânı Olan Alanlar	0,15
C4	Trafiğin Önemi	0,1
C5	Kesişim Noktasının Alanı	0,1
C6	Arazi Kullanımı	0,05

Her kesişme noktasındaki her bir tampon alanı, bir bileşik uygunluk skoruna sahiptir; burada düşük dereceli tampon, en kötü durumu (açık renkli tampon) ve yüksek dereceli tampon en iyi durumu (koyu renkli tampon) ifade etmektedir [El-Hallaq and El-Yazory, 2017]. Metro hatlarının en iyi istasyonlarının seçimi, Şekil 4.23'te gösterildiği gibi her kesişme noktası tamponunun tüm kompozit uygunluk puanlarının haritasına göre yapılabilecektir [El-Hallaq and El-Yazory, 2017].



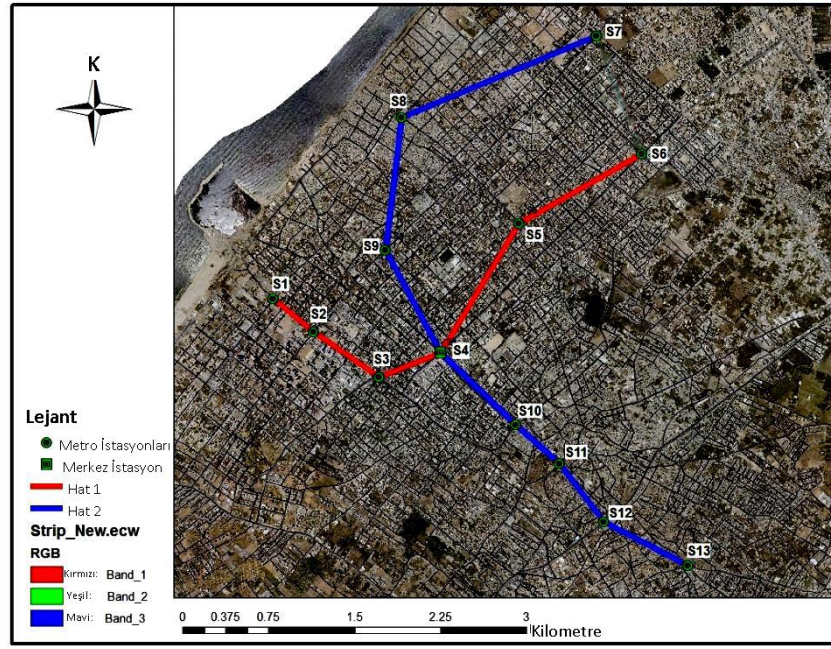
Şekil 4.23: Gazze bölgesindeki her tampon bölgenin kompozit uygunluk haritası puanları.

En iyi Metro hattı rotalarını çizmek için, istasyonlar arasındaki mesafeyi uluslararası standartlara uygun olarak dikkate alan bir metro hattı için, yüksek puana sahip en iyi tampon alanlar tespit edilmiştir. En koyu renkli tampon bölgesi olan kesişme noktalarının birleştirilmesi sonucunda Şekil 4.24'te görülen güzergâhlar ortaya çıkmıştır [El-Hallaq and El-Yazory, 2017].



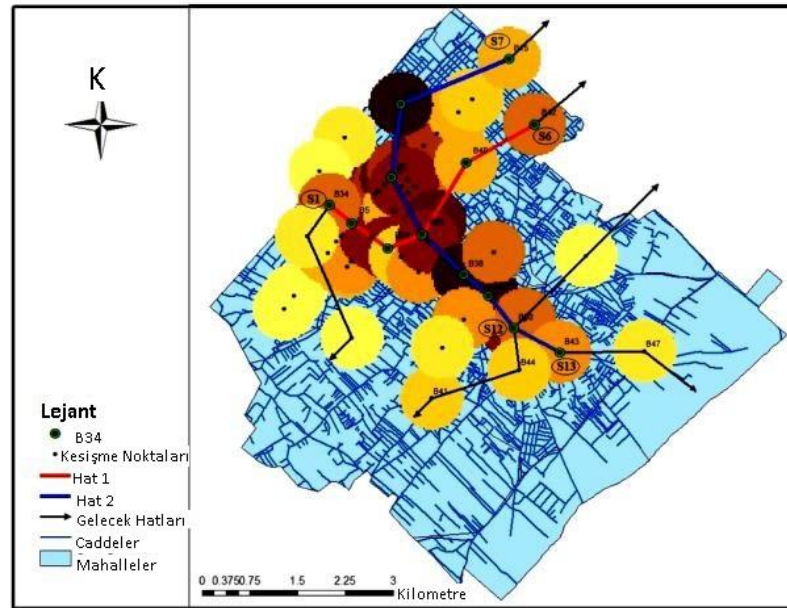
Şekil 4.24: Gazze bölgesindeki üç öneri metro hattı.

Hat 2 (kırmızı renk) ve Hat 3'ün (yeşil renk) birbirlerine çok benzer güzergâhlar olması nedeniyle ve her ikisi de aynı başlangıç ve hedef noktalarına sahip oldukları için bunlardan birinin seçilmesi gerekmektedir. Çalışmada elde edilen ölçütlerin yanında toprak türü ve yer altı suyu seviyesi de bölgedeki önemli etkenler olabileceğine vurgu yapılmaktadır [El-Hallaq and El-Yazory, 2017]. Bu iki etken göz önüne alındığında Hat 2'nin Hat 3'e göre daha tercih edilebilir olduğu açıklanmıştır ve son durumda önerilen metro hatlarının haritası Şekil 4.25 ile verilmiştir [El-Hallaq and El-Yazory, 2017].



Şekil 4.25: Gazze bölgesindeki önerilen iki metro hattı.

Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen öneri metro hatlarının gelecekte önemli ve yoğun nüfuslu olabilecek yeni yerlere ulaşması için genişletilebileceği ve bu genişletme haritasının Şekil 4.26'deki gibi olabileceği söylenmiştir [El-Hallaq and El-Yazory, 2017].



Şekil 4.26: Gazze bölgesindeki önerilen metro ağının gelecekteki uzantıları.

Literatür incelemesi sonucunda raylı sistem güzergâh planlaması konusunda uluslararası alanda çok sayıda çalışma olduğu tespit edilmiştir. Ulusal alanda ise bu konudaki çalışmalar oldukça azdır. Bu alanda ülkemizdeki en önemli çalışmalardan biri olarak Cem Kırlangıçoğlu'nun 2014 yılındaki doktora tezi gösterilebilir [Kırlangıçoğlu, 2014]. Bu doktora tezindeki metodoloji ve seçilen ölçütlerde, bu yüksek lisans tezinde de kaynak olarak kullanılan çok sayıda çalışmadan yararlanılmıştır.

İncelenen literatür kent içi raylı sistem güzergâh planlama konusundadır. Bu konuda kullanılan ölçütler kentler arası raylı sistem güzergâh planlama için kullanılan ölçütlerle karıştırılmamalıdır. Yukarıda verilen çalışmalardan sadece Djenaliev'e ait olan çalışma kentler ve ülkeler arası raylı sistem güzergâh planlama ile ilgilenmektedir [Djenaliev, 2007]. Diğerleri kent içi raylı sistem güzergâh planlama konusunda yapılan çalışmalardır. Bu çalışmanın literatür araştırmaları arasında verilme sebebi metodolojisi ve CBS kullanımıdır.

Araştırmalar sonucu literatürde çoğunlukla benzer ölçütlerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Ölçüt ağırlıklandırmaları sonucu yüksek ağırlık (önem seviyesi) alan ölçütlerin yine benzer olduğu belirlenmiştir. Bu ölçütlerden en sık kullanılanlar bu tez çalışması kapsamında da kullanılmıştır.

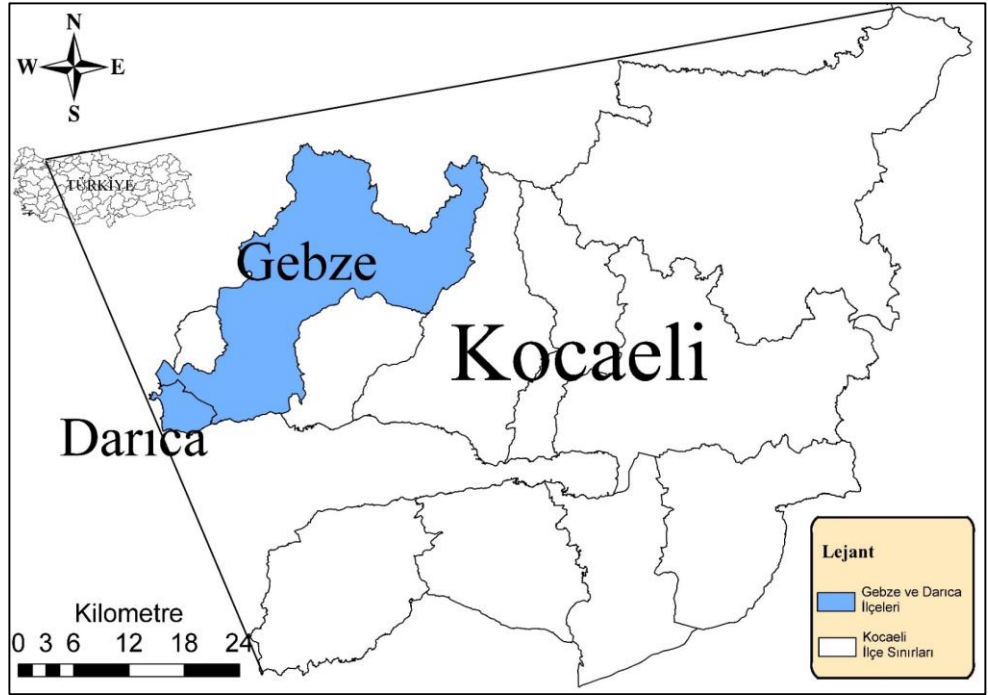
Literatür araştırmasının sonucu olarak kent içi raylı sistem güzergâh planlama konusundaki çalışmalarda en çok yer verilen üç ölçütün, güzergâhın geçeceği bölgelerin nüfus yoğunluğu, çalışma alanlarına yakınlığı ve projenin maliyeti olduğu tespit edilmiştir. Bunlardan sonra en sık kullanılan beş ölçüt ise güzergâhın bağlanabilirliği ve diğer ulaşım sistemlerinin kesişme noktalarına yakınlığı, geçeceği bölgelerin mülkiyet sahipliği ve arazi değerleri, sit alanlarına olan uzaklığı, güzergâh üzerindeki insanların yolculuk üretimleri ve hattın sebep olacağı gürültü kirliliğidir. Önceki ölçütlere göre daha az kullanılsa da güzergâh üzerindeki arazi kullanımları, güzergâhın çeşitli arazi kullanımlarına yakınlığı, fay hatlarına olan yakınlığı jeolojik, litolojik yapıya ve toprağa uygunluğu da önem arz eden diğer ölçütlerdir. Yer verilme sıklığı az olan ölçütler ise; var olan yolları diğer sistemlerle paylaşabilme olanağı, güzergâh üzerindeki mevcut otoparklar ve kapasiteleri, güzergâhın geçeceği bölgedeki trafiğin mevcut durumu, güzergâhın toplu konut alanlarına yakınlığı, geçeceği bölgedeki topoğrafya, güzergâhın ekolojik yapıya uygunluğu, güzergâh üzerindeki halkın gelir durumu, hattın maksimum verimliliği sağlayabilmesi, güzergâhın uzunluğu, güzergâh boyunca toplam seyahat süresi, yolcu için güzergâhın estetiği ve

güzergâh üzerindeki bölgelerdeki Transit Odaklı Gelişim (TOG) potansiyelidir. Kent içi raylı sistem güzergâh planlaması konusunda yalnızca birer makalede bahsedilen ölçütler ise; güzergâh üzerinde bulunan boş parsel oranı, güzergâhın hidrolojik yapıya uygunluğu ve güzergâhın diğer mühendislik karakteristiklerine uygunluğudur.

5. ÇALIŞMA ALANI VE METODOLOJİ

5.1. Çalışma Alanı

Bu yüksek lisans tezinde çalışma alanı olarak Gebze ve Darıca İlçeleri seçilmiştir. Gebze ve Darıca'nın, İstanbul ve Kocaeli gibi ulusal yatırımların büyük bölümünü oluşturan iki şehir arasında köprü görevi görüyor olması, bu iki ilçenin önemini gün geçtikçe arttırmaktadır. İlçelerin sadece doğudaki Kocaeli ve batıdaki İstanbul ile değil, ayrıca birbirleri ile ve kuzey kesimi ile olan bütünleşmenin sağlanabilmesi için bölgeye verimli ve yeterli kapasitede bir raylı sistem gerekmektedir. Bu sisteme duyulan gereğin diğer nedeni de bölgedeki yükselen kişisel araç sahipliği neticesi ortaya çıkan ulaşım problemleridir.



Şekil 5.1: Çalışma alanı

5.1.1. Gebze İlçesi

Kocaeli'nin ilçesi olan ve İzmit Körfezi'nin kuzey kesiminde yer alan Gebze, Marmara bölgesinin 382.166 kişilik nüfusu ile en büyük ikinci ilçesi olup Türkiye sanayisinin %15'ini barındırmaktadır [Web 18, 2020].

Gebze'nin sınır komşusu ve ülkemizin en büyük kenti olan İstanbul'da yaşanan tüm gelişmelerin, Gebze ilçesini doğrudan etkilediğini söylemek yanlış olmayacaktır. Nüfusun 10 milyonun üstüne çıkması İstanbul'un problemlerini artırmış, sanayi tesisleri için İstanbul sınırlarının dışında yer bulunmasına ihtiyaç duyulmuştur. İstanbul'dan ayrılan sanayi kuruluşlarının çoğunun 1970'li yıllardan itibaren İstanbul'a en yakın ilçe (45 km) olan Gebze'ye yöneldiği gözlemlenmiştir [Salihoğlu vd., 2015]. O senelerde henüz ilçenin nüfusunun 47.000 dolaylarında olması, arazi fiyatlarının düşük ve arazinin kolay bulunur olması ile sağlanan yatırım teşvikleri Gebze'yi sanayinin tercih odağı yapmıştır.

Yüksek sanayi gücü ile ilgi çeken Gebze idari yönden Kocaeli'ye bağlıysa da, İstanbul'a konum olarak daha yakın olması sebebiyle İstanbul ile ticari ve sosyal ilişkileri oldukça gelişmiştir [Web 18, 2020].

Devamlı artan bir nüfus grafiği olan Gebze, 2008 senesinde çıkarılan "Büyükşehir Belediyesi Sınırları İçerisinde İlçe Kurulması ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun" isimli kanunla, daha önce kendisine bağlı olan Çayırova, Darıca ve Dilovası'nın birer ilçe olması neticesinde yüz ölçümü ve nüfusunun bir bölümünü kaybetmiştir [ResGaz 1, 2008]. Bu dört ilçe beraber düşünüldüğünde, İstanbul'un sınırında Kocaeli'nin merkezinden (İzmit) daha yüksek yoğunluklu, toplam kent nüfusunun %38,7'sinin barındığı bir kentsel alanın oluştuğu görülebilir [Salihoğlu vd., 2015]. Bu dört ilçedeki yerleşik nüfus 742.000 kişiye ulaşmıştır, bu bölgedeki günlük nüfus yaklaşık 2 milyon kişiye yükselmektedir [KBB, 2019d]. Bu veri bölgeye olan ulaşım talebini açıkça gözler önüne sermektedir. Gebze'nin yıllara göre nüfus grafiği Tablo 5.1'deki gibidir [Web 19, 2020].

Tablo 5.1: Gebze ilçesi 1965-2019 yılları arası nüfusları.

Yıl	1965	1970	1975	1980	1985	1990	2000	2007	2008	2009
Toplam	33.674	46.981	70.044	115.450	167.272	257.076	421.932	521.291	288.569	297.029
Şehir	9.269	18.773	33.110	58.318	92.592	159.116	253.487	310.815	274.271	282.444
Yıl	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Toplam	305.557	314.122	319.307	329.195	338.412	350.115	357.743	368.278	371.000	382.166
Şehir	290.868	299.047	304.283	329.195	338.412	350.115	357.743	368.278	371.000	382.166

İlçedeki önemli kurum ve kuruluşlar arasında Gebze Organize Sanayi Bölgesi (GOSB), Bilişim Vadisi, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), TÜBİTAK Türkiye Sanayi Sevk ve İdare Enstitüsü (TÜSSİDE), Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ), TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) gösterilmektedir [Albayrak vd., 2015].

Gebze ulaşım konusunda ise yakınlarında limanlar ve havalimanı (Sabiha Gökçen) bulundurmasının dışında D-100, E-80 ve O-7 (Kuzey Marmara Otoyolu) karayollarıyla ve Marmaray Raylı Sistemi'yle İstanbul kentiyle bütünleşmiş durumdadır [Salihoğlu vd., 2015].

Günümüzde Gebze kara, deniz ve demiryolları için adeta bir kesişme noktası olarak karşımıza çıkmaktadır. Bölgenin mekânsal gelişiminde sanayi yatırımları ve ulaşım sistemleri etkili olmuştur. Gebze'nin coğrafi yeri, ulaşım koridorları üzerinde yer alması, birçok farklı ulaşım moduna sahip olması ve sanayi faaliyetlerinin artarak devam etmesi gelecek dönemlerde çalışma alanındaki mekânsal değişimin süreceği şeklinde yorumlanabilir [Döker ve Aydoğdu, 2019]. İlçe batı (İstanbul yönü) ve doğu yönündeki (Kocaeli yönü) ulaşım için Marmaray-Tren istasyonuna sahip olsa da (Gebze İstasyonu) komşu ilçelerine ve güney-kuzey doğrultusuna olan ulaşım imkanları yalnızca otobüs ve minibüs hatları ile kısıtlıdır.

5.1.2. Darıca Bölgesi

Darıca, Gebze ilçesinin güney batısında, Kocaeli kentinin Güney kıyı şeridi üzerinde yer almaktadır. İlçe merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 28 metredir. [Web 20, 2020].

Tarım alanlarının imara açılması ve endüstrinin bu alanda hızla gelişmesi ile 1970’li yılların başına kadar halkın en büyük geçim kaynağı olan tarım ve hayvancılık Darıca’da yerini sanayi ve turizme bırakmıştır. 16 km kıyı şeridinde sahip sahili, Faruk Yalçın Hayvanat Bahçesi ve Botanik Parkı, tarihi evleri ile Darıca çevreden ziyaretçi çeken bir ilçedir [Web 20, 2020].

Darıca, İstanbul’dan sonra ülkemizin en yüksek nüfus yoğunluğuna sahip kenti olan Kocaeli’nin en yüksek nüfus yoğunluğuna sahip ilçesidir (km²’ye 6000 kişi-TÜİK 2013). Darıca’nın yıllara göre nüfus grafiği Tablo 5.2’deki gibidir [Web 19, 2020]. Darıca’nın 2019 nüfusu 207.345’tir. Darıca’ya gelen yerli turistlerle beraber Darıca nüfusunun yaz aylarında 500.000’e ulaştığı tahmin edilmektedir [Darıca Belediyesi, 2019].

Tablo 5.2: Darıca ilçesi 2008-2019 yılları arası nüfusları.

Yıl	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Toplam (Şehir)	135.966	140.302	146.896	152.542	157.304	164.385
Yıl	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Toplam (Şehir)	173.139	182.710	191.123	198.153	201.468	207.345

Darıca’ya tren (Marmaray Darıca İstasyonu), otobüs, minibüs ve feribot ile ulaşım imkanı bulunmaktadır. İlçe merkezi Sabiha Gökçen Havalimanı’na 10 km mesafededir. Darıca’dan doğu ve batı istikametlerine D-100 karayolu ile ulaşmak mümkündür. Darıca’ya ulaşmak için İstanbul yönünden Marmaray tren hattı kullanılabilir. Çevre ilçelerden Darıca’ya ulaşım için çoklukla otobüs hatları kullanılmaktadır [Darıca Belediyesi, 2019].

Şehir içi ulaşımındaki özel araç artışına bağlı olarak Kocaeli geneli karayolu sistemi artık araç yükünü kaldıramamakta ve önemli seviyede trafik sıkışıklıkları yaşanmaktadır [KBB, 2018c]. Gebze ve Darıca da, İstanbul gibi büyük bir metropole yakınlığı, endüstriye dayalı gelişen yapısı, hızlı nüfus artışı neticesinde türlü ulaşım problemleri yaşayan ve gelecekte de daha çok yaşaması beklenen ilçelerdir [KBB, 2019c]. İlçelerin sahip olduğu doğu-batı aksındaki ulaşım bağlantılarına ek olarak, kuzeyde çalışıp güneyde yaşayan ve güneyde çalışıp kuzeyde yaşayanların ulaşım ihtiyacının tam olarak karşılanabilmesi adına kuzey-güney bağlantısının da ulaşım ağına dahil edilmesi gerektiği ifade edilmektedir [KBB, 2018a]. Şu anki demografik yapıları ve gelecekteki nüfus projeksiyonları, bu ilçelerin her doğrultuda bütünleşmiş ve yüksek kapasiteli ulaşım sistemine ihtiyaçları olacağını göstermektedir. İstanbul ve Kocaeli kentlerinin de 21.yy'ın başından beri adeta sınırlarının yok olması, ülkemizin ticari hacminin ve vergi yükünün büyük kısmının bu bölgenin öncülüğünde olduğu düşünüldüğünde bölgeye modern ulaşım sistemi yatırımlarının yapılması bir gerekliliktir.

5.1.3. Gebze- Darıca Hafif Raylı Sistem Hattı (HRS)

Gebze ve Darıca'nın, İstanbul ve Kocaeli gibi ülke yatırımlarının büyük kısmını oluşturan iki kent arasında köprü vazifesi görmesi bu ilçelerin değerini her geçen gün arttırmaktadır. 2020'li yıllar itibari ile ilçelerin yalnız doğularındaki Kocaeli ve batılarındaki İstanbul ile değil, hem birbirleri ile hem de bölgedeki kent gelişiminin sonucu olarak kuzey ile olan etkileşimlerinin sağlanabilmesi için bölgeye verimli ve yeterli kapasitede bir raylı sistem gerekmektedir. Bu sisteme duyulan ihtiyacın diğer en önemli sebebi de bölgedeki artan özel araç sahipliği sonucu oluşan ulaşım sorunlarıdır [Web 21, 2020],

Kocaeli Ulaşım Ana Planı ve Nazım İmar Plânı Kararları amaç ve stratejilerinin Kocaeli Büyükşehir Belediyesi tarafından değerlendirilmesi neticesinde Gebze ve Darıca ilçelerinde bu amaç ve stratejiler doğrultusunda bir raylı sistemin inşa edilmesine karar verilmiştir [KBB, 2018c]. Yapılan değerlendirmeler sonucu hattın bir HRS olarak inşa edilmesine karar verilmiştir. “Gebze-Darıca HRS ve İzmit Tramvay Uzatma Hatları Uygulamaya Esas Kesin Projelerinin Hazırlanması Mühendislik Hizmetleri Alım İşİ” kapsamında bu hat tasarlanmıştır. Kocaeli 2035 Yılı Ulaşım

Master Planı çerçevesinde projesi hazırlanan hattın tamamen sürücüsüz olarak işletilmesi planlanmaktadır [Web 22, 2020], [KBB, 2018a].

Proje Darıca Sahili'ndeki Dudayev Parkı'ndan başlayıp Gebze Organize Sanayi Bölgesi'nin ortasından geçerek depo alanına varmaktadır. İlk durak ismi olarak “Darıca Sahil” ve son durak ismi olarak da “OSB” (Organize Sanayi Bölgesi) seçilmiştir [KBB, 2018a].

2035 olarak belirlenmiş olan projeksiyon yılında, bölgede yapılan 8 milyon yolculuğun 2,3 milyonunun toplu taşıma ile yapılacağı öngörülmüştür. Bu projenin, İstanbul-Kocaeli yerleşim ve çalışma alanları bağlantıları doğrultusunda, en çok yolculuk üretimi gerçekleştiren çalışma alanlarına sahip olan OSB'lere, halihazırda zaten sahip oldukları doğu-batı güzergâhındaki ulaşım aksları ile entegrasyonu sağlayacak bir kuzey-güney bağlantısı sağlanması gerektiği hedefi ile ortaya çıktığı belirlenmiştir [KBB, 2018a]. Şekil 5.2'de Nisan 2017 yılında yayınlanan Proje Tanıtım Raporundaki güzergâh gösterilmiştir [Arup, 2017].



Şekil 5.2: Gebze-Darıca HRS hattı güzergâhı.

Kısaca hat, Darıca Sahil’den başlayarak Gebze Kent Merkezi istikametinde İstasyon Caddesi’nin altından yol almakta, Gebze ve Darıca’da konut alanlarına ilçe merkezlerine, endüstri bölgelerine ve önemli odak noktalarına ulaşımı sağlayarak GOSB’a ulaşmaktadır. Gebze–Darıca HRS Hattı için uygulanacak olan ulaşım rotası Darıca ve Gebze ilçeleri içindeki önemli sosyal ve ekonomik noktaları içine almaktadır [Arup, 2017].

Projenin;

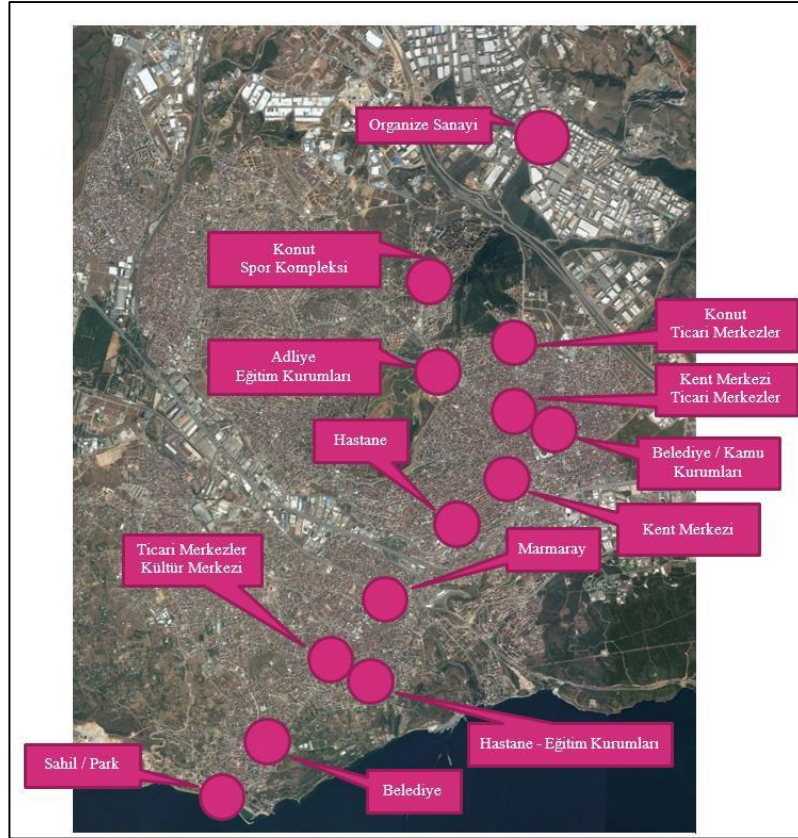
- İlçe merkezleri
- Kamu kurumları
- Ticaret alanları
- Eğitim kurumları
- Rekreatif kullanım alanları
- Konut alanları
- Sanayi alanları

gibi çok çeşitli arazi kullanımları ile hattın mekânla etkileşimini sağlayacak önemli bölgelere hizmet etmesi düşünülmüştür[Arup, 2017].

Hattın geçtiği bölgenin CORİNE (Çevresel Bilginin Koordinasyonu) verisine bakıldığında hat, Darıca Sahil bölgesinden başlayarak Gebze OSB’ye kadar sırayla şu Arazi Örtüsü Sınıfları’ndan geçmektedir:

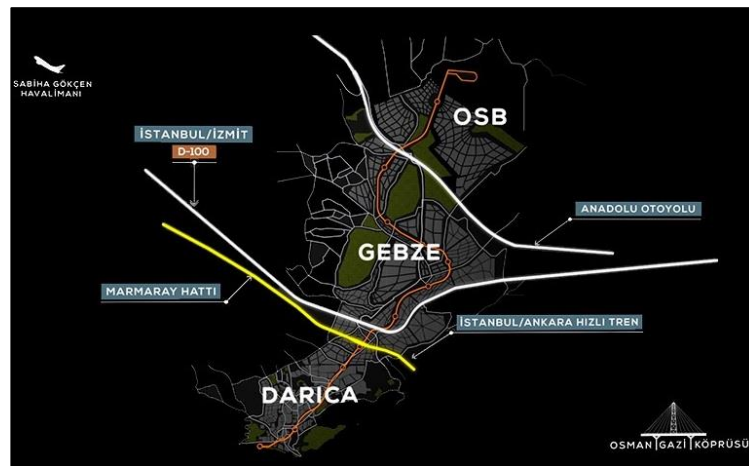
- Karışık tarım alanları
- Kesikli/Süreksiz şehir yapısı
- Sürekli şehir yapısı
- Kesikli/Süreksiz şehir yapısı
- Endüstriyel ve Ticari Birimler [Web 23, 2020].

Şekil 5.3’te hattın güzergâhında bulunan önemli noktalar gösterilmiştir [Arup, 2017].



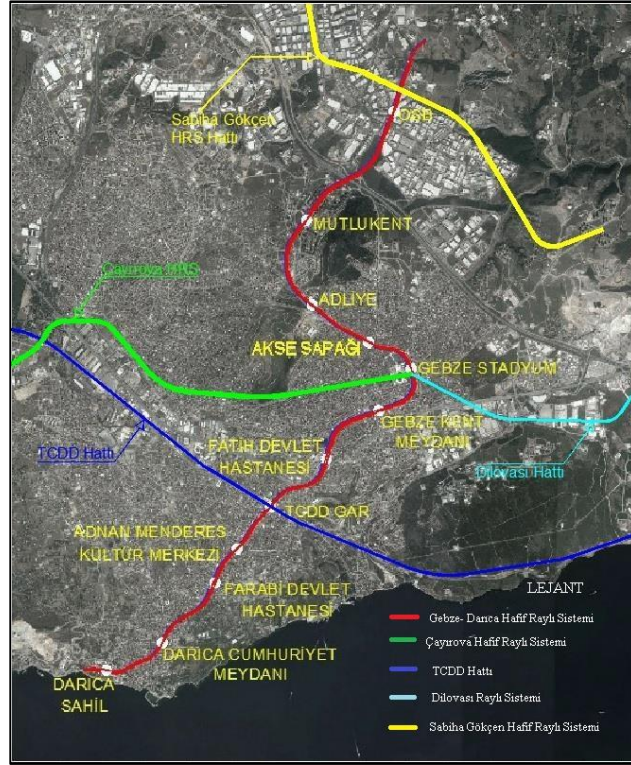
Şekil 5.3: Darıca ve Gebze ilçeleri önemli merkezleri.

Şekil 5.4'te hattın karayolları (D-100 ve şekilde Anadolu Otoyolu ismiyle verilen E-80), demiryolu (Marmaray ve Hızlı Tren) ve havayolu (Sabiha Gökçen H.L) ile olan etkileşimi gösterilmiştir [KBB, 2019d].



Şekil 5.4: Gebze-Darıca HRS hattının karayolu, demiryolu ve havayolu ile etkileşimi.

Şekil 5.5'te hattın planlanan diğer raylı sistemlerle olan etkileşimi gösterilmiştir [Arup, 2017]. Şekil 5.5'te mavi renk ile gösterilen TCDD hattı şu an işletmemdedir. Fakat yeşil, sarı, turkuaz renkleri ile ifade edilen diğer hatlar ve Gebze-Darica HRS Hattı için de kırmızı rengiyle ifade edilen 4 hat henüz planlama ve inşaat aşamasındadır [Arup, 2017].



Şekil 5.5: Gebze-Darica HRS hattının bölgedeki raylı sistemler tamamlandığı durumdaki diğer hatlarla etkileşimi.

Hat, 2017 yılında İzmit Merkez'de Akçaray Tramvay Sistemi'ni işletmeye açmış olan Kocaeli kentinin ilk HRS projesidir [Coşkun, 2018].

Hat ile ilgili önemli notlar şu şekildedir:

- Hat 15,6 Km uzunluğundadır. 12 adet istasyondan ve 1 depo sahası planlanmıştır [KBB, 2019c].
- Bu istasyonların 1'i hemzemin, 3'ü tünel, 8'i ise aç kapa istasyon şeklinde inşa edilecektir [Arup, 2017]. Hattın yalnızca Darica Sahil'den başlayan kısmı yer üstünde gitmekte ve bir istasyon sonra yer altına inerek tamamen yer altından devam etmektedir.

- Gebze-Darica Metro Hattı'nda 1080 yolcu kapasiteli, 4 araçtan oluşan sürücüsüz metro kullanılacaktır. Sürücüsüz metro sinyalizasyon ekipmanları sayesinde 90 saniye aralıklarla sefer yapmaya elverişli olacaktır. GOSB'tan Darica Sahil'e yolculuğun toplam 19 dakika sürmesi planlanmaktadır [KBB, 2019c].
- Son zamanlarda çok fazla yaygınlaşan Park et Devam et sistemini işletecek şekilde TCDD Gar istasyonu ile Adliye istasyonunda en az 500 araçlık otoparklar öngörülmektedir [Coşkun, 2018].
- Hattın 2023 sonu itibariyle işletmeye alınması beklenmektedir [KBB, 2019c].
- Açılış yılında günlük çift yönde yaklaşık 115 bin yolcu taşınması beklenmektedir [Coşkun, 2018].
- Hat projeksiyon yılına gelinip tam kapasite ile çalıştığı takdirde tek yönde bir saat için 32.000 yolcu taşıma kapasitesine ulaşabilecektir [KBB, 2019d].

Henüz inşa halinde olan, 2022 sonunda GOSB-Gebze arasındaki kısmın tamamlanmasıyla Marmaray ile entegre olacak projenin 2023 sonunda tamamının işletmeye alınması planlanmıştır [Arup, 2017], [KBB, 2018a]. Projenin 2035 olarak belirlenmiş olan projeksiyon senesinde, bölgede yapılacak olan 8 milyon yolculuğun 2,3 milyonunun toplu ulaşım ile olacağı ve 55 bin aracın trafikten çekileceği tahmin edilmiştir [Arup, 2017], [KBB, 2018a].

5.2. Araştırma Yöntemi

Bu çalışmanın **amacı**; Kocaeli kentindeki Gebze-Darica ilçeleri arasındaki hafif raylı sistem güzergâhı için önerilerin belirlenmesi ve bu önerilerin planlanmış olan güzergâh ile uyumunun değerlendirilmesidir.

Çalışmada farklı metodolojik araç ailelerini entegre eden bir yaklaşımla yöntem geliştirilmiştir. Çok Ölçütlü Karar Alma yöntemlerinden analitik hiyerarşi yaklaşımı ile en iyi en kötü yaklaşımı ve coğrafi bilgi sistemleri yöntemlerinden mekânsal analiz araçları ile yeniden sınıflandırma ve harita cebri araçlarını bir arada kullanan bir yöntem geliştirilmiştir.

