

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI



HAFİF RAYLI SİSTEM İSTASYONLARININ YER TESPİTİNE
YÖNELİK BİR KARAR DESTEK MODELİ ÖNERİSİ: BALIKESİR
ÖRNEĞİ

ELİF ALKILINÇ

DOKTORA TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Serkan PALABIYIK (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. M. Birgül ÇOLAKOĞLU
Prof. Dr. Fatma Nurhayat DEĞİRMENCİ
Prof. Dr. Mustafa Emre İLAL
Dr. Öğr. Üyesi F. Süphan SOMALI

BALIKESİR, ARALIK - 2023

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Hafif Raylı Sistem İstasyonlarının Yer Tespitine Yönelik Bir Karar Destek Modeli Önerisi: Balıkesir Örneği**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Elif ALKILINÇ

ÖZET

**HAFIF RAYLI SİSTEM İSTASYONLARININ YER TESPİTİNE YÖNELİK BİR
KARAR DESTEK MODELİ ÖNERİSİ: BALIKESİR ÖRNEĞİ
DOKTORA TEZİ
ELİF ALKILINÇ
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. SERKAN PALABIYIK)
BALIKESİR, ARALIK - 2023**

Günümüzde, bir yandan teknolojilerin ilerlemesi, bir yandan da kentlerin kalabalıklaşması ve metropolleşmesi ile birlikte, kentsel alandaki problemler hızla artarken, bu problemlerin çözümü sürecinde analiz edilmesi gereken bilgi de çoğalmaktadır. Sunulan çalışmada, kentsel alandaki yer tespiti problemlerine, sistematik ve otonom şekilde çözüm sunan bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Bu model geliştirilirken alan çalışması olarak, Balıkesir ilindeki raylı sistemin, günümüzde atıl durumda kalması ve kent merkezinde bariyer etkisi yaratması sonucunda, hafif raylı sisteme dönüştürülmesi süreci ele alınmaktadır. Çalışma bu dönüşüm sürecinin kente en yüksek fayda sağlayacak şekilde yapılmasına odaklanmakta ve bu doğrultuda istasyon noktalarının yer seçiminin önemine vurgu yapmaktadır.

Bu bağlamda bahsedilen istasyon noktalarının tespitiyle ilgili geliştirilen modelde ilk olarak, istasyon noktalarının kullanımını etkileyecek kriterler belirlenmiş ve bu kriterler, sözel ifadeleri dikkate alarak analitik bir değerlendirme yapmayı sağlayan Bulanık AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra ise, bu ağırlıklar ve toplanan kriter verileri kullanılarak, ArcGIS yazılımı ile hat üzerinde belirlenen alternatif istasyon noktalarının uygunluk puanları tespit edilmiştir. Uygunluk puanlarının belirlenmesinin ardından, phyton aracılığıyla alternatif noktalar arasından, belirlenen kurallara göre seçim yapmayı sağlayan bir algoritma geliştirilerek, bu algoritma çift yönlü olarak çalıştırılmış ve böylece en uygun istasyon noktaları elde edilmiştir. Son aşamada ise, tespit edilen bu noktaların hat üzerinde optimum dağılımlarının sağlanabilmesi için, MATLAB yazılımı aracılığıyla genetik algoritma tabanlı çok amaçlı bir optimizasyon (pareto) gerçekleştirilmiştir. Böylece, hafif raylı sistem istasyon yerleşimleri için elde edilen çözüm önerileri sunularak alan çalışması tamamlanmıştır. Geliştirilen karar destek modelinin, farklı amaçlarla, farklı alanlardaki yer seçimi problemlerine de, veriye dayalı ve sistematik çözümler sunabileceği düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER: Karar destek sistemi, yer seçimi, CBS, genetik algoritma, hafif raylı sistem.

ABSTRACT

A DECISION SUPPORT MODEL PROPOSAL FOR LOCATION OF LIGHT RAIL SYSTEM STATIONS: THE CASE OF BALIKESİR

PH.D THESIS

ELİF ALKILINÇ

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ARCHITECTURE

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. SERKAN PALABIYIK)

BALIKESİR, DECEMBER - 2023

While the problems in the urban areas are increasing rapidly with the advancement of technologies and the overcrowding of cities, the information that needs to be analyzed in the process of solving these problems is also increasing. In the study presented, a decision support model was developed that provides systematic and autonomous solutions to site selection problems in urban areas. While developing this model, the process of transforming the rail system in Balıkesir province into a light rail system, as it remains idle and creates a barrier effect in the city center, is discussed as a field study. The study focuses on carrying out this transformation process in a way that will provide the highest benefit to the city and, in this regard, emphasizes the importance of location selection of stations.

In this context, firstly, the criteria that affect the use of the stations were determined in the model developed in the determination of the stations mentioned, and these criteria were weighted by the fuzzy AHP method that enables an analytical assessment by taking into account verbal expressions. Afterward, using these weights and criterion data, the suitability scores of the alternative station points ascertained on the route were determined by using the ArcGIS software. Following the determination of the conformity scores, an algorithm that provides selection according to the specified rules through Python was developed and this algorithm was operated bidirectional, and thus the most appropriate station points were obtained. In the last stage, a genetic algorithm-based multi-objective optimization (Pareto) was performed through MATLAB software in order to provide the optimum distribution of these points on the rail system line. Thereby, the field study was completed by presenting the solution suggestions for light rail system station layouts. It is thought that the developed decision support model can offer data-based and systematic solutions to site selection problems in different areas for different purposes.

KEYWORDS: Decision support system, location selection, GIS, genetic algorithm, light rail system.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ.....	viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
KISALTMALAR LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	3
1.2 Yöntem ve Kapsam.....	8
1.3 Tezin Organizasyonu	12
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	13
2.1 Çalışma Alanının İncelenmesi	13
2.1.1 Balıkesir Kenti Genel Özellikleri.....	13
2.1.2 Hafif Raylı Sistemler.....	16
2.1.3 Balıkesir Kentinde Raylı Sistem	19
2.1.4 Balıkesir’de Demiryolunun “Sınırlayıcı” Etkisi	23
2.1.5 Kentsel Mekanda Raylı Sistemlerin Planlanması	30
2.1.6 Balıkesir’de Raylı Sistemin Dönüşümü.....	33
2.2 Kentsel Mekanda Karar Verme	35
2.2.1 Karar Destek Sistemleri	36
2.2.2 Bibliyometrik Analiz Yöntemi Üzerinden Yer Seçimi ile İlgili Karar Destek Sistemi Yöntemlerinin İncelenmesi	41
2.2.2.1 Bibliyometrik Analiz.....	41
2.2.2.2 Bibliyometrik Analiz Bulguları.....	44
2.2.2.3 Bibliyometrik Analiz ile Yapılan Tespitler.....	53
2.3 Mekansal Karar Destek Sistemleri.....	55
2.3.1 Bulanık AHP	56
2.3.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri	66
2.3.3 ArcGIS Pro Yazılımı.....	74
2.3.4 Phyton	74
2.4 Optimizasyon	77
2.4.1 Optimizasyonun Temel Elemanları	77
2.4.2 Optimizasyonun Modelleri.....	78
2.4.3 Genetik Algoritmalar	80
3. ALAN ÇALIŞMASI: GELİŞTİRİLEN KARAR DESTEK MODELİNİN BALIKESİR HRS İSTASYONLARININ TESPİTİ AMACIYLA UYGULANMASI	88
3.1 Değerlendirme Kriterlerinin Tespit Edilerek Ağırlıklandırılması	90

3.1.1 Kriterlerin Belirlenmesi	91
3.1.2 Bulanık AHP ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması	96
3.2 Uygunluk Haritası Yöntemi ile HRS İstasyonlarının Tespit Edilmesi	104
3.2.1 Uygunluk Haritası Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	122
3.3 Alternatif İstasyon Noktalarının Uygunluk Puanlarının Hesaplanması.....	124
3.4 En Uygun İstasyon Noktalarının Seçilmesi	136
3.5 Optimizasyon ile En Uygun İstasyon Noklarına Ait Dizilimlerin Belirlenmesi	148
3.6 Geliştirilen Model, Uygunluk Haritası Yöntemi ve Geleneksel Yöntemlerle Elde Edilen İstasyon Noktalarının Karşılaştırılması	160
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	169
4.1 Sonuçlar	169
4.2 Öneriler	173
5. KAYNAKLAR	175
EKLER	187
EK A: Phyton aracılığı ile yazılan, uygun istasyonların seçimini sağlayan kod bloğu.....	187
EK B: Revize edilen kod bloğu	188
EK C: Mesafeleri 300 m'den az olan istasyon noktalarının uygunluk puanı düşük olanın elenmesini sağlayan kod bloğu.	190
EK D: Kriter Verilerine İlişkin Haritalarda Kullanılan Lejant.....	191
ÖZGEÇMİŞ	192

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Güney Marmara Bölge Planı kapsamında planlanan hafif raylı sistem hattı.	3
Şekil 1.2: Geliştirilen karar destek modelinin akış şeması.	11
Şekil 2.1: Balıkesir ilinin konumu.	13
Şekil 2.2: Balıkesir’de ilk yapılaşmanın konumu.	14
Şekil 2.3: Prof. Egli tarafından hazırlanan Balıkesir’in ilk imar planı.....	15
Şekil 2.4: TCDD demiryolu haritası.	20
Şekil 2.5: Cumhuriyet Dönemi öncesinde (1925’e kadar) Balıkesir kenti ve tren hattının durumu.....	21
Şekil 2.6: Balıkesir demiryolu ulaşım şeması.	22
Şekil 2.7: Yıllara göre Balıkesir kentinin gelişim durumu	22
Şekil 2.8: Balıkesir kentindeki fiziksel ve bölgesel sınırlar.	25
Şekil 2.9: Demiryolunun çevresindeki sınırsal ögeler.	26
Şekil 2.10: Kentte en çok kullanılan güzergahlar.	29
Şekil 2.11: Geleneksel ulaşım politikaları ile talep yönetimi yaklaşımı şemaları.	31
Şekil 2.12: “Yer seçimi” ve “karar destek sistemleri” kavramları arasındaki ilişkiler ağı.	45
Şekil 2.13: “Yer seçimi” ve “karar destek sistemleri” kavramları ile GIS arasındaki ilişki.	45
Şekil 2.14: Yıllara göre yayın sayıları.	53
Şekil 2.15: Coğrafi bilgi sistemleri ve karar destek sistemleri arasındaki ilişki.	56
Şekil 2.16: AHP yöntemine göre problemin hiyerarşik yapısı.	57
Şekil 2.17: Sentetik değerlerin karşılaştırılması.....	64
Şekil 2.18: CBS’nin bölümleri.	72
Şekil 2.19: Genetik algoritmanın temel iş akışı.	83
Şekil 2.20: (a) Rulet tekerleği seçim yöntemi (b) Stokastik örnekleme tekniği kullanımı.	84
Şekil 2.21: Rulet tekerleği seçim yöntemi ile doğrusal sıralama seçim yöntemi karşılaştırmalı örneği.	85
Şekil 2.22: Turnuva seçimi örneği	86
Şekil 2.23: Çarpazlama operatörünün işleyişi	86
Şekil 2.24: Mutasyon operatörünün işleyişi.....	86
Şekil 3.1: Çalışma alanı.	89
Şekil 3.2: İstasyon için uygun olmayan alanlar.	94
Şekil 3.3: DDSS yazılımı kullanıcı ara yüzü.	97
Şekil 3.4: HRS istasyonlarının ağırlıklandırılmasında kullanılan kriterler hiyerarşisi.	96
Şekil 3.5: HRS istasyonları için uygun noktaların tespitinde kullanılan kriter ağırlıkları.	98
Şekil 3.6: Superdecisions yazılımında kurulan AHP hiyerarşisi.	100
Şekil 3.7: Mevcut raylı sistemin 1000 m. çevresi.	101
Şekil 3.8: A kriterinin alt kriterlerine ait ele alınan veriler.	102
Şekil 3.9: B kriterinin alt kriterlerine ait ele alınan veriler.	103
Şekil 3.10: C kriterinin alt kriterlerine ait ele alınan veriler.	103
Şekil 3.11: A kriterinin alt kriterlerine ait kriter haritaları.....	104
Şekil 3.12: B kriterinin alt kriterlerine ait kriter haritaları.	105
Şekil 3.13: C kriterinin alt kriterlerine ait kriter haritaları.	105
Şekil 3.14: Kriter ağırlıklarının yüzdesel dağılımı.....	108
Şekil 3.15: Uygunluk analizi iş akışı	110

Şekil 3.16: (a) Normalize edilmiş uygunluk haritası; (b) Sınıflandırılmış uygunluk haritası.....	111
Şekil 3.17: Değerlerin dağılım grafiği.	111
Şekil 3.18: Uygunluk haritasının kentteki durumu.	112
Şekil 3.19: (a) Uygunluk haritası üzerinde alternatifler; (b) Alternatif istasyon noktalarının kentteki yerleri.....	113
Şekil 3.20: Belirlenen alternatiflerin kent içindeki durumu.....	114
Şekil 3.21: Belirlenen alternatiflerin yakın çevre verileri.....	114
Şekil 3.22: Alternatiflerin değerlendirilmesi noktasında belirlenen bölgeler.	115
Şekil 3.23: Değerlendirmeler sonrasında elde edilen istasyon noktaları.	120
Şekil 3.24: Balıkesir - Çanakkale planlama bölgesi 1/100.000 ölçekli çevre düzeni planı (Pafta İ19-İ20).	121
Şekil 3.25: Otogar ile Yeniköy arasındaki bölge.	122
Şekil 3.26: Uygunluk puanlarının hesaplanma algoritması.	125
Şekil 3.27: Kriter verilerini çokgene (polygon) dönüştürme.	126
Şekil 3.28: Hat üzerinde noktaları oluşturma.....	126
Şekil 3.29: Noktalar ile kriter verileri arasındaki bağlantıların oluşturulması.....	128
Şekil 3.30: Noktalar ile kriter verileri arasındaki bağlantılar.....	129
Şekil 3.31: Bağlantı ve kriter verilerinin tablolarını birleştirme.	130
Şekil 3.32: Tabloda yeni alan tanımlama (N_A1).	130
Şekil 3.33: A1 (konut alanlarına yakınlık) kriterine göre N değerlerinin hesaplanması. .	131
Şekil 3.34: N_A1 değerleri.	131
Şekil 3.35: Her bir istasyon için bağlantı değerlerinin (N) toplanması.....	132
Şekil 3.36: Her bir istasyon için bağlantı değerlerinin (N) toplanması.....	133
Şekil 3.37: Her bir istasyon için K değerlerinin aynı tabloda birleştirilmesi.....	134
Şekil 3.38: Tanımsız alanların 0'a dönüştürülmesi.....	134
Şekil 3.39: K değerlerinin toplanması.....	135
Şekil 3.40: P değerlerinin elde edilmesi.....	135
Şekil 3.41: P değerlerinin dağılımı.....	136
Şekil 3.42: Model tarafından uygun bulunan noktaların harita üzerindeki yeri.	139
Şekil 3.43: En uygun istasyon noktalarının seçim algoritması.	140
Şekil 3.44: Revize edilen model tarafından uygun bulunan noktaların harita üzerindeki konumu.	141
Şekil 3.45: (a) Modelin ilk hali ile elde edilen istasyon noktaları; (b) Modelde yapılan revizyon sonrası elde edilen istasyon noktaları.	142
Şekil 3.46: Otogar ve OSB yönlü çalıştırılan model ile elde edilen istasyon noktaları. ...	143
Şekil 3.47: Otogar ve OSB yönlü elde edilen 29 istasyon noktasının yerleşimi ve uygunluk puanları.	144
Şekil 3.48: Mesafesi 300 m'den az olan istasyon noktalarının elenmesi.....	147
Şekil 3.49: MATLAB yazılımı ile genetik algoritma tabanlı çok amaçlı optimizasyon (pareto) kullanımı.	149
Şekil 3.50: İki amaç fonksiyonuna göre oluşan Pareto eğrisi.....	150
Şekil 3.51: Pareto eğrisinde iki amaç fonksiyonunun durumlarına göre incelenen diziler.....	151
Şekil 3.52: MATLAB yazılımında gerçel sayıların ikili sayı biçimine dönüştürülmesi...	152
Şekil 3.53: Ele alınan dizilerdeki istasyonların uygunluk puanı ve mesafe verilerine göre seçilme durumları.	153
Şekil 3.54: Pareto eğrisinde seçilen dizinin (45 nolu) yeri.	154
Şekil 3.55: Optimizasyon sonucunda seçilen 45. diziyeye ait istasyon noktaları (harita üzerinde)	155

Şekil 3.56: Optimizasyon sonucunda seçilen 45. diziye ait istasyon noktaları (puan grafiği üzerinde).....	156
Şekil 3.57: Optimizasyon sonucunda seçilen istasyon noktalarının yerleşimi.	157
Şekil 3.58: Geliştirilen model ile tespit edilen ve geleneksel yöntemlerle planlanan istasyon noktalarının karşılaştırılması (harita üzerinde).....	160
Şekil 3.59: Geliştirilen model ile tespit edilen ve geleneksel yöntemlerle planlanan istasyon noktalarının karşılaştırılması (puan grafiği üzerinde).	161
Şekil 3.59: Geliştirilen model ve uygunluk haritası yöntemi ile elde edilen istasyon noktalarının karşılaştırılması (harita üzerinde).	162
Şekil 3.60: Geliştirilen model ve uygunluk haritası yöntemi ile elde edilen istasyon noktalarının karşılaştırılması (puan grafiği üzerinde).....	163
Şekil 3.61: Geliştirilen model, uygunluk haritası yöntemi ve geleneksel yöntemlerle elde edilen istasyon noktalarının karşılaştırılması (harita üzerinde).	164
Şekil 3.62: Geliştirilen model, uygunluk haritası yöntemi ve geleneksel yöntemlerle elde edilen istasyon noktalarının karşılaştırılması (puan grafiği üzerinde).	165
Şekil 3.63: 1157 nolu istasyonun yakın çevresi	166
Şekil 3.64: 1610 nolu istasyonun yakın çevresi	167
Şekil 3.65: 2067 nolu istasyonun yakın çevresi.	167
Şekil 3.66: 2684 ve 3003 nolu istasyonların yakın çevresi.	168