5.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Araçları

Uygulamaları bilgisayar tabanlı olan Coğrafi Bilgi Sistemleri, koordinatlandırılmış coğrafi verinin oluşturulup hazır hale getirilmesi, yönetimi (depolama, bakımı ve güncellenmesi), işleme, sorgulama ve analizi, sunumu ve rapor edilme işlemlerinin yapılabildiği yazılım, donanım ve metotların birleşimidir [Jones, 2013], [Özdemir, 2017]. Bütün bilgilerin sisteme işlenmesinin ve yönetilmesinin sonrasında ortaya çıkan netice ise çalışma alanına ait idari, fiziki, ekonomik ve beşeri coğrafya özelliklerinin anlaşılmasını sağlayan veridir. Bu veri, bu tez kapsamında karar verme sürecinin en değerli altlığıni teşkil edecektir. CBS'nin güçlü bir yönü, sayısal bilgilerin yanında sözel bilgileri de coğrafi mekâna entegre edebilme olanağı sunmasıdır [Miller and Shaw, 2001]. Böylece; iş gücü, popülasyon, eğitim durumları, hane halkı sayıları, özel araç sahipliği oranları, başlangıç noktasından hedef noktasına (O-D) olan yolculuk sayıları gibi sözel bilgiler ait oldukları coğrafi alanlar ile ilişkilendirilebilir ve görselleştirilebilir[Lo and Yeung, 2007].

CBS'deki mekânsal analiz [Mitchell, 1999] araçlarıyla, veriyle konuma dayalı karar vermek, verinin değerlendirilmesi ve görselleştirilmesi mümkün kılınmaktadır [Longley et al., 2015], [Turoğlu, 2016]. Mekânsal analiz işlemlerinde, mevcut girdilerden faydalanılarak, yeni veri setleri üretilir. CBS ile yapılabilecek bazı analizler aşağıda verilmiştir:

- Bindirme Analizleri (Overlay),
- Yakınlık Analizleri (Proximity),
- Tampon Bölgeleme (Buffer),
- Harita Cebri (Map Algebra),
- Yoğunluk Analizleri (Density Analysis),
- Adres Haritalama (Address Geocoding),
- Dinamik Bölümler (Dynamic Segmentation),
- En Kısa Yol ve Altyapı Yönetim Analizleri (Network Analysis),
- 3D Arazi Modelleme, Bakı, Eğim, Yükseklik, Görünürlük vb. Yüzey Analizleri [Chang, 2019], [Web 15, 2020].

5.2.1.2. Yakınlık Analizleri (Proximity Analysis)

Yakınlık analizi, seçilen bir nokta ile komşuları arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan bir CBS aracıdır.

Hem vektör hem de raster veri kümelerine uygulanan Yakınlık Analizi araçları, veri kümeleri arasındaki mesafeleri incelemek için tasarlanmıştır ve CBS [Burrough and McDonnell, 2015] için kritik sorulardan biri olan “Neyin yakınında ne var?” başlığında incelenebilen şunlara benzer sorulara yanıt verir: “Bir detay bir diğer detaydan ne kadar uzaktadır?”; “Bir yangından korunma bölgesinde kaç tane ev vardır?”; “Teslimat ücretimize göre en uygun maliyetli teslimat alanı nedir?” ve “Gebze’den Darıca’ya arabayla gitmek ne kadar sürer?”. Bindirme araçlarıyla (Erase, Identity, Intersect, Spatial Join, Symmetrical Difference, Union, Update) birlikte, Yakınlık Analizi araç kutusunda bulunan araçlar (Buffer, Create Thiessen Polygons, Generate Near Table, Graphic Buffer, Multiple Ring Buffer, Near, Point Distance, Polygon Neighbors) CBS uzmanlarının bir projede kullandığı araçların çoğunu oluşturmaktadır [Web 17, 2020], [Zeiler, 1999].

5.2.1.3. Harita Cebri (Map Algebra)

Harita Cebri, Spatial Analyst araç kutusunun cebirsel açıdan önemli araçlarından birisidir. İçeriğindeki operatör ve fonksiyonların kullanımı ile verinin hassas analizlerinin yapılmasına imkan sağlar. Coğrafi analiz yapmak için tüm Spatial Analyst araçlarını, operatörlerini ve işlevlerinin yürütülebileceği basit ve güçlü bir sistemdir. Harita Cebri Python'a entegre edildiğinden, Python, ArcPy ve uzantılarının (modüller, sınıflar, fonksiyonlar ve özellikler) tüm işlevleri kullanıcıya sunulmuştur [Web 24, 2020].

Harita Cebri, matematiksel bir dilde ifadeler oluşturarak mekansal analiz yapmanın bir aracıdır. Harita Cebri alt başlığında bulunan tek araç olan Raster Hesaplayıcı (Raster Calculator) ile, bir raster veri kümesi çıkaran matematiksel ifadeler kolayca oluşturulabilir ve çalıştırılabilir [Web 25, 2020]. Konuşma, bilgisayar programlama veya diğer iletişim araçları için kullanılan tüm dillerde olduğu gibi Harita Cebri aracının da belirli kuralları vardır [Web 26, 2020]. Harita Cebri'nin çok yönlülüğü, coğrafi analizi gerçekleştirme kolaylığı ve gücünde yatmaktadır.

5.2.1.3.1. Raster Hesaplayıcı (Raster Calculator)

Raster Hesaplayıcı, hesap makinesi benzeri bir arayüzde Python yazılımı kullanarak bir Harita Cebiri işlemi oluşturur ve çalıştırır. [Web 27, 2020]. Raster Hesaplayıcı aracının hesap makinesi benzeri bir arayüzü vardır.

Raster Hesaplayıcı'nın çalışma mantığı, girilen raster veriler üzerindeki sayısal değerleri kullanarak, matematiksel işlemler yardımıyla (Örn: toplama, çıkarma vs.) yeni raster değerlemeleri yapılmasını sağlamak üzerine kurulmuştur.

Raster Hesaplayıcı, aşağıdaki avantajları sunmak için özel olarak tasarlanmıştır:

- Tek satırlı cebirsel işlemleri uygular.
- Spatial Analyst operatörlerini tek bir işlemde üç veya daha fazla girişe uygular.
- Tek bir ifadede birden çok Mekansal Analist (Spatial Analyst) aracı kullanır.
- Bir işlemde birden çok araç veya operatör kullanıldığında, bu denklemin performansı genellikle operatörlerin veya araçların her birini ayrı ayrı kullanılmasından daha hızlı olacaktır. Raster Hesaplayıcı bunlara imkan tanır. [Web 28, 2020].

Bu araç ile, raster katmanı oluşturan piksellere sayısal değerler atanarak bir algoritma oluşturulabilir veya önceden var olan bir veya daha fazla raster katmanından yeni bir raster türetilir [Pucha-Cofrep et al., 2018]. Basit bir örnek Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Sol tarafta yer alan raster katmanın tüm piksellerini 5 ile çarpmaktan oluşan basit bir işlem görülmektedir. Sonuç ise sağ tarafta görülen yeni bir raster katmanında saklanmaktadır [Pucha-Cofrep et al., 2018].

2	2	3	4	$\times 5 =$	10	10	15	20
3	5	2	5		15	25	10	25
5	3	3	2		25	15	15	10
2	4	5	3		10	20	25	15

Şekil 5.6: Temel bir raster calculator işlemi.

Bu çalışmada kullanılan ve ilerleyen kısımda açıklanan analitik hiyerarşi süreci ile en iyi en kötü yöntemleri kapsamında oluşturulan tüm ölçüt haritalarının bir araya getirilmesinde (raster toplama işlemi ile) Raster Calculator kullanılmıştır.

5.2.2. Çok Ölçütlü Karar Alma (ÇÖKA) Yöntemleri

Çok Ölçütlü Karar Alma yöntemleri, çok sayıda faktörün bir konu üzerinde etkili olduğu ve birden fazla hedefin varlığındaki karar verme süreçlerini ele alır. Bir karar vericinin kimi zaman ölçülebilir, ölçülemez ya da çoklu ölçütler arasından seçim yapması gerekmektedir [Saaty, 1990a]. Hedefler genellikle çelişkilidir ve bu nedenle çözüm büyük ölçüde karar vericinin tercihlerine bağlıdır. Tam da bu noktada bir uzlaşma gerekmektedir. Çoğu durumda sürece, farklı karar verici grupları katılmaktadır. Her grup, anlayış ve karşılıklı uzlaşma çerçevesinde çözülmesi gereken farklı ölçütler ve bakış açıları ortaya koymaktadır. ÇÖKA'nın uygulamaları arasında raylı sistem güzergâh planlamasına ek olarak entegre üretim sistemleri, enerji planlaması, teknoloji yatırımlarının değerlendirilmesi, su ve tarım yönetimi vb. alanlar bulunmaktadır [Pohekar and Ramachandran, 2004]. Farklı uygulama alanlarındaki rolü, özellikle yeni yöntemler geliştikçe ve eski yöntemler iyileştikçe önemli ölçüde artmıştır [Velasquez and Hester, 2013].

ÇÖKA, karar verme konusunda verimli sonuçlar veren bir sistemidir. Bir takım karar ölçütleri altında karar problemleriyle ilgilenen genel yöneylem araştırma modelleri sınıfının bir dalıdır. Onlarca ÇÖKA yönteminin olmasının yanında en sık kullanılanlar; ELECTRE, TOPSIS, PROMETHEE, SAW, Analitik Ağ Süreci, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve En İyi- En Kötü Yöntemi (BWM)'dir. Bu metotlar, öncelik veya ağırlık temelli, mesafe temelli ve karma temelli yöntemler olarak sınıflandırılıp çeşitli problemlere uygulanabilmektedir. Her yöntemin kendine özgü özellikleri vardır ve yöntemler de deterministik (tam olarak belirli), stokastik (raslantısal, değişken) ve fuzzy (bulanık, belirsiz) yöntemler olarak sınıflandırılabilir [Pohekar and Ramachandran, 2004]. Bu yöntemlerin kombinasyonları ile de uygulamalar yapılabilir. Karar vericilerin sayısına bağlı olarak, yöntemler tek veya grup karar verme yöntemleri olarak sınıflandırılabilir. ÇÖKA, Belirsizlik Altında Karar Verme (Choice Under Uncertainty) ve Karar Destek Sistemleri (Decision Support System) ile birlikte önde gelen karar verme tekniklerindendir [Gal et al., 1999].

5.2.2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci

Analitik Hiyerarşi Süreci insanların karmaşık kararlarla başa çıkmalarına yardımcı olmak için yapılandırılmış ÇÖKA tekniklerinin en sık kullanılanlarından. AHS önemli kararlar vermeye yarayan oran ölçeklerini (1'den 9'a) oluşturmak için somut ve soyut faktörlerin İkili Karşılaştırmaları'nı (Pairwise Comprasion) kullanmaktadır [Saaty, 1990b].

AHS, katılımcıların ikili bir karşılaştırma yöntemi kullanarak kilit faktörleri değerlendirmesini sağlar. Bu yaklaşımla, katılımcı her seferinde yalnızca iki faktörü özel olarak karşılaştırır. Bu yöntem ile örneğin hangi faktörün raylı sistem güzergâh belirlemede daha önemli olduğuna karar verir ve tüm faktörlerin ayrı ayrı tercih ağırlıklarını belirler. Karşılaştırmalar nesnel ölçümler kullanılarak veya katılımcıların görece öznel değerlendirmelerine dayanarak yapılmaktadır. Uzman grupları veya topluluk üyeleri de bu karşılaştırma aşamasında tartışabilir, bilgilerini depolayabilir ve tercih ettikleri ölçüt için değerlendirme yapabilirler [Brunner et al., 2011].

Problemler ister sade ister kompleks olsun, bu metot tüm durumlarda anlamlı sonuçlar verebilmektedir. AHS çok çeşitli konularda çok farklı hedeflerde uzun senelerdir kullanılmaktadır. Kent içi ulaşım ve koridor belirlemede bu kadar geniş alanda kullanımı ise son senelerde meydana gelmiştir. En değerli özelliği ; farklı perspektiflerden ortaya atılmış olan ölçütleri bir arada karşılaştırmalı olarak değerlendirerek son kullanıcıya optimum sonuçları verebilmesidir [Saaty, 1990a].

AHS ile probleme ilişkin temel amaç, ölçütler, özellikler, alt ölçütler ve alternatifler arasındaki bağlantı hiyerarşik bir yapıda kurgulanır. Bu sürecin en önemli özelliklerinden birisi objektif ve subjektif düşüncelerin karar alma sürecine aynı anda dahil olmasıdır. AHS ile veri, tecrübe, bireyin objektif fikirleri ve öngörülleri belirli bir mantık süzgecinde birleştirilir. AHS ile insanların, nasıl karar vermeleri gerektiği hususunda bir metot kullanmayı dayatmak yerine, kendi karar verme mekanizmalarını keşfedip bu biçimde daha doğru kararlar vermeleri hedeflenmektedir [Akad ve Gedizlioğlu, 2007], [Saaty, 1990a].

AHS'nin ilk basamağı "Hiyerarşinin Oluşturulması"dır. AHS'de problemlerin çözümünde hiyerarşik bir yapının tercih edilmesi, o problemin çeşitli seviyelere ayrılması manasına gelmektedir. Hiyerarşik yapıyı elde etme işlemi modelleme olarak isimlendirilmektedir.

AHS'nin ikinci basamağı İkili Karşılaştırmalar Matrisi'dir. AHS'nin temeli ikili karşılaştırmalara dayanmaktadır. Bu aşamada tüm ölçütlerin, karar verecek kişi veya kişiler tarafından birbirleri ile ikili karşılaştırmaları yapılır. Thomas L. Saaty, karar ölçütlerinin ve karar seçeneklerinin ikili karşılaştırmasında kullanılan bir ölçek geliştirmiştir. Bu ölçekte karar ölçütleri ikili karşılaştırmalarla 1 ile 9 arasında bir ölçeğe göre Tablo 5.3'teki şekilde değerlendirilir [Saaty, 1990a, 2008].

Tablo 5.3: Saaty'nin ortaya attığı ikili karşılaştırma için kullanılan ölçekler.

İkili Karşılaştırmalarda Kullanılan 1-9 Ölçeği	
Rakamsal Değerler	Karşılığı (Önem Düzeyi)
1	Eşit
3	Daha Önemli
5	Kuvvetli Derecede Önemli
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli
9	Aşırı Derecede Önemli
2, 4, 6, 8	Ara Değerler

AHS ile yapılacak olan değerlendirme çoğu zaman bir anket yöntemi ile yapılır. Bu anket ilgili alanda uzman kişilere yollanır ve kendi bilgileri çerçevesinde bu ölçütleri ikili olarak karşılaştırmaları istenir. Bu anket için kullanılacak ölçütlerin belirlenmesinin ardından tüm bu ölçütler Tablo 5.4'teki örnekte olduğu gibi yazılır ve uzman grubuna yollanır. Uzmanlar Tablo 5.3'teki rakamlarla ifade edilen ölçekleri kullanarak ölçütlerin birbirlerine göre ne seviyede önemli olduğunu belirler. Tablo 5.4'teki örnekteki benzer tablolar oluşturulurken önemli bir nokta her bir ölçütün, kendisi dışındaki diğer tüm ölçütlerle karşılaştırıldığından emin olunması gerektiğidir [Banai, 2006].

Tablo 5.4: Literatürde kullanılan AHS ikili karşılaştırma tablolarına ilişkin bir örnek.

İş Merkezlerine Doğru Olan Hareketlilik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Genel Halkın Hareketliliği
İş Merkezlerine Doğru Olan Hareketlilik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Düşük Gelirlinin Hareketliliği
İş Merkezlerine Doğru Olan Hareketlilik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	İşletme Maliyeti
İş Merkezlerine Doğru Olan Hareketlilik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Toplu Taşıma Odaklı Gelişme (TOG)
İş Merkezlerine Doğru Olan Hareketlilik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sermaye Maliyeti
İş Merkezlerine Doğru Olan Hareketlilik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Paylaşılmış Yol Haklarını Kullanma
İş Merkezlerine Doğru Olan Hareketlilik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Trafik Sıkışıklığı
İş Merkezlerine Doğru Olan Hareketlilik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Hassas Alanlara Etki

Bu aşama ile beraber anket sonuçları araştırmacıya ulaştıktan sonra uzmanların ölçüt ağırlıklandırmaları tamamlanmış olmaktadır. Bu adımdan sonra araştırmacının yapması gereken AHS uygulamasını kullanabileceği bir yazılım (Örn: Expert Choice, Spice Logic vb.) yardımı ile uzmanlardan gelen anket sonuçlarını değerlendirmeye tabi tutarak nihai bir ölçüt ağırlıklandırmasına ulaşmaktır.

AHS tutarsızlığa izin vermektedir. Çünkü insanlar, özellikle maddi olmayan varlıklar söz konusu iken ölçüm değerlerini kesin olarak tahmin edemedikleri için, kullanılan ölçeği (1’den 9’a) biliyor bile olsalar karar verirken tutarsız olurlar [Saaty and Ozdemir, 2003]. Örnek olarak uzmandan üç ölçütü karşılaştırmasını istediğimizi düşünelim (A, B ve C ölçütleri);

- Uzman A ile B’nin karşılaştırması için; “A, B’den 3 kat önemlidir” ve
- B ile C’nin karşılaştırması için; “B, C’den 2 kat önemlidir”

seçimlerini yapmış olsun. Bu durumda, son karşılaştırması için uzmandan matematiksel olarak “A, C’den 6 kat önemlidir” seçimini yapmasını beklemeliyiz. Fakat uzman bunun dışında herhangi bir seçim yaparsa tutarsızlık 0 değerinin üzerine çıkacaktır. Uzman bu seçimden ne derece uzaklaşırsa o seviyede tutarsız yanıt vermiş olur. Eğer uzman “C, A’dan 6 kat önemlidir” benzeri hatalı bir yanıt verecek olursa da

bu yanıtta tutarsızlığı 1 değerine yaklaşmış olur. AHS tekniği, her bir uzmanın karşılaştırma anketi sonucu için 0,1'e eşit veya daha küçük düzeyde tutarsızlığı kabul etmektedir [Raharjo and Endah, 2007], [Saaty, 1990a].

Yazılıma işlenen anket sonuçları için sistemin hesapladığı, her uzmana özel olan Tutarlılık Oranı-TO (Consistency Ratio-CR) kontrol edilir. Her bir uzmana özel Tutarlılık Oranı'nın oluşması haricinde tüm uzman ağırlıklarının birleştirilmesi sonrası bir de Genel Tutarlılık Oranı ortaya çıkmaktadır.

TO, çalışmaya dahil edilen ölçütlerin sayısına bağlı olarak artan matrisin satır ve sütun sayısına bağlıdır. İkili Karşılaştırma Analizi'ne giren ölçüt sayısı 7'yi aştığında, TO'nun Saaty'nin önerdiği 0,1'den [Saaty, 1990a] daha düşük bir değer olarak hesaplanabilmesi pek mümkün değildir [Saaty and Ozdemir, 2003]. Bunun yanında TO örneklem özelliklerine göre de değişkenlik gösterebilmektedir. Bireysel uzman yanıtları için TO 0,10 (uygulama alanları farklılığı ve pratiklik düşünülerek 0,15'e esnetilebilir) ile sınırlandırılırken, aralarında uzman olmayanların da bulunduğu grup yanıtları için TO, Ho ve diğerlerinin önerisine göre 0,20'ye kadar çıkabilmektedir [Ho et al., 2005].

AHS bilgisayar uygulamasının bittiği son aşama ise, tüm uzman ağırlıklandırmalarının ve tutarlılık oranlarının birleştirildiği Kombine Sonuç tablosunun Nihai Ölçüt Ağırlıklandırmaları'na çevrilmesidir. Bu ağırlıklandırma sonuçları Klasik ve Normalize olarak iki şekilde sunulabilmektedir. Klasik ağırlıklandırma tüm ölçüt ağırlıklarının toplamı 1 olacak şekilde kurgulanan bir ağırlıklandırmadır. Normalize ağırlıklandırma ise en yüksek önem değerini alan ölçütün ağırlığı 1'e eşitlendikten sonra kalan ölçütlerin ağırlıklarının da aynı oran ile çarpılması ile kurgulanan bir ağırlık sistemidir.

AHS'de karşılaştırılacak ölçüt sayısının çok fazla olduğu ve anket yapılan kişilerin değerlendirmelerinde tutarsız yanıtlar verdiği durumlarda TO değeri sınırları aşacak seviyeye yükselmektedir. BWM, AHS'nin bu konudaki eksikliklerinin telafi edilebilmesi için kullanılan modern bir metottur.

5.2.2.2. En İyi- En Kötü Yöntemi (Best – Worst Method - BWM)

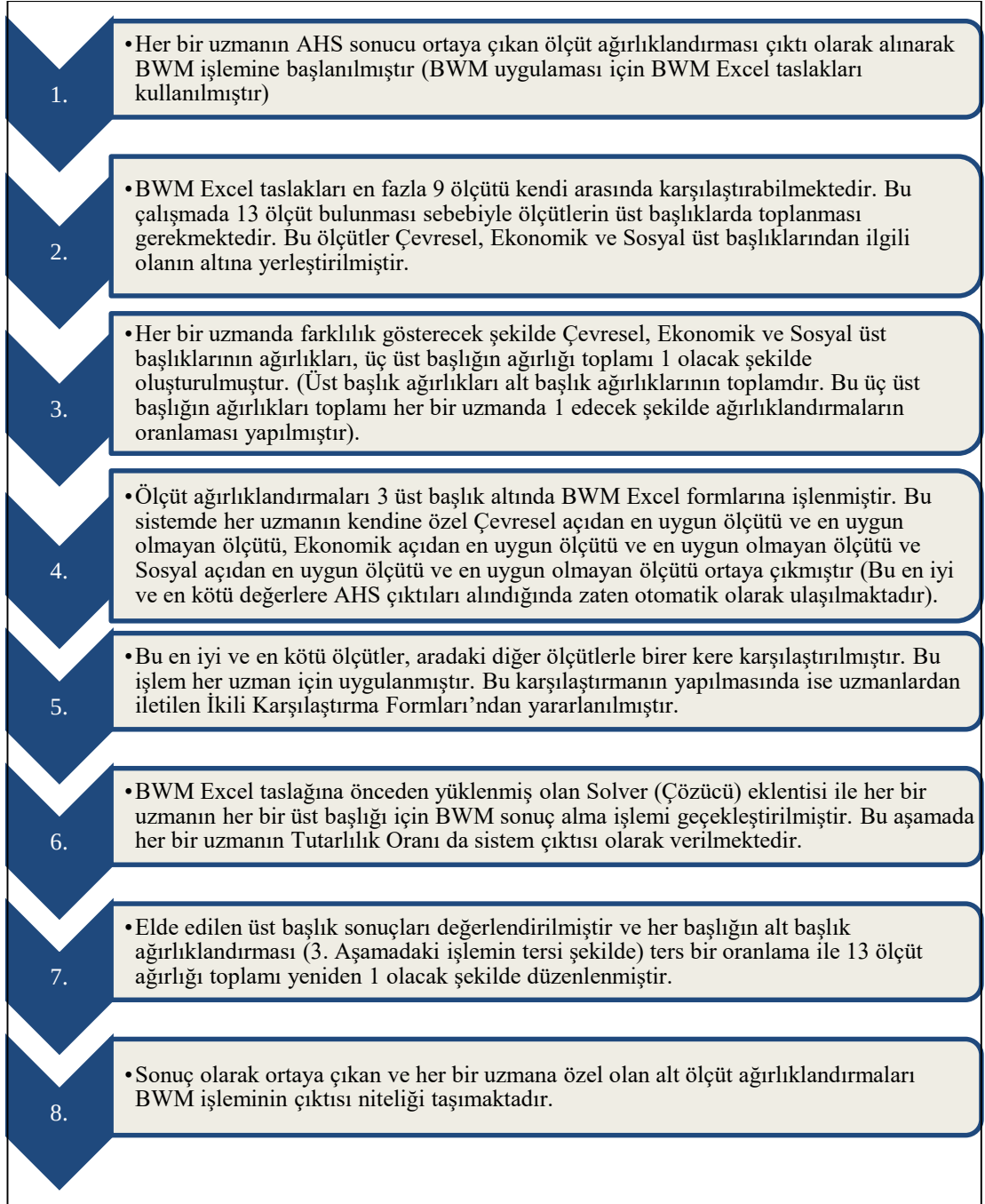
En İyi- En Kötü Yöntemi (Best-Worst Method), ölçüt ağırlıklarını belirlemek için İkili Karşılaştırmaların yalnızca iki değerini aktif olarak kullanan bir ÇÖKA

metodudur [Rezaei, 2015]. Genellikle bilgisayar yazılımı olan Excel'e uyumlu hazır BWM taslakları ile veya özel anket yazılımları ile anket uygulamaları yapılır. Karar verici tarafından ilk olarak, en iyi (örneğin en çok istenen veya en önemli) ve en kötü (örneğin en az istenen veya en az önemli) ölçütler atanır. Ardından sadece en iyi ve en kötü ölçüt diğer ölçütlerle, tercihen 1'den 9'a kadar olan tam sayıları önem farkı katsayıları olarak kullanarak birer birer karşılaştırılır. Daha sonra, ağırlık oranları ve bunlara karşılık gelen karşılaştırmalar arasındaki maksimum mutlak fark en aza indirilecek şekilde ağırlıkları tanımlamak için doğrusal olmayan bir minimax modeli (maksimum değerlerin en düşük olanı) sistem tarafından otomatik olarak kullanılır [Rezaei, 2016]. Minimax problemi birden çok optimal çözümle sonuçlanabilir. Fakat bazı durumlarda karar vericiler birden fazla optimal çözüme sahip olmayı tercih ederken, bazı durumlarda da tek bir çözüme sahip olmayı tercih ederler. BWM'nin amacı iki yönlüdür: İlki kriterlerin nasıl ağırlıklandırılabilceğini ve derecelendirilebileceği gösterilen çoklu optimal çözümler için aralık analizi kullanımını sunmaktır. İkincisi ise aynı felsefeye dayanan ancak tek bir optimum çözüm sağlayan doğrusal bir model sunmaktır [Rezaei, 2016].

Ağırlıklandırmanın tamamlanması, (Excel taslağı kullanıldıysa Veri bölümündeki Çözücü aracının kullanılarak) oranları ifade eden 1'den 9'a kadar olan tam sayıların ölçüt ağırlıklandırmalarına dönüşmesi ile gerçekleşmektedir. Karşılaştırmaların güvenilirliğini kontrol etmek için BWM'de de tıpkı AHS'deki gibi bir tutarlılık oranı mevcuttur [Rezaei, 2015]. Mevcut ÇÖKA yöntemlerine kıyasla BWM'nin göze çarpan özellikleri, karşılaştırma için daha az veriye ihtiyaç duyması ve daha tutarlı karşılaştırmalara olanak sağlamasıdır. Bu da daha güvenilir sonuçlar ürettiği anlamına gelmektedir [Rezaei, 2015].

İkili Karşılaştırma Yöntemleri'ne (PCM) dayanan ÇÖKA metotları esas olarak iki sorunla karşı karşıyadır [Rezaei et al., 2018]. İlk sorun, tam bir ikili karşılaştırma matrisi için yapılması gereken karşılaştırma sayısı nedeniyle, sürecin çok fazla uzamasıdır. İkinci sorun, konsantrasyon veya bilgi eksikliği gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanabilen karşılaştırmalar arasındaki tutarsızlıktır [Forman and Selly, 2001]. Tam bir ikili karşılaştırma matrisi yerine yalnızca iki değeri (en iyi ve en kötü kriter) çıkış noktası olarak alan BWM, tam bir ikili karşılaştırma matrisine kıyasla daha az karşılaştırma gerektirir. Bu da işlemi daha kısa hale getirir ve karşılaştırma çok iyi yapılandırılmış bir şekilde gerçekleştirildiğinden karşılaştırmalar arasındaki tutarlılık da artmış olur.

Bu çalışmada, AHS anketleri direkt olarak uzmanlara iletilmiştir fakat BWM anketleri direkt olarak uzmanlara iletilmemiştir. Bunun yerine uzmanlardan geri alınan AHS anket sonuçları analiz edilerek, çeşitli aşamalar ile BWM tabloları oluşturulmuştur. Bu aşamalar sırayla Şekil 5.7’de görüldüğü şekildedir.



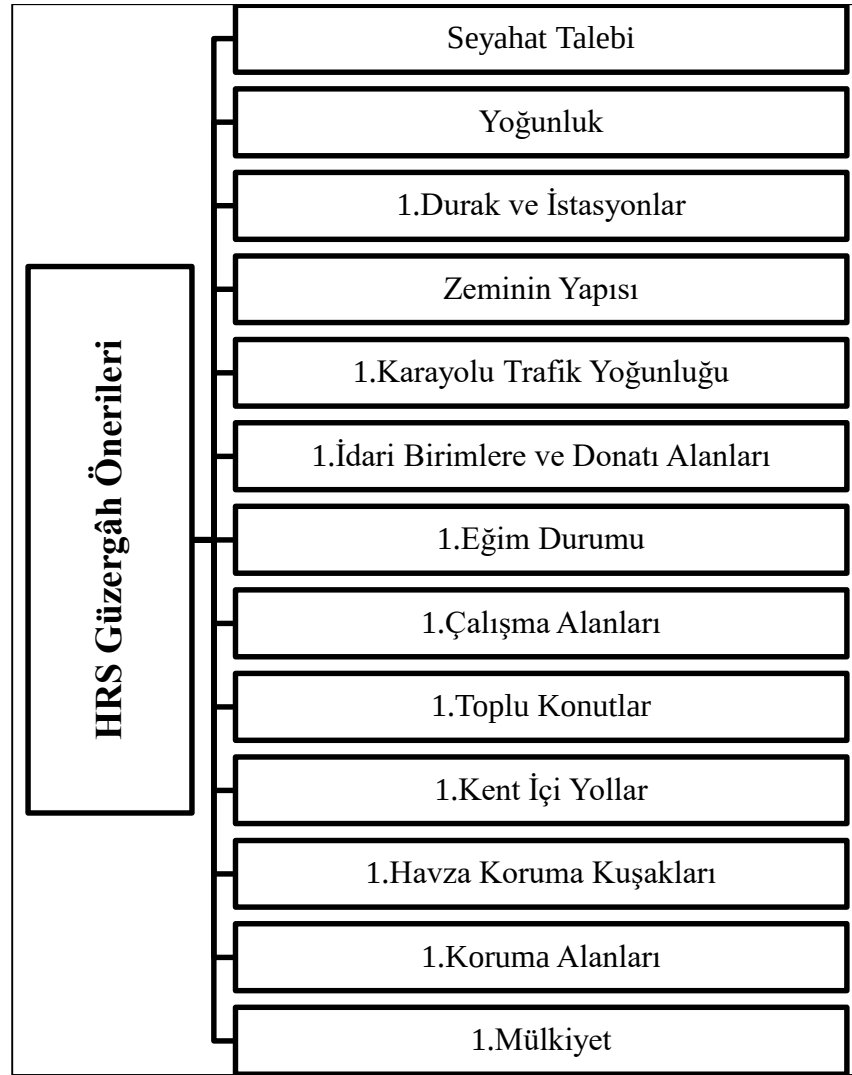
Şekil 5.7: Çalışmada uygulanan BWM’nin akış şeması.

6. Hafif Raylı Sistem Güzergâh Problemine Çok Ölçütlü-CBS Destekli Yaklaşım: Gebze-Darica HRS Hattı Örneği

Bu çalışma ile ülkemiz için giderek önemi artmakta olan raylı sistemler konusunda, sistemin şehirler açısından en önemli bileşeni olan güzergâh belirleme basamağı için çok ölçütlü ve CBS destekli bir modelin test edilmesi hedeflenmektedir. Elde edilmesi planlanan çıktılar, ülkemizde yükselerek devam edeceği görülen raylı sistem yatırımları için karar vericilere nesnel bir altlık kazandırmış olacaktır. Bu bağlamda ulaşmak istenilen sonuç; Kocaeli’de Gebze-Darica ilçeleri arasında öneri olacak raylı sistem etaplarının belirlenmesi ve bu etapların planlanmış olan güzergâh ile entegrasyonunun değerlendirilerek metodun uygunluğunun denenmesidir. HRS güzergâhlarının belirlenmesinde ÇÖKA ile CBS’yi birlikte değerlendiren bir metodun test edilmesi ve sonuçlarının mevcut güzergâh seçimi ile kıyaslanması amaçlanmaktadır.

1.1. Gebze-Darica Bölgesi HRS Güzergâh Tasarım Ölçütleri

Literatürde yer alan kent içi raylı sistem güzergâh belirleme ölçütlerinin incelenmesinin ardından Gebze ve Darica ilçeleri için değerlendirilmesi gereken ölçütler Kocaeli kentinde mekânsal olarak elde edilebilirlikleri ve mekansallaştırılabilme potansiyelleri çerçevesinde belirlenmiştir. Bu ölçütler: İdari Birimlere ve Donatı Alanları, Çalışma Alanları, Toplu Konutlar, Koruma Alanları (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları), Havza Koruma Kuşakları, Eğitim Durumu, Zemin Durumu (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar vb.), Seyahat Talebi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar), Yoğunluk (Nüfus Yoğunluğu), Mülkiyet, Durak ve İstasyonlar (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray ve Vapur İskeleleri), Karayolu Trafik Yoğunluğu ve Kent İçi Yollardır. Bu ölçütler Şekil 6.1’de verilmiştir.