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Toplu taşıma sistemlerinin kategorileri.....	17
Tablo 2.2: Yolcu taşıma sistemlerinin kapasiteleri	18
Tablo 2.3: Geleneksel ve çağdaş ulaşım yaklaşımlarının özellikleri.....	31
Tablo 2.4: Karar destek sistemleri kavramlarının gelişimi.....	37
Tablo 2.5: Taranan çalışmaların türleri.	44
Tablo 2.6: Çalışma alanı ile ilgili anahtar sözcükler.	46
Tablo 2.7: 1996-2023 yılları arasında en çok atıf alan yayınların kullandıkları yöntemler.	47
Tablo 2.8: 2019-2023 yılları arasında en çok atıf alan yayınların kullandıkları yöntemler.	50
Tablo 2.9: Araştırma alanına göre yayın sayıları ve yüzdeleri.	51
Tablo 2.10: Toplam yayın sayıları ve yüzdelerine göre ilk 5 ülke.	52
Tablo 2.11: Toplam atıf sayılarına göre ilk 5 ülke.	52
Tablo 2.12: AHP yönteminde kullanılmakta olan 9’lu karşılaştırma cetveli.	58
Tablo 2.13: Kriterlere ait ikili karşılaştırma matrislerinin göreceli ağırlıklar cinsinden gösterimi.	58
Tablo 2.14: Rassallık indeksi.....	60
Tablo 2.15: Seçilim değerlerin bulanık değer karşılıkları.	62
Tablo 2.16: Mekansal ve tanımsal veri türleri	69
Tablo 2.17: CBS uygulamaları için kullanılan teknolojiler.....	73
Tablo 2.18: Programlamanın temel kavramları	75
Tablo 2.19: Optimizasyon yöntemleri	78
Tablo 3.1: HRS istasyon yerleri tespiti için belirlenen çevre nitelikleri ile ilgili kriterler.	92
Tablo 3.2: HRS istasyon yerleri tespiti için belirlenen arazi nitelikleri ile ilgili kriterler..	94
Tablo 3.3: Kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranları.....	99
Tablo 3.4: Kriter verilerinin elde edildiği veri kaynakları ve ArcGIS programında uygulanan analiz yöntemi.	106
Tablo 3.5: Kriterlere ait ağırlıklandırılmış ve ağırlıklandırılmamış değerler.	107
Tablo 3.6: 1. Bölge için kriterlere göre alternatiflerin önem dereceleri ve tutarlılık oranları.	116
Tablo 3.7: 2. Bölge için kriterlere göre alternatiflerin önem dereceleri ve tutarlılık oranları.	117
Tablo 3.8: 3. Bölge için kriterlere göre alternatiflerin önem dereceleri ve tutarlılık oranları.	118
Tablo 3.9: Alternatif istasyonlara ait ağırlık değerleri.....	119
Tablo 3.10: Minimum uygunluk puanlarına göre seçilen istasyon noktaları.	137
Tablo 3.11: Model tarafından en uygun bulunan istasyon noktaları.	138
Tablo 3.12: Mesafesi 300 m’den az olan istasyonların uygunluk puanına göre elenmesi.	146
Tablo 3.13: Seçilen 45. diziye ait istasyon noktaları.	158

SEMBOL LİSTESİ

T	: Talep
A	: Arz
w	: Önem derecesi
n	: Hiyerarşideki kriter sayısı
A	: Nesne kümesi
A_i	: Alternatif sayısı
\tilde{A}	: Bulanık küme
P	: Alternatiflerin ağırlıklı performans değeri
W	: Normalize edilmiş ağırlık vektörü
W'	: Normalize edilmemiş ağırlık vektörü
λ_{\max}	: Maksimum öz değer
λ	: Sabit sayı
U	: Amaç kümesi
l	: Üçgensel bulanık sayının alt sınırı
m	: Üçgensel bulanık sayının orta sınırı
u	: Üçgensel bulanık sayının üst sınırı
k	: Dışbükey bulanık sayı
S	: Sentetik değer
V	: Sentetik değer karşılaştırması
d	: İki bulanık sayının kesiştiği noktanın ordinatı
S_i	: Alternatifin toplam değeri
w_j	: Normalleştirilmiş ağırlık
v	: Değer fonksiyonu
r_j	: Global aralık
x_{ij}	: Kriter puanı
P_n	: Alternatif istasyon noktalarının puanı
K	: Alternatif noktanın bütün bağlantı puanlarının toplamı
N	: Alternatif noktanın tek bir kriter için bağlantılarının toplamı
k_n	: Kriterin ağırlık katsayısı
A_n	: Kriter verilerinin alanı
M_n	: Alternatif noktalar ile kriter verileri arasındaki mesafe
f(x) / f(y)	: Amaç fonksiyonları

KISALTMALAR LİSTESİ

AHP	: Analytic Hierarchy Process
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
HRS	: Hafif Raylı Sistem
DDSS	: Design Decision Support Software
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
MÖ	: Milattan Önce
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TOKİ	: Toplu Konut İdaresi
KDS	: Karar Destek Sistemi
YBS	: Yönetim Bilgi Sistemi
OLAP	: Çevrimiçi Analitik İşleme
YKS	: Yönetimsel Karar Sistemi
GKDS	: Grup Karar Destek Sistemi
EIS	: Üst Düzey Yönetimsel Bilgi Sistemi
MKDS	: Mekansal Karar Destek Sistemi
VOS	: Visualization of Similarities
WoS	: Web of Science
ULAKBİM	: Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi
YÖK	: Yüksek Öğretim Kurumu
GIS	: Geographical Information Systems
DSS	: Decision Support Systems
ANNS	: Artificial Neural Networks
ANFISS	: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems
GA	: Genetic Algorithm
ELECTRE	: Eleme ve Seçim Gerçekliği İfade Etme
TOPSIS	: İdeal Çözüm ile Benzerliğe Göre Tercih Sırası Tekniği
VIKOR	: Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm
WLC	: Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon
WLS	: Ağırlıklandırılmış En Küçük Kareler
OWA	: Sıralı Ağırlıklı Ortalama
FMCDM	: Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making
MCDA	: Multi-Criteria Decision Analysis
MCDM	: Multi-Criteria Decision-Making
MCE	: Multi-Criteria Evaluation
MCA	: Multi Criteria Analysis
SDSS	: Spatial Decision Support Systems
MC-SDSS	: Multicriteria Spatial Decision Support System
PGIS	: Participatory Geographical Information Systems
BWM	: Best-Worst Method
PROMETHEE	: Değerlerin Zenginleştirilmesi için Tercih Sıralaması Organizasyonu Yöntemi
NHSSM	: Novelty Hybrid Site Selection Method
FTOPSIS	: Fuzzy Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
TO	: Tutarlılık Oranı
TI	: Tutarlılık İndeksi

RI	: Rassallık İndeksi
VTYS	: Veritabanı Yönetim Sistemi
DBMS	: Database Management Systems
WAN	: Wide Area Network
LAN	: Local Area Network
CAD	: Computer Aided Design
GPS	: Global Positioning System
SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
EDI	: Electronic Data Interchange
GB	: Gigabyte
CPU	: Central Process Unit
RAM	: Random Access Memory
SSD	: Solid State Disk
ESRI	: Environmental Systems Research Institute
RWS	: Roulette Wheel Selection
TS	: Tournament Selection
LRS	: Linear-rank Selection
SUS	: Stochastic Universal Sampling

ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim boyunca akademik olarak gelişmeme yardımcı olan ve doktora tez sürecinde de desteğini benden esirgemeyen değerli hocam Doç Dr. Serkan PALABIYIK'a tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Ayrıca bu sürecin her aşamasında desteğini hissettiğim, tez izleme komitemde bulunarak tezimin gelişimine katkı sağlayan kıymetli hocam Prof. Dr. Fatma Nurhayat DEĞİRMENCİ ve ihtiyacım olduğunda desteğini benden esirgemeyerek, kıymetli fikirleriyle tezimin ilerlemesine yardımcı olan, değerli tez izleme komitesi üyesi hocam Prof. Dr. M. Emre İLAL'e ilgi ve yönlendirmelerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tezimin ortaya çıkmasında bana ilham kaynağı olan ve akademik gelişimimde bana yeni bir yön kazandıran, derslerini alma şansını bulduğum Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Şehnaz CENANİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin bazı aşamalarında uzman görüşlerine başvurduğum ve bilgi aldığım Dr. Öğr. Üyesi F. Süphan SOMALI'ya, Yüksek Mimar Osman Zeki ŞAHİN'e ve Şehir Plancısı Emrah ALDEMİR'e değerli fikirleri için teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecinde her konuda bana destek olan sevgili çalışma arkadaşım Arş. Gör. Derya DEMİRCAN'a, ayrıca yine bu süreç içerisinde zor zamanlarımda yanımda olan, teknik konularda benden desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Ahmet ALKILINÇ'a ve Arş. Gör. Dr. Haris ÇALGAN'a teşekkür ediyorum.

Bugüne kadar, yakınlarında olamasam da her an yanımda hissettiğim, attığım her adımda arkamda duran ve beni destekleyen aileme, bana inandıkları ve bugünlere gelmemi sağladıkları için saygı ve sevgilerimi sunuyorum.

Doktora eğitimim boyunca her anımda yanımda olan, tez sürecinde de birlikte çalışıp emek verdiğimiz, desteğini benden esirgemeyen, kıymetli eşim Sefa ALKILINÇ'a;

Farkında bile olmadan birçok fedakarlıkta bulunan, hayat ışığım, sevgili oğlum Çağan'ıma sonsuz sevgilerimi sunuyorum.

Bu tez çalışmasını, bugünleri görse benimle çok gurur duyacağını bildiğim, kıymetlim, dedeme ithaf ediyorum...

Balıkesir, 2023

Elif ALKILINÇ

1. GİRİŞ

Günümüz kentleri, sanayi devriminden bu yana ticaret, sanayi, kültür ve sanat, eğitim gibi aktivitelerin merkezi haline gelmiştir. Kentlerin gelişim sürecinde bir yandan artan nüfus dolayısı ile yeni yaşam alanları ihtiyacı oluşurken, bir yandan da kentin eski halinde yeterli olan geleneksel yerleşimler dönüşüme uğramak zorunda kalmıştır. Bu hızlı gelişim ve dönüşüm, beraberinde birçok planlama sorununun da ortaya çıkmasını tetiklemiştir. Özellikle gerçekleşen büyüme ve değişim ile birlikte, kentsel karar verme süreçlerinde ortaya çıkan karmaşık verilerden anlamlı sonuçlar çıkarmak, kentsel gelişimdeki en önemli problemlerden biri haline gelmiştir. Bu noktada pratik uygulama için ortaya çıkan bu veri yığınlarının anlamlı parçalara bölünmesi ve kullanılacak olan amaçlar doğrultusunda sentezlenmesinin, etkili bir **kentsel karar verme sürecindeki önemi** ön plana çıkmaktadır. Ancak bu süreçteki verilerin hacmi ve karmaşıklığına rağmen sistematik olmayan, tamamen değerlendiricinin bilgi ve deneyimine dayanan **geleneksel karar verme yöntemlerinin** kullanımı, bilinçli değerlendirmeyi pratik olarak imkânsız hale getirerek, problemin tamamının analiz edilmesi ve uygulama noktasında büyük sorunlara neden olabilmektedir. Bu nedenle çok yoğun veri barındıran kentsel alanlardaki karar süreçlerinde sistematik yöntemlerin kullanılması, verileri daha bütüncül bir şekilde analiz ederek, problemin içinde bulunulan koşullara, zamana ve potansiyellere göre değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

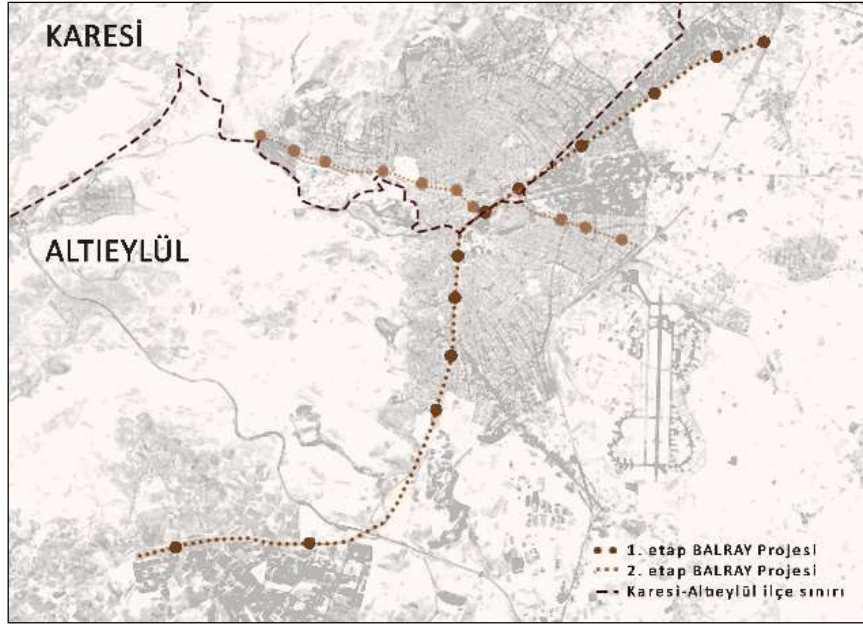
Sunulan bu çalışmada, kentsel karar verme süreçlerinin, kişisel yargılardan uzak, veriye dayalı bir yöntemle gerçekleştirilmesine **odaklanılmaktadır**. Günümüzde kentlerde mevcut olan; altyapı planlaması, arazi kullanım planlaması, çevresel sürdürülebilirlik, acil durum müdahale planlaması, kentsel dönüşüm, kaynak yönetimi ile doğal afetler, iklim değişikliği ve diğer faktörlerle ilgili risk planlamasında içinde yer aldığı çok çeşitli kentsel problemlerin üstesinden gelmek için karar destek sistemlerinden yararlanılmaktadır. Bu kapsamda yer alan problemlerin çözümü için ortaya konulan karar destek sistemlerinin süreç boyunca yaşanan teknolojik ve bilimsel ilerlemeler sonucunda değişmesi ve gelişmesi, gün geçtikçe kentten elde edilen verilerin daha iyi kullanılmasını ve karar süreçlerine daha fazla katılmasını sağlamaktadır. Bu sistemlerin yapay zekâ teknikleri ile birleştirilmesi ise, insan zekâsının kontrol edemeyeceği kadar fazla ve karmaşık verinin analiz edilip, kentsel problemlere çözümler üretilmesini mümkün kılmaktadır.

Bilimsel literatürde, sayısal yöntemler, özellikle kentsel ulaşım planlaması alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu, bisiklet paylaşım sistemlerinin uygulanması, elektrikli araç şarj istasyonlarının yerleştirilmesi, metro/tramvay güzergahlarının ve istasyonlarının optimizasyonu gibi çeşitli yönleri kapsar. Öncelikle en uygun rota veya istasyon yerlerini belirlemeye yönelik yapılan bu çalışmaların önemli bir kısmı, çevresel verileri analizlerine dâhil ederek söz konusu problem ile ilgili sistematik çözümler üretmektedir.

Çalışma kapsamında, birincil amaç, kentsel raylı sistemlerde en uygun istasyon yerlerini seçmek için çevresel verileri karar verme sürecine entegre eden sistematik bir yöntem geliştirmektir. Geliştirilen bu yöntemin uygulanması noktasında, çalışma alanı olarak, zamanla değişen kent dokusu nedeniyle dönüşüme uğraması gündemde olan Balıkesir kent merkezindeki raylı sistem hattı belirlenmiştir. Mevcut raylı sistemin potansiyel dönüşümüyle kentin sosyal, ekolojik ve ekonomik boyutlarına önemli katkılar sağlayacağı ve kent yaşamına entegre olacağı öngörülmektedir.

Bu bağlamda öncelikle mevcut raylı sistemin dönüştürülmesi ile ilgili olarak yapılan ön çalışmalar araştırılmıştır. Buna göre 2014-2023 Güney Marmara Bölge Planı'nda, Balıkesir, bölgenin ana gelişme koridorları ile doğrudan ilişkili konumu nedeniyle ön plana çıkarılarak, hâlihazırda şehir merkezinden geçen raylı sistemin de 2 aşamalı olarak hafif raylı sisteme (HRS) dönüştürülmesinin planlandığı görülmektedir (Şekil 1.1). Ayrıca, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından yayınlanan 2018 yılı sektörel projeler raporunda da, kent içi demiryolu ulaşımının artırılması amacıyla Balıkesir'in de aralarında bulunduğu büyükşehirlerde benzer girişimlerin başlatılması öngörülmektedir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2018).

Çalışma kapsamında, bu stratejik planlar ve Balıkesir Büyükşehir Belediyesi ile yapılan görüşmeler üzerine mevcut raylı sistemin kent yaşamındaki rolü yeniden tanımlanarak, dönüştürücü bir süreçten geçmesi öngörülmektedir. Bu dönüşümün de kentin potansiyellerinin göz önüne alındığı, fiziksel kent sağlığı, kentsel algı ve kentsel bellek açısından kente maksimum fayda sağlanarak gerçekleşmesinde etkili olabilcek bir yöntem üzerinden ele alınması, çalışmada ki temel motivasyonlardan biridir.



Şekil 1.1: Güney Marmara Bölge Planı kapsamında planlanan hafif raylı sistem hattı.

Bu bağlamda, çalışmada mevcut raylı sistemin hafif raylı sisteme dönüşümünü kolaylaştırmak ve onu kentsel yaşama sorunsuz bir şekilde yeniden entegre etmek amacıyla, kentsel raylı sistemlerde en uygun istasyon yerlerini seçmek için çevresel verileri karar verme sürecine entegre eden **sistemik bir model önerisi sunulmuştur**.

1.1 Amaç

Karar verme kavramı, bir amacı gerçekleştirmek için, alternatifler arasından çeşitli kriterlere göre en uygun olan alternatifi/alternatifleri seçme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışma, özellikle karmaşık, çok kriterli kentsel ortamlar bağlamında alınan kararların yalnızca etkili değil, aynı zamanda uzun vadede sürdürülebilir olmasını sağlamak için, gerçekleştirilecek olan planlamalarda, analitik bir yaklaşım benimsenmesi gerekliliği üzerine kurgulanmıştır. Bu anlayışla, kentsel alanlarda karşılaşılan problemlerin çözümü noktasında alınan kararların sistematikleştirilmesine odaklanan çalışmadaki **üst hedef**, belirlenen probleme göre karmaşık kent yapısını analiz edebilecek ve kent için optimum çözümü sunabilecek mekânsal bir **karar destek modelinin geliştirilmesidir**.

Bu modelin geliştirilmesinin arkasındaki **temel motivasyon**, Balıkesir kent merkezinden geçen mevcut raylı sistemin yarattığı **kentsel zorlukları** ele almaktır. Merkezden geçen raylı sistemin mevcut hali, kenti ikiye bölmüş durumda olup, oluşturduğu bariyer etkisinden dolayı da kentin bütünlüğü sağlanamamaktadır. Raylı sistemin bir yanında ticari

ve yönetimsel bir merkez oluşmuşken, diğer yanında bu alanla bağlantısı zayıf olan konut dokusunun yoğun olduğu bir bölge oluşmuştur. Bu oluşum içerisinde, tren yolunun kesintisizliği ve hat boyunca sınırlı sayıdaki araç ve yaya geçiş noktası mevcudiyeti, kalabalıklaşan kent merkezinde trafik sorunlarının gitgide artmasına yol açmaktadır.

Bu süreci tetikleyen bir **diğer motivasyon** ise, Güney Marmara Bölge Planı'nda şehirler arası tren hattının Balıkesir kent merkezi dışına taşınmasının yanında kent merkezinden geçen raylı sitemin 2 aşamalı olarak hafif raylı sisteme dönüştürülmesi ile ilgili alınan karar olmuştur.

Söz konusu plan ile öngörülen 1. etabın gerçekleşmesi sonucunda, kent içerisindeki bu raylı sistemin dönüşümü, çalışmanın ana materyalini oluşturmaktadır. Bu bağlamda çalışma kapsamında mevcut raylı sistemin hafif raylı sisteme dönüştürülerek kent yaşamına dâhil edilmesinin, yaşanan kentsel sorunların giderilmesi noktasında olumlu bir etki yaratacağı düşünülmektedir. Bu dönüşüm özellikle Balıkesir özelinde değerlendirildiğinde;

- Hat boyunca konumlandırılacak istasyonların, çevreleri için geliştirici bir rol üstlenerek kentin iki tarafını btnleştireceği ve raylı sistem boyunca bir gelişim bandı oluşturacağı,
- Kent içi toplu taşımının tek bir merkezden organize edildiği Balıkesir'de, planlanan hafif raylı sistemle birlikte toplu ulaşımın kente dağıtılarak merkezdeki sıkışıklığın azalmasına katkı sağlayacağı,
- Kent içinde oluşturulmaya çalışılan farklı odakların (alışveriş merkezi (On Burda), şehir hastanesi, kültür ve alışveriş merkezi (Avlu) gibi) bu sisteme entegre olmasıyla, kent içi ulaşım ağının çok daha etkin bir hale geleceği, öngörülmektedir.

Genel olarak, kent içi ulaşımda etkili bir hafif raylı sistem planlamasının hayata geçirilmesinin sağlayacağı faydalar ise aşağıda belirtilmiştir:

- Verimli bir raylı sistem hattının kent yaşamına katılmasıyla, kent merkezinde lastik tekerlekli araç kullanım yoğunluğunu azaltarak, artmakta olan **trafik sorunlarına çözüm** retebilmek.
- Toplu taşımının daha yoğun kullanımıyla birlikte daha **sürdürülebilir bir kent çevresini** oluşturabilmek.

- Belirlenecek olan istasyon noktaları çevresinde, istasyona bisikletle veya yürüyerek ulaşımın sağlanacağı öngörüsü ile **kentlilerin sağlığını olumlu yönde etkileyebilmek**.
- Belirlenen istasyon yerlerinin çevreleri için geliştirici ve birleştirici özellikler kazanması ile kentli için alternatif **odak noktaları oluşturabilmek**.
- Kent merkezinin daha yaya ağırlıklı bir alan haline gelmesi ile **daha keyifli bir kent ortamı** oluşturabilmek.

Çalışma kapsamında planlanan hafif raylı sistemin en verimli şekilde işlemesi için istasyon yerlerinin stratejik olarak belirlenmesi oldukça önemlidir. Günümüzde çok yoğun veri barındıran kentsel alanlardaki karar süreçlerinde, verileri daha bütüncül bir şekilde analiz ederek, problemin içinde bulunulan koşullara, zamana ve potansiyellere göre değerlendirilmesini mümkün kılan **karar destek sistemlerinin** kullanılması büyük önem taşımaktadır. Böylece ileriki süreçler için ortaya çıkması muhtemel planlama sorunlarının en aza indirgenmesi ve daha gerçekçi çözümlerin üretilmesi mümkün olabilmektedir.

Yerel yönetim tarafından mevcut raylı sistemin dönüştürülmesi kapsamında yapılan çalışmada, planlanan hafif raylı sistem için halihazırda istasyon noktaları belirlenmiştir. Ancak bu noktaların tespiti aşamasında karar destek sistemlerinden ziyade kişisel kararların ön planda tutulduğu geleneksel yöntemler üzerinden bir sürecin işletildiği anlaşılmaktadır.

Bu bağlamda, literatürde kentsel alandaki yer seçimi çalışmalarıyla ilgili kullanılan yöntemlerin irdelenerek, ne yönde yoğunlaştığını tespit edebilmek, böylece istasyon noktaları yer tespitinde faydalanılacak olan karar destek sistem/lerini belirleyebilmek amacıyla **bibliyometrik analiz** yönteminden faydalanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz çalışması sonucunda “yer seçimi” ve “karar destek sistemi” kavramlarının bir arada yer aldığı çalışmaların, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılan mekânsal karar destek sistemleri üzerine geliştirildiği görülmektedir.

Bu anlayış doğrultusunda çalışma kapsamında da, istasyon yerlerinin tespitinde **mekânsal karar destek sistemlerinin** kullanımıyla, planlanan hafif raylı sistemin en verimli şekilde kente adaptasyonunun yapılabilmesi **birincil hedef** olarak belirlenmiştir. Mekânsal karar

destek sistemlerinden etkin bir şekilde yararlanılması amacıyla belirlenen **alt hedefler** de aşağıda ifade edilmiştir:

- Hafif raylı sisteme girdiler toplamak için ulaşım yetkilileri ve şehir planlamacıları dahil olmak üzere paydaşlarla etkileşim kurmak.
- Önemli varış noktalarına, nüfus merkezlerine, istihdam merkezlerine ve diğer ilgili mekânsal özelliklere yakınlık gibi faktörleri göz önünde bulundurarak istasyon yerlerini değerlendirmek için kriterler belirlemek ve belirlenen kriterleri çok kriterli karar verme yöntemleri kullanarak ağırlıklandırmak.
- Nüfus yoğunluğu, arazi kullanımı, mevcut ulaşım altyapısı ve gelecekteki potansiyel gelişmeler dâhil olmak üzere ilgili mekânsal verileri toplamak ve değerlendirmek.
- Verimli analiz ve karar verme kapsamında mekânsal verileri düzenlemek ve yönetmek için bir CBS veritabanı geliştirmek.
- Belirlenen kriterlere göre potansiyel istasyon yerlerini tespit etmek için algoritmalar geliştirmek.
- Kriter ağırlıklarındaki veya girdi verilerindeki değişikliklere karşı seçilen istasyon yerlerinin doğruluğunu değerlendirmek için doğruluk analizleri yapmak ve karar verme sürecinin güvenilirliğini sağlamak.
- Belirlenen kriterleri karşılayan en verimli ve etkili istasyon yerlerinin seçimini optimize etmek.

Bu anlayışla çalışma kapsamında geliştirilen karar destek modeli; alternatifler arasında derecelendirme yaparken, sözel ifadelerdeki belirsizlikleri de göz önünde bulunduran, çok kriterli bir karar verme yöntemi olan “**Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi**” (**Bulanık AHP**) ile mekânsal verileri işleme ve analiz etme konularında üstünlükleri nedeniyle ön plana çıkan “**Coğrafi Bilgi Sistemleri**” yaklaşımları üzerine yapılandırılmıştır.

Literatürde benzer yaklaşım üzerinden, karar verme yöntemleri ile CBS yöntemlerinin bir arada uyguladığı modeller kullanılarak, en uygun istasyon yeri/yerleri belirlenmesi amacıyla, bisiklet paylaşım istasyonları, otobüs durakları veya elektrikli araç şarj istasyonları gibi farklı konularda çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, kullanılan modellerde karar destek sistemleri ile insan yargısı arasında olması gereken dengenin yeterince sağlanamadığı söylenebilir. Özellikle süreç içerisinde

karar destek sistemlerinin çok daha etkili bir rol üstlenmesi gereken bazı karar adımlarında geri planda kaldığı, insan yargılarının bu sürece gereğinden fazla dâhil olup, bilinçli kararlar almayı olumsuz yönde etkilediği anlaşılmaktadır.

İnsan yargısı, yaratıcılık ve bağlamsal anlayış, karar vermenin tamamen teknoloji ile değiştirilemeyecek kritik bileşenleridir. Bununla birlikte karar destek sistemleri, insan karar vericilere değerli görüşleri noktasında destek sağlayarak, karar verme süreçlerini geliştirmek için teknoloji ve sistemlerden yararlanma imkanı sağlar. Karar destek sistemlerinin ele alınan model kapsamında etkinliğinin artırılmasıyla sağlanabilecek kazanımlar aşağıda belirtilmiştir:

- **Veri işleme ve analiz:** Karar destek sistemleri, büyük hacimli verileri hızlı bir şekilde işleyebilmekte, analiz edebilmekte ve anlamlı sonuçlar elde edebilmektedir. Bu, karar vericilerin seçimlerini kapsamlı ve güncel bilgilere dayandırmalarına olanak tanır.
- **Bilişsel yükü azaltma:** İnsanlar bilişsel önyargılara ve sınırlamalara eğilimlidir. Karar destek sistemleri ise, rutin görevleri, hesaplamaları ve veri işlemeyi otomatikleştirerek, insan karar vericilerin karar vermenin daha karmaşık ve stratejik yönlerine odaklanmasını sağlar.
- **Tutarlılık:** Karar destek sistemleri, önceden tanımlanmış kriterlere dayalı olarak tutarlı öneriler sağlayabilmektedir. Bu tutarlılık, özellikle insan karar vericilerin duygulardan veya dış faktörlerden etkilenebileceği senaryolarda önem taşır.
- **Hız:** Karar destek sistemleri, gerçek zamanlı bilgi sağlayarak daha hızlı karar vermeyi sağlar. Bu, özellikle karar vermedeki gecikmelerin önemli sonuçlara yol açabileceği dinamik ortamlarda önemlidir.
- **Risk yönetimi:** Karar destek sistemleri, farklı seçimlerle ilişkili riskleri ve belirsizlikleri değerlendirerek karar vericilerin potansiyel sonuçları değerlendirmesine ve riskleri en aza indiren kararlar almasına yardımcı olur.

Bu anlayışla çalışma kapsamında geliştirilen karar destek modeli, bireylerin daha bilinçli ve zamanında karar vermelerine yardımcı olmak için tasarlanmış **karar destek sistemleri** ile **insan yargısını dengeleyen** bir anlayış üzerine yapılandırılmıştır. Buna göre daha iyi, daha bilinçli kararlar almak için, geliştirilen modele **python** aracılığıyla yazılan algoritmalar eklenerek, süreç içerisindeki karar destek sisteminin rolü dengelenmiş ve sayısal

hesaplamalarla gerçekleştirilebilecek karar adımlarının **daha otonom bir şekilde ‘makine’ tarafından yapılması** amaçlanmıştır. Bu anlayış doğrultusunda gerçekleşmesi beklenen alt hedefler ise:

- Kişisel fikirlerin etkisinin minimuma indirilerek, gerçek verilere dayalı sonuçların ortaya konulması,
- Değerlendirmelerde ortaya çıkan ağır iş yükünün makine tarafından otonom bir şekilde yapılması,
- İnsani değerlendirmelerden kaynaklanan hataların en aza indirgenerek, doğrudan veriler üzerinde yapılan hesaplamalarla en doğru sonuçların ortaya çıkarılmasıdır.

Belirtilen amaçlar doğrultusunda geliştirilen, farklı konu ve kapsamdaki yer tespiti problemlerine de çözüm sunma noktasında kullanılabilir olan karar destek modelinin metodolojisi, ilerleyen bölümde ele alınmıştır.

1.2 Yöntem ve Kapsam

Çalışma kapsamında geliştirilen karar destek modeli, Bulanık AHP ve CBS yöntemleri üzerine yapılandırılmış olup dört aşamada organize edilmiştir. Bu aşamalar:

- Değerlendirme kriterlerinin tespit edilerek ağırlıklandırılması,
- Alternatif istasyon noktalarının uygunluk puanlarının hesaplanması,
- En uygun istasyon noktalarının seçilmesi,
- Optimizasyon ile en uygun istasyon noktalarına ait dizilimlerin belirlenmesidir.

İlk aşamada, HRS istasyon noktalarının değerlendirilebilmesi amacıyla kriterler tespit edilmiş ve bu kriterlerin öncelikli ağırlık değerleri DDSS (Design Decision Support Software) yazılımı aracılığıyla, araştırmacının kendisi, konu ile ilgili olan Balıkesir Üniversitesi Mimarlık Bölümünden iki öğretim üyesi ve yine konuyla ilgilenen, Balıkesir Büyükşehir Belediyesinde görevli bir mimar ve bir şehir ve bölge planıcısından oluşan 5 kişilik değerlendirici bir grup tarafından belirlenmiştir. Palabıyık ve Alkılınç (2020) tarafından Bulanık AHP altyapısı kullanılarak geliştirilen DDSS yazılımı, ikili karşılaştırmalar ile hem belirlenen kriterlerin, hem de ilgili alternatiflerin birbirlerine göre önem derecelerini, grup değerlendirmesi üzerinden belirleyebilen, web tabanlı bir yazılımdır. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında, sözel değerlendirme yargılarını sürece dâhil

edebilen Bulanık AHP'nin, geliştirilen model kapsamında kullanılmasıyla, uygun istasyon noktalarının seçiminde her bir kriterin önemi ve katkısı farklı olabilmektedir.

Buna göre modelin **ikinci aşamasında** alternatif istasyon noktalarının uygunluk puanlarının hesaplanması amacıyla, kriter verilerinin hazırlanıp ve ArcGIS Pro yazılımı aracılığıyla CBS yöntemlerinin kullanıldığı sürece geçilmiştir. Bu aşamada ilk olarak, HRS hattı ve bu hattın 1000 m. çevresindeki kriter verileri, vektörel olarak ArcGIS'e girilerek, her bir vektör verinin alan değeri hesaplatılmıştır. Böylece daha büyük alan kaplayan bir verinin daha yoğun bir kullanıma sahip olduğu kabulüyle, verilerin büyüklüğü paralelinde uygunluk puanlarına etkisi farklılaştırılmıştır.