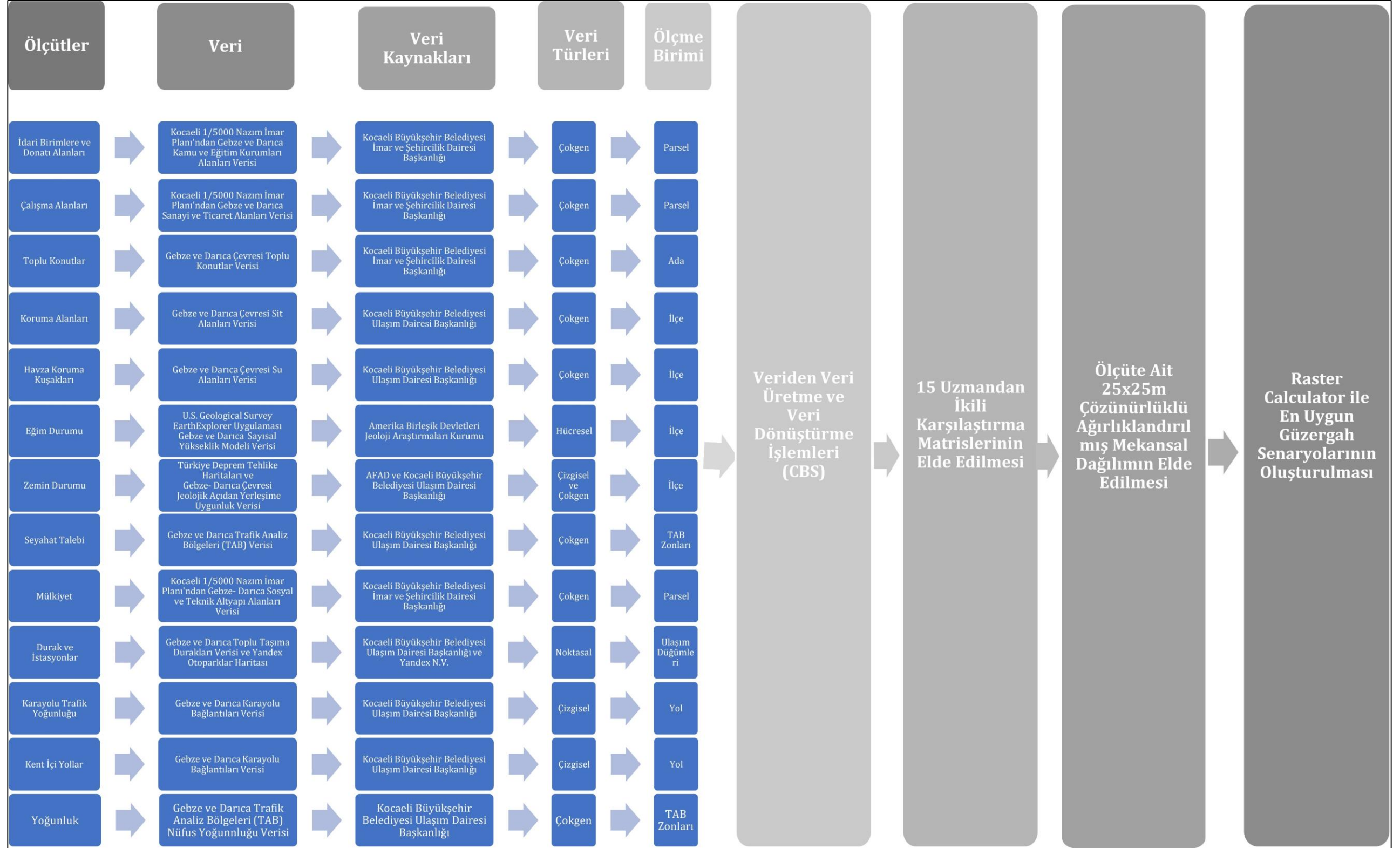


Şekil 6.1: Gebze ve Darıca bölgesi için en uygun HRS güzergâh tasarım ölçütleri.

1.2. Çalışma Modeli

Literatür araştırmaları ve kurumlardan veri teminine yönelik saha çalışmalarına bağlı olarak bu tez çalışması kapsamında CBS ve ÇÖKA'nın bir arada kullanılarak raylı sistem güzergâh önerilerinin belirlenebilmesi için aşağıdaki tablodaki verileri içeren bir araştırma süreci modeli kurgulanmıştır. Modelde ihtiyaç duyulan veriler ve bu verilerin türleri ve ölçme birimleri Tablo 6.1'de sunulmaktadır.

Tablo 6.1: Araştırma süreci.



6.3. Materyal-Veri İşlemleri ve Yöntem Uygulamaları

Gebze ve Darıca bölgeleri için çalışmada belirlenen değişkenleri temsil etmesi için elde edilmesi gereken veriler; Nazım İmar Planları, Arazi Kullanımı, Sit Alanları, Su Yüzeyleri, Deprem Bölgeleri, Sayısal Yükseklik Modeli, Ulaşım Ağı, Toplu Taşıma Durakları ve Otopark Alanlarının Konumları, Yerleşime Uygunluk Haritaları, Trafik Analiz Bölgeleridir. Belirlenen çalışma alanı ve araştırma konusu için ihtiyaç duyulan mekansal verinin tamamı, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nden ham veri olarak mevcut durum için (2020 verisi) elde edilmiştir. Diğer yandan; Ulaşım Ağı-Trafik Analiz Bölgeleri verisi ise mevcut durumun yanında hem 2014 hem 2035 (Gebze-Darıca HRS hattının projeksiyon yılı) yılları için elde edilmiştir. 2035 yılı için tahmin edilen verinin kullanımı, raylı sistemlerin işletmeye alındıktan sonra uzun yıllar boyunca kullanılma potansiyeline sahip olmasından ötürü, çalışmanın sonuçlarının geleceğe yönelik olmasına önemli katkı sağlamaktadır.

Ham olarak elde edilmiş verilere CBS bilgisayar yazılımı olan ArcGIS'de uygun işlemler yapılmadan önce, belirlenen ölçütlerin bu çalışmadaki ağırlıklarını belirleyebilmek için Çok Ölçütlü Karar Alma süreci başlatılmıştır.

6.3.1. HRS Güzergâh Tasarımı Ölçüt Ağırlıklarının Tespiti

ÇÖKA yöntemlerinden AHS ve BMW'nin işletilebilmesi için belirlenen uzmanlara 21.05.2020 tarihinde ikili karşılaştırma matrisi gönderilmiştir. Bu uzmanlar 3 şehir plancısı akademisyen, 5 inşaat mühendisi akademisyen, 1 harita mühendisi akademisyen, 5 belediye çalışanı şehir plancısı ve 1 serbest şehir plancısı olmak üzere toplam 15 kişidir. Uzmanların seçiminde bölgeye ve raylı sistem planlamasına hakim olmaları, bu alanda önemli çalışmalara sahip olmaları ve multidisipliner bir grup oluşturulması ölçütleri önemsenmiştir. Uzmanlardan elde edilen ikili karşılaştırma matrisleri AHS için Expert Choice Programı [Expert Choice Inc., 1993], BMW için BMW Excel Çözücü vasıtasıyla analiz edilmiş ve her bir ölçütün güzergâh seçimindeki önem ağırlığı belirlenmiştir.

Çalışmada 13 ölçüt kullanılmıştır fakat BMW'de en fazla 9 ölçüt işlem görebilmektedir.. Bu sebeple AHS'dekinden farklı olarak BMW'de, raylı sistem güzergâh tasarımı konusundaki 13 ölçüt, literatürde de sıklıkla kullanılan Çevresel,

Ekonomik ve Sosyal isimli üç ana ölçüte indirgenmiştir [Ahmed and Asmael, 2009], [Farkas, 2009], [Ludin and Latip, 2006]. Tablo 6.2’de BWM’nin ölçüt başlıklandırması verilmiştir.

Tablo 6.2: BWM’nin ölçüt başlıklandırması.

BWM		
Çevresel	Ekonomik	Sosyal
Havza Koruma Kuşakları	Eğim Durumu	Karayolu Trafik Yoğunluğu
Zemin Durumu	Seyahat Talebi	Durak ve İstasyonlar
Koruma Alanları	Mülkiyet	İdari Birimler ve Donatı Alanları
	Kent İçi Yollar	Çalışma Alanları
		Toplu Konutlar
		Yoğunluk

Tablo 6.3’te AHS yöntemi ile ulaşılan ağırlıklar, Tablo 6.4’te BWM ile ulaşılan ağırlıklar verilmiştir. Bunlar, uzman görüşleri ile tespit edilmiş Nihai Ölçüt Ağırlıklandırmaları’dır.

Tablo 6.3: AHS yöntemi ile ulaşılan ölçüt ağırlıklandırmaları.

AHS Ağırlıklandırma Sonucu	
Seyahat Talebi	0,149
Yoğunluk	0,125
Durak ve İstasyonlar	0,120
Zemin Durumu	0,086
Karayolu Trafik Yoğunluğu	0,085
İdari Birimler ve Donatı Alanları	0,075
Toplu Konutlar	0,067
Çalışma Alanları	0,064
Eğim Durumu	0,059
Kent İçi Yollar	0,050
Mülkiyet	0,041
Koruma Alanları	0,040
Havza Koruma Kuşakları	0,038
TOPLAM	1
Tutarlılık Oranı	0,02

Tablo 6.4: BWM ile ulaşılan ölçüt ağırlıklandırmaları.

BWM Ağırlıklandırma Sonucu	
Durak ve İstasyonlar	0,133
Seyahat Talebi	0,132
Zemin Durumu	0,103
Yoğunluk	0,102
İdari Birimler ve Donatı Alanları	0,084
Eğim Durumu	0,080
Karayolu Trafik Yoğunluğu	0,076
Çalışma Alanları	0,057
Toplu Konut Alanları	0,056
Koruma Alanlar	0,048
Kent İçi Yollar	0,047
Havza Koruma Kuşakları	0,042
Mülkiyet	0,041
TOPLAM	1
Tutarlılık Oranı	0,125

AHS ve BWM kapsamında uzmanlar yardımıyla hesaplanan Tablo 6.3 ve 6.4 Yolculuk Talebinin Düzeyi ölçütünün en yüksek ağırlıklardan olan 0,149 ve 0,132 aldığını, Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanğı ölçütünün yüksek ağırlıklardan olan 0,120 ve 0,133 aldığını, Nüfus Yoğunluğu ölçütünün görece yüksek ağırlıklar olan 0,125 ve 0,102 aldığını ve Jeoteknik-Jeolojik ve Sismolojik Uygunluk ölçütünün yine görece yüksek ağırlıklar olan 0,86 ve 0,103 değerlerini aldığını göstermiştir. Bu ağırlık değerleri bu ölçütlerin, Gebze ve Darıca bölgesi HRS güzergâh tasarımı için en önemli ölçütler olduklarını ortaya koymaktadır.

Elde edilen ölçüt ağırlıklandırmalarının seviyeleri, literatürdeki benzer veya aynı isimli ölçütlerin kullanılma sıklığı ile büyük oranda örtüşmektedir. En yüksek ağırlığa sahip ölçütler olan Yolculuk Talebinin Düzeyi, Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanğı, Nüfus Yoğunluğu ve Jeoteknik-Jeolojik ve Sismolojik Uygunluk aynı ya da benzer isimlerle (Nüfus Yoğunluğu, Yolculuk Üretimleri, Bağlanabilirlik ve Fay Hatlarına Olan Yakınlık, Jeolojik, Litolojik Yapıya ve Toprağı Uygunluk) diğer alan çalışmalarında da yüksek puan almıştır [Ahmed and Asmael, 2015], [Banai, 2006],

[Brunner et al., 2011], [El-Hallaq and El-Yazory, 2017], [Farkas, 2009], [Ludin and Latip, 2006], [Verma et al., 2011].

AHS ve BMW’de elde edilen Genel Tutarlılık Oranları (sırayla 0,02 ve 0,125) sonuçların, Saaty’ye [Saaty, 1990b] göre analiz için kabul edilebilir olduğunu göstermektedir.

6.3.2. Ham Veri ile Oluşturulmuş Ölçüt Haritaları

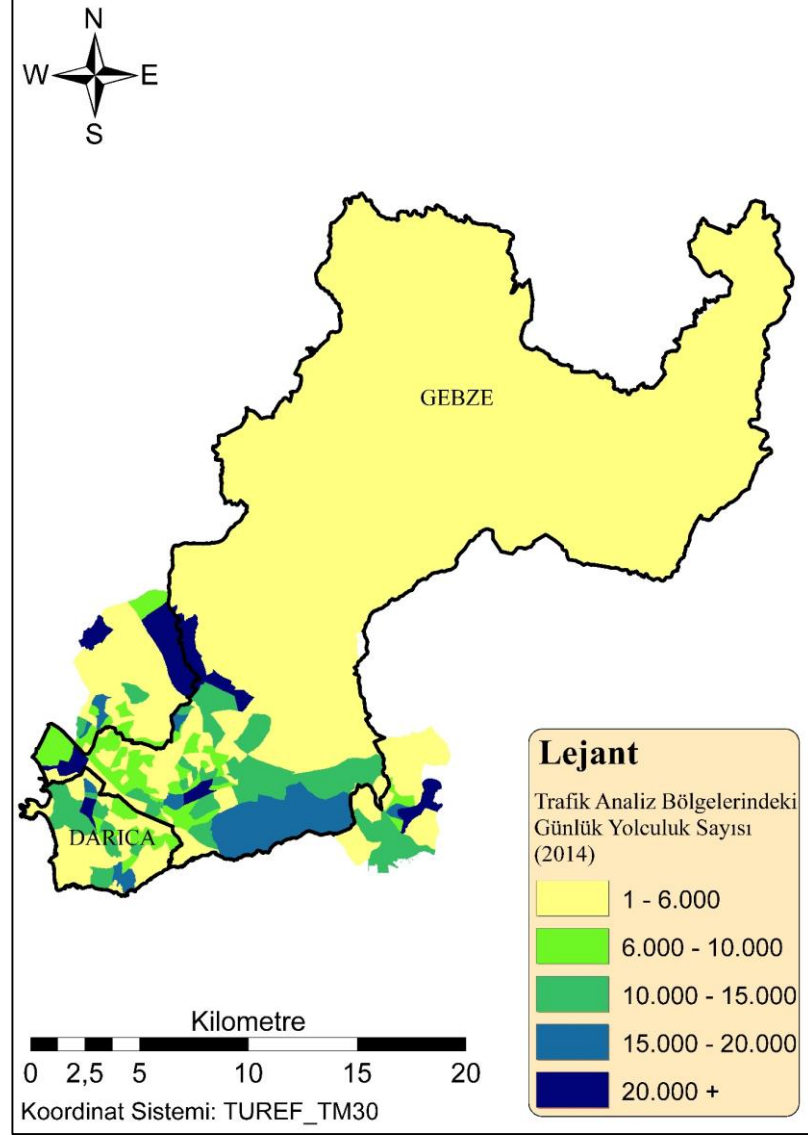
AHS ve BMW ile ölçüt ağırlıklandırmalarına erişilmesi ile eş zamanlı olarak ArcGIS programında, sonuç haritasının oluşturulabilmesi için tüm ölçütlere ait veriden veri üretme ve veri dönüştürme işlemleri yapılmıştır. ArcMAP (ArcGIS’in ana bileşeni) araçları (Multiple Ring Buffer, Polygon to Raster, Polyline to Raster, Slope Analyst vb.) ile ulaşılan haritalar, tüm ölçütlere ait bir kenarı 25 metre olan kareler ile ifade edilen piksel formatındaki ağırlıklandırılmış mekansal dağılımdır.

ArcMAP’de Gebze ve Darıca bölgeleri için, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Yandex N.V, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) ve Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu’ndan (USGS) tüm ölçütlere ait temin edilen verilere dönüştürme ve yeni veri üretme işlemleri uygulanmış, tüm ölçütleri temsil eden veriler 25x25 metrelik karelerden oluşan aynı koordinatlara ve projeksiyon sistemine sahip Raster Haritalar üretilmiştir (Şekil 6.2’den 6.25’e). Bu haritaların oluşturulmasında, tez modelinde (Tablo 6.1) detaylı şekilde belirtilen işlemler uygulanmıştır. Bu bölüm altında verilen tüm haritalar çalışmada kullanılmak için uygun biçimdedir (raster). .

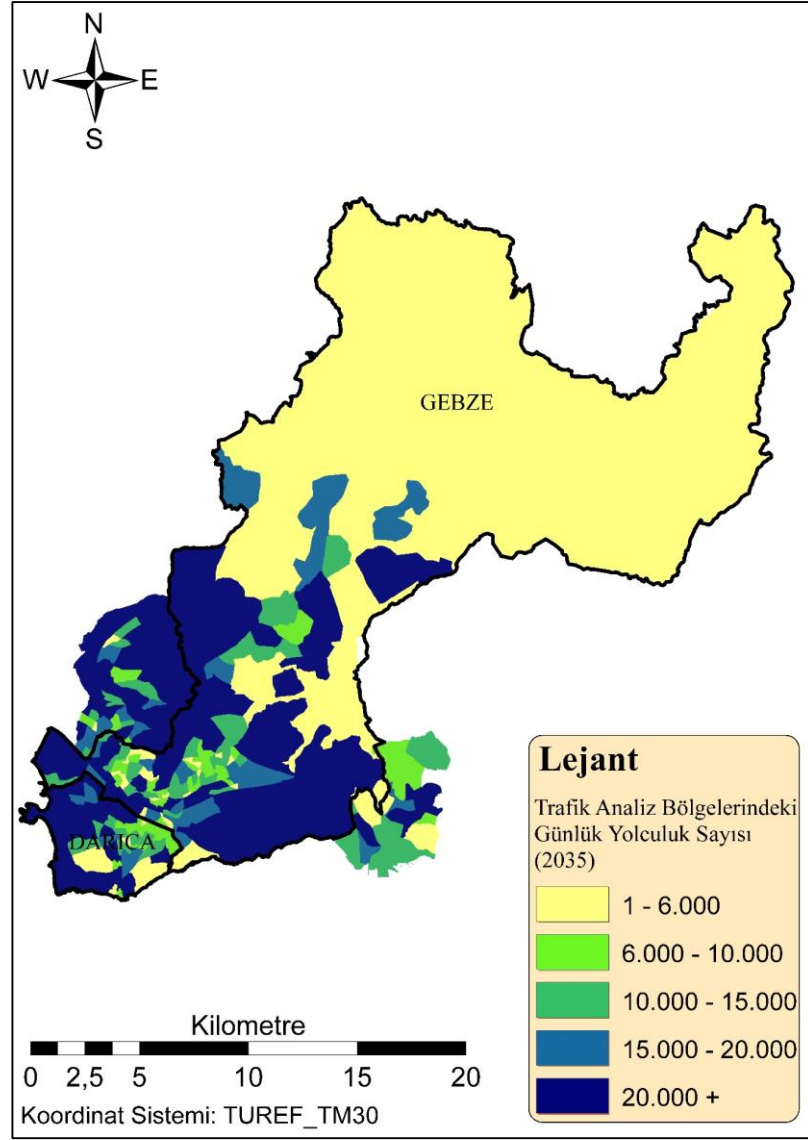
6.3.2.1. Seyahat Talebi

Ülkemizde yolculuk değerleri, bölgelerin Trafik Analiz Bölgeleri’ne (TAB-ZONE) ayrılması ile tespit edilmektedir. Gebze ve Darıca bölgesi ile direkt ilişkili olan 275 adet TAB mevcuttur. Şekil 6.2’de Gebze ve Darıca’da 2014 yılına ait seyahat değerleri, Şekil 6.3’te 2035 yılına ait tahmini yolculuk değerleri verilmiştir. 2014 yılı verisinde GOSB (özellikle kuzeybatı bölümü) seyahat talebi ölçütü için en uygun alandır. Gebze ilçesinin orta ve kuzey bölümü ise seyahat talebi düşük olan bölgelerdir. 2035 yılı projeksiyonlarında için ise GOSB, Darıca’nın batısı, Çayırova’nın doğusu,

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi ve Muallimköy çevresi seyahat taleplerinin en fazla olduğu bölgeler olarak öne çıkmaktadır. 2035 yılında da Gebze'nin kuzey yarısı için seyahat taleplerinin düşük kaldığı haritada görülebilmektedir.



Şekil 6.2: Gebze ve Darıca'daki TAB'larda gerçekleşen 2014 yılına ait seyahat değerleri haritası.

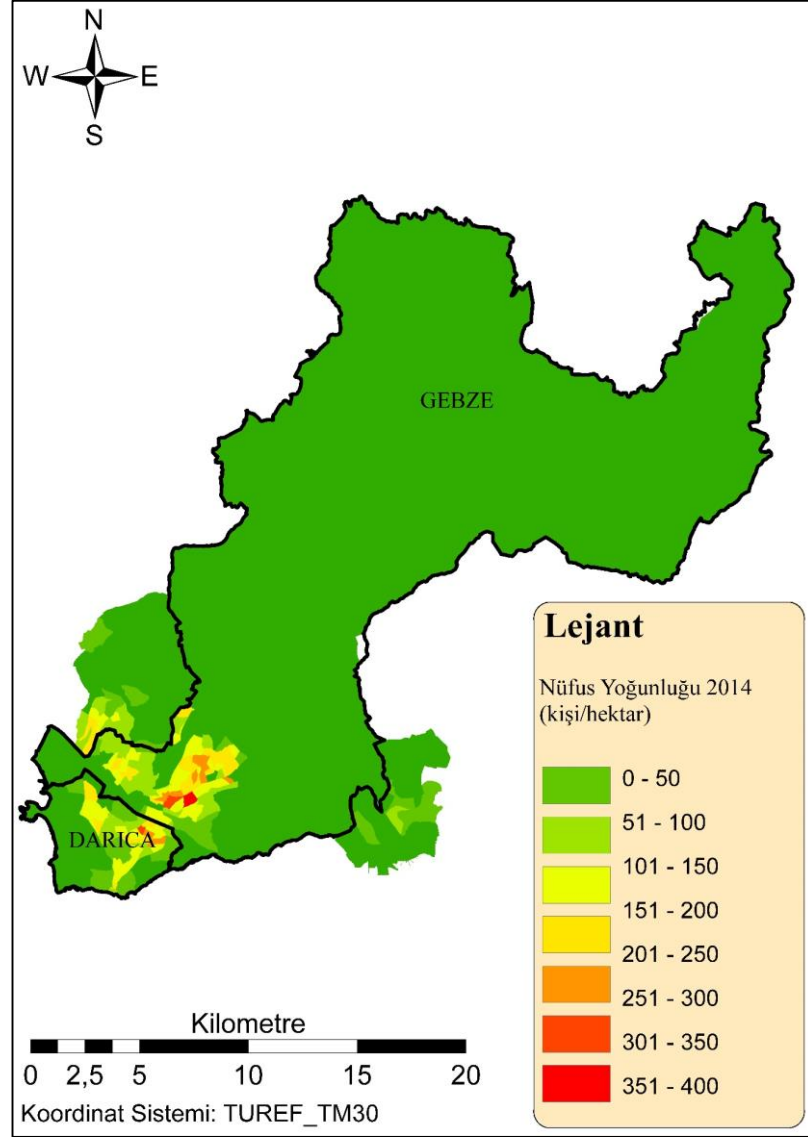


Şekil 6.3: Gebze ve Darıca'daki TAB'larda gerçekleşecek 2035 yılına ait seyahat değerleri haritası.

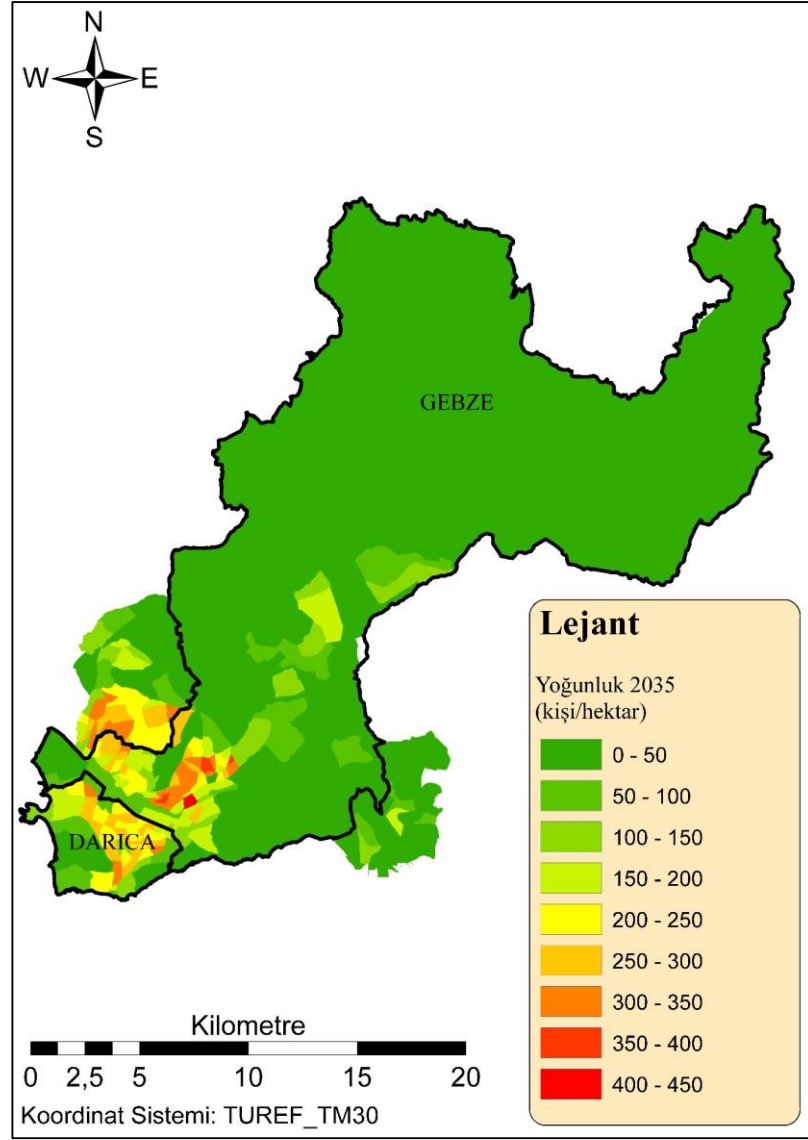
6.3.2.2. Yoğunluk

Nüfus yoğunluğu da yolculuklar gibi TAB verisinde bulunan değerlerdir. Şekil 6.4'te Gebze ve Darıca'da 2014 yılına ait nüfus yoğunluğu, Şekil 6.5'te 2035 yılına ait tahmini nüfus yoğunluğu değerleri verilmiştir. En yüksek nüfus yoğunluklarının 2014 yılı verisinde Darıca'nın orta ve kuzeydoğu kısmı ile Gebze'nin güneybatı kısmında yoğunlaştığı görülmektedir. Projeksiyon senesi olan 2035 yılı verisinde ise bu yoğunluğun özellikle batısı ve kuzeyi yönünde dağıldığı görülmektedir. Bu değişimden Çayırova ilçesi de büyük oranda etkilenmektedir. Yerleşim alanları fazla

olan ayırova ilçesinin nüfus yoğunluklarının önümüzdeki yıllarda büyük oranda artması beklenmektedir. 2035 yılında Gebze'nin orta bölümlerinde beklenen nüfus yoğunluğu artışının sebebi bu bölgeye inşa edilen konut alanları ve bölgedeki yatırımlardır.



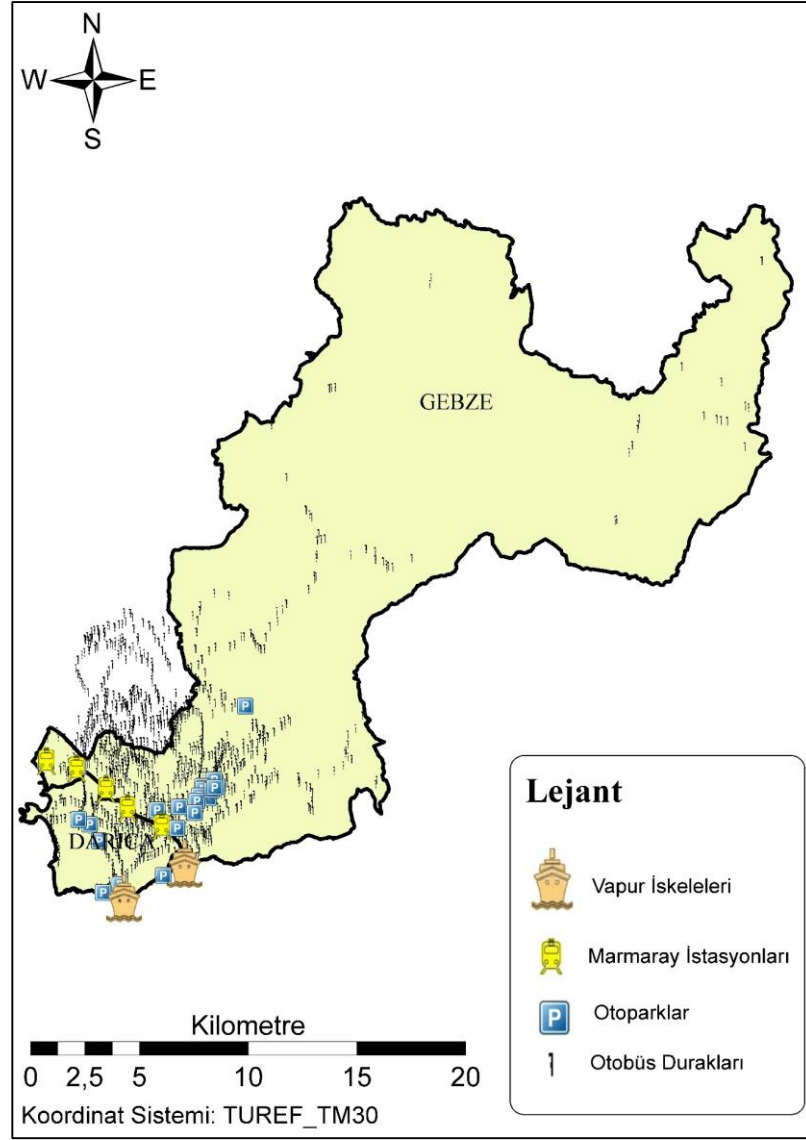
Şekil 6.4: Gebze ve Darica'daki TAB'larda 2014 yılına ait nüfus yoğunluğu haritası.



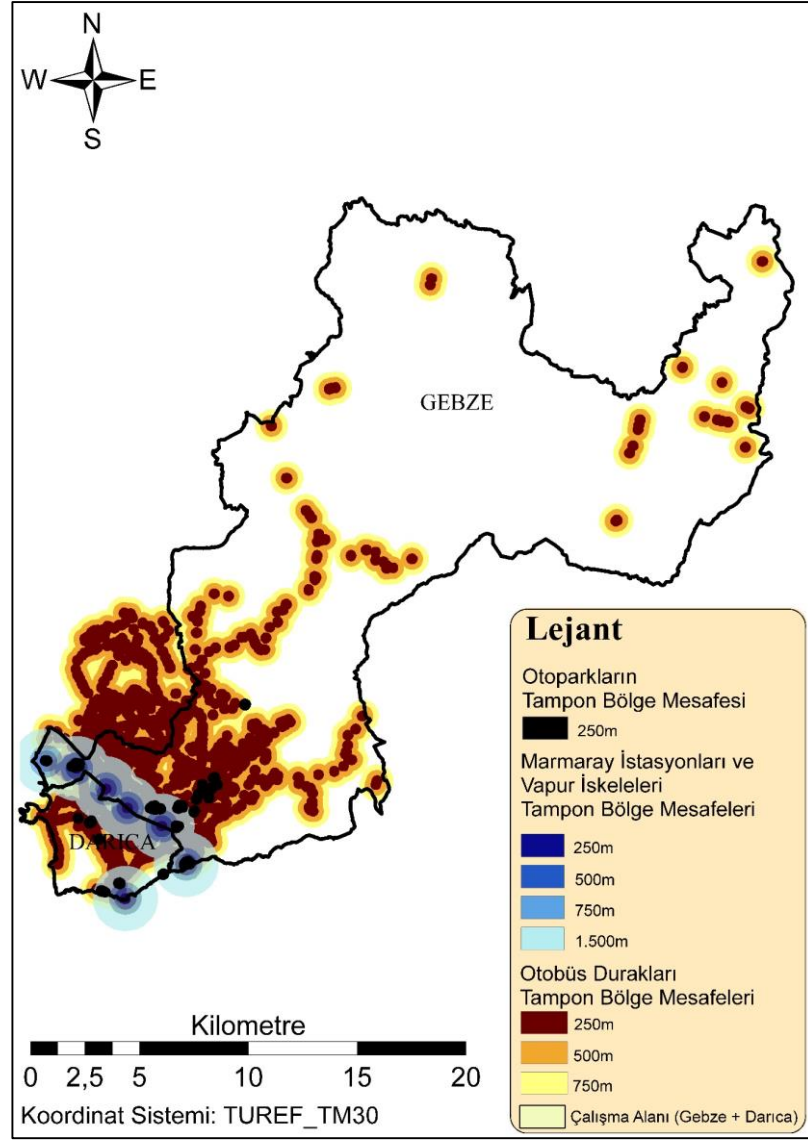
Şekil 6.5: Gebze ve Darica'daki TAB'larda 2035 yılına ait nüfus yoğunluğu haritası.

6.3.2.3. Durak ve İstasyonlar

Şekil 6.6'da Gebze ve Darica Bölgesindeki otoparklar, otobüs durakları, Marmaray istasyonları ve vapur iskeleleri verilmiştir. Şekil 6.7'de bu alanlardan çalışmada kullanılmak üzere üretilmiş olan harita gösterilmiştir. Otoparklar ve otobüs duraklarının kesiştiği istasyonlar olan Çayırova, Fatih (GTÜ) ve Gebze Marmaray İstasyonları ulaşım entegrasyonu açısından en uygun noktalardır. Darica Vapur İskelesi ve Gebze Kent Merkezi de çok sayıda ve sık aralıklı ulaşım imkanı sunması açısından yine uygun alanlardır. Gebze'nin orta ve kuzey bölümü ise yalnızca otobüs durakları bulunduruyor olması sebebiyle ulaşım entegrasyonu düşük seviyededir.



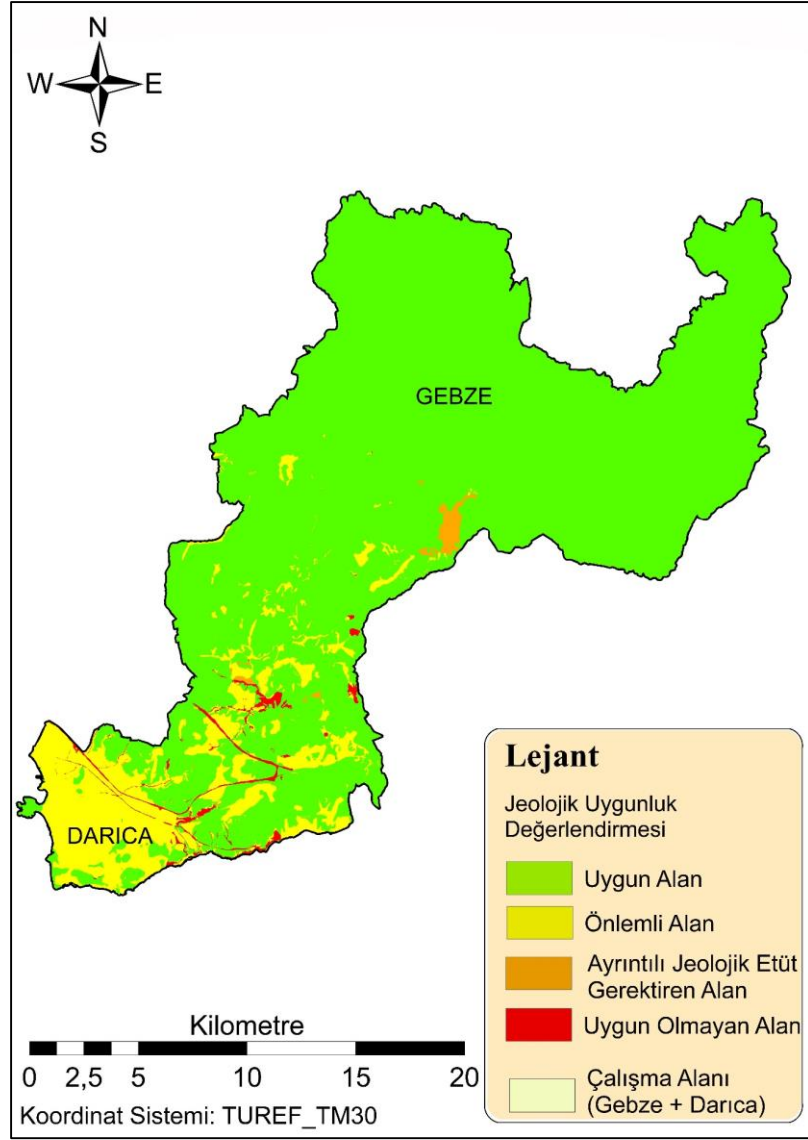
Şekil 6.6: Gebze ve Darica'daki otoparklar, otobüs durakları, Marmaray istasyonları ve vapur iskeleleri.



Şekil 6.7: Gebze ve Darıca için diğer ulaşım modlarıyla entegrasyon olanağı haritası.

6.3.2.4. Zemin Durumu (Jeoteknik-Jeolojik)

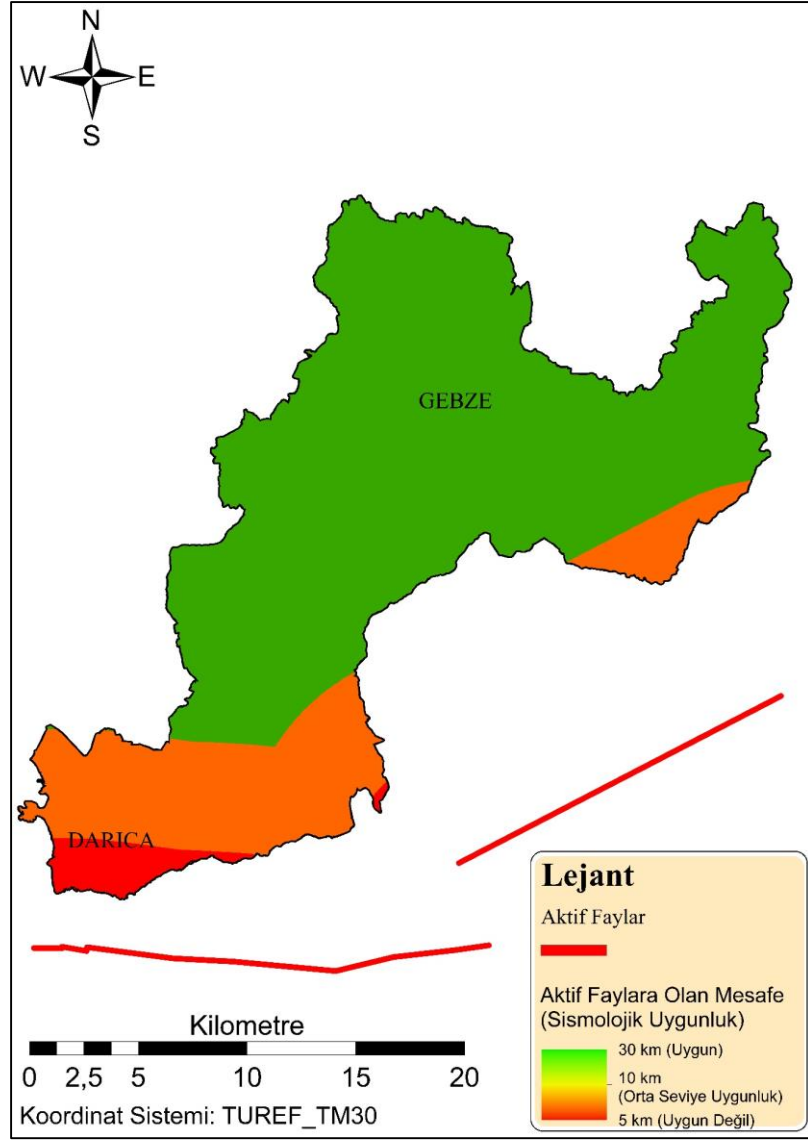
Şekil 6.8’da Gebze ve Darıca Bölgesindeki jeolojik uygunluk durumu verilmiştir. Harita incelendiğinde Gebze’nin orta ve özellikle kuzey bölümünün jeoteknik-jeolojik açıdan en uygun alanlar olduğu görülmektedir. Darıca ilçesinin ise büyük bölümü önemli alandır. Bu durum Darıca bölgesine yapılacak olan her türlü yapıda jeoteknik-jeolojik etütlerin dikkatle yapılması gerektiğine işaret etmektedir.



Şekil 6.8: Gebze ve Darıca bölgesindeki jeoteknik-jeolojik uygunluk durumu.

6.3.2.5. Zemin Durumu (Sismolojik)

Şekil 6.9’da Gebze ve Darıca bölgesine yakın olan aktif fay hatları ve bu faylardan çalışmada kullanılmak üzere üretilmiş olan harita gösterilmiştir. Çalışma alanının güney bölgesinden iki önemli fay hattı geçmektedir. Bu sebeple çalışma alanının güney kısmında bulunan Darıca ilçesi sismolojik açıdan riskli bir alandır. Sismolojik açıdan en uygun alan ise bu faylara en uzak olan Gebze’nin orta ve kuzey bölümüdür.

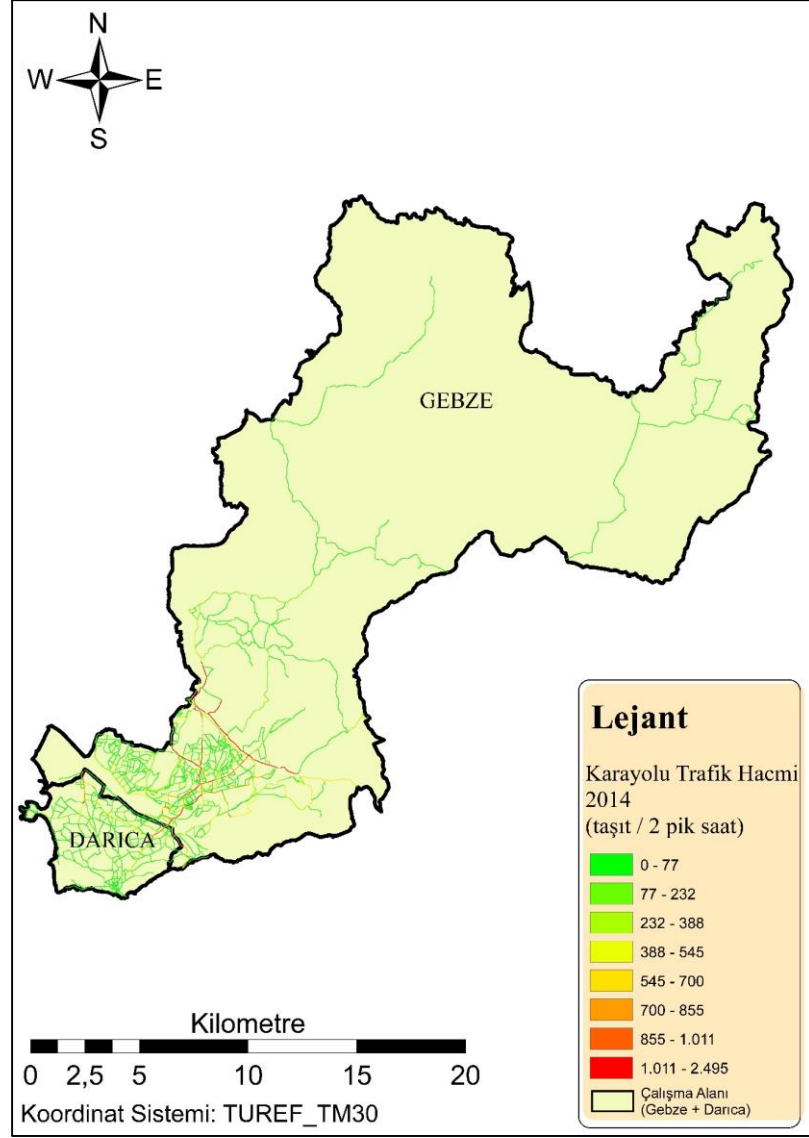


Şekil 6.9: Gebze ve Darica bölgesine yakın olan aktif fay hatları ve sismolojik uygunluk durumu haritası.

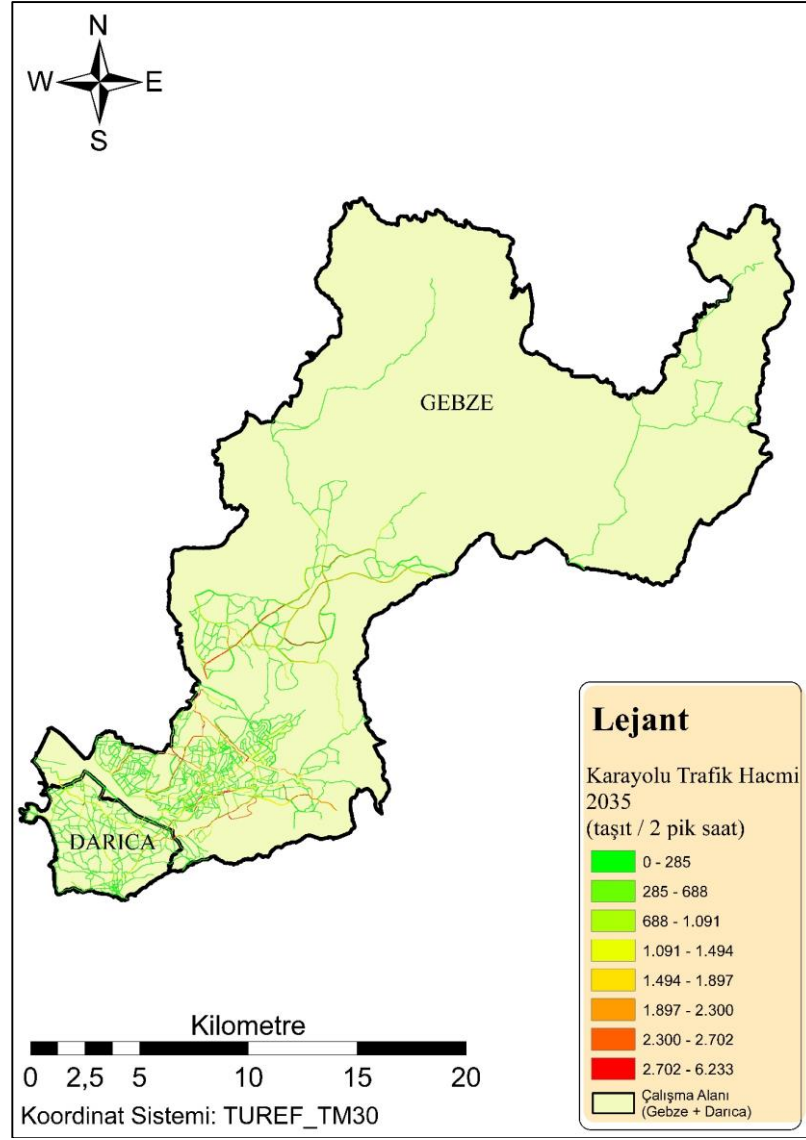
6.3.2.6. Karayolu Trafik Yoğunluğu

Şekil 6.10'da ve Şekil 6.11'de sırayla 2014 ve 2035 projeksiyon yılına ait Gebze ve Darica için trafik yoğunluk değerleri verilmiştir. Bu değerlerin oluşturulmasında sabah ve akşam oluşan zirve trafik saatleri kullanılmıştır. 2014 veri haritası incelendiğinde Darica'nın tamamı ve Gebze'nin güneybatı bölümünün trafik yoğunluğu fazla olan alanlar olarak görülmektedir. 2035 haritasında ise bu bölgelerdeki trafik yoğunluklarının arttığı ve bunlara ek olarak Gebze'nin orta bölümünde de trafik yoğunluklarının arttığı görülmektedir. İki yıla ait

haritalandırmalarda da Gebze'nin kuzey kısmında trafik yoğunluğunun düşük seviyede olduğu anlaşılmaktadır.



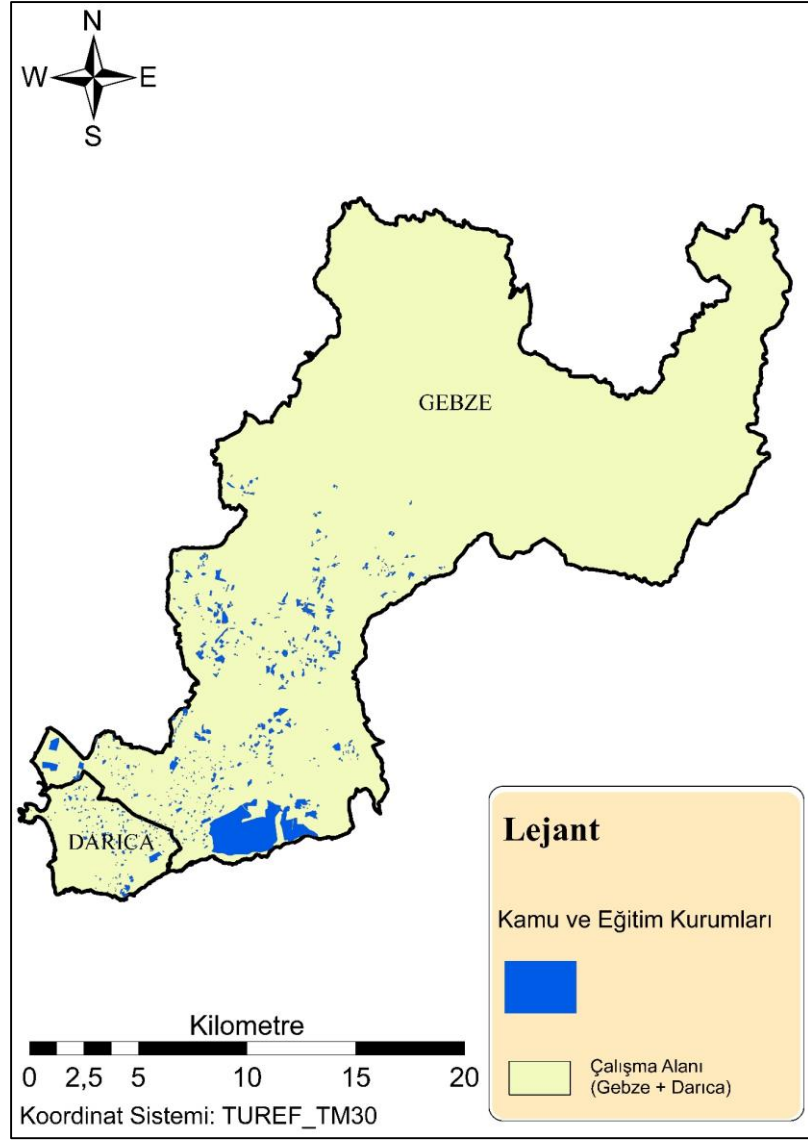
Şekil 6.10: Gebze ve Darica için trafik yoğunluk 2014 değerleri haritası.



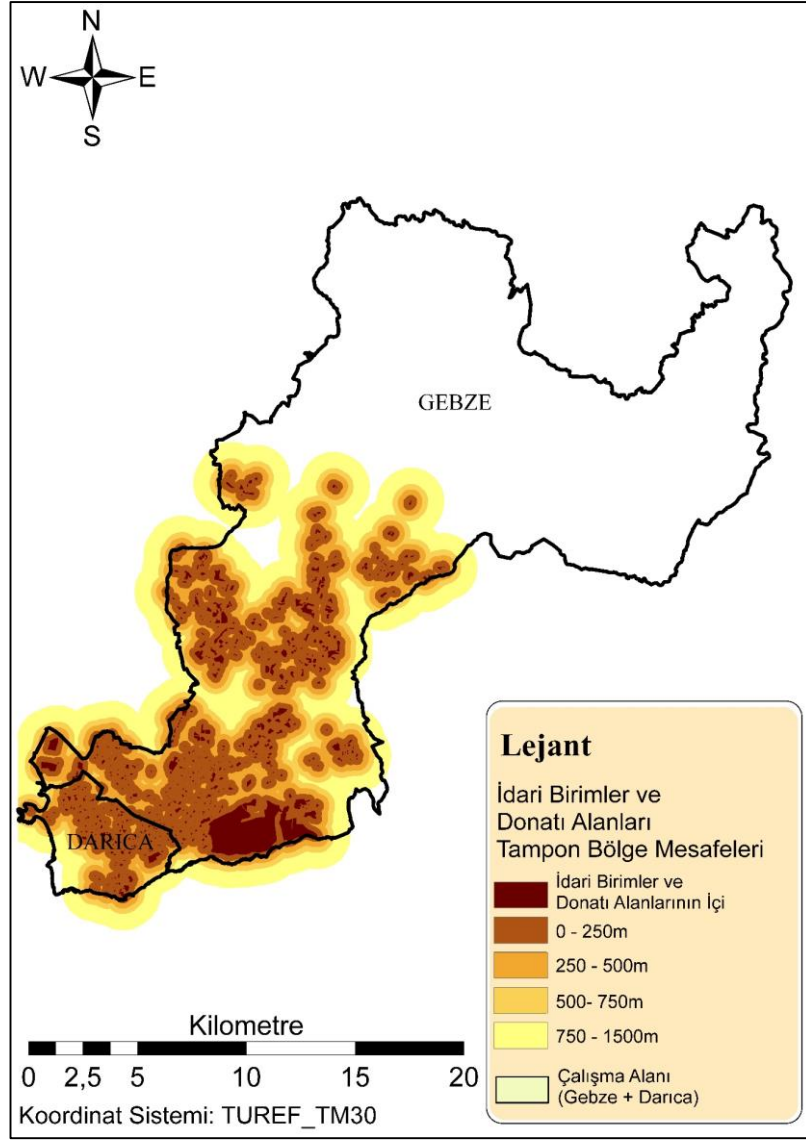
Şekil 6.11: Gebze ve Darica için trafik yoğunluk 2035 değerleri haritası.

6.3.2.7. İdari Birimler ve Donatı Alanları

İdari birimler ve donatı alanlarının, yolcular için sık kullanılan bir başlangıç ve hedef noktası olması sebebiyle raylı sistemlerin güzergâh tasarımında yüksek bir öneme sahiptir. Şekil 6.12’de Gebze ve Darica’daki kamu ve eğitim kurumları, 6.13’te bu alanlardan çalışmada kullanılmak üzere üretilmiş harita gösterilmiştir. Haritada görüldüğü gibi Gebze ve Darica’nın orta bölümleri, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi ve Muallimköy çevresi idari birimler ve donatı alanlarının en sık bulunduğu bölgelerdir.



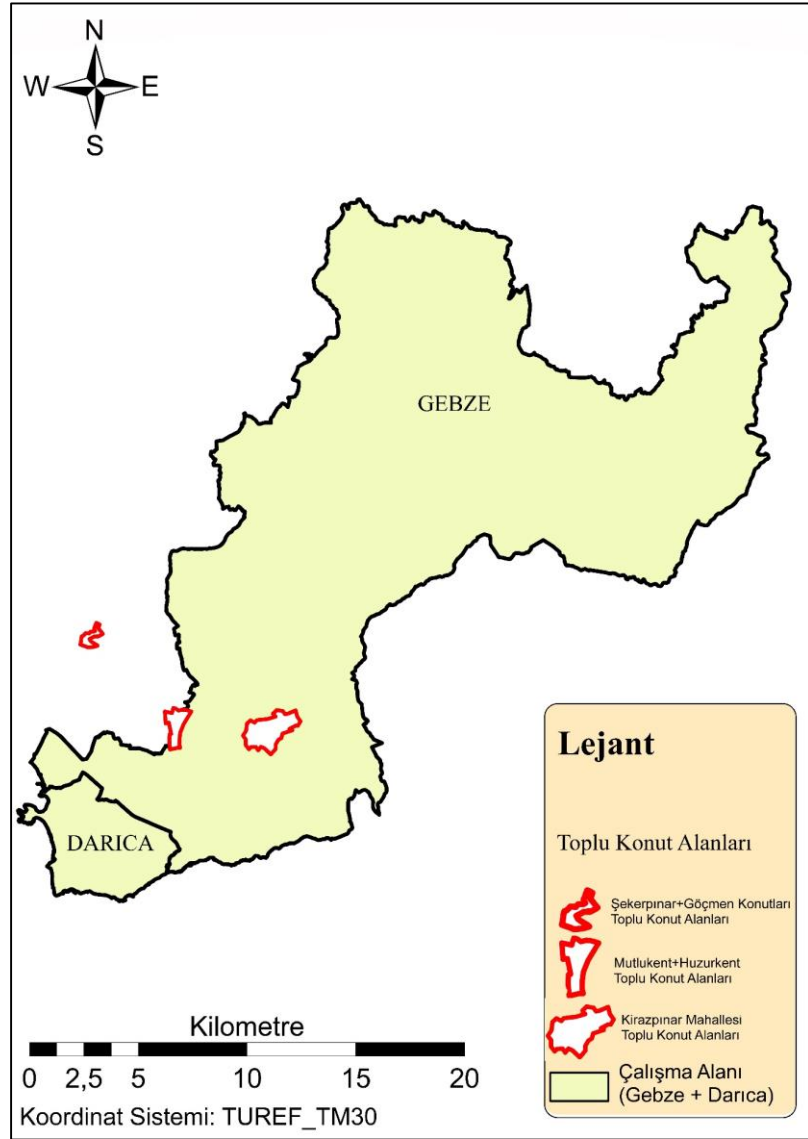
Şekil 6.12: Gebze ve Darıca'daki idari birimler ve donatı alanları.



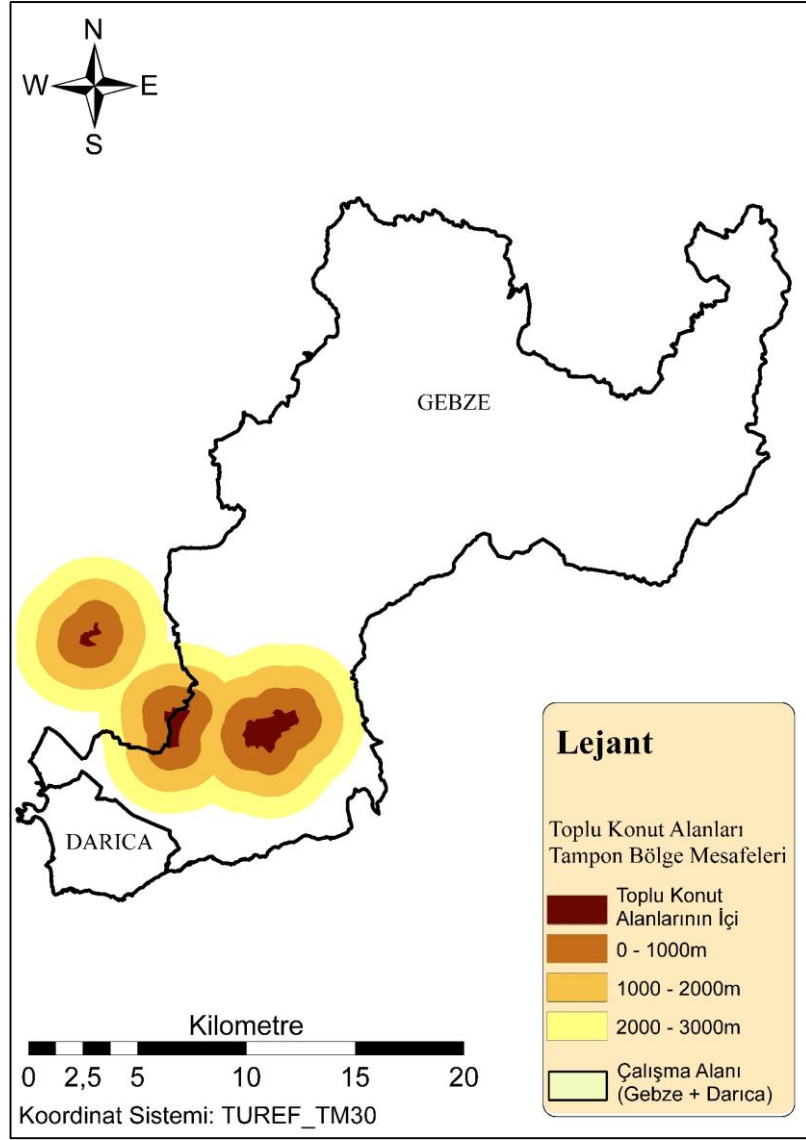
Şekil 6.13: Gebze ve Darıca kamu ve eğitim kurumlarına yakınlık haritası.

6.3.2.8. Toplu Konutlar

Toplu konut alanlarında hayatlarını sürdürenlerin işlerine, okullarına ve diğer gereksinimlerine ulaşmaları ciddi şekilde değerlendirilmeli ve bu alanlardan kişisel araçlarla şehir merkezine olan yolculuklar imkân dahilinde azaltılmalıdır. Şekil 6.14'te Gebze ve Darıca'daki toplu konut alanları, 6.15'te bu alanlardan çalışmada kullanılmak üzere üretilmiş harita gösterilmiştir. Çayırova'da bulunan Şekerpınar ve Göçmen Konutları, Çayırova-Gebze sınırında bulunan Mutlukent-Huzurkent ve Gebze Kirazpınar Mahallesi'nde bulunan toplu konut alanları bu ölçüt için değerlendirilen bölgelerdir.



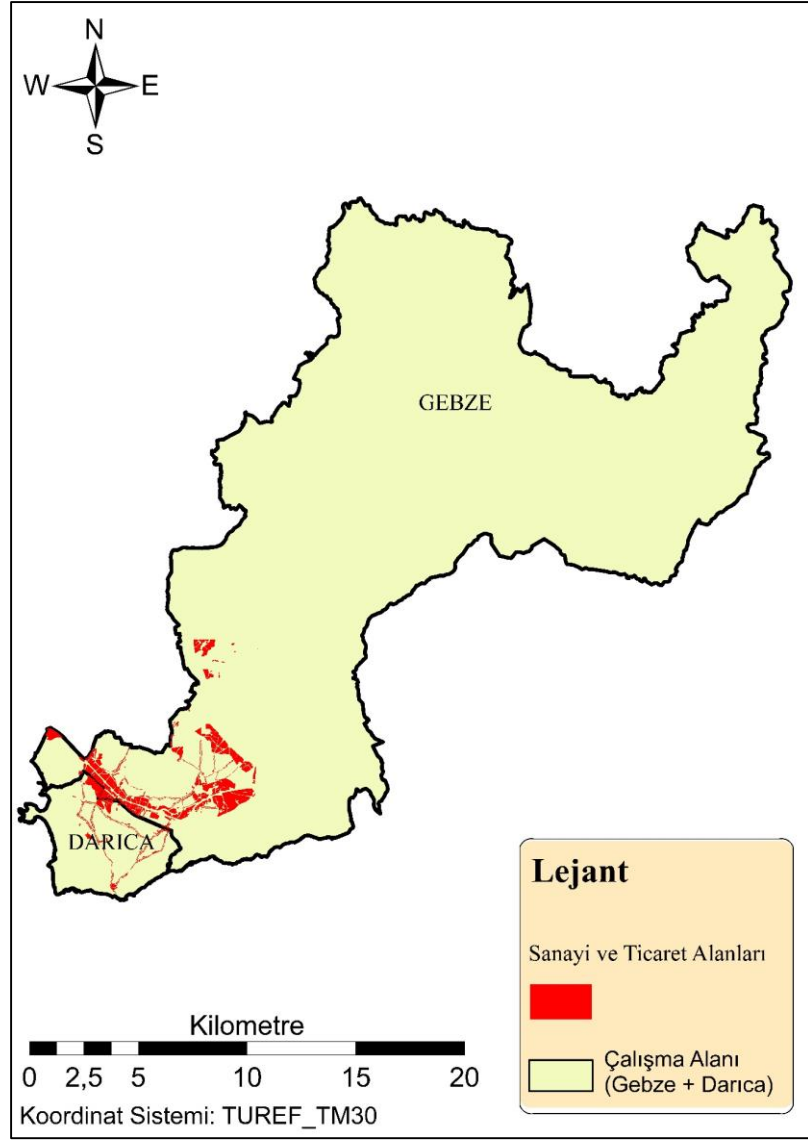
Şekil 6.14: Gebze ve Darica çevresindeki toplu konut alanları.



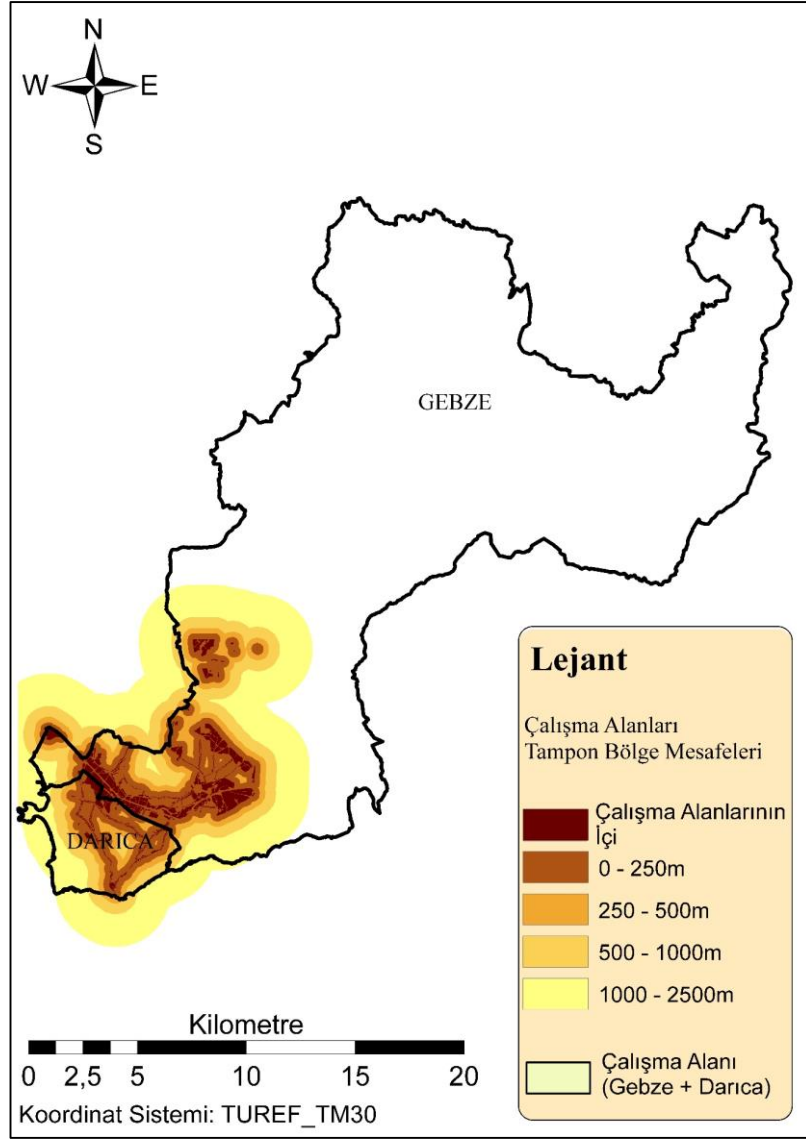
Şekil 6.15: Gebze ve Darica çevresindeki toplu konut alanlarına yakınlık haritası.

6.3.2.9. Çalışma Alanları

Planlaması yapılan raylı sistem güzergâhlarının özellikle merkezi iş alanı ve sanayi bölgelerinden geçmesi önemli bir tercihtir. Böylelikle bu bölgelerde çalışan, şahsi araçları veya otobüslerle ulaşan yolcuların hızlı bir raylı sisteme geçiş yapmaları sağlanacaktır. Şekil 6.16’te Gebze ve Darica’daki sanayi ve ticaret alanları, 6.17’de bu alanlardan üretilmiş olan harita gösterilmiştir. GOSB ve GOSB’un kuzeydoğu bölümünde yoğunlaşan sanayi ve ticaret alanları HRS güzergâhında olmak için uygun bölgelerdir.



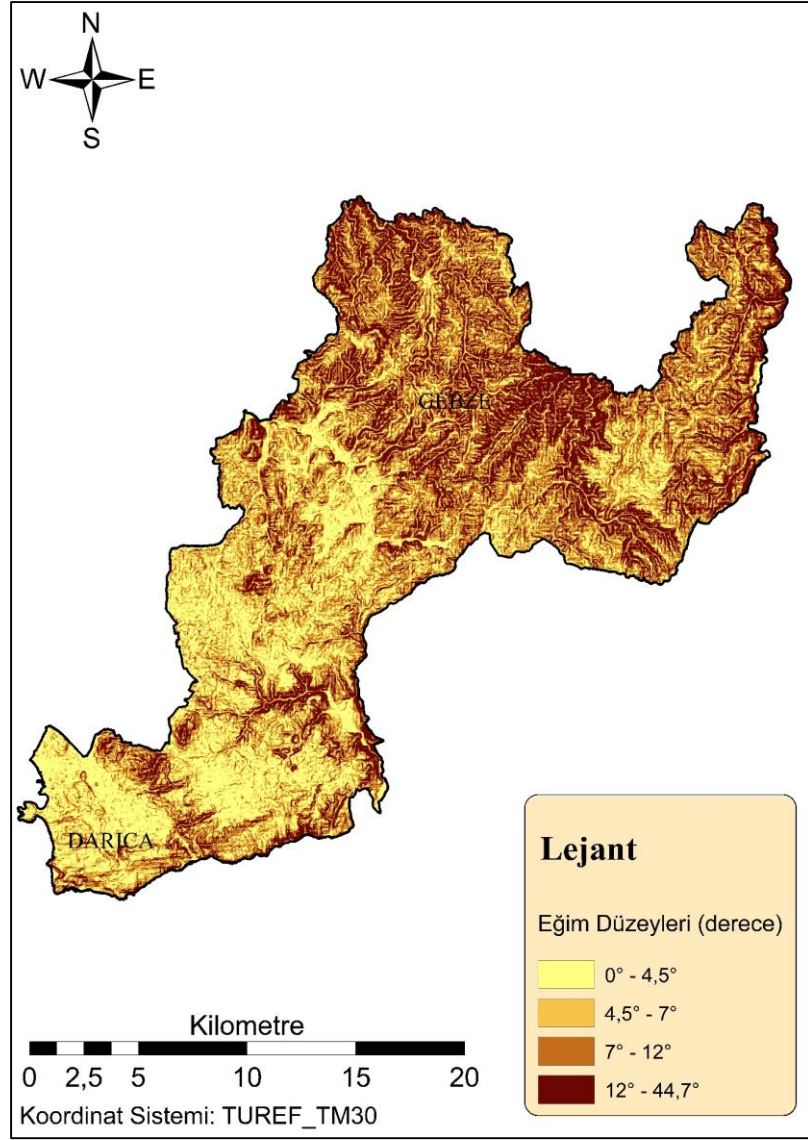
Şekil 6.16: Gebze ve Darıca'daki çalışma alanları.



Şekil 6.17: Gebze ve Darica'daki çalışma alanlarına yakınlık haritası.