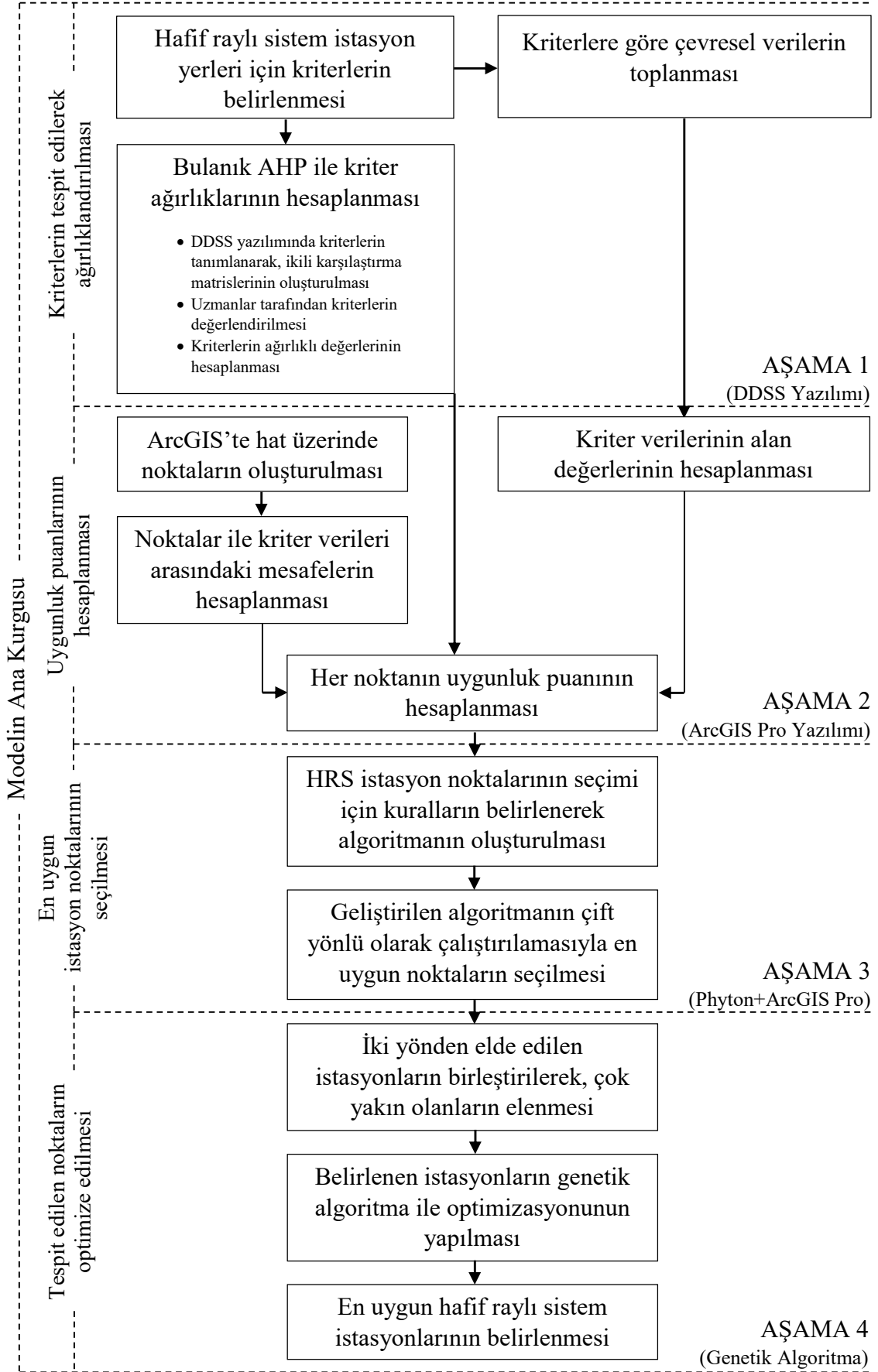
Geliştirilen karar destek modelinin bu aşamasında, kriter verilerinin alan hesaplamaları ile raylı sistem hattı boyunca istasyon yerleşimi için alternatif noktaların belirlenmesi eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmanın sınırları içinde, 6 m'lik sabit aralıklarla toplam 3120 adet alternatif istasyon noktası oluşturulmuştur. Çalışmanın içeriği ve kapsamına göre bu aralık değerleri uyarlanabilir. ArcGIS üzerinde alternatif istasyon noktalarının yerleştirilmesinden sonra, bu noktaların her birinin uygunluk puanını, kendi etki alanına giren kriter verileri oluşturacağından, spesifik olarak her bir alternatif noktanın 1000 metrelik bir çap içindeki kriter verileriyle olan mesafeleri hesaplanmıştır. Bu aşamanın son adımı olarak, kriter ağırlıkları, kriter verilerinin alanları ve alternatif istasyon noktaları ile olan mesafeleri dikkate alınarak, her bir alternatif nokta için bir uygunluk puanı belirlenmiştir.

Uygunluk puanlarının elde edilmesinden sonra süreç **en uygun istasyon noktalarının seçildiği üçüncü aşama** ile devam etmiştir. Bu aşamada seçim işlemi kolaylaştırmak için ArcGIS yazılımı üzerinde Python aracılığıyla yazılmış bir algoritma kullanılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen bu algoritma, minimum istasyon aralıkları korunarak, belirlenen mesafeler içerisindeki en yüksek uygunluk puanına sahip noktanın seçilmesini sağlamaktadır. Süreç içerisinde algoritma çift yönlü çalıştırılarak, hat üzerindeki etkinlik düzeyi en yüksek uygunluk puanına sahip istasyon noktalarının seçilmesini sağlamıştır.

Geliştirilen modelin **son aşaması** olan "**optimizasyon**" aşamasında ise, iki yönden elde edilen uygunluk puanı en yüksek istasyon noktaları birleştirilerek, **MATLAB** yazılımı ile **genetik algoritma tabanlı çok amaçlı bir optimizasyon (pareto)** gerçekleştirilmiştir.

Optimizasyon süreci sonunda, dönüşümü planlanan hat boyunca istasyon noktalarının en verimli dağılımını sunan diziler türetilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen ve Balıkesir'deki mevcut raylı sistemin dönüştürülmesi için planlanma sürecinde en uygun istasyon yerlerinin belirlenmesinde karşılaşılan problemlere rasyonel çözümler üretme amacıyla uygulanan karar destek modelinin akış şeması Şekil 1.2'de sunulmuştur.



Şekil 1.2: Geliştirilen karar destek modelinin akış şeması.

1.3 Tezin Organizasyonu

Sunulan bu çalışma ile geliştirilen karar destek modelinin, kentsel alandaki problemlerinin çözümünde kullanımı ve barındırdığı potansiyeller, kentlerin en önemli unsurlarından biri olan raylı sistem istasyonlarının yer tespiti kapsamında incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda çalışma toplam 4 bölümde ele alınmıştır. Çalışmanın **ilk bölümü** tezin giriş bölümünü oluşturmaktadır ve tezin amaç, yöntem ve kapsamını içeren organizasyonunu tariflemiştir. İkinci **bölümde** ise, çalışma alanı olarak ele alınan Balıkesir kenti ve çalışmanın ana materyali olan hafif raylı sistemler, kentsel mekandaki karar verme, literatür araştırması için kullanılan bibliyometrik analiz yöntemi, geliştirilen modelde kullanılan yöntem / yazılımlar ve optimizasyon yöntemleri hakkında kavramsal bilgi verilmiştir. Kuramsal altyapının sunulmasının ardından **üçüncü bölümde**, geliştirilen uygunluk puanına dayalı karar destek modelinin kentsel bir problem üzerinde uygulanabilirliği ve potansiyellerini belirlemek amacıyla, **alan çalışması** üzerinde modelin işleyişi detaylı olarak anlatılmıştır. Son olarak **dördüncü bölümde** ise, çalışmanın genel sonuçları sunulmuş, modelin geliştirilebilir yönlerine vurgu yapılmış ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1 Çalışma Alanının İncelenmesi

Günümüz kentlerindeki gelişim sürecinde, eski yerleşimlerden kaynaklanan kent dokuları yetersiz / atıl kalmakta ve kentlerdeki fiziksel sınırlara dönüşmektedir. Çalışma alanı olarak ele alınan Balıkesir ili merkezinden geçen raylı sistem hattı da bu sınır öğelerinden biri olarak ifade edilebilmektedir. Kurulduğu dönemde kent için bir potansiyel olan raylı sistem, günümüzdeki halinde kentin merkezinde uzanmakta ancak, kentle ilişki kuramamaktadır. Bu nedenle 2014-2023 Güney Marmara Bölge Planında da belirtildiği üzere Balıkesir'den geçen raylı sistemin, hafif raylı sisteme dönüştürülmesi ve hızlı tren ile bağlantısının kurulması planlanmaktadır. Raylı sisteme ait bu durumun getirdiği potansiyeller dikkate alındığında, hayata geçirilecek olan hafif raylı sistem için istasyon noktalarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

2.1.1 Balıkesir Kenti Genel Özellikleri

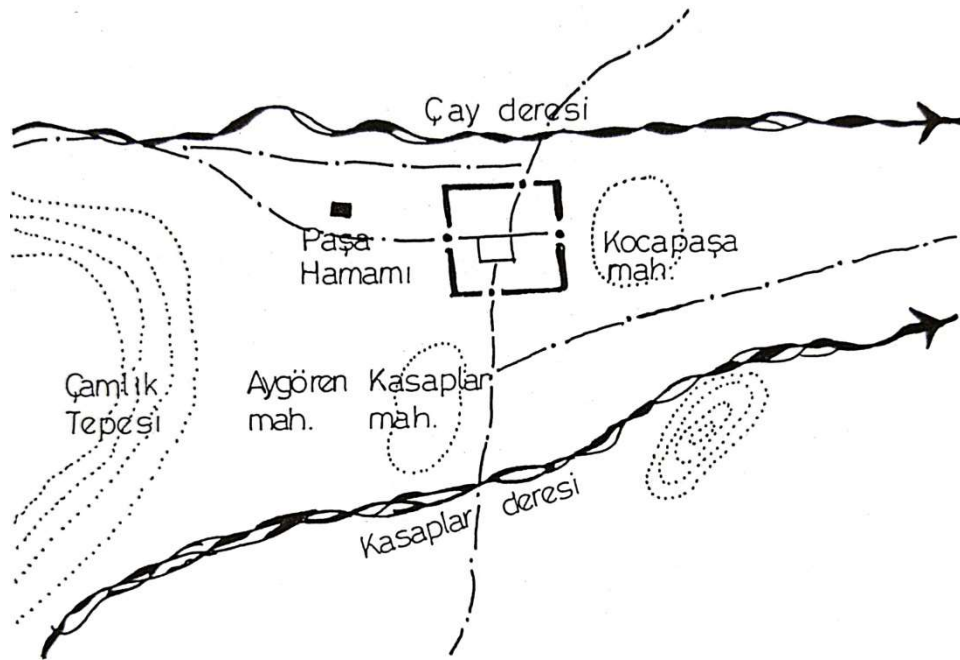
Balıkesir, Marmara Bölgesi'nin Güney Marmara Bölümü'nde bulunmaktadır (Şekil 2.1). Topraklarının bir kısmı Ege Bölgesi'nde yer alan ve hem Marmara hem de Ege Denizi'ne kıyısı bulunan Balıkesir İlinin, güneyinde İzmir ve Manisa, doğusunda Bursa ve Kütahya, batısında ise Çanakkale kenti bulunmaktadır. Bu konumu ile Balıkesir, eski tarihlerden bu yana stratejik öneme sahip bir kent olmuştur.



Şekil 2.1: Balıkesir ilinin konumu.

Tarihte genellikle Misya ve Karesi adlarıyla bilinen Balıkesir yöresi, zamanla Roma, Bizans, Anadolu Selçuklu, Karesi Beyliği ve Osmanlı egemenliğinde kalmıştır. Balıkesir genelindeki yapılan araştırmalarda, bu topraklara MÖ 8000-3000 yılları arası yerleşildiği ortaya çıkmıştır (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017).

Balıkesir şehrinde ilk kentleşmenin 14. yüzyılda Bizans döneminde, Hisariçi olarak adlandırılan mahallede olduğu düşünülmektedir (Şekil 2.2). Hisariçi mahallesinin iki yerinde sur duvarlarına ait kalıntılar bulunmuş ancak, bu surların sınırları bilinmemektedir (Tunga, 1997).



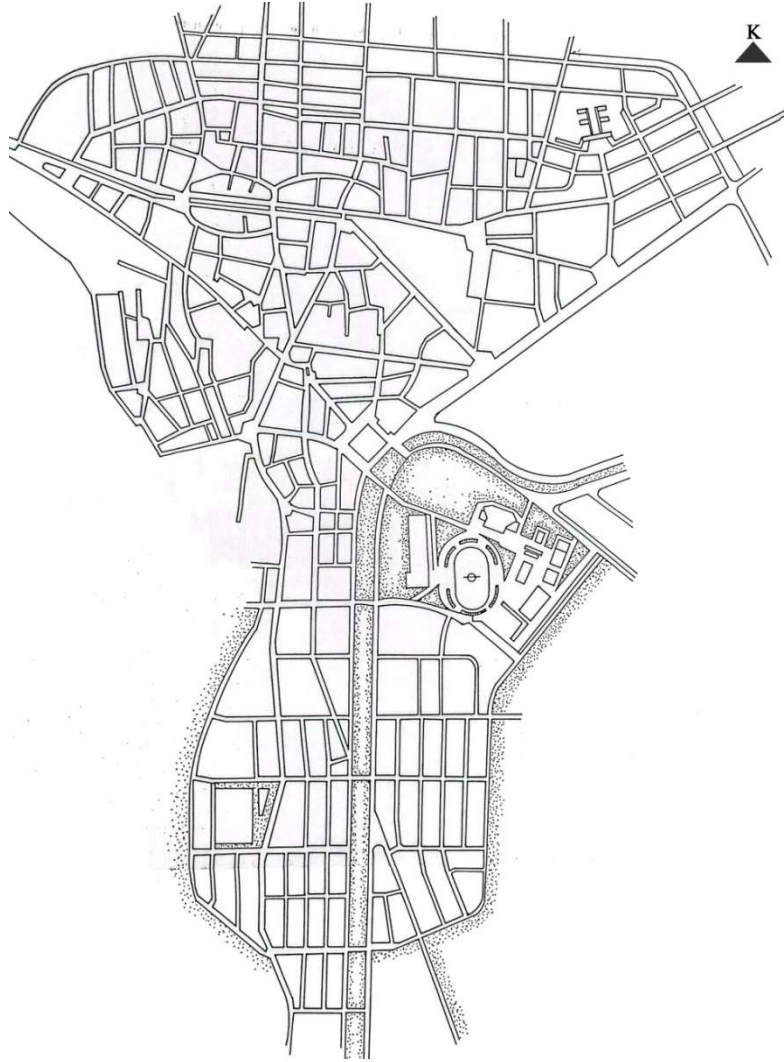
Şekil 2.2: Balıkesir'de ilk yapılaşmanın konumu (Tunga, 1997).

1071 Malazgirt Meydan Savaşından sonra ise Türkler Anadolu'ya yerleşmeye başlamışlar ve 1206 yılında, Türkmenler tamamen Balıkesir (Misya) Kentine yerleşmişlerdir. Daha sonra beylikler ve Osmanlı Devleti dönemlerinde de Türk yerleşimi olarak kalmış ve 1898 tarihinde şiddetli bir deprem geçirmiştir (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017).

Balıkesir'de ilk imar hareketleri 1863'te başlamıştır (dar sokakların genişletilmesi, yeni caddelerin açılması, çıkmaz sokakların iyileştirilmesi gibi). 1916 yılında ise, bugün kentin en işlek ve ticari aktiviteler açısından en yoğun caddesi olan Milli Kuvvetler Caddesi açılmıştır (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017).

Kurtuluş Savaşı döneminde, İzmir'in işgalinden sonra Balıkesir, Anadolu'nun müdafaası konusunda ilk kıvılcımların ortaya çıktığı yer olmuştur. Balıkesir'de bulunan birçok cadde ve sokak isimleri (Milli Kuvvetler, Anafartalar, Cumhuriyet, Gazi, Kazım Karabekir, Fevzi Çakmak, Mehmet Akif Ersoy, Ali Çetinkaya, Sakarya Caddeleri gibi) de bu dönemlere ait kentin tarihine vurgu yapmaktadır (Aliağaoğlu ve Yiğit, 2013).

Balıkesir kenti, Cumhuriyetin kurulmasıyla, 1923 yılında Karesi İli olarak kurulmuş, 1926'da ise Balıkesir adını almıştır. Balıkesir'e ait ilk imar planı çalışması 1944 yılında Prof. Egli tarafından yapılmıştır (Şekil 2.3). Egli planının plan açıklama raporunda, kentsel gelişimin kuzey ve doğu yönlerinde olması gerektiği vurgulanmış, kentin özellikle demiryolu güzergahı üzerinde bulunması nedeniyle gelişime uygun bir bölgede bulunduğu belirtilmiştir (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017).



Şekil 2.3: Prof. Egli tarafından hazırlanan Balıkesir'in ilk imar planı (Tunga, 1997).

1940 öncesi nüfusu 30 – 40.000 arasında olan Balıkesir, özellikle tarımda makineleşmenin ve dolayısıyla kırdan kente göçün başlamasıyla nüfusu hızla artan bir kent konumunu almıştır. Bu hızlı gelişme sonrası, Eglı planı ihtiyaçlara cevap veremeyecek duruma gelmiş ve 1950-55 yılları arasında yeni bir plan hazırlanmıştır. Daha sonra da çeşitli zamanlarda ilave ve revizyonlar yapılmıştır (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017).

Balıkesir, 6360 sayılı Büyükşehir Kanunu ile birlikte, 2014 yılındaki Türkiye yerel seçimlerinin ardından büyükşehir olmuştur (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017). Güncel toplam nüfusu 366.270 (T. C. Balıkesir Valiliği. Erişim tarihi: 5 Ekim 2022) olan Balıkesir İli, Karesi ve Altieylül olmak üzere iki merkez ilçeden oluşmaktadır.

2.1.2 Hafif Raylı Sistemler

Bireysel araç kullanımının çok arttığı günümüzde, kentlerde hem oluşmakta olan trafik sorunlarını azaltmak, hem de daha iyi bir hava kalitesinin mümkün olabilmesi için toplu taşıma sistemlerinin kullanımını artırıcı politikalar benimsemek önemli görülmektedir. Toplu taşıma sistemleri; güzergah, teknoloji ve hizmet özelliklerine göre çeşitli kategoriler altında sınıflandırılmaktadırlar. Bunlardan güzergah özelliği, sistemleri güzergahını çevreleyen alandan, diğer taşıt trafiği ve yaya alanlarından ayırım düzeyini ifade etmektedir. Teknoloji özellikleri, sistemin araçları ile yüzey arasındaki ilişkiyi (lastik veya demir tekerlekli, su aracı), motor özelliğini (dizel veya elektrikli), sürücülü veya otomatik olma durumunu ve güç kaynağından araca enerji sağlama özelliklerini kapsamaktadır. Hizmet özellikleri ise, sistemin kapsama alanını (kent merkezi, kampüs vb.), durak sayısına bağlı olarak hızlı servis olup olmama durumunu ve işletim zamanlarını (doruk saatler, tüm gün servisleri vb.) ifade etmektedir (Ersoy, 2015). Bu özelliklerden, hizmet özelliğine göre sınıflandırma işletim aşamasında değişiklik gösterebilirken; güzergah ve teknoloji özelliklerine göre yapılan sınıflandırma, sistemin değişmez unsurları olan altyapı ve teknolojilerini temel almaktadır. Bu özelliklerine göre toplu taşıma sistemleri üç kategoride ele alınmaktadırlar (Tablo 2.1):

A Kategorisi: Tümüyle sisteme özel, çevresindeki alandan %100 oranında ayrılmış bir güzergahın söz konusu olduğu durumları ifade etmektedir. Bu kategoride, diğer taşıt trafiği veya yaya alanlarıyla kesişme durumu olmayıp, bu tür kesişmelerde zemin ayırımı kullanılmaktadır.

B Kategorisi: Sistemin kendine ayrılmış bir güzergahının olduğu, ancak bazı kesişme alanlarında hemzemin çözümlerle taşıt veya yaya trafiği ile birlikte sistemin işletilebildiği durumları ifade etmektedir.

C Kategorisi: Sistemin diğer trafik türleriyle karma bir biçimde ve taşıt yolları üzerinde, kendilerine özel ve ayrılmış bir yol tasarlanmadan işletildiği durumları ifade etmektedir (Ersoy, 2015).

Tablo 2.1: Toplu taşıma sistemlerinin kategorileri (Ersoy, 2015).

Güzerghah Kategorisi	Teknoloji	Taşıt Yolu Üzerinde Sürücülü	Lastik Tekerlekli GÜdümlü (guided)	Raylı	Diğer
C		Otobüs / Ara Toplu Taşıma Sistemleri (Paratransit)	Trolleybüs	Tramvay	Feribot / Deniz Otobüsü
B		Öncelikli Otobüs Yolu		Hafif Raylı Sistem	
A			Lastik Tekerlekli Metro	Hafif Metro / Metro / Banliyö / Bölgesel Tren	Füniküler

B kategorisinde görünen hafif raylı sistemler, güç kaynağını havai hattın aldığı elektrik enerjisi ile sağladığı için, raylarında güç kaynağı bulunmayan, böylece taşıt veya yaya alanlarıyla birlikte işletilmesinde teknolojik açıdan bir engel bulunmayan sistemlerdir. Bu nedenle bir hafif raylı sistemin tamamen C kategorisinde olarak planlanması mümkündür. Ancak, hızını ve hizmet kalitesini artırmak amacıyla hafif raylı sistemler genellikle kendilerine ayrılmış özel güzergahlarını kullanacak şekilde tasarlanmaktadır. Böylece bu sistemler, tasarım kararlarına bağlı olarak A kategorisi güzergahına sahip olacak şekilde de planlanabilmektedir. Bu sistemdeki “hafif” ifadesi, sistemin hem araçlarının görece küçük ve hafif olmasından hem de maliyetinin yine metro gibi raylı sistemlere kıyasla düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Ersoy, 2015).

Bu sistemler, tramvaya göre daha yüksek kapasiteli ve daha hızlı çalışabilirken metroya göre ise daha düşük kapasiteli ve daha yavaş çalışabilmektedirler (Tablo 2.2) ve diğer toplu

taşıma araçlarıyla etkin bir şekilde bir arada kullanılabilirler. Bir sürücü tarafından sinyalizasyon sistemine uygun olarak kumanda edilen HRS 'lerin istasyonları arası mesafeler genellikle 600 – 1200 m arasında olmaktadır. En fazla 80 km/s hıza erişebilen HRS 'ler 300 kişiye kadar taşıyabilen araçların tekli ya da çoklu olarak kullanılmasından oluşmaktadırlar. Bu sistemler yoğun yolcu talebine (15.000-22.000 yolcu/saat) cevap verebilmesi, trafik sıkışıklığını azaltması, güzergahının esnek olması, çevreye zarar vermemesi, az enerji tüketmesi ve karbon emisyonlarını azaltmaya yardımcı olması, konfor ve güvenilirliği ve şehrin gelişmesinde oynadığı yönlendirici rol açısından günümüzde toplu taşımanın vazgeçilmez elemanlarından biri olarak görülmektedirler (Cirit, 2014; Urhan, 2021).

Tablo 2.2: Yolcu taşıma sistemlerinin kapasiteleri (Acar, 2005).

Yolcu Taşıma Sistemi	Yolcu Kapasitesi (Yolcu/saat)
Raylı Sistemler	
Banliyö Treni / Metro	40.000 - 60.000
Hafif Raylı Sistem (HRS)	15.000 - 22.000
Tramvay	6.000 - 9.000
Lastik Tekerlekli Sistemler	
Körüklü Otobüs (özel yolda)	12.000 - 20.000
Körüklü Otobüs	10.000 - 15.000
Otobüs	8.000 - 12.000
Ara Toplu Taşıma (minibüs)	6.000 - 10.000
Otomobil	2.000 - 5.000

Yukarıda da bahsedildiği gibi kapasite ve hız açısından tramvay ve metro arasında sınıflandırılan hafif raylı sistemler (HRS), 1970'li yıllarda mevcut tramvay sistemlerinin geliştirilmesiyle Avrupa'da ortaya çıkmış bir kavramdır (Cirit, 2014). Anılan yıllarda otomobil kullanımının artmasıyla mevcut metro, tramvay gibi ulaşım türlerinin popüleritesinde düşüş yaşanmış, sonrasında ise hafif raylı sistem kavramı ortaya çıkmaya başlamıştır (Urhan ve Salihoğlu, 2021). Bu sistemle kapasite ve hız artırılarak otomobile alternatif bir toplu taşıma aracı geliştirilmeye çalışılmıştır. Genellikle kendi ayrı hattı bulunan HRS 'ler, taşıt veya yaya trafiği ile birlikte hemzemin olarak da işleyebilmektedir. Balıkesir kenti için de, gerçekleştirilecek olan hafif raylı sistemin, kentsel kullanımın çok yoğun olmadığı alanlarda, ayrılmış güzergah (mevcut tren hattı zaten çevresinden izole durumdadır) ile hız sağlanması gerektiği düşünülmektedir. Ancak, yaya ve taşıt olarak

kentsel iletişimin sağlanması için gerekli olduğu alanlarda, sistemin hemzemin bir şekilde ilerleyebileceği bir düzenlemenin yapılması gerekmektedir.

2.1.3 Balıkesir Kentinde Raylı Sistem

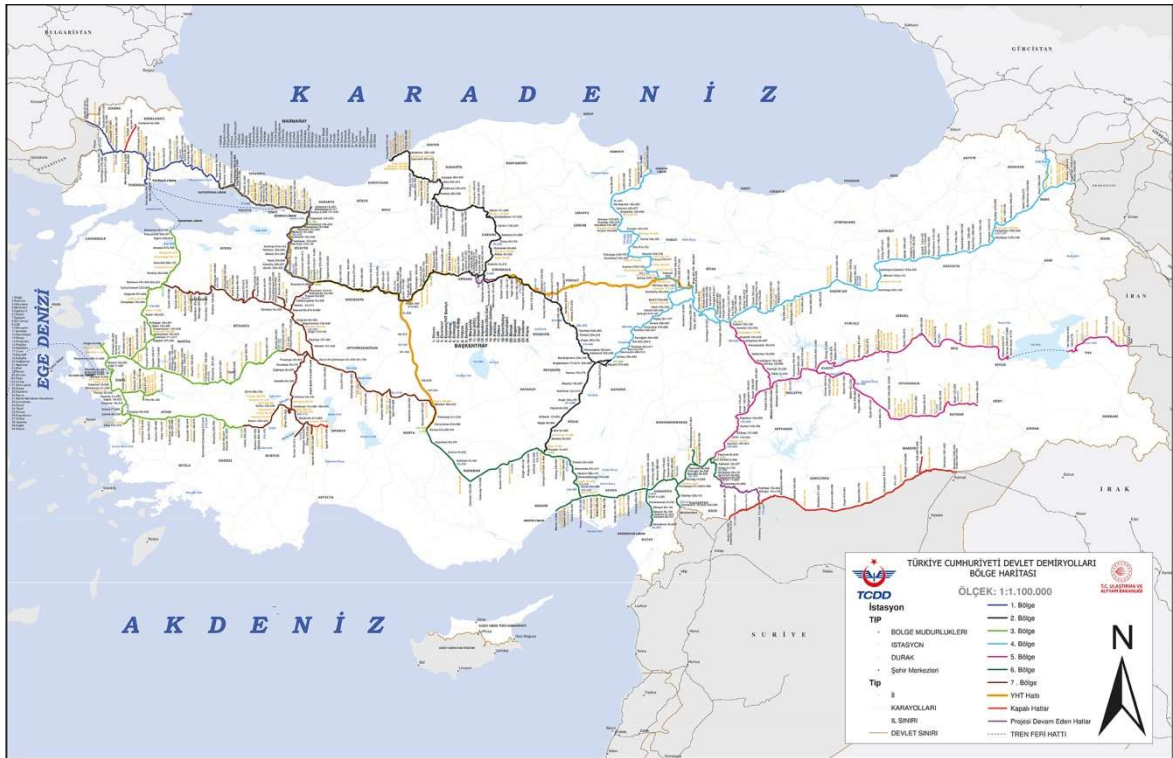
Antik çağlardan beri, oluklu taşlar üzerinde tahtadan yapılmış tekerleklerin kaydırılmasıyla, insan ya da hayvan gücüyle itilen araçlar ile bazı taşıma işlerinin yapıldığı bilinmektedir. Sanayi Devrimi'nin ardından çelik raylar ve buharlı lokomotiflerin icadı ile, demiryolları ve kitle ulaşımı çağ atlamıştır (TCDD, 2022). Yapılan demiryolları, aynı zamanda bu devrimi hızlandırıcı bir rol de üstlenmiştir. Demiryolları sayesinde, Sanayi Devrimi'yle birlikte ortaya çıkan hammadde ihtiyacı ve fabrikalarda seri olarak üretilen malların, uzun mesafelerde, hızlı bir şekilde taşınması mümkün olmuştur (Satılmış, 2016). Demiryolları, yarım asırlık bir sürede, tüm dünyada yaygınlaşarak, ülkeleri, coğrafyaları ve kültürleri birbirine bağlamıştır (TCDD, 2022).

Demiryollarının tarım, ticaret, askeri ve mali açılarından getirdiği avantajlar nedeniyle, Osmanlı Devleti de demiryolu yapma konusunda kararlıydı. Bu sayede, hem ülkede otoriteyi sağlamak (her yere hızlı ulaşım sağlayarak) hem de ihracata yönelik tarımsal üretime geçmek (ulaşım maliyetlerini düşürerek) hedeflenmekteydi. Ancak o dönemde, sermaye ve tecrübeli teknik eleman yetersizliği sebebiyle yabancı şirketlere başvurmak durumunda kalınmıştır. Böylece Osmanlı coğrafyasında, 1850'li yıllarda İngiliz sermayedarlar tarafından ilk demiryolu inşaatları gerçekleştirilmiştir [Kahire-İskenderun(1851-56); Köstence-Çernova(1857-60); Rusçuk-Varna(1863-66); İzmir-Kasaba(1863-66); İzmir-Aydın(1856-63)] (Satılmış, 2016). Cumhuriyete kadar ülkede 4112 kilometre demiryolu mevcutken, bu demiryollarının 3756 kilometresi imtiyazlı yabancı şirketler tarafından inşa edilmişti. Dolayısıyla bu demiryolu hatları, yabancı şirketlerin ideolojik çıkarlarına göre düzenlenmiş durumdaydı. Cumhuriyetin kurulmasının ardından gelişen demiryolu politikası ile, iktisadi ve askeri etkenlerden dolayı 1930'lar civarında, bu hatlar millileştirilmiş, yeni hatlar da inşa edilmiştir (Yıldırım, 1996).

Yine Osmanlı Döneminde, Soma ile Bandırma arasında inşa edilecek bir demiryolu da, hem Balıkesir ve çevresi, hem Osmanlı Devleti'nin mali ve askeri yapısı, hem de yabancı yatırımcılar için kazançlı bir proje olarak görülmekteydi (Satılmış, 2016). Balıkesir, Cumhuriyet öncesi dönemde, 17. ve 18. yüzyıllarda, önemli bir üretim ve ticaret kenti durumundaydı (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017). Konumu itibarıyla hem iç, hem de

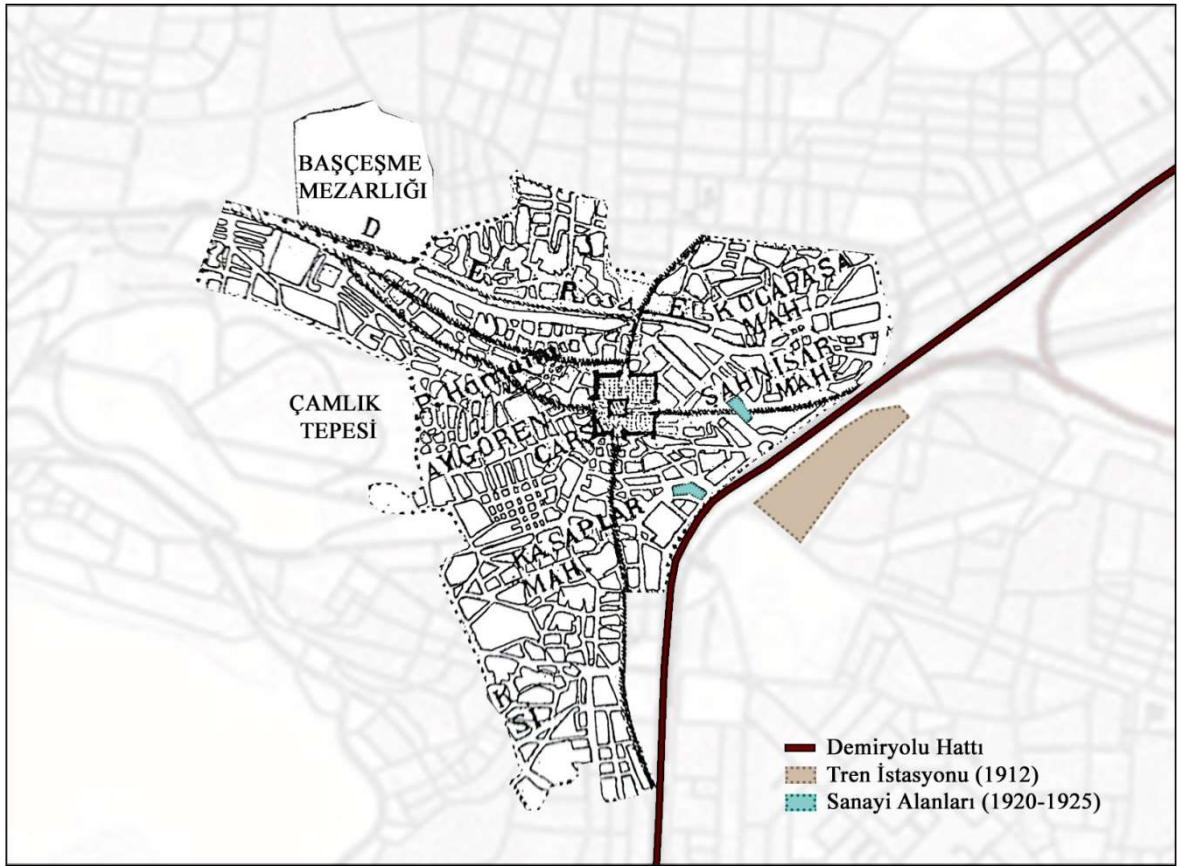
dış ticarete oldukça elverişli olan Balıkesir, zirai, hayvani, orman ürünleri, madencilik ve dokumacılık alanlarında İstanbul'a, farklı şehirlere ve yurt dışına pek çok çeşit ticari mal göndermekteydi. Bu ticaretin büyük bir bölümü de 19. yüzyıl ve 20. yüzyılın başlarında, bölgenin en büyük limanlarından biri olan Bandırma Limanı aracılığıyla gerçekleşmekteydi. Dolayısıyla, yapılacak olan demiryolu hattı ile Balıkesir ve Ege bölgesinin Bandırma Limanına bağlanması birçok açıdan önemli görülmekteydi (Satılmış, 2016).

Bu doğrultuda, 1870'lerde Balıkesir ile Bandırma arasında bir demiryolu inşası düşünülmüş, ancak 1911 yılına kadar inşaata başlanamamıştır. Bandırma-Soma arası demiryolu, 1912 yılında, İzmir-Kasaba ve Temdidi Demiryolu Şirketi tarafından işletmeye açılmıştır. Bandırma-Soma demiryolu hattı 190 km. uzunluğunda ve 1.44 m. genişliğinde inşa edilmiştir. Bahsedilen hat sayesinde, hem ülkeye ekonomik ve askeri kazanımlar sağlanmış, hem de Balıkesir ve Bandırma şehirlerinin planlanmasında ciddi şekilde katkı sağlanmıştır (Satılmış, 2016). 1932 Yılında ise Balıkesir - Kütahya arasındaki demiryolu faaliyete geçirilmiştir.



Şekil 2.4: TCDD demiryolu haritası (TCDD, Erişim Tarihi: 20 Ekim 2022).

1912 yılında Balıkesir-Soma hattının ve “Smyrna Cassaba Railway (SCR)” isimli İngiliz firma tarafından inşa edilen Balıkesir Tren Garı’nın açılmasıyla birlikte şehir merkezi ve garı birbirine bağlayan ve şimdiki adı Milli Kuvvetler Caddesi (1916’dan önce İstasyon Caddesi’ydi) olan cadde ve Cumhuriyet Meydanı ortaya çıkmıştır (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017). Demiryolunun Balıkesir’e ulaşması ile farklı caddelere de demiryolu ile ilişkili isimler verildiği görülmektedir (İstasyon Caddesi, Trenlik, Terminal Caddesi vb.) (Satılmış, 2016). Şekil 2.5’ de de görebileceğimiz gibi, kurulduğu yıllarda kentin çeperinde olan tren hattı ve gar binasının, o yıllarda kentte organize edici bir rol üstlendiği (çevresinde fabrikaların açılması gibi) söylenebilir.