6.3.2.10. Eğim Durumu

Raylı sistemler gibi yer altından gidebilen ve arazi eğiminden etkilenmiyor gibi görünen sistemlerde de güzergâhtaki kot farklılıkları özellikle istasyon bölgelerinde büyük sorunlar oluşturmaktadır. Şekil 6.18'de Gebze ve Darica'daki eğim durumu haritası gösterilmiştir. Darica'nın orta ve batı bölümü, Gebze Kent Merkezi ve Gebze ilçesinin orta bölümü eğimin düşük olması sebebiyle uygun alanlardır. Gebze-Darica sınırı ve Gebze'nin kuzey bölümü yüksek eğim değerleri sebebiyle raylı sistem planlaması açısından uygun olmayan alanlardır.



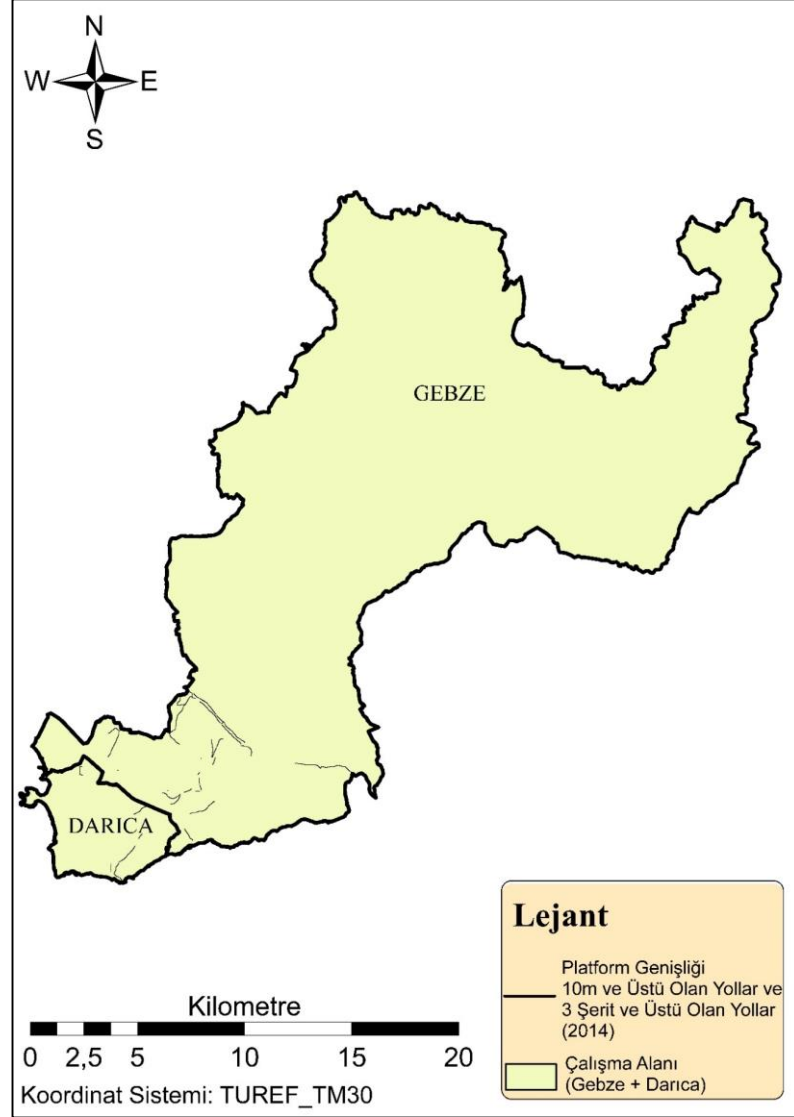
Şekil 6.18: Gebze ve Darıca'nın eğim durumu haritası.

6.3.2.11. Kent İçi Yollar

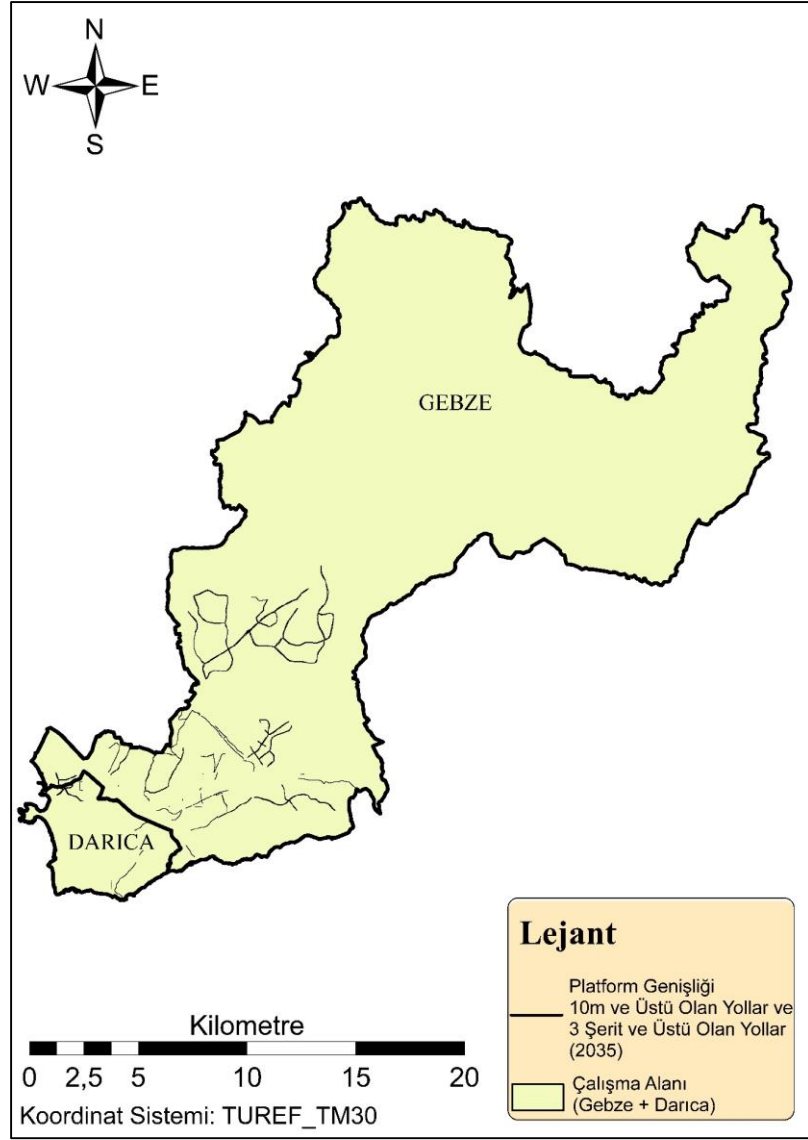
Farklı ulaşım seçeneklerinin aynı mekânı paylaşması olarak açıklanabilecek ölçüt olan yolları (karayollarını) paylaşma olanağı, HRS'lerin avantajlarından biri olarak görülebilmektedir. Ulaşım modlarının alternatiflendirilmesi, halkın opsiyonlarını arttıracak için hayat kalitesini yükseltmeye uygun bir çözüm olarak anlaşılabilmektedir.

Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de sırayla 2014 ve 2035 projeksiyon yılına ait Gebze ve Darıca'da yer alan HRS ile paylaşılacak karayolları verilmiştir. Bu yolların seçilmesinde yol genişlikleri, şerit sayıları ve yoldaki maksimum hız değerleri göz

önüne alınmıştır. 2014 haritasında raylı sistem güzergâhına uyumlu olabilecek paylaşılabılır yol sayısı oldukça azdır. 2035 haritasında ise Gebze Kent Merkezi ve Gebze ilçesinin orta bölümlerinde HRS ile paylaşılarak kullanılabilir karayolları olduğu görülmektedir.



Şekil 6.19: Gebze ve Darıca'daki 2014 yılına ait HRS ile paylaşılabilecek karayolları.



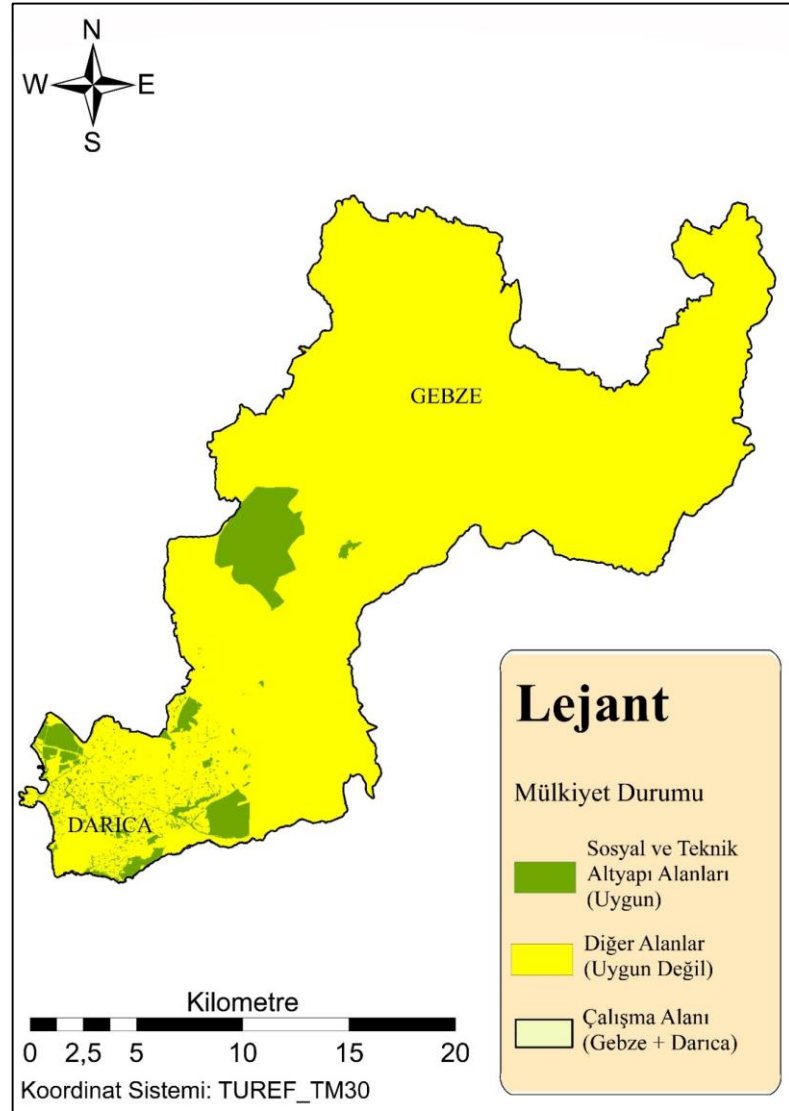
Şekil 6.20: Gebze ve Darica'daki 2035 yılına ait HRS ile paylaşılabilecek karayolları.

6.3.2.12. Mülkiyet

Raylı sistem yapılabilirlik çalışmaları ve güzergâh tespiti aşamalarında kamulaştırma süreçlerine önem verilmektedir. Planlanan güzergâhta fazla sayıda istimlak gerekliliği olması, kanuni ve ekonomik bakımdan aksamalar yaşanacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenle kamulaştırma ihtiyacı olan mülkiyetlerdense imkân dahilinde belediyelere veya hazineye ait araziler uygulamada kullanılmalıdır.

Şekil 6.21'da HRS güzergâhının geçmesinin tercih edildiği kamu mülkiyetinde olan alanlar ve diğer alanlar gösterilmiştir. Kamu mülkiyetinde olan alanların

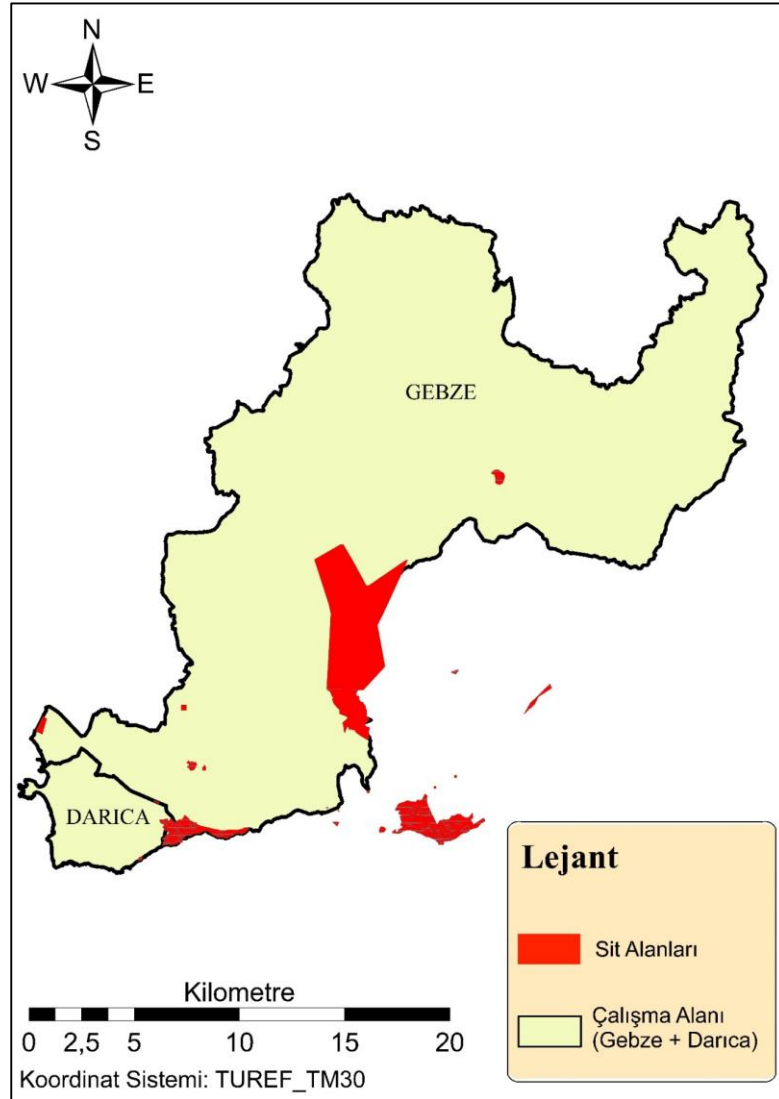
tespitinde Nazım İmar Planı'nda yer alan Sosyal ve Teknik Altyapı Alanları kullanılmıştır. Şekil 6.21'da bu harita verilmiştir. Gebze'nin Kadılı ve Pelitli Mahalleleri arasında kalan, yeşil alanların ve yol inşaatlarının da olduğu bölge mülkiyetinin devlete ait olması sebebiyle uygun bir bölgedir. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi de mülkiyet sahipliği açısından uygun bir bölgedir. Darıca ilçesinin iskele bölgesi ve Bayramoğlu Mahallesi'nin kuzey bölümünde bulunan devlete ait kurumların arazileri uygun bölgelerdir. Gebze'nin orta ve kuzey bölümü ise mülkiyetleri çoğunlukla şahıslara ait alanlar olduğu için kamulaştırma masrafları sebebiyle maliyeti yükseltecek olan bölgelerdir.



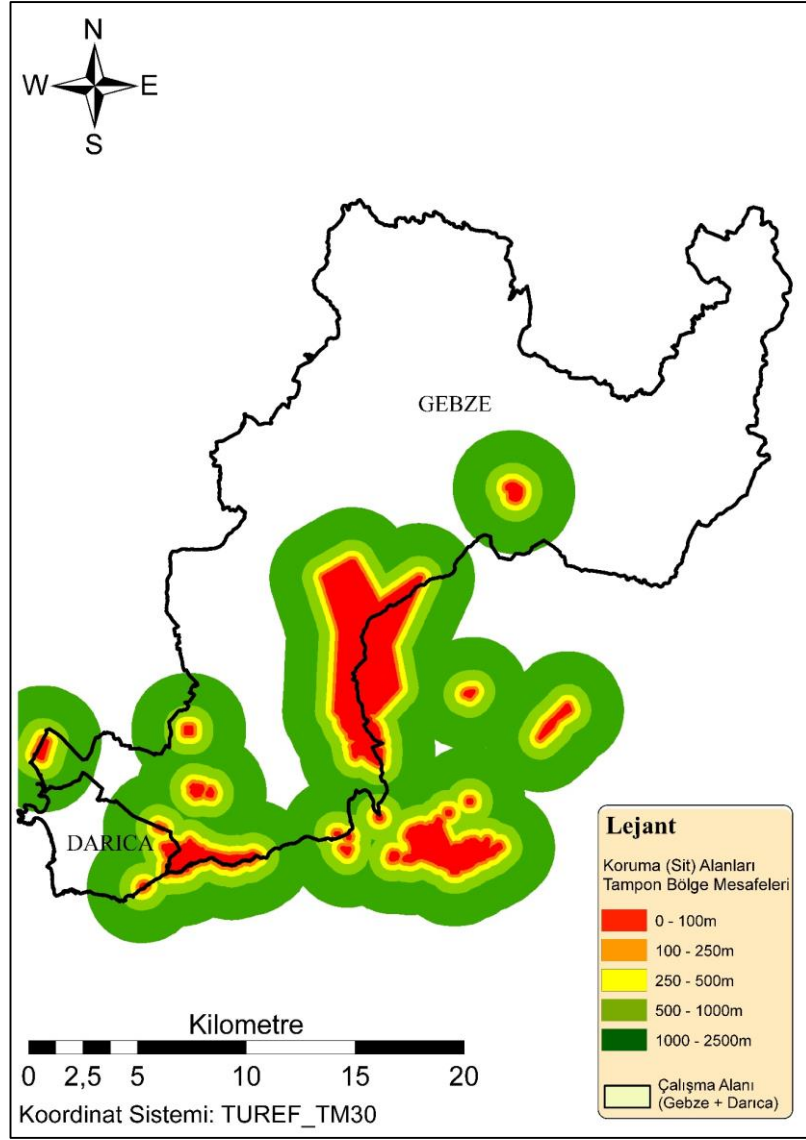
Şekil 6.21: Gebze ve Darıca'daki kamu mülkiyetinde olan alanlar ve diğer alanlar.

6.3.2.13. Koruma Alanları

Raylı sistem güzergâh planlama prosesinde konu genellikle yolculuk rakamları, eğimin durumu, teknolojik ve ekonomik sınırlar gibi ölçütler üzerinden değerlendirilmektedir. Fakat bu süreçler ve uygulama neticesinde çevredeki koruma alanlarına mümkün mertebede zarar verilmemesi gerekmektedir. Şekil 6.22’de Gebze ve Darıca’daki sit alanları, 6.23’te bu alanlardan çalışmada kullanılmak üzere üretilmiş olan harita gösterilmiştir. Gebze’de bulunan Ballıkayalar Tabiat Parkı ve Darıca sınırından Gebze’ye uzanan sahil bölümü koruma alanı olarak sayılmaktadır ve bu sebeple raylı sistem güzergâhı planlamak için uygun alanlar değildir ve veto edilmelidir. Bu alanlar dışındaki çalışma alanının kalan kısmı ise uygun alanlardır.



Şekil 6.22: Gebze-Darıca Çevresindeki koruma (sit) alanları.

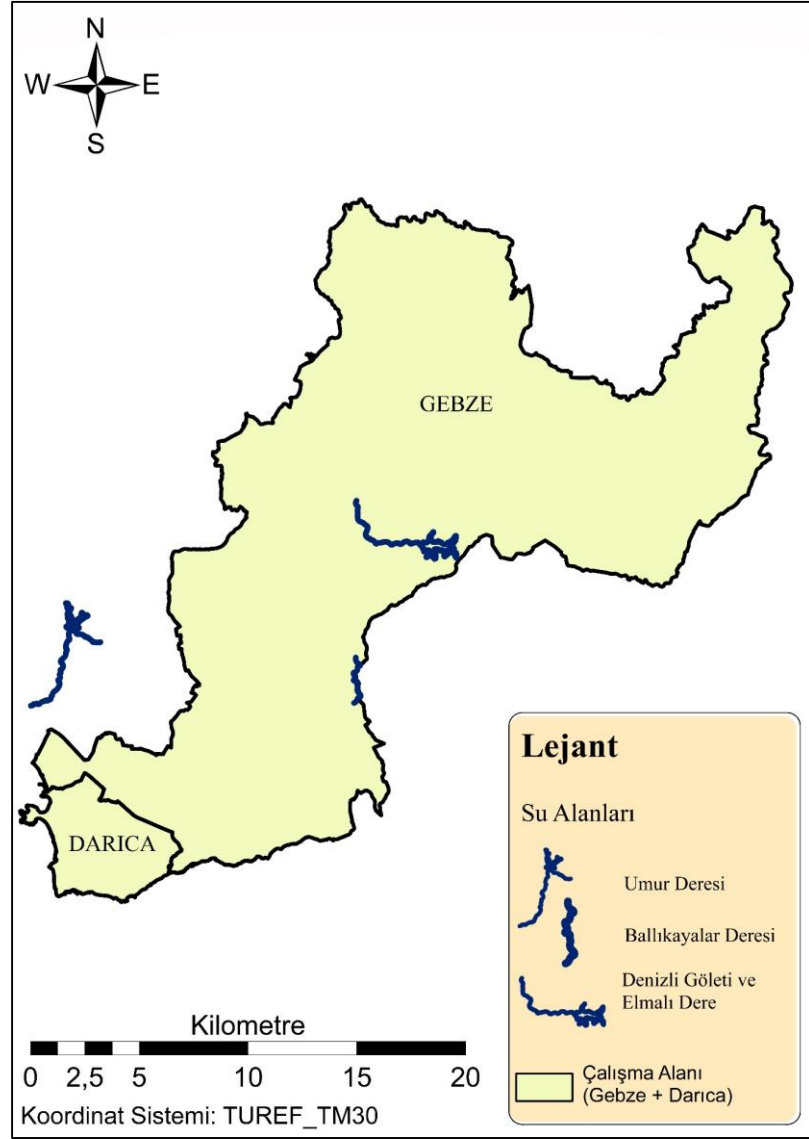


Şekil 6.23: Gebze ve Darica koruma (sit) alanlarına uzaklık haritası.

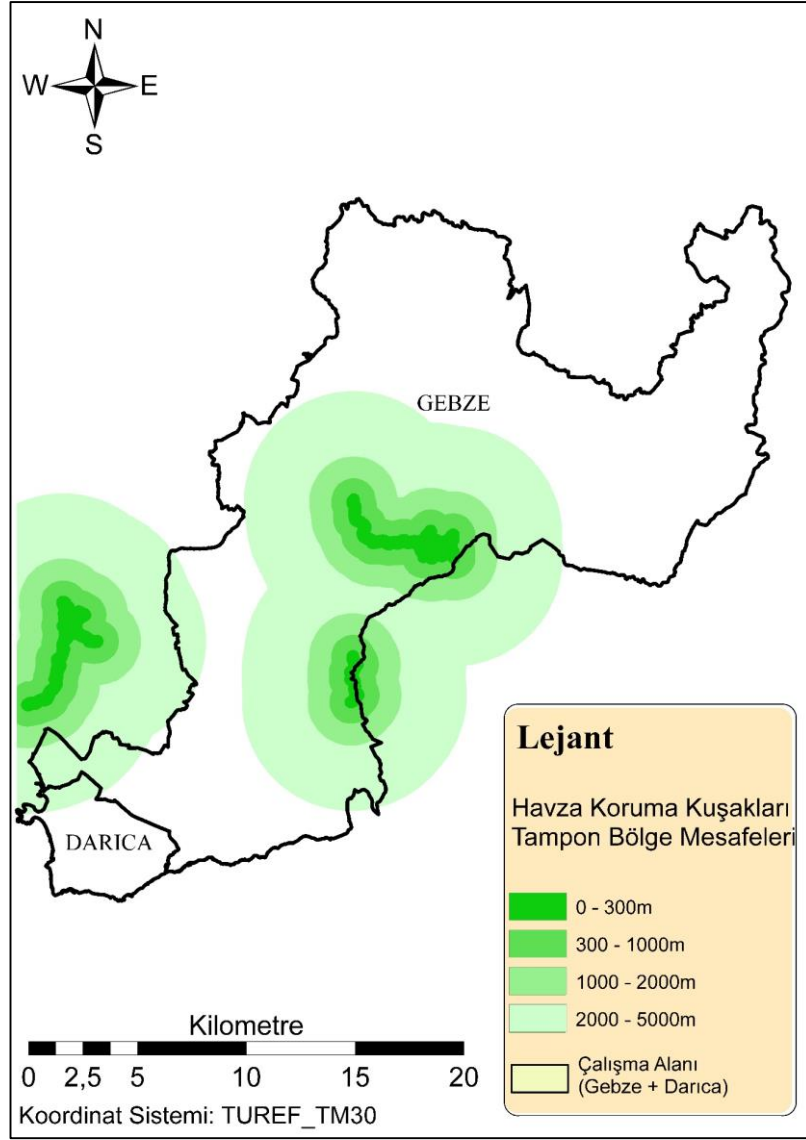
6.3.2.14. Havza Koruma Kuşakları

Havza koruma kuşakları gibi yüksek nüfusa ve yolculuk değerlerine sahip olmayan bölgelerden raylı sistem geçirilmesi mantıklı değildir. Baraj ve göllerin etrafındaki havza koruma kuşakları kentleşmeye büyük sınırlamalar getirmektedir. Raylı Şekil 6.24'te Gebze ve Darica'daki su alanları, 6.25'te bu alanlardan çalışmada kullanılmak üzere üretilmiş olan harita gösterilmiştir. Çayırova'daki Umur Deresi ve çevresi, Gebze'deki Ballıkayalar Deresi ve çevresi ile Denizli Göleti ve Elmalı Dere çevresi havza koruması sebebiyle uygun olmayan alanlardır ve veto edilmelidir. Bu

alanlar dışında kalan çalışma alanının özellikle güney ve kuzey ucu ise HRS güzergâhı planlamak için uygun alanlardır.



Şekil 6.24: Gebze-Darica çevresindeki su alanları.



Şekil 6.25: Gebze ve Darıca havza koruma kuşaklarına uzaklık haritası.

Gebze ve Darıca ilçelerine ait yukarıdaki haritalar incelendiğinde HRS güzergâh planlaması bakımından yolculuk talebinin yüksek olmasından ötürü Darıca'nın batısı, Gebze'nin güneyi ve GOSB'un avantajlı bölgeler olduğu, Marmaray Hattı boyunca diğer ulaşım modlarıyla entegrasyon olanağının yüksek olduğu görülmektedir. Darıca'nın tamamının ve Gebze'nin güney kesiminin sismolojik açıdan sorunlu kuşak içerisinde yer aldığı, jeoteknik-jeolojik açıdan Gebze'nin Darıca'dan daha uygun bir bölge olduğu, Darıca'nın neredeyse tamamının ve Gebze'nin güneyinin kamu ve eğitim kurumlarına yakınlık bakımından avantajlı olduğu, Gebze'nin kuzey yarısı hariç çalışma alanının topoğrafik açıdan iyi bir seçenek olduğu anlaşılmaktadır. GOSB ve Gebze'nin güneybatı bölümünün sanayi ve ticaret alanlarına yakınlık yönünden

üstün olduğu, Gebze'nin güneyinde ve batısında bulunan üç toplu konut alanının bu bölgeleri avantajlı kıldığı, Ballıkayalar Deresi, Umur Deresi ve Denizli Gölet'i ve kolları çevresindeki havzaların ve Darıca'nın doğusu ve Gebze'nin batı kenarlarında bulunan sit alanlarının imar ve inşaa kısıtlarından ötürü uzak durulması gereken alanlar olduğu görölmektedir. Gebze'nin İstanbul il sınırına yakın alanları ve yine Gebze'nin en güney ucunun çoğunlukla kamu mülkiyetindeki alanlar olmaları sebebiyle HRS güzergâhı için uygun alanlar olduğu anlaşılmaktadır.

6.3.3. Ölçüt Alt Kırılım Çalışmaları ve Yeniden Sınıflandırma (Reclassify) İşlemleri

Uzman ağırlıklandırmaları dışında her ölçüte kendi içinde alt ağırlıklandırmalar (kırılımlar) uygulanarak daha detay ve gerçekçi bir sonuca ulaşılmıştır. Ölçütlerin önemli bir bölümü kent planlama pratiklerinde sıklıkla kullanılan, imar ve çevre mevzuatlarında tanımlanan norm, standart ve pratiklere dayandığından alt kırılımlara ilişkin puanların belirlenmesinde literatür ve planlama standartlarına başvurulmuştur.

Şekil 6.2'den 6.25'e kadar olan haritaların lejantlarında da yer alan ölçüt alt kırılımlar ile ilgili detaylar Tablo 6.5'te sunulmaktadır. Bu kırılımlar, literatürde bulunan kabul edilebilir değer aralıklarının detaylı şekilde incelenmesi ve Gebze-Darıca bölgesine bu değer aralıklarının uyumunun gözetilmesi ile oluşturulmuştur.

Tablo 6.5: Ölçüt ana ağırlıklıları ve ölçüt alt kırım değerleri.

Ölçüt Adı	Ölçüt Ana Ağırlık		Ölçüt Alt Başlığı	Ölçüt Alt Kırımları						Alt Kırılımın Birimi
				Azalan Normalize Alt Kırılım Değeri (0'a doğru)	Ara Değerler (0,1- 0,2- 0,8- 0,9)				Artan Normalize Alt Kırılım Değeri (1'e doğru)	
Seyahat Talebi	0,149	0,132			0-6.000	6.000-10.000	10.000-15.000	15.000-20.000	20.000+	1 TAB Başına Düşen Günlük Yolculuk Sayısı
Yoğunluk	0,125	0,102			0-50	50-100	100-150	150-200	200-250...	kişi/hektar
						...250-300	300-350	350-400	400-450	
Durak ve İstasyonlar	0,120	0,133	Otobüs Duraklarına Yakınlık			750+	500-750	250-500	0-250	metre
			Marmaray İstasyonu ve Vapur İskelelerine Yakınlık		1500+	750-1500	500-750	250-500	0-250	metre
			Otoparklara Yakınlık					250+	0-250	metre
Zemin Durumu	0,086	0,103	Jeoteknik-Jeolojik Uygunluk			Uygun Olmayan Alan	AJE Gerektiren Alan	Önlemlı Alan	Uygun Alan	Uygunluk Değerlendirmesi
			Sismolojik Uygunluk		0-2	2-5	5-10	10-30	30+	Fay Hatlarına Uzaklık (kilometre)

Tablo 6.5 Devam.

Karayolu Trafik Yoğunluğu	0,085	0,076			Karayolu Dışı	0-285	285-688	688-1.091	1.091-1.494...	Karayolu Trafik Hacmi (taşıt/2piksaat)
						... 1.494-1.897	1.897-2.300	2.300-2.702	2.702- 6.233	
İdari Birimler ve Donatı Alanları	0,075	0,084		1.500+	750-1.500	500-750	250-500	0-250	Kurumların İçinde	metre
Eğim Durumu	0,059	0,080				12+	7-12	4,5- 7	0- 4,50	Eğim Düzeyleri (%)
Çalışma Alanları	0,064	0,057		2.500+	1.000-2.500	500-1.000	250-500	0-250	Alanların İçinde	metre
Toplu Konutlar	0,067	0,056			3.000+	2.000-3.000	1.000-2.000	0-1.000	Alanların İçinde	metre
Kent İçi Yollar	0,050	0,047						<10	≥10	Paylaşılabilir Yol Genişliği (m)
Havza Koruma Kuşakları	0,038	0,042			0-300	300-1.000	1.000-2.000	2.000-5.000	5.000+	metre
Koruma Alanları	0,040	0,048		0-100	100-250	250-500	500-1.000	1000-2500	2.500+	metre
Mülkiyet	0,041	0,041						şahıs	Kamu	Mülkiyet Sahibi
TOPLAM	1	1								

Çalışmaya dahil edilen veri katmanlarının türleri ve ölçme birimleri birbirinden farklıdır (Tablo 6.1). Nihai Harita'nın elde edilebilmesi için, bu katmanlar ArcMAP ortamında Reclassify aracı yardımıyla yeniden sınıflandırılması gerekmektedir. Bu Reclassify işlemi aşamasında AHS ve BWM kapsamında uzman ağırlıklandırmalarının mekansal ifadelerle dönüştürülebilmeleri için, tespit edilen ölçüt ağırlıklarının (örn: Tablo 6.6'de 3. sütun) ArcMAP'teki veri işlemlerine entegre olması gerekmektedir.

İlk olarak her bir ölçüte ait olan alt kırılımların (bkz. Tablo 6.5) sayısal değerleri normalize edilmiştir (en büyük değer 1 olarak kabul edilerek kalan değerler 0-1 aralığında değerler almıştır), (örn: Tablo 6.6'de 2. sütun). Her bir ölçüte ait kırılımların normalize değerleri (x), ölçüt ana ağırlıklandırma değeri (y) ile ve ardından hesap kolaylığı amacıyla 1.000 değeri ile çarpılarak "Nihai Alt Kırılım Ağırlıklandırmaları" (x. y. 1.000) elde edilmiştir. Ortaya çıkan bu ağırlıklandırmalara, "Standart Puan" veya "Uygunluk Puanı" adları da verilebilir. Devamında bu nihai alt kırılım ağırlıklandırma değerleri Reclassify (Yeniden Sınıflandırma) aracı ile ait olduğu piksel değerlerine işlenmiştir. Bu pikseller bir araya gelerek Gebze ve Darıca ilçe sınırları boyutundaki Raster Görüntü Haritalarını oluşturmaya uygundur. Bu Raster Görüntü Haritalarında her bir piksele ait 0 ile 1.000 arası değişen değerler ortaya çıkmıştır. En yüksek değerlere sahip pikseller ilgili ölçüt kapsamında güzergâhın geçebileceği potansiyel konumları ifade etmektedir.

Reclassify işleminin yapısı ve nasıl sonuçlar verdiği Tablo 6.6'dan 6.22'ye kadar olan tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 6.6: Yolculuk talebinin düzeyi (2014 ve 2035) ölçütü alt kırılımlarının reclassify işlemleri.

Seyahat Talebi 2014 ve 2035- AHS				
1 TAB Başına Düşen Günlük Yolculuk Sayısı (yolcu)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-6.000	0,2	0,149	0,030	30
6.000-10.000	0,4	0,149	0,060	60
10.000-15.000	0,6	0,149	0,089	89
15.000-20.000	0,8	0,149	0,119	119
20.000+	1	0,149	0,149	149
Seyahat Talebi 2014 ve 2035- BWM				
1 TAB Başına Düşen Günlük Yolculuk Sayısı (yolcu)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-6.000	0,2	0,132	0,026	26
6.000-10.000	0,4	0,132	0,053	53
10.000-15.000	0,6	0,132	0,079	79
15.000-20.000	0,8	0,132	0,106	106
20.000+	1	0,132	0,132	132

Tablo 6.7: Yoğunluk (2014) ölçütü alt kırılımlarının reclassifiy işlemleri.

Yoğunluk 2014- AHS				
Nüfus Yoğunluğu (kişi/ha)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-50	0,125	0,1247	0,016	16
50-100	0,25	0,1247	0,031	31
100-150	0,375	0,1247	0,047	47
150-200	0,5	0,1247	0,062	62
200-250	0,625	0,1247	0,078	78
250-300	0,75	0,1247	0,094	94
300-350	0,875	0,1247	0,109	109
350-400	1	0,1247	0,125	125
Yoğunluk 2014- BWM				
Nüfus Yoğunluğu (kişi/ha)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-50	0,125	0,102	0,013	13
50-100	0,25	0,102	0,026	26
100-150	0,375	0,102	0,038	38
150-200	0,5	0,102	0,051	51
200-250	0,625	0,102	0,064	64
250-300	0,75	0,102	0,077	77
300-350	0,875	0,102	0,089	89
350-400	1	0,102	0,102	102

Tablo 6.8: Yoğunluk (2035) ölçütü alt kırılımlarının reclassify işlemleri.

Yoğunluk 2035- AHS				
Nüfus Yoğunluğu (kişi/ha)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-50	0	0,1247	0,000	0
50-100	0,125	0,1247	0,016	16
100-150	0,25	0,1247	0,031	31
150-200	0,375	0,1247	0,047	47
200-250	0,5	0,1247	0,062	62
250-300	0,625	0,1247	0,078	78
300-350	0,75	0,1247	0,094	94
350-400	0,875	0,1247	0,109	109
400-450	1	0,1247	0,125	125
Yoğunluk 2035- BWM				
Nüfus Yoğunluğu (kişi/ha)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-50	0	0,102	0,000	0
50-100	0,125	0,102	0,013	13
100-150	0,25	0,102	0,026	26
150-200	0,375	0,102	0,038	38
200-250	0,5	0,102	0,051	51
250-300	0,625	0,102	0,064	64
300-350	0,75	0,102	0,077	77
350-400	0,875	0,102	0,089	89
400-450	1	0,102	0,102	102

Tablo 6.9: Durak ve istasyonlar ölçütü alt kırılımlarının reclassify işlemleri.

Durak ve İstasyonlar - AHS					Durak ve İstasyonlar - AHS					Durak ve İstasyonlar - AHS				
Otobüs Duraklarına Yakınlık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)	Marmaray İstasyonu ve Vapur İskelelerine Yakınlık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)	Otoparklara Yakınlık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-250	0,35	0,12	0,042	42	0-250	0,65	0,12	0,078	78	0-250	0,35	0,12	0,042	42
250-500	0,15	0,12	0,018	18	250-500	0,45	0,12	0,054	54	250+	0	0,12	0	0
500-750	0,05	0,12	0,006	6	500-750	0,25	0,12	0,03	30					
750+	0	0,12	0	0	750-1500	0,1	0,12	0,012	12					
					1500+	0	0,12	0	0					
Durak ve İstasyonlar - BWM					Durak ve İstasyonlar - BWM					Durak ve İstasyonlar - BWM				
Otobüs Duraklarına Yakınlık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)	Marmaray İstasyonu ve Vapur İskelelerine Yakınlık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)	Otoparklara Yakınlık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-250	0,35	0,133	0,047	47	0-250	0,65	0,133	0,086	86	0-250	0,35	0,133	0,047	47
250-500	0,15	0,133	0,020	20	250-500	0,45	0,133	0,060	60	250+	0	0,133	0	0
500-750	0,05	0,133	0,007	7	500-750	0,25	0,133	0,033	33					
750+	0	0,133	0	0	750-1500	0,1	0,133	0,013	13					
					1500+	0	0,133	0	0					

Tablo 6.10: Zemin durumu (jeoteknik-jeolojik) ölçütü alt kırılımlarının reclassify işlemleri.

Jeoteknik-Jeolojik Uygunluk- AHS				
Uygunluk Değerlendirmesi	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Uygun Olmayan Alan	0	0,043	0	0
Ayrıntılı Jeolojik Etüt Gerektiren Alan	0,2	0,043	0,009	9
Önlemlili Alan	0,4	0,043	0,017	17
Uygun Alan	1	0,043	0,043	43
Jeoteknik-Jeolojik Uygunluk- BWM				
Uygunluk Değerlendirmesi	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Uygun Olmayan Alan	0	0,0515	0	0
Ayrıntılı Jeolojik Etüt Gerektiren Alan	0,2	0,0515	0,010	10
Önlemlili Alan	0,4	0,0515	0,021	21
Uygun Alan	1	0,0515	0,052	52

Tablo 6.11: Zemin durumu (sismolojik) ölçütü alt kırılımlarının reclassifiy işlemleri.

Sismolojik Uygunluk- AHS				
Aktif Faylara Uzaklık (km)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-2	0	0,043	0	0
2-5	0,25	0,043	0,011	11
5-10	0,5	0,043	0,022	22
10-30	0,75	0,043	0,032	32
30+	1	0,043	0,043	43
Sismolojik Uygunluk- BWM				
Aktif Faylara Uzaklık (km)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-2	0	0,0515	0	0
2-5	0,25	0,0515	0,013	13
5-10	0,5	0,0515	0,026	26
10-30	0,75	0,0515	0,039	39
30+	1	0,0515	0,052	52

Tablo 6.12: Karayolu trafik yoğunluğu (2014) ölçütü alt kırılımlarının reclassify işlemleri.

Karayolu Trafik Yoğunluğu 2014- AHS				
Karayolu Trafik Hacmi (taşıt/2piksaat)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Karayolu Dışı	0	0,0848	0	0
0- 77	0,125	0,0848	0,011	11
77- 232	0,25	0,0848	0,021	21
232- 388	0,375	0,0848	0,032	32
388- 545	0,5	0,0848	0,042	42
545- 700	0,625	0,0848	0,053	53
700- 855	0,75	0,0848	0,064	64
855- 1.011	0,875	0,0848	0,074	74
1.011- 2.495	1	0,0848	0,085	85
Karayolu Trafik Yoğunluğu 2014- BMW				
Karayolu Trafik Hacmi (taşıt/2piksaat)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Karayolu Dışı	0	0,076	0	0
0- 77	0,125	0,076	0,010	10
77- 232	0,25	0,076	0,019	19
232- 388	0,375	0,076	0,029	29
388- 544	0,5	0,076	0,038	38
544- 700	0,625	0,076	0,048	48
700- 855	0,75	0,076	0,057	57
855- 1.011	0,875	0,076	0,067	67
1.011- 2.495	1	0,076	0,076	76

Tablo 6.13: Karayolu trafik yoğunluğu (2035) ölçütü alt kırılımlarının reclassify işlemleri.

Karayolu Trafik Yoğunluğu 2035- AHS				
Karayolu Trafik Hacmi (taşıt/2piksaat)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Karayolu Dışı	0	0,0848	0	0
0- 285	0,125	0,0848	0,011	11
285- 688	0,25	0,0848	0,021	21
688- 1.091	0,375	0,0848	0,032	32
1.091- 1.494	0,5	0,0848	0,042	42
1.494- 1.897	0,625	0,0848	0,053	53
1.897- 2.300	0,75	0,0848	0,064	64
2.300- 2.702	0,875	0,0848	0,074	74
2.702- 6.233	1	0,0848	0,085	85
Karayolu Trafik Yoğunluğu 2035- BMW				
Karayolu Trafik Hacmi (taşıt/2piksaat)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Karayolu Dışı	0	0,076	0	0
0- 285	0,125	0,076	0,010	10
285- 688	0,25	0,076	0,019	19
688- 1.091	0,375	0,076	0,029	29
1.091- 1.494	0,5	0,076	0,038	38
1.494- 1.897	0,625	0,076	0,048	48
1.897- 2.300	0,75	0,076	0,057	57
2.300- 2.702	0,875	0,076	0,067	67
2.702- 6.233	1	0,076	0,076	76

Tablo 6.14: İdari birimler ve donatı alanları ölçütü alt kırılımlarının reclassifiy işlemleri.

İdari Birimler ve Donatı Alanları - AHS				
Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Bu Alanın İçinde	1	0,075	0,075	75
0-250	0,8	0,075	0,06	60
250-500	0,6	0,075	0,045	45
500-750	0,4	0,075	0,03	30
1000-1.500	0,2	0,075	0,015	15
1.500+	0	0,075	0	0
İdari Birimler ve Donatı Alanları - BWM				
Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Bu Alanın İçinde	1	0,084	0,084	84
0-250	0,8	0,084	0,067	67
250-500	0,6	0,084	0,050	50
500-750	0,4	0,084	0,034	34
1000-1.500	0,2	0,084	0,017	17
1.500+	0	0,084	0	0

Tablo 6.15: Eğim durumu ölçütü alt kırılımlarının reclassify işlemleri.

Eğim Durumu - AHS				
Eğim Düzeyleri (%)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-4,50	1	0,059	0,059	59
4,5-7	0,8	0,059	0,0472	47
7-12	0,4	0,059	0,0236	24
12+	0	0,059	0	0
Eğim Durumu - BWM				
Eğim Düzeyleri (%)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-4,50	1	0,08	0,08	80
4,5-7	0,8	0,08	0,064	64
7-12	0,4	0,08	0,032	32
12+	0	0,08	0	0

Tablo 6.16: Çalışma alanları ölçütü alt kırılımlarının reclassifiy işlemleri.

Çalışma Alanları- AHS				
Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Bu Alanın İçinde	1	0,0644	0,064	64
0-250	0,8	0,0644	0,052	52
250-500	0,6	0,0644	0,039	39
500-1.000	0,4	0,0644	0,026	26
1000-2500	0,2	0,0644	0,013	13
2.500+	0	0,0644	0	0
Çalışma Alanları- BWM				
Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Bu Alanın İçinde	1	0,057	0,057	57
0-250	0,8	0,057	0,046	46
250-500	0,6	0,057	0,034	34
500-1.000	0,4	0,057	0,023	23
1000-2500	0,2	0,057	0,011	11
2.500+	0	0,057	0	0

Tablo 6.17: Toplu konutlar ölçütü alt kırılımlarının reclassifı işlemleri.

Toplu Konutlar- AHS				
Toplu Konut Alanlarına Yakınlık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Bu Alanın İçinde	1	0,0667	0,067	67
0-1.000	0,75	0,0667	0,050	50
1.000-2.000	0,5	0,0667	0,033	33
2.000-3.000	0,25	0,0667	0,017	17
3.000+	0	0,0667	0	0
Toplu Konutlar- BWM				
Toplu Konut Alanlarına Yakınlık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Bu Alanın İçinde	1	0,056	0,056	56
0-1.000	0,75	0,056	0,042	42
1.000-2.000	0,5	0,056	0,028	28
2.000-3.000	0,25	0,056	0,014	14
3.000+	0	0,056	0	0

Tablo 6.18: Kent içi yollar (2014 ve 2035) ölçütü alt kırılımlarının reclassifı işlemleri.

Kent İçi Yollar 2014 ve 2035- AHS				
Paylaşılabilecek Yol Genişliği (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
<10	0	0,05	0	0
≥10	1	0,05	0,05	50
Kent İçi Yollar 2014 ve 2035- BWM				
Paylaşılabilecek Yol Genişliği (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
<10	0	0,047	0	0
≥10	1	0,047	0,047	47

Tablo 6.19: Havza koruma kuşakları ölçütü alt kırılımlarının reclassify işlemleri.

Havza Koruma Kuşakları- AHS				
Havza Koruma Kuşaklarına Uzaklık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-300	0	0,0383	0	0
300-1.000	0,25	0,0383	0,010	10
1.000-2.000	0,5	0,0383	0,019	19
2.000-5.000	0,75	0,0383	0,029	29
5.000+	1	0,0383	0,038	38
Havza Koruma Kuşakları- BWM				
Havza Koruma Kuşaklarına Uzaklık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-300	0	0,042	0	0
300-1.000	0,25	0,042	0,011	11
1.000-2.000	0,5	0,042	0,021	21
2.000-5.000	0,75	0,042	0,032	32
5.000+	1	0,042	0,042	42

Tablo 6.20: Koruma alanları ölçütü alt kırımlarının reclassifiy işlemleri.

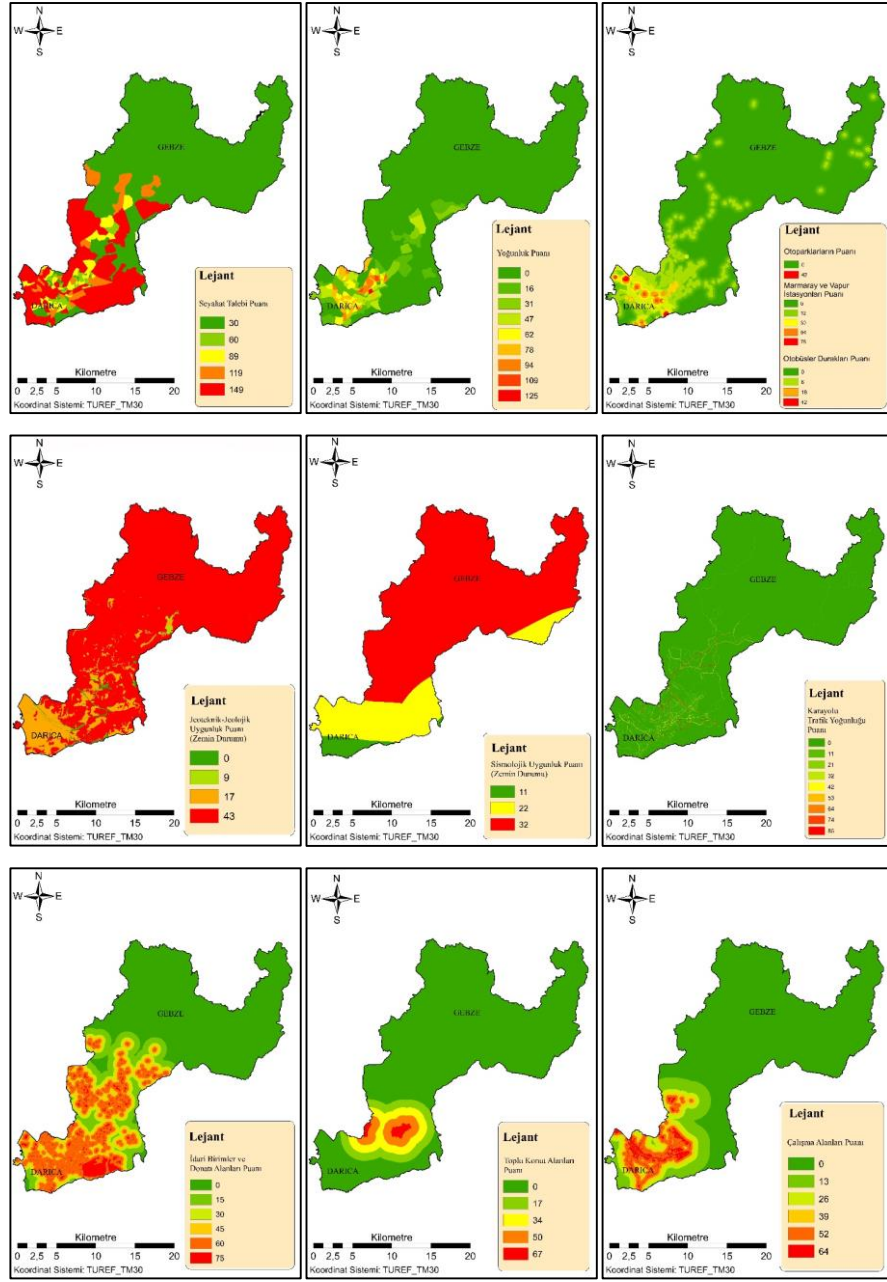
Koruma Alanları - AHS				
Sit Alanlarına Uzaklık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-100	0	0,04	0	0
100-250	0,2	0,04	0,008	8
250-500	0,4	0,04	0,016	16
500-1.000	0,6	0,04	0,024	24
1000-2500	0,8	0,04	0,032	32
2.500+	1	0,04	0,040	40
Koruma Alanları - BWM				
Sit Alanlarına Uzaklık (m)	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
0-100	0	0,048	0	0
100-250	0,2	0,048	0,010	10
250-500	0,4	0,048	0,019	19
500-1.000	0,6	0,048	0,029	29
1000-2500	0,8	0,048	0,038	38
2.500+	1	0,048	0,048	48

Tablo 6.21: Mülkiyet ölçütü alt kırımlarının reclassifiy işlemleri.

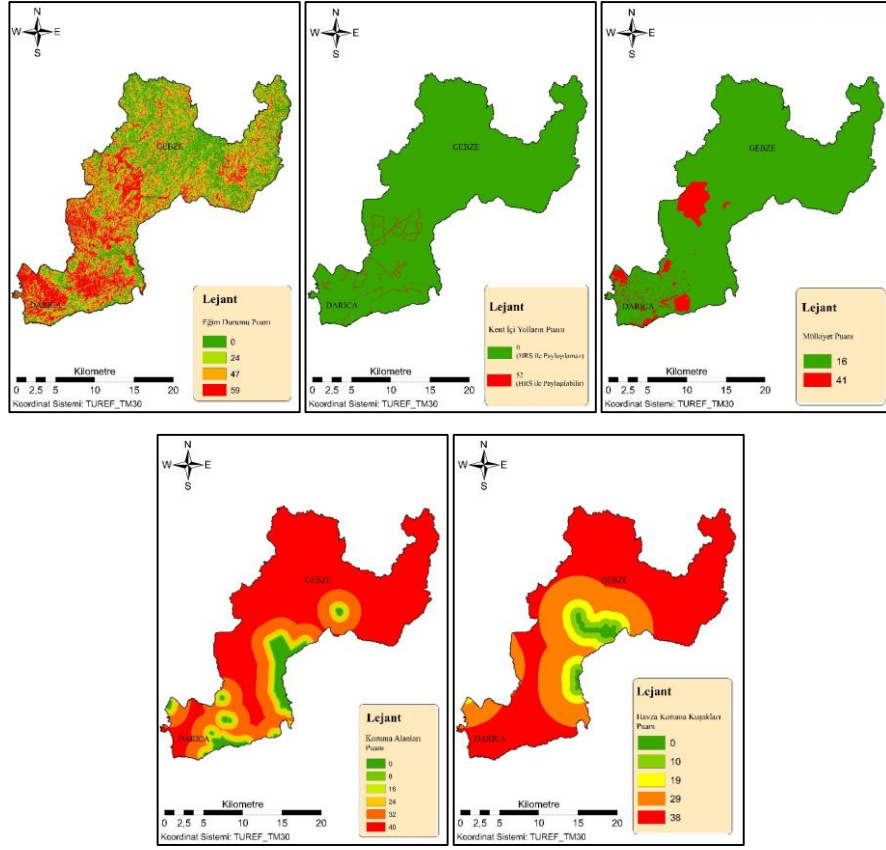
Mülkiyet- AHS				
Mülkiyet Sahibi	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Şahıs	0,4	0,041	0,0164	16
Kamu	1	0,041	0,041	41
Mülkiyet- BWM				
Mülkiyet Sahibi	Normalize Puan (x)	Ölçüt Ana Ağırlık Değeri (y)	Ağırlıklı Puan (x.y)	Uygunluk Puanı (Piksel Değeri) (x.y.1000)
Şahıs	0,4	0,041	0,0164	16
Kamu	1	0,041	0,041	41

6.3.4. Yeniden Sınıflandırılmış Veri İle Oluşturulmuş Ölçüt Haritaları

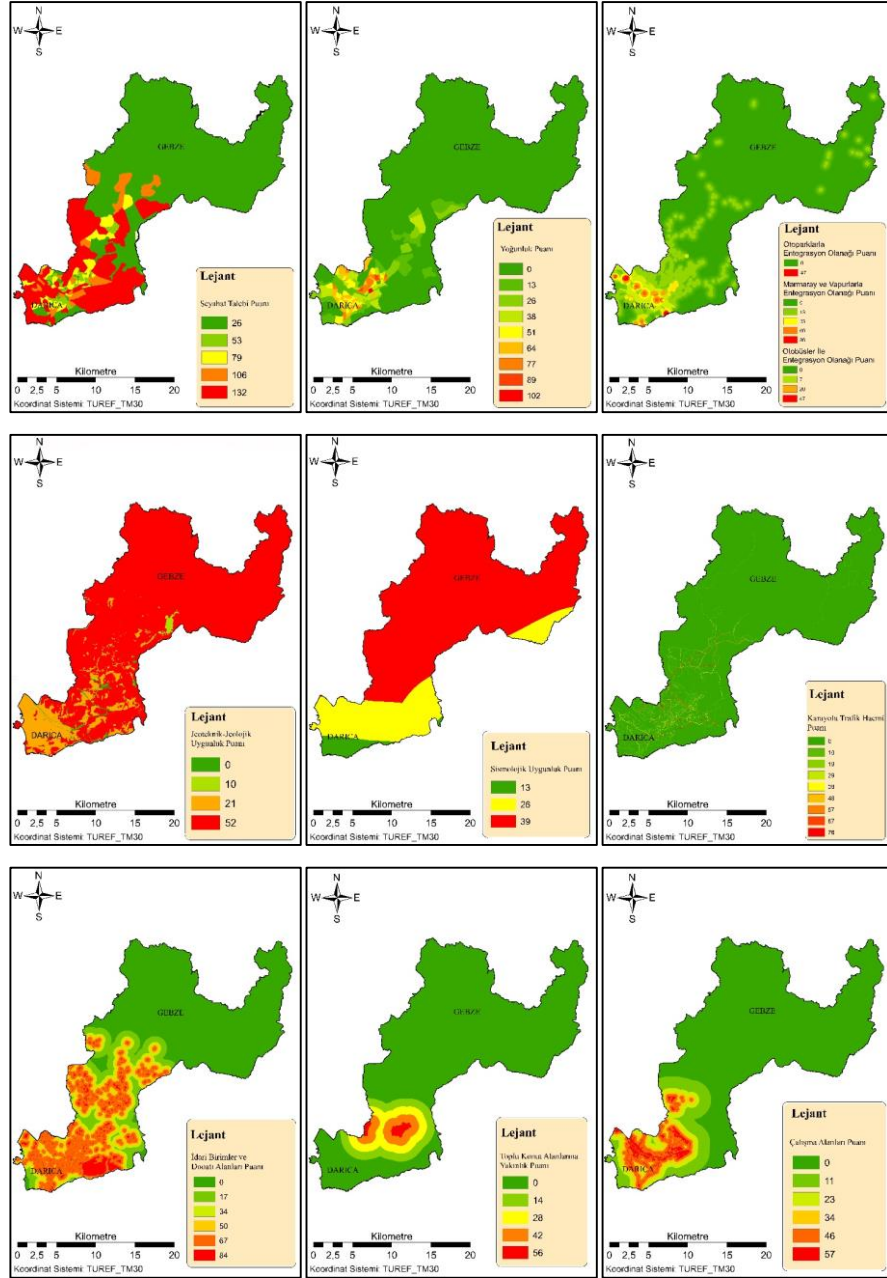
Bir önceki bölümdeki tablolarda verilen puanları ArcMAP'in Reclassify (Yeniden Sınıflandırma) aracı ile ait olduğu piksel değerlerine işlenmiştir. Katmanlardaki raster verilerin yeni değerleri ile yeniden sınıflandırılan haritalar AHS ve BWM için sırayla Şekil 6.26 ve 6.27'de gösterilmektedir (Haritalardaki yeşil tonlu renkler (düşük sayısal değerlere sahip pikseller) her bir kriter kapsamında HRS güzergâhı için uygun olmayan alanları, kırmızı tonlu renkler (yüksek sayısal değere sahip pikseller) HRS güzergâhı için uygun olan alanları ifade etmektedir.



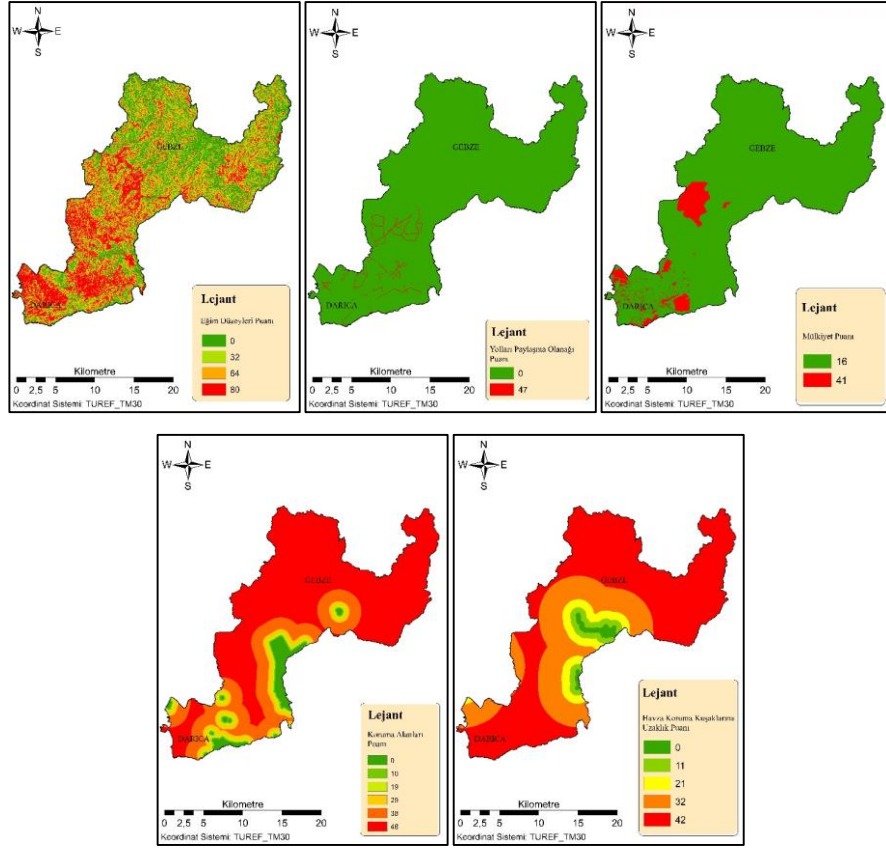
Şekil 6.26: Katmanlardaki raster verilerin yeni değerleri ile yeniden sınıflandırılan ölçüt haritaları- AHS.



Şekil 6.26-Devam.



Şekil 6.27: Katmanlardaki raster verilerin yeni değerleri ile yeniden sınıflandırılan ölçüt haritaları- BWM.



Şekil 6.27-Devam.

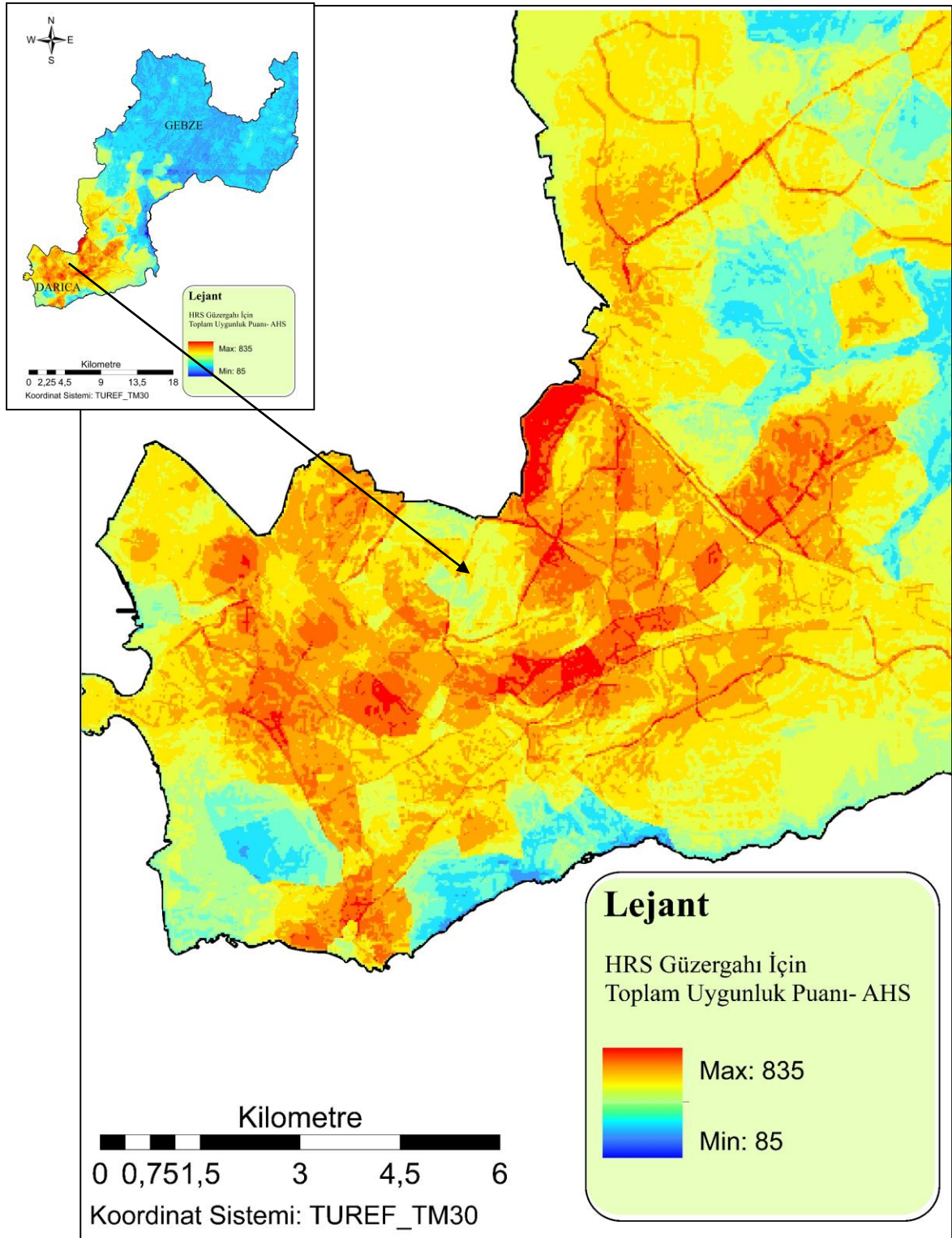
7. BULGULAR

7.1. HRS Güzergâhı İçin Uygunluk Haritaları

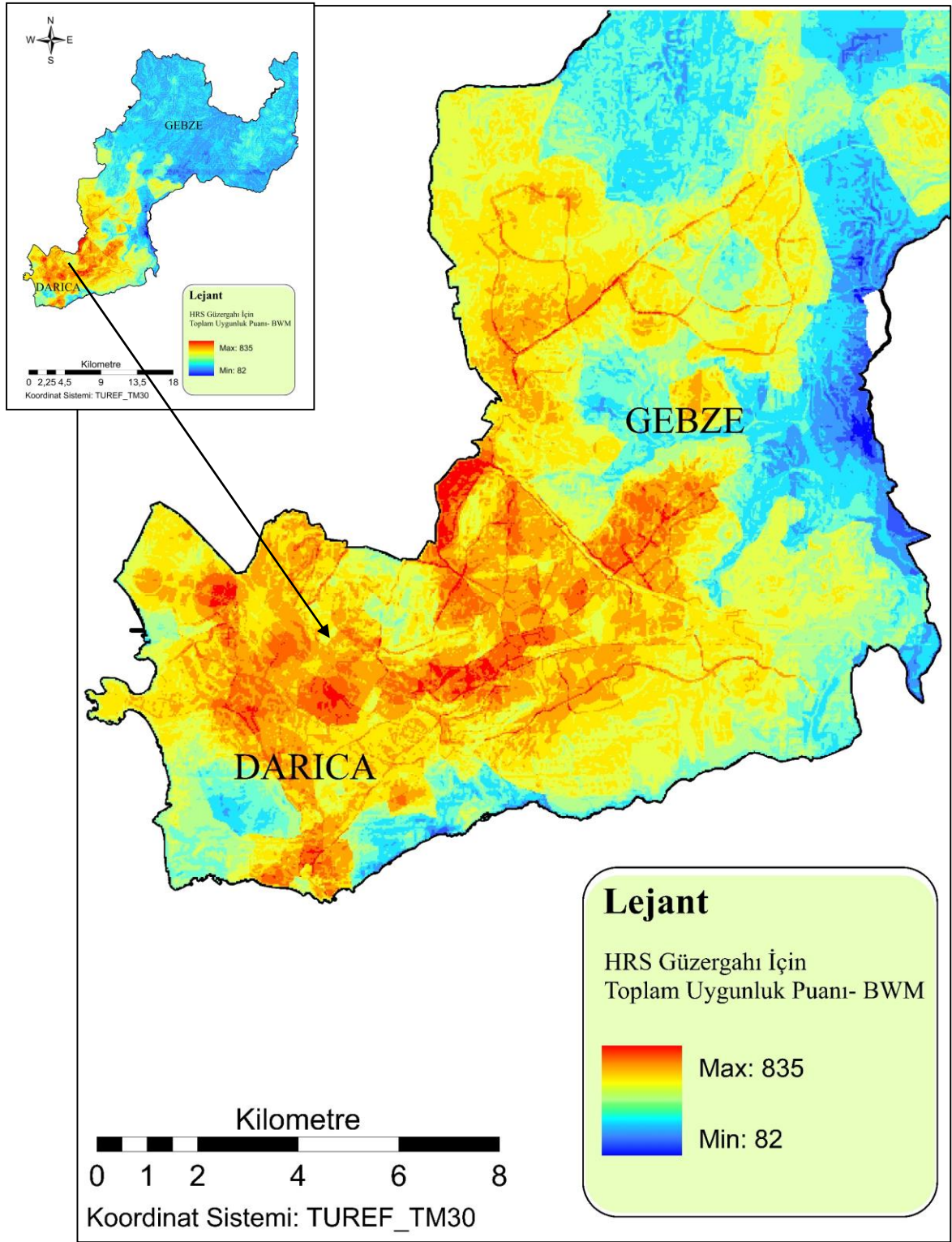
Son aşamada ArcMAP'in Raster Calculator aracı kullanılarak, yeniden sınıflandırılan ve birimleri (raster), çözünürlükleri (25mx25m), koordinatları (TUREF_TM30) ve sınırları (Gebze-Darıca) aynı olan ölçüt haritalar birleştirilmiştir. Şekil 7.1 ve 7.2 ve sırayla AHS ve BWM için Raster Calculator aracı ile ölçüt haritalarının matematiksel olarak piksel değerlerinin toplanması sonucu ortaya çıkan uygunluk haritasını göstermektedir.

AHS kapsamında oluşturulan haritada en yüksek piksel değerine (835- koyu kırmızı) sahip alanlar HRS güzergâhı olmak için uygunluğu en yüksek alanları, en düşük piksel değerine (85- koyu mavi) sahip alanlar ise HRS güzergâhı olmak için uygunluğu en düşük alanları göstermektedir.

BWM kapsamında oluşturulan haritada en yüksek piksel değerine (835- koyu kırmızı) sahip alanlar HRS güzergâhı olmak için uygunluğu en yüksek alanları, en düşük piksel değerine sahip (82- koyu mavi) sahip alanlar ise HRS güzergâhı olmak için uygunluğu en düşük alanları göstermektedir.



Şekil 7.1 – AHS ile ulaşılan güzergâh uygunluk puanları toplamı haritası.