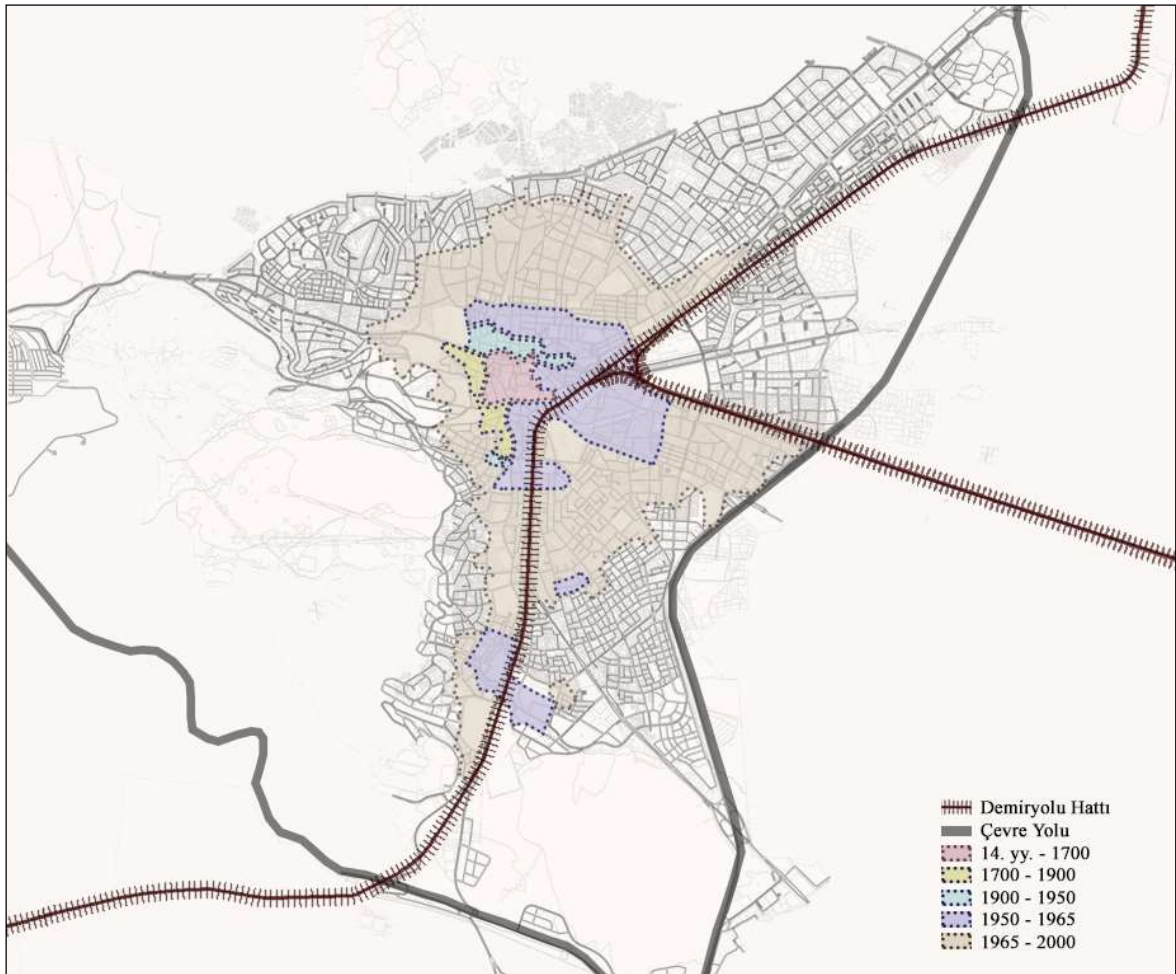
Şekil 2.5: Cumhuriyet Dönemi öncesinde (1925’e kadar) Balıkesir kenti ve tren hattının durumu (Tunga, 1997).

Günümüzde Balıkesir, kuzey-güney aksında, Bandırma’dan başlayıp, Balıkesir-Soma-Manisa-İzmir’e kadar uzanan demiryolu hattına sahiptir (Şekil 2.6). Bölgeden doğu istikametine devam eden demiryolu hattı ise Alanyurt istasyonundan ayrılarak Kütahya-Eskişehir-Ankara ve Uşak-Afyon-Konya kentlerine ulaşmaktadır (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017).



Şekil 2.6: Balıkesir demiryolu ulaşım şeması (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017).

Mevcut demiryolu ağı, taşıma ağırlıklı olup, kapasite ve sefer sayıları açısından ilin potansiyelinin altında kalmaktadır. Ayrıca, ilk kurulduğunda kentin çeperinde bulunan demiryolunun, kentin gelişimiyle (Şekil 2.7) birlikte kent merkezinde kalarak ulaşım ve kentin bütünlüğü açısından sorunlar meydana getirmektedir. 2017 Yılında yayımlanan, Karesi (Merkez) 1/5.000 Ölçekli Revizyon+İlave Nazım İmar Planı, Plan Açıklama Raporunda da, yolcu taşımacılığının özendirilmesi ve mevcut demiryolu ağının çağa uygun hale getirilmesinin gerektiği belirtilmektedir.



Şekil 2.7: Yıllara göre Balıkesir kentinin gelişim durumu (Tunga, 1997).

Bu durum neticesinde, ilk olarak 2014 yılında kabul edilen ve zaman içerisinde çeşitli revizyonlar geçiren, “Balıkesir Çanakkale Planlama Bölgesi 1/100000 Ölçekli Çevre Düzeni Planında” tren hattının kentin çeperine alınarak yüksek hızlı trene uygun olacak şekilde bir düzenleme yapılması planlandığı görülmektedir. TCDD 3. Bölge Müdürlüğü Emlak ve İnşaat Servis Müdürlüğü’nün 2016’daki yazısında da, kent içinden geçen demiryolu hattının kentin dışına çıkarılacağı belirtilmiştir. Bölgenin ticaret ve turizmüne önemli katkı sağlaması beklenen bu proje, İstanbul-İzmir otobanıyla birlikte, İzmir’e erişimi 1 saate, İstanbul’a erişimi ise 2,5 saate düşürmektedir (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017). Tren yolunun kent merkezinden kent çeperine çekilmesiyle birlikte, belleklerde yer edinmiş olan kent merkezindeki tren hattı atıl bir durumda kalmaktadır. Kent merkezinde bulunan böyle bir hattın, çöküntü alanı haline dönüşümüne engel olacak şekilde, hem kenti zorlayıcı etkisi kaldırılarak hem de kentlilerin belleğinden silinmeden işlevlendirilebilmesi önemli hale gelmektedir.

2.1.4 Balıkesir’de Demiryolunun “Sınırlayıcı” Etkisi

Kent, toplumsal hayatın kurgusunun algılanma biçimidir. Lynch (2015) kentsel algılamanın bileşenlerini yollar, kenarlar (sınırlar), bölgeler, düğüm (odak) noktaları ve işaret öğeleri olarak ifade etmektedir. Çalışmada ele alınan “sınır” kavramı, Lynch’e (2015) göre, gözlemciler tarafından ulaşım aksları olarak kullanılmayan doğrusal öğelerdir. Kıyıları, demiryolları, gelişme bölgesi sınırları ve duvarları örnek olarak gösteren Lynch, bu öğelerin yanıl referanslar oluşturduğunu ve iki bölge arasında sınır işlevi görerek, sürekliliği doğrusal olarak böldüğünü ifade etmektedir. Bu tür sınırların, bazı noktalarından geçişler veren ve iki bölgeyi birbirinden ayıran “duvarlar” veya iki bölgeyi birleştiren bağlantı noktaları olabileceğini de vurgulamaktadır.

Balıkesir kenti içinde, ulaşım sistemiyle ilgili veya kentte bulunan işlevlerle ilgili bir takım “sınır” teşkil eden öğeler olduğunu söyleyebiliriz. Bunlardan ulaşım sistemiyle ilgili olanları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Kent merkezi, birinci derece karayolu olan Bursa-İzmir Yolu ile doğu yönünden sınırlandırılmıştır.
- Kentin lineer gelişimini destekleyen Bandırma Caddesi ve Yeni İzmir Yolu hatları da ikinci derece karayolu olup, kent içi ana ulaşımın omurgası niteliğinde olmakla birlikte, alt bölgeler arasındaki yolların devamlılığını kesintiye uğratması ve yaya

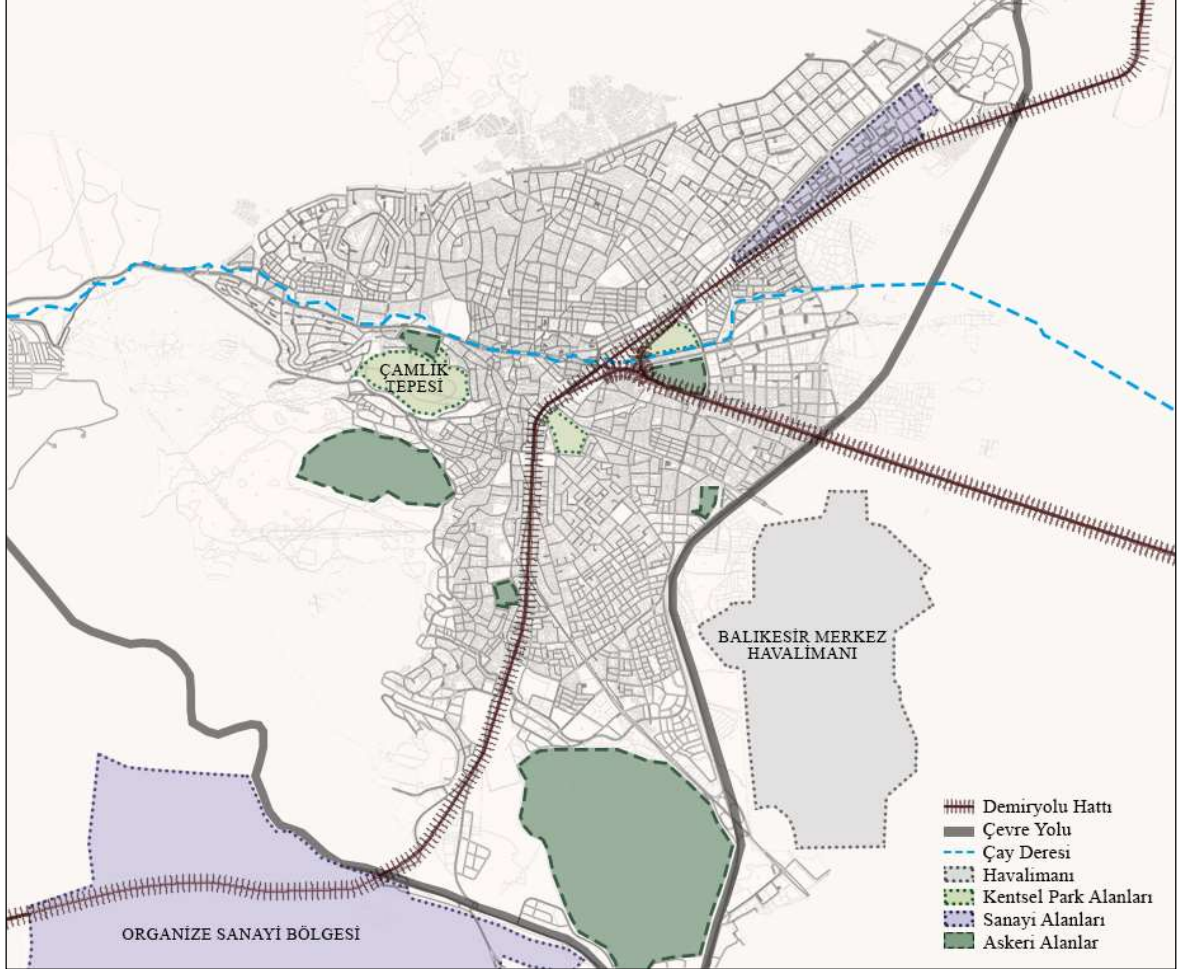
geçişine kısıtlı noktalardan izin vermesi dolayısıyla bir sınır ögesi oluşturmaktadırlar.

- Kenti kuzey ve güney olarak ikiye bölen, aynı zamanda Altıeylül ile Karesi ilçelerinin idari ayırım sınırını oluşturan, Edremit Caddesi ve Kepsut Caddesi de kent için önemli ikinci derece arterler olup, alt bölge bağlantılarının yeterince sağlanmamasından kaynaklı, bir sınır algısı oluşturmaktadırlar.
- Bursa-Balıkesir otoyolu ile paralellik gösteren, kent içerisinde kuzey güney aksı boyunca devam eden, Bandırma Limanı ile bütünleşmiş bir şekilde çalışan Balıkesir-Soma-Manisa-İzmir'e kadar ulaşan demiryolu hattı da, çok sınırlı sayıda ve zayıf bağlantılarıyla kent merkezinde keskin bir sınır ögesi durumundadır. Bu sorun en çok Yeni İzmir Yolu güzergahında algılanmaktadır (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017).

Ulaşım kararları ve mevcuttaki akslar hem bağlantı sağlamakta hem de sınır özelliği taşımaktadır. Ulaşım kademelenmesindeki derece düştükçe, ulaşım aksının sınır olma özelliği de o derece azalmaktadır. Kentin ana aksı lineer olduğu için birçok alt kademe yol bağlantısı, kavşak noktaları oluşturmaktadır. Bu lineer organizasyona bir de demiryolunun eklenmesiyle bahsedilen kavşak noktalarının birçoğu için bağlantı kabiliyetleri yeterli gelmemektedir. Demiryolu yer yer geçişlere izin verse de, trenin geçiş hızı düşünüldüğünde yerleşimler için sınır tarif etmektedir. Aynı zamanda trenin geçişi sırasında oluşturduğu gürültü ve hat boyunca oluşan bariyer etkisi tren yolu çevresinde yer seçecek fonksiyonlara da etki etmektedir (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017). Balıkesir kenti için, ulaşım sistemindeki sınırlayıcı öğelerin yanında bir takım fiziksel sınırlar ya da bazı alansal kullanımlarla ilgili bölgesel sınırlar da olduğunu söyleyebiliriz (Şekil 2.8):

- Kentin güneydoğusunda bulunan ve mania sınırı (havaalanları çevresinde belirlenen bazı bölgelerde aşılmaması gereken yükseklik sınırı) ile kenti üçüncü boyutta bile sınırlayıcı etkisi olan havaalanı,
- Kendi içine kapalı yapıları ile kent içerisindeki ve çevresindeki askeri alanlar,
- Kentin kuzey doğusunda, karayolu ve demiryolu arasındaki aksta gelişme gösteren küçük sanayi sitesi ve kentin güneybatısında kalan organize sanayi bölgeleri,
- Kent merkezinden geçen çay deresinin kent içerisindeki fiziksel ve algısal etkisi,

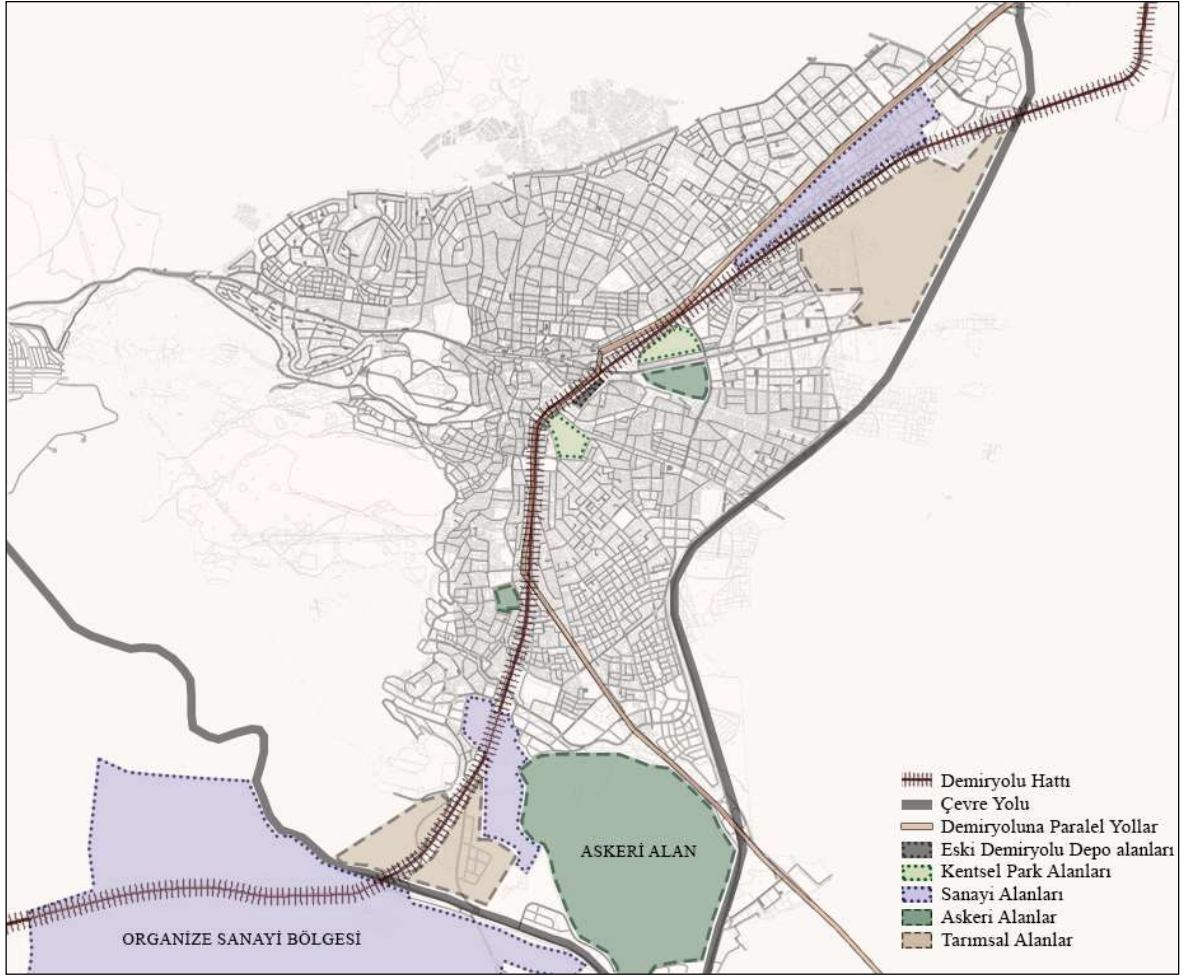
- Kentin batı bölgesinde bulunan Çamlık Tepesi'nin (son yıllarda yapılan düzenlemeler dolayısıyla kendi içinde kullanılabilir bir alan oluştursada), topoğrafik koşulları nedeniyle kent kullanıcılarına oluşturduğu sınır etkisi.