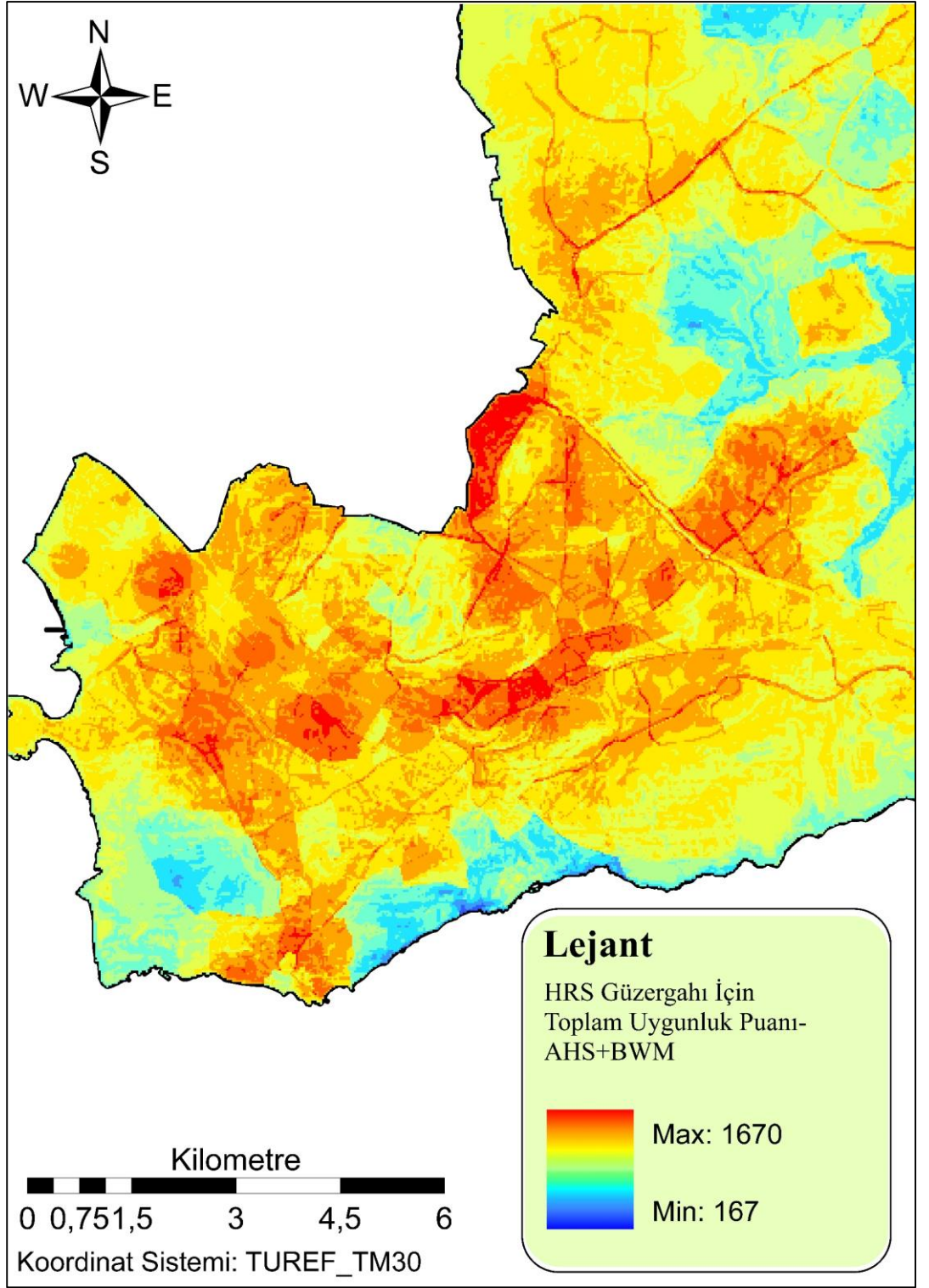
Şekil 7.2 – BWM ile ulaşılan güzergâh uygunluk puanları toplamı haritası.

Şekil 7.1 ve 7.2'deki Güzergâh Uygunluk Haritaları değerlendirildiğinde çalışma alanının güney bölümü olan Darıca ilçesinde bulunan; Şehit Cevher Dudayev Parkı yakın çevresi, Yalı Mahallesi'nin güneyi ve yeşil alanların doğusu, Darıca Cumhuriyet Meydanı'nın 500 metre uzağındaki tüm alanlar, Darıca Farabi Devlet Hastanesi yakın çevresi, Nenehatun Mahalle merkezi ve batısı, Osmangazi Mahallesi'nin batı yarısı, Sırasöğütler Mahallesi'nin tümü ve Emek Mahallesi'nin doğu kısmının HRS güzergâh planlaması için uygun öneri oluşturabilecek alanlar olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma alanının orta ve kuzey bölümünü oluşturan Gebze ilçesinde ise; Türk Standartları Enstitüsü Kalite Kampüsü yakın çevresi, Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ) kampüsünün tümü, Gebze STFA Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi yakın çevresi, Köşklü Çeşme ve Osman Yılmaz Mahallelerinin'nin tamamı, Tatlıkuyu Mahallesi'nin kuzey kısmı, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nin kuzeybatı bölümü, Muallimköy Mahallesi'nin tümü, Sultan Orhan Mahallesi'nin tümü, Kirazpınar Mahallesi'nin batı kısmı, Mustafapaşa, Güzeller, Hacıhalil ve Arapçeşme Mahallelerinin'nin tamamı, Mevlana Mahallesi'nin kuzey ve Gaziler Mahallesi'nin güney parçası, Gebze Belediyesi Şehir Mezarlığı, Yenikent ve İnönü Mahalleleri'nin tamamı, GOSB'un en güney ucu hariç tamamının HRS güzergâh planlaması açısından yüksek puanlara sahip alanlar olarak öne çıktığı görülmektedir.

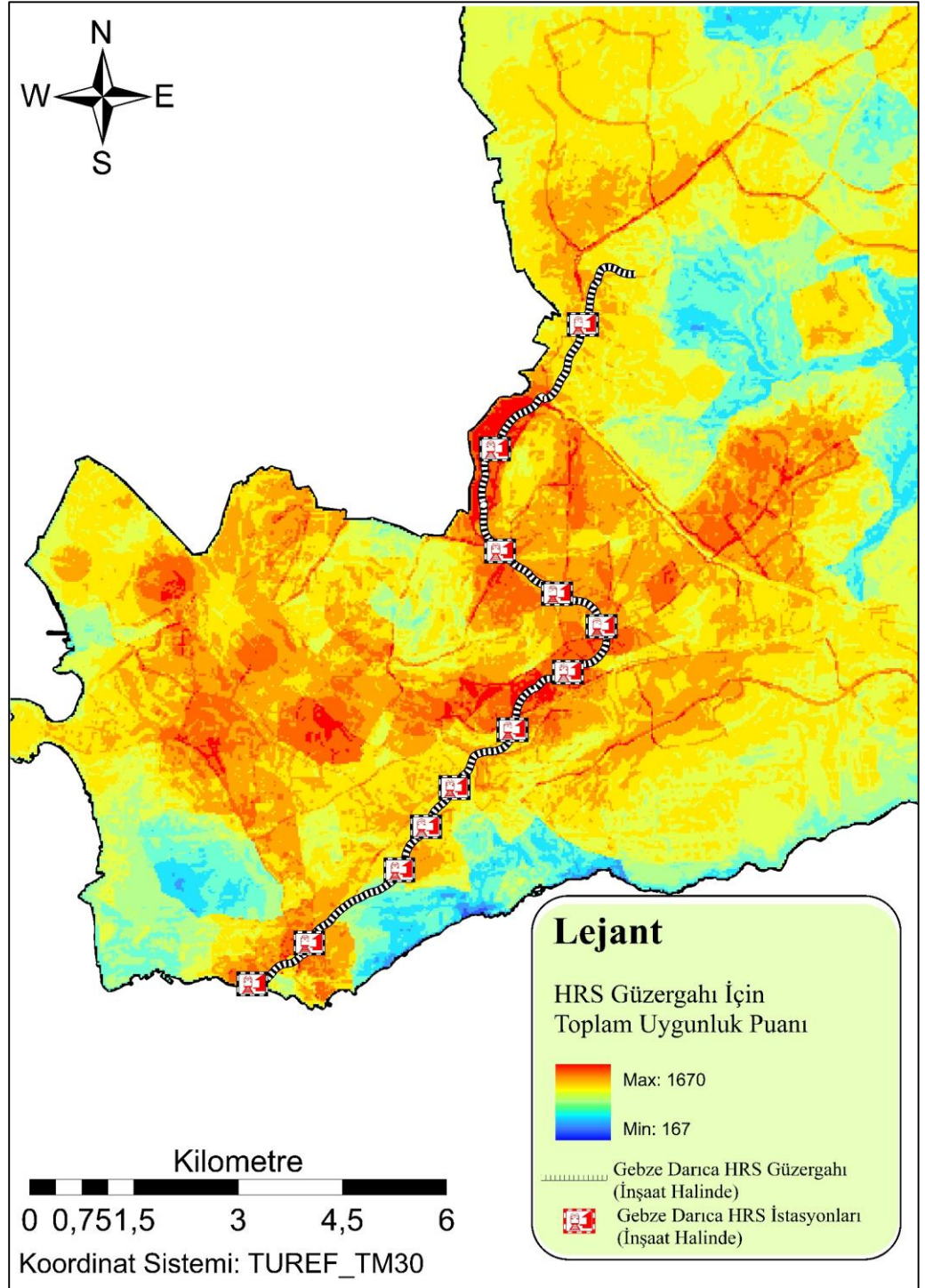
7.2. Nihai Uygunluk Haritası ve Üzerinde İnşa Halindeki Hattın Yerleştirilmesi

Bu çalışmada sonuç haritasına ulaşılması için iki farklı karar alma yöntemi kullanılmıştır (AHS ve BWM). Şekil 7.1 ve 7.2 verilen Güzergâh Uygunluk Haritalarının benzerlik düzeyleri yüksektir. Bu sebeple iki farklı yöntem ile oluşturulmuş sonuç haritalarından farklı çıkarımlar yapmak yerine, bu iki sonuç haritasının toplanarak nihai tek bir sonuç haritasına ulaşılması daha makuldür. Bunun uygulaması olarak Şekil 7.3'te verilen haritada görüleceği üzere yine ArcMAP'in Raster Calculator aracı kullanılarak Şekil 7.1 ve 7.2 verilen raster haritalarının piksel değerleri toplanıp tüm yöntemlerin etki ettiği bir sonuç haritasına ulaşılmıştır. Bu harita, çalışmanın neticesini belirten harita olarak aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 7.3: Nihai HRS güzergâh uygunluk puanları haritası.

Uygun alanların tespiti ardından inşaat halindeki Gebze-Darica HRS güzergâhı, yukarıda verilen sonuç haritası ile karşılaştırılmıştır. Şekil 7.4'te Güzergâh Uygunluk Haritası ile inşaat halindeki Gebze-Darica HRS güzergâhı aynı harita üzerinde sunulmaktadır.



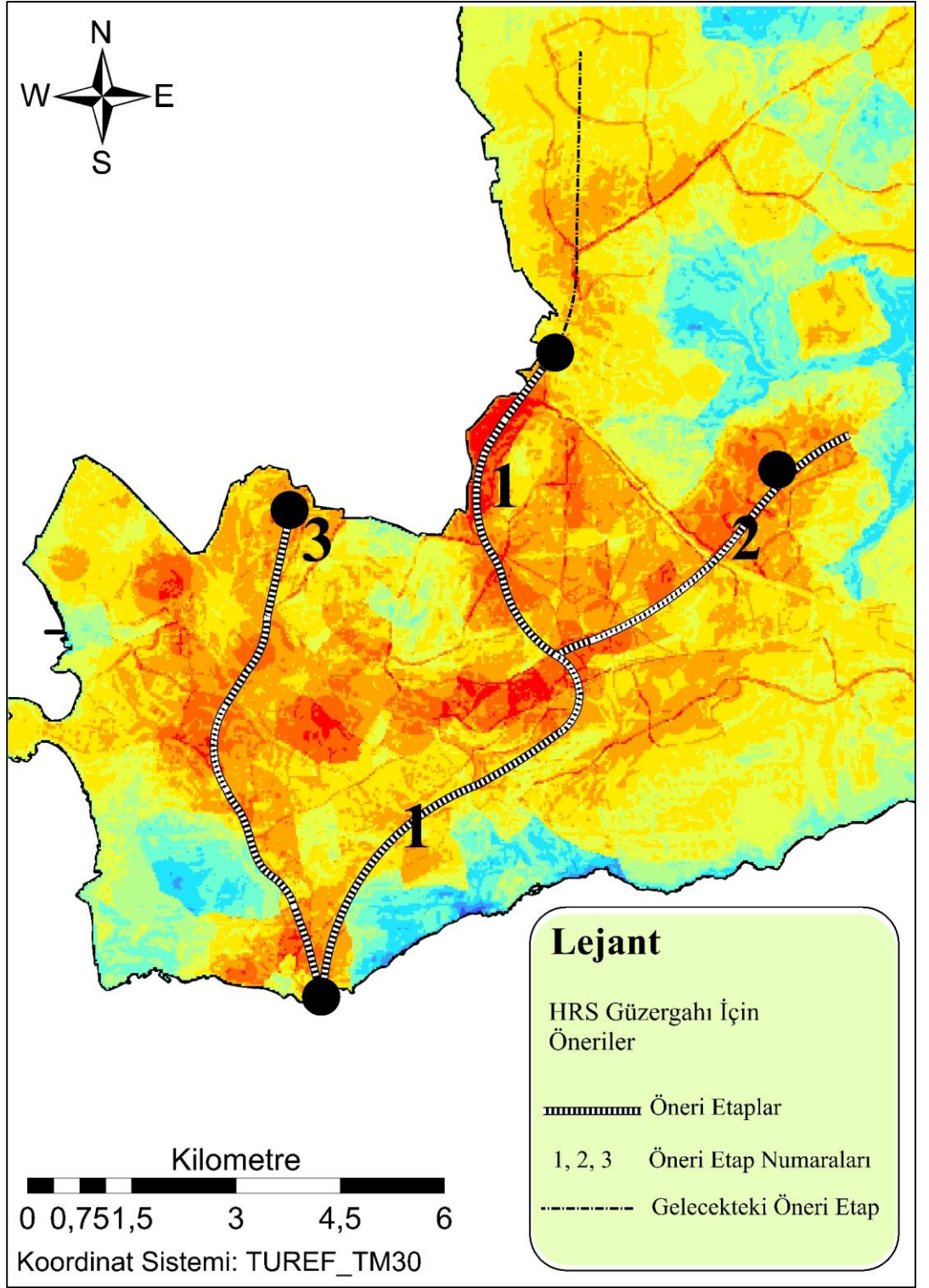
Şekil 7.4: Gebze-Darica HRS'nin güzergâh uygunluk haritası ile entegrasyonu.

Yukarıdaki haritalar göstermektedir ki; Gebze ile Darıca arasına yapılmakta olan raylı sistem hattı ile bu çalışmada en yüksek puan alan ve raylı sistem yapılması önerilen kırmızı renkli alanlar büyük oranda örtüşmektedir. Böylelikle, tez kapsamında önerilen modeli teyit edilmektedir.

Çalışmada uygulanan modelin gerçek hayat uygulamaları ile örtüştüğünün kanıtlanması sonrası, model çıktıları ile gelecek için bazı öneriler oluşturulmuştur.

7.3. Önerilen Hafif Raylı Sistem Güzergâhları

Nihai Uygunluk Haritası'nda kırmızı renklere sahip olan fakat devam eden HRS projesine dahil olmayan alanlar da bulunmaktadır. Sonuç haritasından çıkarımlar yapılarak mevcut sisteme entegre şekilde mevcut raylı sistem projesinde güzergâh düzeltmeleri ve eklemelere ilişkin öneriler geliştirilmiş ve Şekil 7.5'te sunulmuştur.



Şekil 7.5: Gebze-Darica bölgesi için öneri olabilecek güzergâh etapları.

Şekil 7.5'te görülen 1 numaralı etap Gebze-Darica HRS ile en benzer öneridir ve inşa halindeki bu hattın ulaşabildiği önemli noktaların çoğuna ulaşabilmektedir. Fakat çalışma alanının ulaşılabilirliği daha da geliştirilmek istenirse 2 ve 3 numaralı etaplar da 1 numaralı güzergâha entegre edilebilecektir.

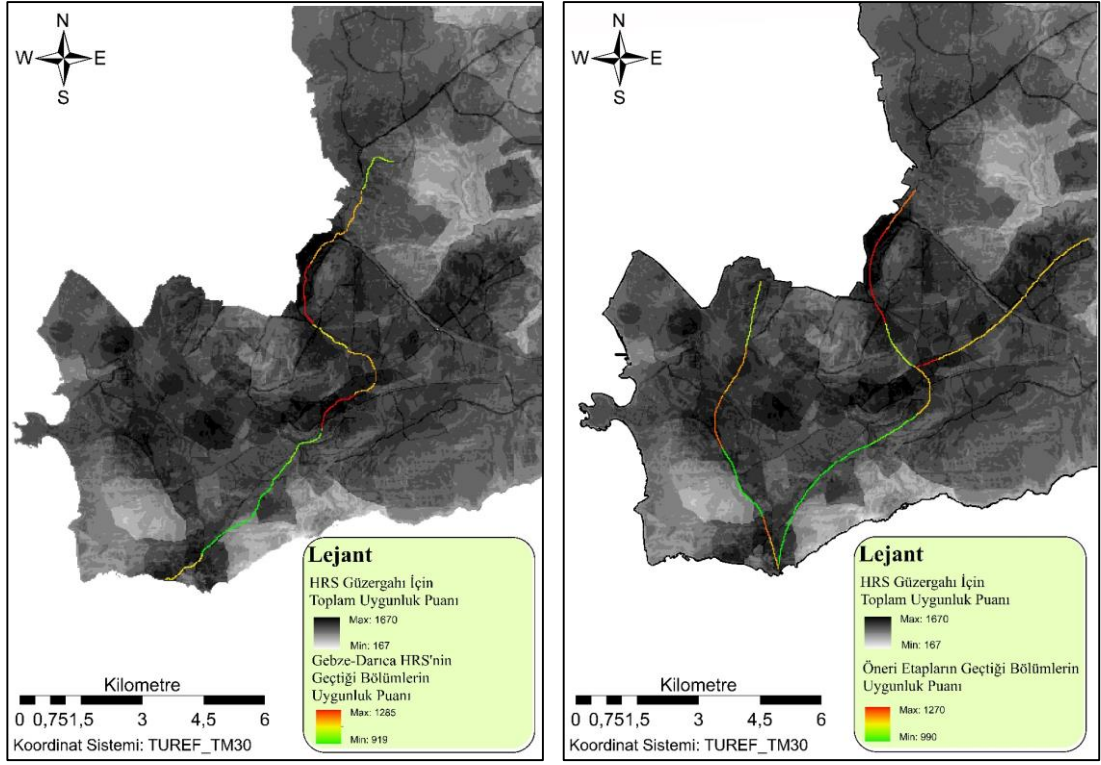
- 1 numaralı etap çalışma alanının en güney ucu olan Darica Vapur İskelesi'nden başlayarak GOSB'un en kuzey ucuna kadar devam ettiği için bölgenin güney-kuzey doğrultusundaki ulaşım ihtiyaçlarının tamamını karşılayabilme potansiyelindedir. Güzergâh önce kuzeydoğu, devamında kuzeybatı ve son olarak yine kuzeydoğu yönünde ilerlemektedir. 1 numaralı öneri, hem doğu hem batı yönüne kentlere raylı sistem ile ulaşma şansı sunan Gebze Marmaray ve Tren İstasyonu'ndan geçerek aktarma şansı sunmaktadır.
- 2 numaralı etap Gebze Kent Meydanı'ndan başlayarak çalışma alanının merkezinde yeni bir yaşam merkezi olan Kirazpınar bölgesine ulaşmaktadır. Güzergâh sürekli olarak kuzeydoğu yönünde ilerlemektedir. 2 numaralı güzergâh 1 numaralı güzergâhı besleme özelliği taşımaktadır. 1 ve 2 numaralı önerilerin kesişimi olan aktarma istasyonunun yaklaşık konumu Gebze Kent Meydanı olarak planlanmıştır.
- 3 numaralı etap da 1 numaralı etap gibi Darica Vapur İskelesi'nden başlayarak Gebze'nin Çayırova ile sınır bölgesi olan Adem Yavuz Mahallesi'ne ulaşmaktadır. Güzergâh önce kuzeybatı, devamında kuzeydoğu yönünde ilerlemektedir. Darica bölgesindeki yolcuların Çayırova'ya taşıyabilmesi bu güzergâhın güçlü yönüdür. 3 numaralı öneri Osmangazi Marmaray İstasyonu'ndan geçerek aktarma şansı sunmaktadır.

1 numaralı etap Gebze-Darica HRS ile güzergâh ve ulaştıkları önemli noktalar konusunda yüksek benzerlik göstermektedir. Bölgenin en büyük ulaşım ihtiyacının Darica Sahil ve GOSB arasında olması sebebiyle bu durum uygun görülmektedir. 1. Etapın Gebze-Darica HRS'den farklılıkları şu şekilde sıralanabilir:

- Gebze-Darica HRS Darica sahildeki Şehit Cevher Dudayev Parkı'ndan başlarken 1. etap önerisi Darica Vapur İskelesi'nden başlamaktadır.

- Gebze-Darıca HRS kuzeydoğu yönündeki ilerleyişini kuzeybatıya çeviren dönüşünü Gebze Kaymakamlığı'nın kuzeyindeki bir alanda gerçekleştirirken 1. etap önerisi bu dönüşünü Gebze Kaymakamlığı'nın güneyinde gerçekleştirmektedir.
- Hem Gebze-Darıca HRS hem 1. etap önerisi GOSB'ta güzergâhlarını tamamlarken 1. etap için gelecekte yapılması planlanan kuzeye doğru bir ek etap verilmiştir.

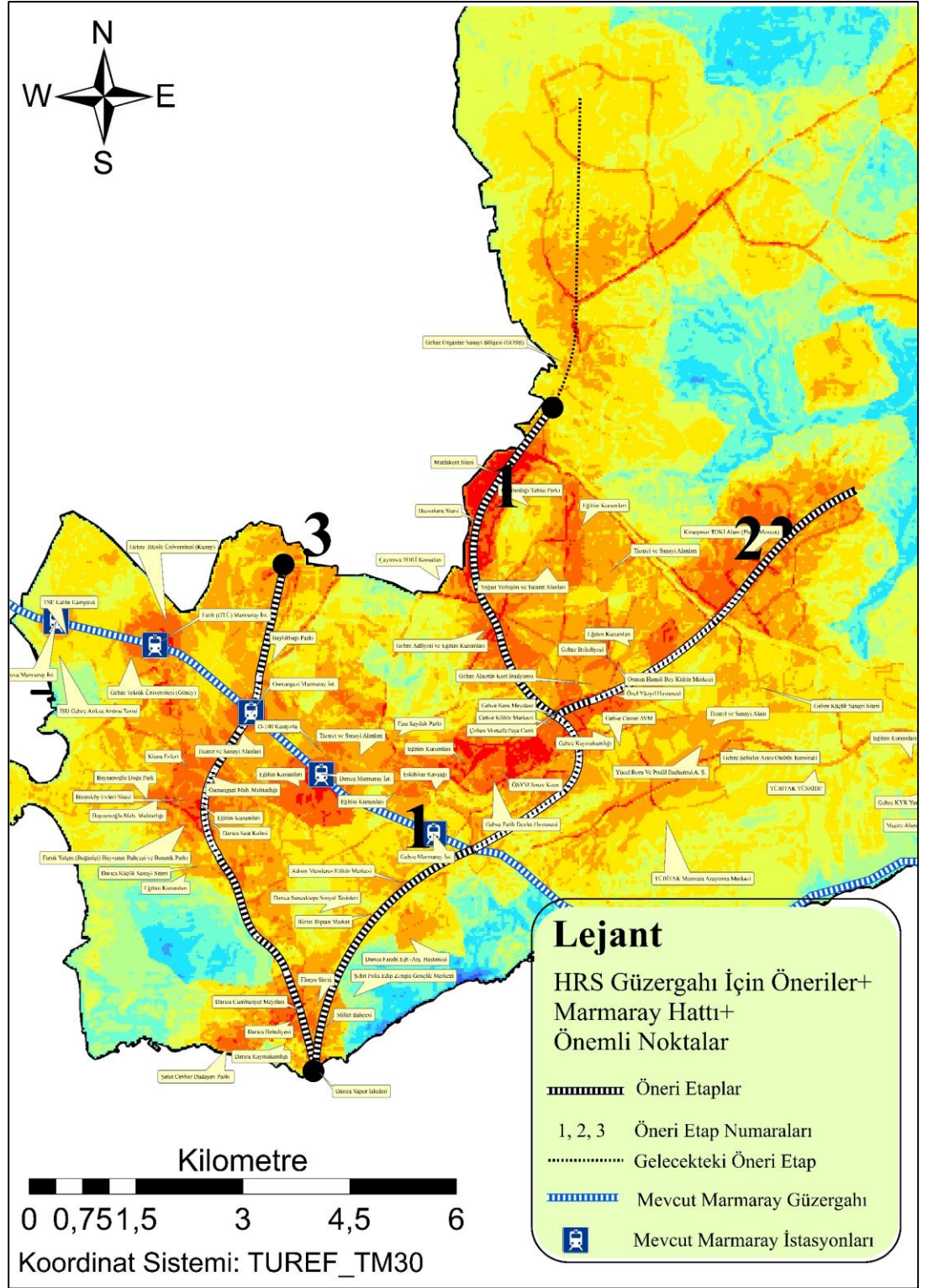
Güzergâh önerilerinin yorumlanması sonrası bu önerilerin Şekil 7.3'te verilen güzergâh uygunluk puanları haritası ile uyumu test edilmiştir. Bu kapsamda Şekil 7.6'da ArcMAP'in Zonal Statistics (Bölgesel İstatistik) aracı ile gerçekleştirilen analiz haritaları verilmiştir. Bu haritalar, ölçüt haritalarının birleştirilmesi ile oluşturulan "Güzergâh uygunluk puanları haritası" piksel değer aralığı (167-1670) içinde inşaat halindeki HRS hattın (solda) ve 3 öneri etabın (sağda) analizini içermektedir. Gebze-Darıca HRS'nin piksel değer aralığı 919-1285 iken önerilen etapların aralığı 990-1270'tir. Bu aralıklardan daha büyük anlam ifade edecek olan aralığı verilen piksel değerlerinin ortalama (mean) değerleridir. Bu değerler Gebze-Darıca HRS için 1104 iken önerilen etaplar için 1126'dır. 1126 (1120 adet pikselin ortalaması) piksel değerinin 1104 (686 adet pikselin ortalaması) değerinden yüksek oluşu, HRS güzergâhı olması için bu çalışmada oluşturulan etapların, en az inşaat halinde olan Gebze-Darıca HRS kadar bölgeye uygun öneriler olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 7.6: İnşaat halindeki HRS hattının ve 3 öneri etabın bölgesel istatistikleri.

Gebze-Darica HRS'ye benzer öneri olan 1 numaralı etabın yanında 2. ve 3. etap ile birlikte daha fazla yüksek puanlı alana erişilmekte ve çalışma alanının raylı sistem ihtiyacı duyan hemen her noktasına erişilebilmektedir.

Şekil 7.7'de, "3 Adet Öneri Güzergâh Etabı" haritasının üzerine, HRS uygunluk puanı yüksek olan alanlardaki önemli noktaların ve işletmede olan Marmaray güzergâhının eklenmesi ile oluşan harita verilmiştir.



Şekil 7.7: Mevcut Marmaray güzergâhı ve 3 öneri güzergâhı.

Şekil 7.7’deki harita ile, işletmedeki Marmaray güzergâhına ek olarak önerilen 3 HRS güzergâhının uygulanması durumunda, çalışma alanındaki en yüksek puanlı alanların yaklaşık %90’ına ve işaretlenen önemli noktaların çoğuna 500 metre yürüme

mesafesinde ulaşılabilmektedir. Geriye kalan yaklaşık %10'luk yüksek puanlı alanlar da HRS güzergâhı planlamak için çok dar alanlardır. Bu alanlarda otobüs ve minibüsler kullanılarak raylı sistem ulaşımı desteklenebilecektir. Öneri güzergâhların Marmaray güzergâhı ile, sistemlerin entegrasyonunun sağlanabilmesi hedefiyle Marmaray istasyonlarında kesişmesine özen gösterildiğı Şekil 7.7 üzerinde görülebilmektedir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ulaştırma Mühendisliği ve Şehir Planlama alanlarının kesişim noktasında konumlandırılabilen ve HRS yatırımlarının, fiziki ve beşeri coğrafya faktörleri de değerlendirilerek en uygun şekilde uygulanmasının bir modelini sunmayı hedefleyen bu çalışma, Gebze-Darica örneğinde yüksek doğruluk ile sonuçlandırılmıştır.

Gebze-Darica HRS ve İzmit Tramvay Uzatma Hatları Uygulamaya Esas Kesin Projelerinin Hazırlanması Mühendislik Hizmetleri Alım İşi kapsamında planlanan ve inşasına başlanan hatlardan biri de Gebze-Darica HRS'dir. Bu bölge için bu hat dışında Uzatma Hatları başlığı altında planlanan farklı hatlar da bulunmaktadır. Tez kapsamında çalışma alanı olarak Gebze-Darica bölgesi ve Gebze-Darica HRS seçilmiştir.

Çalışma kapsamında; öncelikle İstanbul'un komşu ilçeleri olan Gebze ve Darica'nın ulaşım sorunu ele alınmış ve çözüm olarak modern şehircilik çözümlerinin bir gereği olan HRS konusu incelenmiştir. Çok ölçütlü kararlar daha rasyonel hale gelebilmesi için çeşitli analitik tekniklerle üretilmektedir. Bu teknikleri mekânsal karar destek araçları olarak geliştiren AHS-CBS ve BWM-CBS entegre sistemleri son yıllarda giderek yükselmektedir. Bu tekniklerin ulaşım planlaması alanındaki kullanımı ise halen sınırlı sayıdadır. Literatürde raylı sistem güzergâh planlaması konusu için BWM kullanan çalışma sayısı ise oldukça azdır.

Bir güzergâh tasarım modelinin uygulandığı bu çalışmada 15 uzmanın görüşlerinden faydalanılarak kullanılan AHS ve BWM, Çok Ölçütlü Karar Alma yöntemleridir. Uzman görüşlerinin mekansallaştırılmasında kullanılan CBS araçları bu çalışmanın doğrulanabilir sonuçlar vermesinin en büyük yardımcısıdır.

Çalışmada, uzman görüşleri sonucu oluşturulan ölçüt ağırlıklandırmalarının seviyeleri, alan çalışmalarındaki benzer veya aynı isimli ölçütlerin kullanılma sıklığı ile yüksek oranda örtüşmektedir. Bu çalışmada uygulanan yöntem sonucunda ortaya çıkan güzergâh, Gebze-Darica arasında inşa halinde olan raylı sistem hattı ile uyumlu olup, hatta yapılabilecek ilaveler hakkında da öneri etaplar sunmaktadır. Bu durum önerilen modelin gerçek uygulamalar ile entegre olduğunu ve teyit edildiğini göstermektedir.

Literatürde AHS kullanarak güzergâh belirleme işlemi yapan çok sayıda çalışma mevcuttur. AHS açısından bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, uzman değerlendirmeleri sonucu ortaya çıkan Tutarlılık Oranı değerine vurgu yapmasıdır. Çalışmada Tutarlılık Oranı değeri olarak 0,02'ye ulaşılmıştır ve bu değer Saaty'ye göre uygundur.

Literatürde raylı sistem güzergâh tasarımı için farklı ölçütleri değerlendiren çalışmalar incelendiğinde, çoğu çalışmada kullanılan verilerin hangi yıla ait olduğunun belirtilmediği görülmüştür. Bu çalışmada uygulanan planlama bakış açısında ise kullanılan verinin hangi yıla ait olduğu ile başlangıç yıl ve hedef yıl verileri arasında nasıl değişimler olduğu önemlidir. Bu çalışmada Gebze-Darica HRS planlama aşamasında KBB'nin altlık veri olarak aldığı 2014 ve 2020 yılı verileri ve yine Gebze-Darica HRS için KBB tarafından projeksiyon yılı olarak seçilen 2035 yılı verileri kullanılmıştır. On üç ölçütten dokuzuna ait verilerin 2020 yılına ait olanları kullanılırken iken Seyahat Talebi, Yoğunluk, Karayolu Trafik Yoğunluğu ve Kent İçi Yollar verileri için 2014 mevcut verisi ve 2035 yılı tahmin verileri kullanılmıştır. Bu durumun sebebi yalnızca bu dört ölçüte ait verilerde projeksiyon çalışmasının yapılmış olmasıdır. Çalışmada yüksek ağırlığa sahip bu ölçütler için 2035 yılı tahmin verilerinin de kullanılması, ortaya çıkan öneri güzergâhların yalnızca bugünün ihtiyaçlarına değil gelecekte oluşabilecek her türlü talep artışının da hesaba katılarak planlandığını göstermektedir.

Çalışmanın son bölümünde öneri hatların sunulması sonrası tamamen bu çalışmaya özgün şekilde geliştirilmiş bir sistematik ile ArcGIS'in Zonal Statistics (Bölgesel İstatistik) aracı kullanılmıştır. İnşa halindeki hat ve öneri hatların, uygunluk puanı bakımından karşılaştırılması imkanı bu şekilde ortaya konmuştur. Bu istatistik çalışmasının sonucu olarak 13 ölçüt haritasının toplamı göz önüne alındığında, önerilen etapların Gebze-Darica HRS'den daha uygun güzergâhlar olduğu sonucuna varılmıştır

Literatürde çok sayıda kullanılmış ve konu hakkında etkinliği ispatlanmış yöntemleri kullanıyor olsa da bu çalışmanın da bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. AHS ve BWM uygulamasının dayanak noktası olan ikili karşılaştırmanın yüz yüze uygulanması ile daha iyi sonuç elde edilebilecektir. Fakat çalışmanın bu kısmının, COVID-19 [Liu et al., 2020] Pandemisi'nin Türkiye'de etkinliğinin arttığı bir döneme

denk gelmesi sebebiyle bu anketler yalnızca e-posta ortamında iletilip geri alınabilmiştir.

AHS ve BWM'nin kullanıldığı bu çalışmanın yanında başka araştırma tasarım süreçleri ile farklı ÇÖKA yöntemleri olan; ölçütlerin birbirleri ile olan etkileşimlerini değerlendirmeye alan Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemi [Saaty, 2004], ölçüt ağırlıklandırmalarını net sayısal değerler yerine sayı aralığı olarak veren Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) yöntemi [Liang, 1999] kullanılarak da ileride yeni araştırmalar kurgulanması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

Ahlqvist O., (2009), “Overlay (in GIS)”, International Encyclopedia of Human Geography, Elsevier.

Ahmed N., Asmael N., (2009), “A GIS-Assisted Optimal Urban Route Selection Based On Multi Criteria Approach”, The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, 2, 556.