Şekil 2.8: Balıkesir kentindeki fiziksel ve bölgesel sınırlar.

Balıkesir kentindeki ulaşım sistemiyle ilgili sınır öğelerinden çalışma kapsamında ele alınan raylı sistem hattını, Lynch (2015)'in kent bileşenleri kavramları aracılığı ile tanımlarsak, kent içerisinde doğrusal ve sürekli bir “sınır” oluşturduğunu ifade edebiliriz. Bu sınır, demiryolu hattına paralel konumlanan karayolları, yeşil bant, ve çevresindeki yapılaşmalar (bakım işletme tesisleri, sanayi alanları, vb.) ile daha da katmanlı bir duruma gelmektedir (Şekil 2.9). Akgün ve arkadaşları (2015) tarafından Balıkesir İstasyon Bölgesi için yapılan çalışmada da, bu bölgedeki sınırlar detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Çalışmada kentsel bölgeler arasındaki sürekliliği sağlamak için, demiryolunun üzerindeki bağlantıların güçlendirilmesi, yeşil koridorların kamusal kullanıma açılması ve alanın

evresindeki motorlu taşıt trafiği hıızının yaya hareketini kolaylaştıracak şekilde yavaşlatılması gibi bir takım önerilerde sunulmuştur.



şekil 2.9: Demiryolunun çevresindeki sınırsal geler.

Kentsel alanda sınır kavramını ele alan Jacobs (2015) ise, çok geniş bir tekil arazi kullanımının dış hatları olarak tanımladığı sınırların aktif bir etkiye sahip olduğundan bahsetmektedir. Demiryollarını da klasik sınır örnekleri olarak inceleyen Jacobs, demiryollarının kenarlarında “küntü ve çürüme bölgesi” oluşturduğunu savunmaktadır. Bunun nedeni olarak gürültü ve yakın çevrede demiryolunun arzu edilmemesinden ziyade, demiryollarının çevresindeki sokak kullanıcıları için bu sınırların “ıkılmaz sokak / engel” anlamına geldiğinden bahsetmektedir. Hatta daha küçük kasabalarda demiryolunun “sosyal sınır” anlamına da geldiğini vurgulamaktadır. Bu eleştirilerde bulunan Jacob, aynı zamanda sınır yaratan bu alanlara kentin ihtiyacı olduğunu ve zararlı etkileri ortadan kaldırıldığında daha iyi işleyeceğini de ifade etmektedir.

Kentsel mekanın parçalanmasını, ulaşım sistemlerinin gelişmesi ile değişen kentsel algıya bağlayan Colomina (1994) ise, bu dönüşümün başlangıcını demiryolunun kullanıma geçmesi olarak tanımlamaktadır. Örs Demir (2008)'de yüksek lisans tezinde demiryolunun süreksizlik ve parçalanmışlığı doğurduğunu ve otomobilin de yaygınlaşmasıyla birlikte, yer kavramının önemini yitirerek, kentin süreksiz mekanların birlikteliğinden oluşan parçalara bölündüğünü ifade etmektedir. Bu noktada, Jacob (2015) ise, demiryolu veya karayolu ile parçalanan bu kent parçalarının yeterince büyük ve çeşitli bir kullanım ve kullanıcı havuzu varsa, bu parçalanmanın etkisinin kötü olmayacağını, hatta insanların yönlerini bulmaları ve şehrin haritasını zihinlerinde canlandırmaları bakımından olumlu bir katkısı olabileceğini ifade etmektedir. Bu noktada, Balıkesir kentindeki tren hattının dönüşümü ile gerekli yerlerde sınır etkisinin korunarak, ana aksların devamlılığının sağlanacak şekilde belirli bir bölge tanımlanamayan alanlarda kentin iki yakasını bütünleştirmesi kent yaşamına olumlu etki yapacaktır. Ayrıca bu dönüşüm ile hayata geçecek olan hafif raylı sistemin, kent merkezinde otomobil kullanımını azaltarak trafik problemlerine de çözüm üreteceği düşünülmektedir.

Uysal (2006), ülkemizin 1950'li yıllardan beri karayolcu bir politika içerisinde olduğunu ve ulaşım denilince insanların değil, lastik tekerlekli araçların bir yerden bir yere ulaşmasının anlaşıldığını belirtmektedir. Deniz ve demiryolunun yok sayılarak, gittikçe artan motorlu araç trafiğini rahatlatmak için, kent içine ve çevresine daha fazla otoyollar, köprüler, kavşaklar, otoparklar vb. yapıldığını belirtmektedir. Ancak bu yatırımların kısa vadeli çözümler sunduğu ve otomobillere yeni yollar açmanın, yeni ulaşım talepleri ortaya çıkararak, araç sayısının artmasına ve trafiğin daha da sıkışmasına yol açan bir kısır döngü oluşturduğunu vurgulamaktadır.

Gerçek (2003) de benzer bir yaklaşımla, kentlerin insanlar için olduğunu ve kentlerde ulaştırma çözümlerinin taşıtların değil insanların hareketliliğini esas alması gerektiğini belirtmektedir. Günümüze kadar izlenen yanlış ve toplumsal maliyeti çok yüksek olan kentsel ulaştırma politikaları sonucunda otomobil ve kentin birbirlerine uymayan mekan profillerine sahip olduğundan bahsetmektedir. Bir kısır döngüye dönen kent - otomobil sarmalını çözümlerin yolunun, "kentleri otomobillere uydurmaya çalışmak" değil, sürdürülebilir ve yaşanabilir bir kent için, "otomobili kente uydurmak" olduğunu ifade etmektedir. Bunun için ise başta raylı sistem ve deniz ulaşımı olmak üzere toplu taşıma kullanımını arttırılarak, otomobile ayrılmış kent mekanlarının da planlı bir biçimde

azaltılması gerekmektedir. Bu kapsamda, henüz gelişmekte olan Balıkesir kenti için bu yönlü bir ulaşım planlaması kaygısı güdülmesi, ilerleyen zamanlarda ciddi trafik sorunları yaşamamak için önemli görülmektedir.

Çalışma kapsamında ele alınan hafif raylı sistemin uygulanmasıyla, hem kent merkezinde kişisel araç kullanımında azalma görülebilecek hem de demiryolu hızının yavaşlayarak, kentin iki yakası arasındaki bağlantıların daha güçlü ve fazla sayıda düzenlenebilmesi mümkün olabilecektir. Kent içerisinde yapılacak olan istasyon alanları ile birlikte demiryolu hattı ulaşılamaz bir alan olmaktan çıkacak ve çevresindeki yeşil alanlar kamusal kullanım için düzenlenebilecektir. Ancak mevcutta bulunan ve demiryolunun paralelinde devam eden Vasıf Çınar Caddesi ve Yeni İzmir Yolu gibi araç trafiğinin yoğun olduğu karayollarının bu alana erişimi zorlamaya devam edeceği görülmektedir (Şekil 2.9). Hafif raylı sistem istasyonlarına yayaların daha güvenli bir şekilde ulaşabilmesi ve bu istasyonları erişilebilir olarak algılayabilmeleri için, bu yollarda trafiği yavaşlatarak, yaya kullanımını artıracak düzenlemeler yapılması gerekmektedir.

Balıkesir kentinin mevcut durumunda, ulaşım kademelenmesi lineer bir şekilde gelişmesine rağmen, kentin makroformu bu yapıya paralellik göstermemektedir. Demiryolunun da eklenmesiyle, kent içi ulaşımında birçok sorun ortaya çıkmaktadır. Gazi Bulvarı, Cengiz Topel Caddesi, Milli Kuvvetler Caddesi ve 100. Yıl Teknik Lise Caddesi 1. derece; Yeni İzmir Caddesi, Kepsut Caddesi, Azerbeycan Caddesi, Beyoğlu Caddesi, Şht. Birol Koç Caddesi, Sıtkı Yırcalı Caddesi ve Atatürk Bulvarı ise 2. derece yoğun kullanılan ve demiryoluna dik bir şekilde konumlanan karayolları durumundadır. Şekil 2.10'da da görüldüğü üzere, kentin en yoğun kullanılan ana caddeleri demiryolu hattında kesintiye uğramaktadır.



Şekil 2.10: Kente en çok kullanılan güzergahlar (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017).

Lynch (2015), sürekliliği olan ve tanımlanabilen yolların işlevsel bir gereklilik olduğunu ve demiryolları ve metronun (yer üstünde kalan kısımları) da içinde bulunduğu bazı öğelerin bu sürekliliği kesintiye uğrattığını ifade etmektedir. Şekil 2.10' da görüldüğü gibi Balıkesir kentinin merkezinden geçen tren yolu nedeniyle, hattın iki yakasındaki, hatta dik olarak devam eden yollar kesilmekte ve bu durum yolların sürekliliğinin algılanmasında güçlükler ortaya çıkarmaktadır. Bir taraftan da hatta paralel olarak yapılan yollar demiryolu hattının sınır etkisini daha da kuvvetlendirmektedir.

Yine Lynch (2015), demiryollarının bu kesintiye sebep olduğunu belirtirken, istasyon noktalarının ise kentin stratejik düğüm noktaları olabileceğini ve bu sınır öğelerinin birleştirici bağlantı yerleri olma özelliği taşıyabileceğini söylemektedir. Görsel veya hareketli bir geçiş mümkün kılındığı takdirde, bir sınırın, her iki taraftan da bölgenin derinlerine işleyen bir şekilde yapılandırılmasıyla, baskın bir bariyer görevi görmeyen ötesinde bir işleve sahip olacağını, iki bölgenin birbiriyle ilişkilendiği bir hat görevi

göreceğini belirtmektedir. Önemli bir sınırın, kent yapısına bağlanan çok sayıda sirkülasyon ve görsel bağlantıyla güçlendirilirse, diğer her şeyin kolaylıkla hizalandığı bir unsur haline geleceğini ve “kullanımını ve erişilebilirliğini” güçlendirmenin, bir sınırın görünebilirliğini artırmanın yollarından biri olduğunu ifade etmektedir. Bu noktada, Jacob (2015) da benzer bir görüşle, bu tip öğeleri nefretle karşılamak değil, onları karmaşık halde gelen nimetler olarak kabul etmek ve özellikle bu sınırla ayrılan, kendi başına kuvvetli bir semt oluşturacak kadar büyük olmayan alanlarda ulaşılabilirliğin sağlanması gerektiğini ifade etmektedir. Bu bağlamda, Balıkesir için demiryolunun sınırlayıcı etkisinin kaldırılarak, daha geçirgen bir yapıya sahip olabilecek bir hafif raylı sistemin hayata geçirilmesi, hem kentin sürekliliğine, hem de istasyon noktalarının iyi bir şekilde tespit edilmesiyle, kentte referans noktaları oluşturularak, kent belleğine katkı sağlayacaktır.

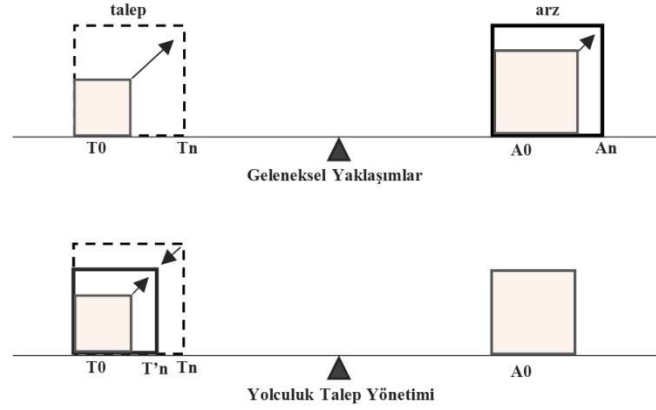
2.1.5 Kentsel Mekanda Raylı Sistemlerin Planlanması

Kentlerde ulaşım ile ilgili planlamalar yapılırken genellikle yolculuk üretiminin tahmini (yolculuk sayısı), yolculuk dağılımının hesaplanması (yolculukların hangi bölgelere gideceği), türel dağılımın belirlenmesi (yolculukların özel araç-toplu taşıma oranı) ve trafik ataması (yolculuk güzergahlarının seçimi) aşamalarını içeren bir model kullanılmaktadır. 1970’li yıllardan sonra büyük eleştiriler alan geleneksel ulaşım planlama yaklaşımları ile model sonucunda elde edilen yolculuk hacmine göre uygun altyapı için motorlu taşıt yolları genişletilmiş, kent merkezlerinde yeni yollar açılmıştır ve bunlar yıkımlara sebep olmuştur. Buna rağmen, yolculuk talebi ve otomobil kullanımı daha da artmış ve yeni veya genişletilen yollar bu talebi karşılamaya yeterli olmamıştır (Ersoy, 2012).

Ülkemiz genelinde de, kent içi ulaşımında ağırlıklı olarak kullanılmakta olan karayolu ulaşımı, gidilecek yere noktasal olarak ulaşılabilirdiği için verimli gibi görünse de, kent trafiğinde araç hakimiyetinin artışı ve dolayısıyla trafik sıkışıklıkları, otopark sorunu, çevre kirliliği gibi birçok sorunu beraberinde getirmekte ve deneyimlenemeyen bir kent ortamı oluşturmaktadır. Kentlerdeki bu sıkışıklığı önlemek için genişletilen yollar, yapılan otopark alanları ise daha fazla talep artışına sebep olmakta, araç sayısı artmakta ve böylece yeni bir sıkışıklığa da sebebiyet vermektedir. Başka bir deyişle, daha fazla yol, daha fazla ulaşım talebi üretmektedir.

Bu nedenle çağdaş ulaşım planlamalarında, model sonucu elde edilen tahminler, mevcut ulaşım altyapısının kapasitesinden fazla ise, toplu taşımaya yönelik yatırımlar yapılarak, bu

talebi düşürmek veya değiştirmek amaçlanmaktadır. Böylece, yeni yollar yapmak yerine, talebi mevcut taşıt yolu altyapısının kapasitesine uygun hale getirmeye çalışılmaktadır. Bu sayede modelin türel dağılım aşamasındaki özel araç yolculuklarının payının azaltılması sağlanmaktadır. Bu yönetime “yolculuk talep yönetimi” adı verilmektedir. Fiziksel yatırımların yanısıra, yönetsel, ekonomik, yasal ve işletmeciliğe dönük önlemler bu yöntemin temel araçları haline gelmektedir (Ersoy, 2012).



Şekil 2.11: Geleneksel ulaşım politikaları ile talep yönetimi yaklaşımı şemaları (Ersoy, 2012).

Şekil 2.11’de de görüldüğü gibi geleneksel yöntemlerde T0’dan Tn’e çıkan talep ulaşım arzının (A0) da aynı seviyeye çıkarılması ile dengelenmektedir. Yolculuk talep yönetiminde ise talebin özel önlemlerle bastırılarak, mevcut arzı (A0) aşırılaşmaması yoluyla denge kurulmaktadır (Ersoy, 2012). Geleneksel ve çağdaş yaklaşımların ulaşım sorunlarını algılayış ve çözüm biçimleri Tablo 2.3’de ifade edilmiştir.

Tablo 2.3: Geleneksel ve çağdaş ulaşım yaklaşımlarının özellikleri (Ersoy, 2012).

Geleneksel Yaklaşımlar	Çağdaş Yaklaşımlar
Ulaşım arzının planlanması	Talebin yönlendirilmesi
Taşıtlara öncelik	İnsanlara öncelik
Ek kapasite yaratma	Mevcut altyapıyı verimli kullanma
Yolculukların türlere mevcut dağılımı veri olarak alınır	Yolculuklar daha yüksek kapasiteli ve daha dolu taşıtlara kaydırılır
Otomobil kullanıcılarının sorunlarına yönelik	Toplumun çeşitli kesimlerinin sorunlarını dengeleyici
Sermaye yoğun yatırımlar	Küçük / gerçekleştirilebilir yatırımlar
Geri dönülmez kararlar	Esnek kararlar
Fiziksel çözümler ağırlıklı	Yönetsel / yasal / ekonomik çözümler
İnşaata yönelik	Çevreye duyarlı

Çağdaş yaklaşımlarda kullanılan önemli ve etkili bir unsur da kent içi raylı sistemlerdir. Dünya genelinde sanayi devrimi sonrasında artmış olan araç hakimiyeti, 1970'lerde başlayan petrol krizi ile toplu taşımaya yönelmiş ve uzun süre geri planda kalmış olan raylı sistemler tekrar ön plana gelmiştir. Günümüzde pek çok gelişmiş kentte metrodan, tramvaya kadar ihtiyaca göre değişen özellikte raylı sistem projesi kent trafiğini rahatlatmak ve topluma hızlı, konforlu, güvenli ulaşımı sağlamak için hizmet vermektedir (Gürsoy 2019).

Ülkemizde de raylı sistemler diğer kent içi ulaşım türleri kadar eski olmakla beraber şehirleşmenin yoğun yaşandığı 1950'li yıllardan itibaren önemini kaybetmiş olup günümüzde de birkaç büyük şehrimiz dışında fazla gelişmemiştir. Kentlerimizin pek çoğunda, altyapı gerekliliği ve ilk yatırım maliyeti gibi sebeplerle halen kent içi ulaşım sorunlarına çözüm alternatifi olarak kullanılmamaktadır.