Ahmed N., Asmael N., (2015), “A GIS-assisted optimal Baghdad metro route selection based on multi criteria decision making. Journal of Engineering and Sustainable Development”, 19(6), 44-58.

Akad M., Gedizlioğlu E., (2007), “Toplu Taşıma Türü Seçiminde Simülasyon Destekli Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı”, İTÜ Dergisi/d, 6(1).

Albayrak A. N., Salihoğlu T., Salihoğlu G. (2015)., “Nitelikli İşgücüne Yönelik Yaşam Alanları: Sanayinin Desantralizasyon Sürecinde Gebze Örneği”, 6.Kentsel Bölgesel Araştırmalar Sempozyumu, 195-210, İzmir, 8-9 Ekim.

APTA, (2013), “Economic Recovery: Promoting Growth” American Public Transportation Association Publications (APTA), Washington, USA.

APTA, (2018), “Public Transportation Ridership Report”, American Public Transportation Association (APTA), Washington, USA.

ARUP, (2017), “Gebze- Darıca Hafif Raylı Sistem (HRS) Hattı Proje Tanıtım Raporu-AYGM”, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi- Mühendislik Hizmetleri Alım İşi.

Asa S., Özcan Ş., (2015), “Raylı Sistem Araçlarında Kaynak Uygulamaları”, Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi, 17-28, Bursa.

AYGM (2013), “Bilgi Notları”, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.

Ayözen Y. E., (2012), “Metro Projelerinde Boyuna Eğimin Yatırım ve İşletme Maliyetleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Bana E Costa C.A., Stewart T.J., Vansnick J.C., (1997), “Multicriteria decision analysis: some thoughts based on the tutorial and discussion sessions of the ESIGMA meetings”, European Journal of Operational Research, 99, 28–37.

Banai R., (2006), “Public Transportation Decision-Making: A Case Analysis of the Memphis Light Rail Corridor and Route Selection with Analytic Hierarchy Process”, Journal of Public Transportation, 9 (2), 1-24.

Baştürk G., (2014), “Kent İçi Raylı Toplu Taşıma Sistemleri İncelemesi Ve Dünya Örnekleri İle Karşılaştırılması”. Ulaştırma Haberleşme Uzmanlığı Tezi.

Bottoms G. D., (2003), “Continuing Developments in Light Rail Transit in Western Europe”, In Proc., 9th National Light Rail Transit Conf., 713-728.

Bouchon, M., Bouin, M. P., Karabulut, H., Toksoz, N., Dietrich, M., Rosakis, A. J., (2001), “How fast is rupture during an earthquake? New insights from the 1999 Turkey earthquakes”, Geophys. Res. Lett., 28, 2723–2726.

Broward County, (2007), “Broward by the numbers” Broward County Planning Services Division, (<http://www.broward.org/planningservices/bbtn51.pdf>) (Feb. 5, 2007).

Brown B., Werner C., (2009), “Before and After a New Light Rail Stop”, Journal of the American Planning Association, 75(1), 9.

Brunner I., Kim K., Yamashita E., (2011), “Analytic Hierarchy Process and Geographic Information Systems to Identify Optimal Transit Alignments”, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 2215. 59-66.

Burrough P.A., McDonnell R. A., (2015), “Principles of Geographical Information Systems”, 9780198742845, Oxford University Press.

Chakhar S, Martel J-M., (2003), “Enhancing geographical information systems capabilities with multi-criteria evaluation functions”, Journal of Geographic Information and Decision Analysis, 7, 47–71.

Chang K., (2019), “Introduction to Geographic Information Systems”, 9781259929649, McGraw-Hill.

Chester V, (2008), “Life-cycle Environmental Inventory of Passenger Transportation in the United States”, Institute of Transportation Studies, UC Berkeley.

Coşkun A., (2016), “Kocaeli İlindeki Kent İçi Raylı Sistem Projelerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi.

Coşkun A., (2018), “Gebze ve Darıca’nın Derinliklerinde Yeni Bir Hayat”, Demiryolu Mühendisliği, 7, 50-53.

Çınarlı M., S., (2009), “İzmir Raylı Sistemi Kent Bütünü”, Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayınları.

Cuthill N., Cao M., Liu Y., Gao X., Zhang Y. (2019), “The association between urban public transport infrastructure and social equity and spatial accessibility within the urban environment: An investigation of Tramlink in London”, Sustainability, 11(5), 1229.

DARBEL (2019), “Darıca Belediyesi 2020-2024 Stratejik Plan”, Darıca Belediye Başkanlığı- Yazı İşleri Müdürlüğü.

Darroch N., (2014), “A brief introduction to London's underground railways and land use”, *Journal of Transport and Land Use*, 7(1), 105-116.

Demircan K., Oğuztimur S., (2019), “Metro Hatlarının Konut Fiyatlarına Etkisine İlişkin Literatür Taraması”, *Megaron*, 14(3), 417-431.

DLH (2014), “Raylı Sistem Tasarım Kriterleri”, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Demiryolları Limanlar Havameydanları (DLH) İnşaatı Genel Müdürlüğü.

Djenaliev A., Ban, Y. (2007), “Multicriteria Decision Making and GIS for Railroad Planning in Kyrgyzstan”, Master's of Science Thesis, Royal Institute of Technology (KTH).

Döker M. F., Aydoğdu M., (2019), “Gebze’de Şehirsel Büyümenin Mekânsal-Zamansal Analizi”, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 17(2), 403-427.

Eastman J. R., Toledano J., Jin W., Kyem P. A. K., (1993), “Participatory multiobjective decision-making in GIS”, *Proceedings, Auto-Carto*, Minneapolis, USA, October.

El-Hallaq M., El-Yazory K., (2017), “Metro Route Site Selection in Gaza City Using GIS and Spatial Multi Criteria Evaluation”, *International journal of Engineering inventions*, 6, 2278-7461.

Erdik M., (2001), “Report on 1999 Kocaeli and Duzce (Turkey) Earthquakes”, *Structural control for civil and infrastructure engineering*, edited by: Casciati, F. and Magonette, G., World Scientific.

ESRI (2010), “Spatial Analyst Tutorial” 1995-2010 Esri.

Expert Choice Inc., (1993), *Expert Choice Version 8: User Manual* (McLean, VA: Decision Support Software, Inc.).

Farkas A., (2009), “Route/Site Selection of Urban Transportation Facilities: An Integrated GIS/MCDM Approach”, *Proceeding of MEB 2009-7th International Conference on Management, Enterprise and Benchmarking*, June 5-6 2009, Budapest, Hungary.

Forman E., Selly M., (2001), “Decision by Objectives: How to Convince Others That You Are Right”, 9789810241438, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Gal T., Stewart T., Hanne T., (2013), “Multicriteria decision making: advances in MCDM models, algorithms, theory, and applications”, 21, Springer Science & Business Media.

Giuliano G., (1989), “New Direction for Understanding Transportation and Land Use”, *Environment and Planning*, 21, 145-159.

Goodchild M., Haining R., Wise S., (1992), “Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities”, *International Journal of Geographical Information Systems*, 6:5, 407-423.

Grava S., (2003), “Urban Transportation Systems: Choices For Communities”. New York: McGraw-Hill.

Hamilton Public Works, (2020), “Hamilton Rapid Transit Benefits Report”, Hamilton Public Works, Ontario, Canada.

Hernández Á., (2015), “Análisis de los límites de velocidad utilizados en la explotación de Metro Ligero Oeste y propuesta de un perfil optimizado”, Master’s of Science Thesis, Comillas Pontifical University.

Hewitt C. M., Hewitt W., E., (2012), “The effect of proximity to urban rail on housing prices in Ottawa”, *Journal of Public Transportation*, 15(4), 3.

Heywood I., Cornelius S., Carver S., (2011), “An introduction to Geographical Information Systems”, 9780273722595, Addison Wesley Longman.

Hilton R., Stoney C., (2007). “Dreams, deception and delusion: The derailing of Ottawa’s light rail transit plans”. *Revue Gouvernance*, 4(1).

Ho D., Newell G., Walker A., (2005), “The Importance of Property-Specific Attributes in Assessing CBD Office Building Quality”, *Journal of Property Investment & Finance*, 23(5), 424-444.

Hobbs B.F., (1980), “A comparison of weighting methods in power plant siting”, *Decision Sciences*, 11, 725–737.

Höhne S., (2015) “The birth of the urban passenger: Infrastructural subjectivity and the opening of the New York City subway”, *City*, 19:2-3, 313-321.

Hwang C-L., Yoon K., (1981), “Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications”, Berlin: Springer-Verlag.

İncili Ö. F., (2018)., “Türkiye’de Ulaşım Ağları- Doğal Ortam Etkileşiminin Coğrafi Analizi”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi.

İBB, (2011), İUAP İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı Raporu, İstanbul Büyükşehir Belediyesi , İstanbul.

Jankowski P., (1995), “Integrating geographical information systems and multiple criteria decision making methods”, *International Journal of Geographical Information Systems*, 9, 251–273.

Jia J., Chen Y., Wang Y., Li T., Li Y., (2021), “A new global method for identifying urban rail transit key station during COVID-19: A case study of Beijing, China”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 565, 125578.

Jones C., (2013), “Geographical Information Systems and Computer Cartography”, 9780582044395, Routledge.

Jun C., (2000), “Design of an intelligent geographic information system for multi-criteria site Analysis” URISA Journal, 12, 5–17.

KBB, (2018a), ““Gebze-Darıca HRS Hattı Projesinin İmar Planlarına Aktarılmasına İlişkin Plan Değişikliği Teklifi Açıklama Raporu”, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi.

KBB, (2018b), “2019 Mali Yılı Performans Programı”, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi.

KBB, (2018c), “2017 Faaliyet Raporu”, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi.

KBB, (2019a), “2020-2024 Stratejik Planı”, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi.

KBB, (2019b), “2020 Mali Yılı Performans Programı”, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi.

KBB, (2019c), “2018 Faaliyet Raporu”, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi.

KBB, (2019d), “Derinlerde Bir Yerde Yeni Bir Yol Açıyoruz- Gebze OSB Darıca Sahil Metro Hattı”, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi.

Kheybari S., Kazemi M., Rezaei J., (2019), “Bioethanol facility location selection using best-worst method”, Applied Energy, 242, 612-623.

Kırlangıçoğlu C. (2005), "A New Census Geography for Turkey Using Geographic Information Systems: A Case Study On Çankaya District, Ankara", Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

Kırlangıçoğlu C., (2014), “Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Raylı Sistem Güzergâh Tasarımı: İstanbul Örneği”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.

Kırlangıçoğlu C., (2016), “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Kent İçi Raylı Sistem Koridor Planlaması”, Coğrafya Dergisi, 33, 53-71.

Köken K., (2017), “Sürdürülebilir Kentsel Tasarım Ölçütleri Açısından Kentsel Dönüşüm Projelerinin İncelenmesi”, Uzmanlık Tezi, İller Bankası AŞ.

Kütük T., Ercoşkun Ö. Y., (2019), “Ankara-Batıkent ve Koru Metro İstasyonlarının Toplu Taşıma Odaklı Gelişim (TOD) ve Sürdürülebilir Kentsel Tasarım İlkeleri Çerçevesinde Değerlendirilmesi”, Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi (MBUD), 4(2), 140-154.

Kwon S-B, Cho Y, Park D, Park E-Y., (2008), “Study on the Indoor Air Quality of Seoul Metropolitan Subway during the Rush Hour”, Indoor and Built Environment, 17(4), 361-369.

- Laaribi A., Chevallier J.J., Martel J.M., (1996), "A spatial decision aid: a multicriterion evaluation approach", *Computers, Environment and Urban Systems*, 20, 351–366.
- Lee S., Yi C., Hong S. P., (2013), "Urban structural hierarchy and the relationship between the ridership of the Seoul Metropolitan Subway and the land-use pattern of the station areas", *Cities*, 35, 69-77.
- Lee R., Sener I., (2016), "Transportation Planning and Quality of Life: Where Do They Intersect?", *Transport Policy*, 48, 146-155.
- Liang G.S., (1999), "Fuzzy MCDM based on ideal and anti-ideal concepts", *European Journal of Operational Research*, 112, 682–691.
- Lindo Systems Inc., (1994), *What'sBest: User's Guide* (Chicago: LINDO Systems Inc.).
- Liu Y. C., Kuo R. L., Shih S. R., (2020). "COVID-19: the first documented coronavirus pandemic in history", *Biomedical Journal*, 43(4), 328-333.
- Lo C. P., Yeung A. K. W., (2007), "Concepts and Techniques in Geographic Information Systems", 9788120322301, Prentice Hall.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., (2015), "Geographic Information Science and Systems", 9781119031307, Wiley.
- Ludin A., Latip S. N. H. M. (2006), "Using multi-criteria analysis to identify suitable light rail transit route", *Map Asia Geo ICT for Good Governance; Geospatial World: Bangkok*, 131-142, Thailand, 30 August.
- Malczewski J., (1999), "GIS and Multicriteria Decision Analysis", New York: John Wiley.
- Malczewski J., (2004), "GIS: -Based Land-Use Suitability Analysis A Critical Overview", *Progress in Planning*, 62, 3–65.
- Malczewski J., (2006), "GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature", *International Journal of Geographical Information Science*, 20:7, 703-726.
- MATA, (1997), "Memphis Regional Transit Plan", ICF Kaiser, Memphis Area Transit Authority (July).
- McHarg I., L., (1969), "Design with nature", New York: American Museum of Natural History.
- Microimages Inc., (2001), *TNT-GIS v. 6.50 Manual* (Lincoln, Nebraska: MicroImage, Inc.).

Miller H., Shaw S.L., (2001), “Geographic Information Systems For Transportation: Principles and Applications”, Oxford University Press.

Mitchell A., (1999), “The ESRI Guide to GIS Analysis: Geographic Patterns and Relationships”, ESRI Press.

Morgan M., (2019), “Light Rail Transit in Ottawa: Innovation through Procurement”, Rail Construction Program Report, APTA.

Nyerges T.L., (1992), “Coupling GIS and Spatial Analytical Models. In Proceedings of 5th International Symposium on Spatial Data Handling”, edited by P. Breshanan, E. Corwin, and D. Cowen (Eds). Charleston, SC. Humanities and Social Sciences Computing Laboratory, University of South Carolina, 534–543.

Olesen M., (2014), “Framing light rail projects–Case studies from Bergen, Angers and Bern”, Case Studies on Transport Policy, 2(1), 10-19.

Ouma Y. O., Kipkorir E. C., Tateishi R., (2011), “MCDA-GIS İntegrated Approach For Optimized Landfill Site Selection For Growing Urban Regions: An Application Of Neighborhood-Proximity Analysis”, Annals of GIS, 17:1, 43-62.

Öncü E., Yıldız A., Ö., (2011), “Sürdürülebilir Ulaşım: Devlet bunun neresinde?”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 9. Ulaştırma Kongresi İstanbul.

Özdemir H., (2017), “Coğrafi Bilgi Sistemleri”, İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi Yayınları- Coğrafya Lisans Programı.

Özkan B., (2019), “Ulaştırma sistemlerinin altyapısına etki eden faktörlerin belirlenmesi ve önem derecelerine karar verilmesi; Manisa ili örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi.

Pektaş İ., (2018), “Raylı Ulaşım Sistemleri Sektör Analizi 2017”, Anadolu Raylı Ulaşım Sistemleri Kümelenmesi.

Pektaş İ., (2019), “Raylı Ulaşım Sistemleri Sektör Analizi 2018”, Anadolu Raylı Ulaşım Sistemleri Kümelenmesi.

Pohekar S. D., Ramachandran M., (2004), “Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review”, Renewable and sustainable energy reviews, 8(4), 365-381.

Pucha-Cofrep F., Fries A., Cánovas-García F., Oñate-Valdivieso F., González-Jaramillo V., & Pucha-Cofrep D., (2018), “Fundamentals of GIS: Applications with ArcGIS”, Franz Pucha Cofrep (Yazarın kendi yayını).

Rezaei J., (2015), “Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method”, Omega, 53, 49-57.

Rezaei J., (2016), “Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model”, Omega, 64, 126-130.

Rezaei J., Roekel W., Lori T., (2018), "Measuring the relative importance of the logistics performance index indicators using Best Worst Method", *Transport Policy*, Elsevier, 68(C), 158-169.

ResGaz 1, (2008), Büyükşehir Belediyesi Sınırları İçerisinde İlçe Kurulması ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun, 22/3/2008 tarih ve 26824 Mük. sayılı Resmi Gazete.

Rosenberg J., Esnard A., (2008), "Applying a Hybrid Scoring Methodology to Transit Site Selection", *Journal of Urban Planning and Development*, 134(4), 180-186.

Rossum G., Python Development Team, (2018), "The Python Language Reference", Release 3.6.4.

Quinby H. D., (1962), "Major Urban Corridor Facilities: A New Concept", *Traffic Quarterly*, 16 (2), 242–259.

Saaty T. L., (1990a), "Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World", Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications.

Saaty T.L., (1990b), "How to make a decision: the analytic hierarchy process", *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.

Saaty T.L., (2004), "Decision making – the analytic hierarchy and network processes (AHS/ ANP)", *J. Syst. Sci. Syst. Eng.* 13 (1), 1–35.

Saaty T. L. (2008), "Decision Making With The Analytic Hierarchy Process", *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.

Saaty T.L., Ozdemir M., (2003), "Why the magic number seven plus or minus two", *Mathematical and Computer Modelling*, 38, 233-244.

Salihoğlu T., Salihoğlu G., Albayrak, A. N., (2015), "Kentsel Çeperde Konut -İşyeri Yer Seçimi İlişkisi: Gebze'de Çalışıp İstanbul'da Yaşamak", 15. Ulusal Bölge Bilimi ve Planlama Kongresi, Trabzon, 3-4 Aralık.

Salimi N., Rezaei J., (2018), "Evaluating firms' R&D performance using best worst method", *Evaluation and Program Planning*. 66, 147-155.

Saltzman A., (1992), "Public Transportation in the 20th Century", In *Public Transportation*, 2nd ed. (G. Gray and L. Hoel, ed.), Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Shapiro R. J., Hassett K. A., (2005). "Healthy Returns: The Economic Impact of Public Investment in Surface Transportation", *American Public Transportation Association*.

Şenlik İ., (2003), "Kent İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinin Değerlendirilmesi", *EMO Samsun Şubesi Haber Bülteni*, 14, 23-26.

T.C. Kalkınma Bakanlığı, (2013), “Onuncu Kalkınma Planı” (2014-2018), TBMM, Ankara.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, (2019), “On Birinci Kalkınma Planı” (2019-2023), T.C. Cumhurbaşkanlığı, Ankara.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2014), “Türkiye Habitat III. Ulusal Raporu”, TBMM, Ankara.

T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, (2013), “11. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Şurası Kentiçi Ulaşım Çalışma Grubu Şura Raporu”, TBMM, Ankara.

T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, (2013), 11. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Şurası Sonuç Bildirgesi”, TBMM, Ankara.

Tejedor M., N., Escobar L., P., (2017). “Análisis de la eficacia y de la eficiencia del sistema concesional en los servicios públicos de transporte: metros ligeros en la Comunidad de Madrid”, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.

Tekeli İ., (1992), “Yüzelli Yılda Toplu Ulaşım, İstanbul Dergisi, 2, 18-27.

Tennyson E. L., (1982), “When and Where Does LRT Work?”, Transportation Research Board Special Report, 195, 46-53.

Thompson G., (2003). “Defining an Alternative Future Birth of the Light Rail Movement in North America”, Transportation Research E-Circular, E-C058 (2003), 25-36.

Transport for London, (2012a), London Tramlink; User Guide, UK.

Transport for London, (2012b), Travel in London; Transport London: London (Report 5), UK.

TTF (2010), “TTF Transport Position Paper: The Benefits of Light Rail”, Tourism & Transport Forum, Australia.

Turoğlu H., (2016), “Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları”, 4. Baskı, Çantay Kitapevi.

Tydac Research Inc., (1996), Spatial Analysis System, Version 6.0: User’s Manual (Nepean, Ontario: TYDAC Research Inc.).

Valley Metro- Light Rail Transit Projects, (2018) “LRT Design Criteria Manual”, Phoenix, America.

Van de Kaa G., Scholten D., Rezaei J., Milchram C., (2017), “The Battle between Battery and Fuel Cell Powered Electric Vehicles: A BWM Approach”, Energies, 10, 1707.

Velasquez M., Hester P. T., (2013), “An analysis of multi-criteria decision making methods”, International journal of operations research, 10(2), 56-66.

Verma A., Dhingra L., (2005), “Optimal Urban Rail Transit Corridor Identification within Integrated Framework Using Geographical Information System”, Journal of Urban Planning and Development, 131(2), 98-111.

Verma A., Upadhyay D., Goel R., (2011), “An integrated approach for optimal rail transit corridor identification and scheduling using geographical information system”, Journal of King Saud University- Science. 23. 255-271.

Wang Y., Zhang Z., Zhu M., Wang H., (2020), “The impact of service quality and customer satisfaction on reuse intention in urban rail transit in Tianjin, China”. SAGE Open, 10(1).

Waters N.M., (1998), “Geographic information systems”, In Encyclopedia of Library and Information Science, edited by A. Kent, and C.M. Hall (Eds) (New York: Marcel Dekker).

Web 1, (2018), <https://iconsofinfrastructure.com/do-the-benefits-of-light-rail-systems-outweigh-the-costs/>, (Erişim Tarihi: 03/01/2020).

Web 2 , (2020), <https://www.metro.istanbul/Hatlarimiz/HatDetay?hat=M1A>, (Erişim Tarihi: 06/02/2020).

Web 3, (2019), <https://www.ego.gov.tr/tr/sayfa/2156/rayli-sistemler-dairesi-baskanligi-ankaray>, (Erişim Tarihi: 07/02/2020).

Web 4, (2014), <https://www.izmir.bel.tr/HaberDetay/10205/tr>, (Erişim Tarihi: 07/02/2020).

Web 5, (2014), <https://www.hurriyet.com.tr/ege/buyuksehir-tunel-icin-dugmeye-basti-27347619>, (Erişim Tarihi: 07/02/2020).

Web 6, (2018), <https://www.izmir.bel.tr/tr/Haberler/buyuksehir-den-milyarlik-yatirim/37724/156>, (Erişim Tarihi: 07/02/2020).

Web 7, (2018), <https://www.izmir.bel.tr/HaberDetay/33269/tr>, (Erişim Tarihi: 07/02/2020).

Web 8, (2020), <https://www.izmirmetro.com.tr/Sayfa/42/25/istasyonlar>, (Erişim Tarihi: 10/02/2020).

Web 9, (2020), <https://www.burulas.com.tr/bursaray-hat-ozellikleri.aspx>, (Erişim Tarihi: 10/02/2020).

Web 10, (2020), <http://www2.estram.com.tr/Cntnt/15>, (Erişim Tarihi: 11/02/2020).

Web 11, (2020), <https://www.kayseri.bel.tr/rayli-sistem-sube-mudurlugu>, (Erişim Tarihi: 11/02/2020).

- Web 12, (2020), <http://www.antalyaulasim.com.tr/icerik/antray-hakkinda>, (Erişim Tarihi: 11/02/2020).
- Web 13, (2020), http://samulas.com.tr/hizmetler_hafif-rayli-sistem/, (Erişim Tarihi: 12/02/2020).
- Web 14, (2020), <http://www.igdir.edu.tr/haber/dr-ogr-uyesi-adem-yulu-nun-projesi-serka-destegi-almaya-hak-kazandi>, (Erişim Tarihi: 13/04/2020).
- Web 15, (2020), <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/cografi-bilgi-sistemleri>, (Erişim Tarihi: 13/04/2020),.
- Web 16, (2020), <https://desktop.ArcGIS.com/en/arcmap/10.3/analyze/commonly-used-tools/overlay-analysis.htm>, (Erişim Tarihi: 15/04/2020).
- Web 17, (2020), <https://learngis.org/textbook/section-three-proximity-analysis>, (Erişim Tarihi: 16/04/2020).
- Web 18, (2020), <https://www.gebze.bel.tr/bugunku-gebze.html>, (Erişim Tarihi: 20/04/2020).
- Web 19, (2020), <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>, (Erişim Tarihi: 20/04/2020).
- Web 20, (2020), <https://www.darica.bel.tr/darica>, (Erişim Tarihi: 20/04/2020).
- Web 21, (2020), <http://www.kocaeli.bel.tr/tr/main/news/ulasim/14/metro-projesi-ulasirma-ve-altyapi-bakanligin/34471>, (Erişim Tarihi: 22/04/2020).
- Web 22, (2020), [http://www.belsiscad.com/Urun/Ortusme\(Overelay\)-Analizi/12](http://www.belsiscad.com/Urun/Ortusme(Overelay)-Analizi/12), (Erişim Tarihi: 01/05/2020).
- Web23,(2020),
<https://www.ArcGIS.com/home/webmap/viewer.html?webmap=f9a8ae48d60a49f1bd9b16dba0f2c5fe>, (Erişim Tarihi: 11/05/2020).
- Web 24, (2020), <https://desktop.ArcGIS.com/en/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/map-algebra/what-is-map-algebra.htm>, (Erişim Tarihi: 23/07/2020).
- Web 25, (2020), <https://desktop.ArcGIS.com/en/arcmap/10.6/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-map-algebra-toolset.htm>, (Erişim Tarihi: 23/07/2020).
- Web 26, (2020), <https://desktop.ArcGIS.com/en/arcmap/latest/extensions/spatial-analyst/map-algebra/an-overview-of-the-rules-for-map-algebra.htm>, (Erişim Tarihi: 23/07/2020).
- Web 27, (2020), <https://desktop.ArcGIS.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/raster-calculator.htm>, (Erişim Tarihi: 23/07/2020).

Web 28, (2020), <https://desktop.ArcGIS.com/en/arcmap/10.6/tools/spatial-analyst-toolbox/how-raster-calculator-works.htm>, (Erişim Tarihi: 23/07/2020).

Wei X., (1996), “Using GIS Technology for Railway Design and Management”, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXXI Part B4 ,978-981, Viyana: ISPRS Congress.

WHO (1997), “Measuring Quality of Life,” World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Wu X., Dong H., Tse C. K., Ho I. W., Lau F. C., (2018), “Analysis of metro network performance from a complex network perspective”. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 492, 553-563.

Zeiler M., (1999), “Modelling our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design”, ESRI Press.

Zhang D., M., Du F., Huang H., Zhang F., Ayyub B. M., Beer M., (2018), “Resiliency assessment of urban rail transit networks: Shanghai metro as an example”, Safety Science, 106, 230-243.

ÖZGEÇMİŞ

Ömer Murat URHAN 2017 yılında tamamladığı Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden lisans derecesine sahiptir ve yüksek lisansına tez aşamasında Gebze Teknik Üniversitesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü'nde tamamlamıştır. Temel konuları ulaşım planlaması, kent içi raylı sistemler güzergâh planlaması ve coğrafi bilgi sistemleridir. İnşaat mühendisidir. Şu an İstanbul Rumeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak tam zamanlı çalışmaktadır.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Urhan Ö. M., Salihoğlu T., (2020), “Bir Kentsel Ulaşım Modu Olarak Hafif Raylı Sistemler ve CBS Destekli Olarak Güzergâh Tayini”, Ulusal Lisansüstü Mekânsal Çalışmalar Sempozyumu, sayfa 38 (özet), 19-20 Haziran 2020, İstanbul.

Urhan Ö. M., Salihoğlu T., (2021) “Using Analytical Hierarchy Process in Light Rail Transit (LRT) Route Selection: Case of Gebze-Darica Route”, VI. International Online Conference on City Planning and Urban Design, 115-128, İstanbul, Turkey.

Urhan Ö. M., Salihoğlu T., (2021), "Hafif Raylı Sistem (HRS) Güzergâh Problemi Çözümüne Yönelik Çok Kriterli-CBS Destekli Yaklaşım: Gebze-Darica HRS Örneği", Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi. (Makale 2021 yılı Aralık sayısında yayınlanmak üzere kabul edilmiştir).

Ek B: Anket Formu- Hafif Raylı Sistem Güzergâh Tasarımında Öne Çıkan Kriterlerin İkili Karşılaştırma Formu

Tablo B1.1: İkili Karşılaştırmalarda Kullanılan 1-9 Ölçeği.

Rakamsal Değerler	Karşılığı (Önem Düzeyi)
1	Eşit Önemde
3	Daha Önemli
5	Kuvvetli Derecede Önemli
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli
9	Aşırı Derecede Önemli
2, 4, 6 ,8	Ara Değerler

Satırda yer alan iki kriterden hangisinin daha önemli görüyorsanız ortada yer alan 1 değerinin o tarafına ne kadar önemli gördüğünüzü yansıtan sayıyı işaretlemek suretiyle belirtiniz. Eşit ağırlıkta olduklarını düşünüyor iseniz lütfen 1 değerini işaretleyiniz.

Tablo B1.2: İkili Karşılaştırmalarda Kullanılan Tablolar.

Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık
Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Toplu Konut Alanlarına Yakınlık
Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sit Alanlarına Uzaklık (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları)
Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Havza Koruma Kuşaklarına Olan Mesafe
Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Topoğrafya (Eğim)
Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jeoteknik ve Jeolojik Uygunluk (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar)

Tablo B1.2: Devam.

Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Nüfus Yoğunluğu
Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolculuk Talebinin Düzeyi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar)
Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mülkiyet Yapısı
Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanağı (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray)
Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Karayolu Trafik Yoğunluğu
Kamu ve Eğitim Kurumlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolları Paylaşma Olanağı

Tablo B1.2: Devam.

Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Toplu Konut Alanlarına Yakınlık
Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sit Alanlarına Uzaklık (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları)
Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Havza Koruma Kuşaklarına Olan Mesafe
Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Topoğrafya (Eğim)
Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jeoteknik ve Jeolojik Uygunluk (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar)
Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Nüfus Yoğunluğu

Tablo B1.2: Devam.

Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolculuk Talebinin Düzeyi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar)
Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mülkiyet Yapısı
Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanağı (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray)
Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Karayolu Trafik Yoğunluğu
Sanayi ve Ticaret Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolları Paylaşma Olanağı

Tablo B1.2: Devam.

Toplu Konut Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sit Alanlarına Uzaklık (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları)
Toplu Konut Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Havza Koruma Kuşaklarına Olan Mesafe
Toplu Konut Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Topoğrafya (Eğim)
Toplu Konut Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jeoteknik ve Jeolojik Uygunluk (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar)
Toplu Konut Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Nüfus Yoğunluğu
Toplu Konut Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolculuk Talebinin Düzeyi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar)

Tablo B1.2: Devam.

Toplu Konut Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mülkiyet Yapısı
Toplu Konut Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanağı (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray)
Toplu Konut Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Karayolu Trafik Yoğunluğu
Toplu Konut Alanlarına Yakınlık	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolları Paylaşma Olanağı

Tablo B1.2: Devam.

Sit Alanlarına Uzaklık (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Havza Koruma Kuşaklarına Olan Mesafe
Sit Alanlarına Uzaklık (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Topoğrafya (Eğim)
Sit Alanlarına Uzaklık (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jeoteknik ve Jeolojik Uygunluk (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar)
Sit Alanlarına Uzaklık (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Nüfus Yoğunluğu
Sit Alanlarına Uzaklık (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolculuk Talebinin Düzeyi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar)
Sit Alanlarına Uzaklık (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mülkiyet Yapısı

Tablo B1.2: Devam.

Sit Alanlarına Uzaklık (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanağı (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray)
Sit Alanlarına Uzaklık (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Karayolu Trafik Yoğunluğu
Sit Alanlarına Uzaklık (Arkeolojik, Kentsel, Tarihi, Doğal ve Karma Sit Alanları)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolları Paylaşma Olanağı

Tablo B1.2: Devam.

Havza Koruma Kuşaklarına Olan Mesafe	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Topoğrafya (Eğim)
Havza Koruma Kuşaklarına Olan Mesafe	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jeoteknik ve Jeolojik Uygunluk (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar)
Havza Koruma Kuşaklarına Olan Mesafe	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Nüfus Yoğunluğu
Havza Koruma Kuşaklarına Olan Mesafe	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolculuk Talebinin Düzeyi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar)
Havza Koruma Kuşaklarına Olan Mesafe	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mülkiyet Yapısı
Havza Koruma Kuşaklarına Olan Mesafe	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanağı (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray)

Tablo B1.2: Devam.

Havza Koruma Kuşaklarına Olan Mesafe	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Karayolu Trafik Yoğunluğu
Havza Koruma Kuşaklarına Olan Mesafe	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolları Paylaşma Olanağı

Tablo B1.2: Devam.

Topoğrafya (Eğim)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jeoteknik ve Jeolojik Uygunluk (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar)
Topoğrafya (Eğim)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Nüfus Yoğunluğu
Topoğrafya (Eğim)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolculuk Talebinin Düzeyi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar)
Topoğrafya (Eğim)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mülkiyet Yapısı
Topoğrafya (Eğim)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanakları (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray)
Topoğrafya (Eğim)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Karayolu Trafik Yoğunluğu

Tablo B1.2: Devam.

Topoğrafya (Eğim)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolları Paylaşma Olanağı
-------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------------------

Tablo B1.2: Devam.

Jeoteknik ve Jeolojik Uygunluk (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Nüfus Yoğunluğu
Jeoteknik ve Jeolojik Uygunluk (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolculuk Talebinin Düzeyi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar)
Jeoteknik ve Jeolojik Uygunluk (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mülkiyet Yapısı
Jeoteknik ve Jeolojik Uygunluk (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanağı (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray)
Jeoteknik ve Jeolojik Uygunluk (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Karayolu Trafik Yoğunluğu
Jeoteknik ve Jeolojik Uygunluk (Uygun Olmayan alanlar, Önemli Alanlar)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolları Paylaşma Olanağı

Tablo B1.2: Devam.

Nüfus Yoğunluğu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolculuk Talebinin Düzeyi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar)
Nüfus Yoğunluğu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mülkiyet Yapısı
Nüfus Yoğunluğu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanağı (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray)
Nüfus Yoğunluğu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Karayolu Trafik Yoğunluğu
Nüfus Yoğunluğu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolları Paylaşma Olanağı

Tablo B1.2: Devam.

Yolculuk Talebinin Düzeyi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mülkiyet Yapısı
Yolculuk Talebinin Düzeyi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanağı (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray)
Yolculuk Talebinin Düzeyi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Karayolu Trafik Yoğunluğu
Yolculuk Talebinin Düzeyi (Trafik Analiz Bölgeleri, Zonlar)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolları Paylaşma Olanağı

Tablo B1.2: Devam.

Mülkiyet Yapısı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanağı (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray)
Mülkiyet Yapısı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Karayolu Trafik Yoğunluğu
Mülkiyet Yapısı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolları Paylaşma Olanağı
Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanağı (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Karayolu Trafik Yoğunluğu
Diğer Ulaşım Modlarıyla Entegrasyon Olanağı (Otoparklar, Otobüs Durakları, Marmaray)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolları Paylaşma Olanağı

Tablo B1.2: Devam.

Karayolu Trafik Yoğunluğu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Yolları Paylaşma Olanağı
---------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------------------