Balıkesir'de de mevcutta bulunan tren yolu Türkiye'deki en eski ikinci demiryolu hattı olup, 1911 yılında çalışmaya başlamıştır (Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, 2017). Ancak zamanla gelişen kent içerisinde işlevini yitirmiş ve bir bariyer etkisi yapmaya başlamıştır. Büyükşehir olmasına rağmen nüfusu çok fazla olmayan Balıkesir merkezinde, ulaşımda karayolu hakimiyeti ve geleneksel dokudan kalan dar yollar ve demiryolunun ortaya çıkardığı düğüm noktaları neticesinde, oldukça fazla trafik sorunlarıyla mücadele edilmektedir.

Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Planlama Ve Raylı Sistemler Daire Başkanlığı ile yapılan görüşmeler neticesinde;

- Hızlı tren hattının Yeniköy'e bağlanması ile Bursa ve İzmir'den nüfus akışının olacağı,
- Gerçekleştirilecek olan yeni TOKİ projeleri ile de merkez nüfusunun önümüzdeki 20 yılda 250-300 bin artacağı düşünülmektedir.

Bu nüfus artışı projeksiyonu ile Balıkesir'de özellikle kent merkezinde trafik sorununun gün geçtikçe daha da artacağı öngörülmektedir. Mevcut halinde dahi, mesafelerin çok uzak olmamasına rağmen, kent içerisinde ulaşım bazı saat aralıklarında ve bazı noktalarda zorlaşabilmektedir. Bu noktada, daha da artacağı öngörülen bu yolculuk talebini toplu taşımaya kaydırmak, yaşanılabilir bir kent olması adına, Balıkesir için önemli

görülmektedir. Kent içi ulaşımaya raylı sistemin entegre edilmesi ile hem demiryolu hattının daha kullanılan bir alana dönüşerek sınır etkisi azalacak, hem de kişisel araç kullanımı oranının düşmesi mümkün olabilecektir. Bahsedilen ulaşım politikaları kentlerde genellikle radikal kararlarla gerçekleştirilirken, mevcut bir sistemin dönüştürülmesi, hem çağdaş ulaşım politikalarına katkı yaparken, hem de mevcut belleğin 'korunmasını' sağlayacaktır. Bu sayede trafik sorunlarının hafifletilerek, HRS'nin bir toplu taşıma sistemi olarak kent içi ulaşımaya ve kent yaşamına olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2.1.6 Balıkesir'de Raylı Sistemin Dönüşümü

Kent merkezindeki raylı sistemin dönüştürülmesi noktasında karşımıza çıkan kentsel dönüşüm kavramı, en basit tanımıyla kentsel alanların mevcut durumundan başka bir biçime dönüşmesi olarak ifade edilebilmektedir (Akkar, 2006). Daha geniş bir tanımla yitirilen bir ekonomik etkinliğin yeniden geliştirilmesi ve canlandırılması; işlemeyen bir toplumsal işlevin işler hale getirilmesi; toplumsal dışlanma olan alanlarda toplumsal bütünleşme ve kaynaşmanın sağlanması; çevresel kalitenin veya ekolojik dengenin kaybolduğu alanlarda, bu dengenin tekrar sağlanmasıdır (Roberts ve Sykes, 2000). Kentsel dönüşüm çok farklı amaçlara hizmet etmek için ortaya çıkmıştır. Bunlar:

- Kentin fiziksel koşulları ile toplumsal sorunları arasında doğrudan bir ilişki kurmak,
- Kent dokusunu oluşturan birçok öğenin fiziksel olarak sürekli değişim gereksinimine yanıt vermek,
- Kentsel refah ve yaşam kalitesini artırıcı başarılı bir ekonomik kalkınma yaklaşımı geliştirmek,
- Kentsel alanların etkin biçimde kullanılmasını ve gereksiz kentsel yayılmadan kaçınılmasını sağlamak,
- Toplumsal uzlaşma yoluyla kentsel politikayı şekillendirmektir (Akkar, 2006).

Birçok ülkede kent planlama politikaları yeni alanların gelişiminden çok kentsel dönüşüme odaklanmaktadır. Bu durumun nedenleri arasında, kent parçalarının afet riskine maruz kalması, zaman içinde yıpranması, çöküntüye uğraması ya da ekonomik, sosyokültürel, politik-kurumsal yapıdaki değişimlerin kent mekanına etkileri sayılabilmektedir (Dinçer ve Enlil, 2020).

Balıkesir’de de benzer bir şekilde zamanla yıpranan ya da kullanım dışı kalan alanların (Akıncılar Mahallesi, lojistik merkezin OSB’ye taşınmasıyla atıl durumda kalan tren garının arkasındaki depoların olduğu bölge gibi) dönüşümü ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalar ve ilan edilen bir takım projeler mevcuttur. Bunların arasında, tren hattının kentin çeperine alınmasıyla, işlevsiz olarak kalacak olan demiryolu hattının dönüşüm geçirmesi de bulunmaktadır.

19. Yüzyıldan bu yana çeşitli şekillerde uygulanan kentsel dönüşüm politikaları, 1990’lardan günümüze kadar daha çok “kentsel yenileme” ya da “kentsel canlandırma” adı altında uygulanmaktadır. Kentsel canlandırma projeleri, çok-aktörlü ve çok-sektörlü, kapsamlı, bütünsel, stratejik ve işbirlikçi olarak yerel yönetimlerin öncülüğünde geliştirilen projelerdir (Akkar, 2006). Ülkemizde bu projeler daha çok yapı alanlarının dönüşümüne odaklanmaktadır, ancak, çalışma kapsamında, atıl durumda kalacak olan demiryolu hattı ile ilgili, çöküntü alanına dönüşmesi engellenerek, kent yaşamına katılmasını sağlayacak bir düzenleme yapılmasının, kentsel mekanın dönüşümü ile ilgili olarak ele alınması, hattın kendisi ve çevresindeki bazı alanlarda da düzenlemeler yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Balıkesir kenti de birçok Anadolu kenti gibi demiryolu çevresinde bir gelişim göstermiştir. Ancak zamanla demiryolunun kent merkezinde kalmasıyla, çevresindeki çeşitli alanlar işlevini yitirmiş ya da farklı alanlara taşınmıştır. Böylece işlevini yitirmeye başlayan ve kentliler için bir sınır yaratan demiryolu hattının da kent içerisindeki varlığı sorgulanır hale gelmiştir. Kent merkezinden geçen demiryolu konusunda Balıkesir’e benzer bir yapıda olan Eskişehir Kentinde de demiryolu ulaşımının hızlı trene dönüştürülmesiyle, hat kent merkezinde yer altına alınmış ve eski hat alanı şehir içerisinde atıl durumda kalmıştır. Yapılan bu müdahale ile kentin kuzeyi ve güneyi arasındaki eşik kalkmış ancak, bir yandan hat üzerindeki hemzemin geçitler ve demiryolu üzerindeki köprülerin kentsel mekandaki yeri tartışılmaya başlanmış, bir yandan da yeraltına alınan demiryolunun terk ettiği zemin kentsel bir boşluğa dönüşmüştür (Akın Güler ve Tural, 2015). Bu durumla birlikte bahsedilen “boşluk” bir süre otopark olarak kullanıldıktan sonra, lineer hat korunarak farklı işlevlere (rekreasyon amaçlı) dönüştürülmüştür. Akın Güler ve Tural (2015), iki tarafı taşıt yollarıyla çevrili bu rekreasyon alanının taşıtlar açısından erişilebilir görünse de, özellikle asıl kullanıcısı olan yayalar açısından erişilebilir ve güvenli olmadığını vurgulamaktadır.

Güven Ulusoy ve Ulusoy (2020) ise, oluşan bu kentsel boşluğa yapılan müdahalelerin, kent belleğine olumsuz etki yaptığını ve kent kimliğini oluşturan öğelerin kentlilerin toplumsal belleğinden silinmesine neden olduğunu belirtmektedirler. Farklı bir bakış açısıyla Gök Tokgöz (2019) de, Eskişehir’de bu bölgedeki sanayi ve demiryoluna ait seslerin de somut olmayan kültürel miras olarak korunması gerektiğini vurgulamaktadır.

New York’ta Manhattan’ın batısındaki High Line Park’ın da benzer bir durum sonucunda ortaya çıktığını görmekteyiz (Çimen, 2020). Yük trenleri için inşa edilen yükseltilmiş demiryolunun zaman içerisinde kullanım dışı kalması sonucunda, bir süre terk edilip atıl bir alan olarak kaldıktan sonra, 1999 yılında yıkım kararı alınmış, ancak bir takım girişimler neticesinde korunarak parka dönüştürülmüştür (<https://www.gzt.com/arkitekt/>). Park demiryolundan izler taşısada da belleklerdeki eski işlevini kaybetmiştir, ancak yine de dönüşüm geçirerek kamusal yaşama katılması mümkün olmuş ve yüksek kottan kentin algılanışı da korunmuştur.

Bu çalışmalarda da görüldüğü üzere kent merkezlerindeki demiryolu hatları kent belleğinde önemli bir yer edinmekte olup, bu alanların günün koşullarına göre dönüşümü noktasında tamamen ortadan kaldırılması ya da etkisinin hissedilmemesi kent kimliğini de dönüştürmektedir. Balıkesir’de, planlanan hızlı tren hattının tamamen kent dışında tutularak, merkezden geçen eski demiryolunun da hafif raylı sisteme dönüştürülmesi ile raylı sistemin kent yaşamına tekrar dahil edilmesi mümkün olabilecektir. Böylece, raylı ulaşımın niteliğini kaybetmeden, kent yaşamına daha uygun bir işlevle, mevcut yerinde kullanılabilir hale getirilmesi sayesinde, demiryolunun kent belleğindeki yeri de korunmuş olacaktır.

2.2 Kentsel Mekanda Karar Verme

Kalabalıklaşan kentlerde, kent yaşamını zorlaştırmamak için kentin bütün bileşenlerinin kent içerisindeki yerleri önemli durumdadır. Kentteki her bir yapının ya da boşluğun konumu, kent içerisindeki yaşamı etkilemektedir. Bu konumların, kente ait veriler ve kullanım durumları göz önüne alınarak belirlenmesi, kentsel yaşamın kalitesini artırmaktadır. Özellikle kentsel alandaki bilginin karmaşıklaşması ve zamanla artan bilgi yönetimi gerekliliği, kentsel planlamalarda “karar destek sistemlerine” olan ihtiyacı artırmaktadır.

Karar destek sistemleri, tasarımcıların belirli bir konuda karar vermelerine yardımcı olmak ve kararların etkinliğini artırmak için, bilgi teknolojileri kullanılarak geliştirilen yaklaşımlardır. Karar destek sistemleri, “hasta yapılandırılmış” problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Kent ölçeğinde tasarım ve planlama süreçleri de, sezgisellik ve sübjektif yargılar içerdiği için “hasta-yapılandırılmış” olarak tanımlanmaktadır. Bu süreçte, kentsel alanda tasarım problemini net bir şekilde belirlemek bile bir problem ortaya çıkarmaktadır. Problemi ortaya koymak için, gerekli verilerin toplanıp analiz edilmesi ve tanımlanan problemin çözüm alternatiflerinin geliştirilmesi için yöntemin belirlenmesi önemli hale gelmektedir.

Kentsel problemlerin çözümüne yönelik karar destek sistemlerinin kullanılması, gerçekleştirilen uygulamaların veriye dayalı ve sübjektif yargılardan bağımsız olması, kenti kullanan insanlar için gerçekçi çözümler üretme noktasında kent yaşamına katkı sağlamaktadır. Literatürde de, kentsel planlama alanındaki ana sorunsallardan biri olan yer seçimi konusunda birçok farklı probleme (hastane, okul, spor tesisi, bisiklet park yeri vb.), karar destek sistemleri kullanılarak çözüm üretilmeye çalışılmaktadır. Bu konularda olduğu gibi, toplu taşıma sistemleri ile ilgili yer seçimi problemlerinin de, karar destek sistemleri ile çözümü konusunda birçok çalışma gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalar özellikle “akıllı kentler” bağlamında önemli hale gelirken, bu sistemlerle kurgulanan bir toplu taşıma sisteminin, mekânsal veriler de dikkate alındığı için, daha verimli bir şekilde kullanılabilmesi mümkün olabilmektedir. Böylece, özel araç kullanımının azalması, daha sağlıklı ve keyifli bir kent ortamının oluşması sağlanabilmektedir.

2.2.1 Karar Destek Sistemleri

Dünya genelinde, özellikle lojistik, pazarlama, güvenlik, sağlık gibi alanlarda kullanılmakta olan karar destek sistemleri (KDS), teknolojik ilerlemelerle birlikte, gün geçtikçe çeşitlenmekte ve gelişmektedir. Sprague ve Carlson (1982), KDS'yi genel olarak, karar vericilerin, kötü yapılandırılmış, yapılandırılmamış veya yarı yapılandırılmış sorunları çözmek için, verileri ve modelleri kullanmalarına yardımcı olan etkileşimli bilgisayar tabanlı sistemler olarak tanımlamışlardır.

KDS'lerin tarihsel gelişimine kısaca bakacak olursak, bu sistemlerin ortaya çıkışının 1960'lara dayandığını görebilmekteyiz. Daha önceleri büyük ölçekli bilgi sistemlerini kurmak çok pahalıyken, 1965'lerde, IBM System 360 ve güçlü ana bilgisayarların

gelişmesiyle birlikte büyük şirketlerde Yönetim Bilgi Sistemlerinin (YBS) geliştirilmesi, daha pratik ve uygun maliyetli olmasından dolayı kullanılabilir hale gelmiştir. Daha çok işletim ve muhasebe bilgilerine dayanan bu sistemler yöneticilere, yapılandırılmış, periyodik raporlar sağlamaya odaklanmış durumdayken, 1960'ların sonlarında ise, yeni bir bilgi sistemi türü olan model odaklı KDS veya yönetim karar sistemleri gündeme gelmiştir. Bu gelişmelerle birlikte 1971'de, Michael S. Scott Morton tarafından "Management Decision Systems: Computer-Based Support for Decision Making" kitabı yayınlanmıştır. Daha sonra da konu ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Power, 2002).

1990'larda ise iş zekası, veri ambarı ve Çevrimiçi Analitik İşleme (OLAP) yazılımı, KDS'nin yeteneklerini genişletmeye başlamıştır. Yine bu dönemde, ana bilgisayar tabanlı veriye dayalı KDS'den istemci/sunucu tabanlı KDS'ye geçilmesi de önemli bir dönüm noktası olmuştur (Power, 2002).

Günümüzde, birçok akademik disiplin KDS geliştirme ve araştırması için önemli çalışmalar yapmaktadırlar. KDS ile ilgili diğer bazı önemli alanlar arasında yapay zeka, insan-bilgisayar etkileşimi, yazılım mühendisliği ve telekomünikasyon yer almaktadır. Teknolojik gelişmeler ilerledikçe, KDS ile ilgili kavramlar ve teknolojiler de gelişmeye devam etmektedirler (Power, 2002).

Tablo 2.4: Karar destek sistemleri kavramlarının gelişimi (Power, 2002).

1960'lar	1970'lar	1980'lar	1990'lar
YBS (yönetimsel bilgi sistemi) ve Yapılandırılmış Raporlar	YKS (yönetimsel karar sistemi)	Anahtar Kitaplar	İş zekası
Etkileşimli Sistem Araştırması	BrandAid	GKDS (grup karar destek sistemi)	Veri ambarları
Teori Geliştirme		EIS (üst düzey yönetimsel bilgi sistemleri)	Veri madenciliği
		Uzman sistemler	OLAP (çevrimiçi analitik işleme) Portallar

KDS'nin başlıca özellikleri Power (2002) tarafından, Alter'ın (1980) öncü araştırmasına dayanarak aşağıdaki gibi özetlemektedir:

- KDS, karar süreçlerini kolaylaştırmak için özel olarak tasarlanmalıdır,

- KDS, karar vermeyi otomatikleştirmekten ziyade desteklemelidir,
- KDS, karar vericilerin değişen ihtiyaçlarına hızla yanıt verebilmelidir.

Pomffyova (2018) ise KDS'yi daha önce kurulmuş sistemlerden ayıran başlıca özellikleri Turban ve arkadaşlarına (2005) göre ele alarak aşağıdaki gibi tanımlamaktadır:

- KDS, karar vericilere yarı yapılandırılmış veya yapılandırılmamış problemlerde (standart yöntem ve araçlarla çözülemeyen) yardımcı olmaktadır,
- Hem bireysel hem de gruplara destek sağlamaktadır,
- KDS bir veya birkaç kez veya tekrar tekrar verilebilecek, birbirine bağlı ve / veya sıralı kararları kolaylaştırmaktadır,
- KDS, karar verme sürecinin tüm aşamalarını yürütmektedir: Bilgi toplama, tasarım, seçim ve uygulama,
- Çeşitli karar analizi araçlarını kapsamaktadır,
- KDS, uyarlanabilir ve esnekler. Böylece, kullanıcılar temel öğeleri ekleyebilmekte, değiştirebilmekte, silebilmekte veya yeniden düzenleyebilmektedirler,
- KDS, kullanıcı dostu olmalı ve güçlü grafik arayüzlere sahip olmalıdır,
- KDS, karar vermenin verimliliğinden (karar alma maliyeti) ziyade, etkinliğini (uygunluk ve kalite) geliştirmeye çalışmaktadır,
- KDS, karar vericilerin yerine geçmek değil, onları desteklemeye çalışmaktadır,
- Modelleme, farklı konfigürasyonlar altında farklı stratejilerle deney yapmayı mümkün kıldığından, KDS genellikle sorunları analiz etmek için modeller kullanmaktadır,
- KDS, çeşitli veri kaynaklarına ve biçimlerine erişim sağlayabilmelidir,
- KDS, diğer sistemler ve / veya uygulamalarla entegre edilebilir ve ağ teknolojileri aracılığıyla dağıtılabilmektedir (Pomffyova, 2018).

Günümüzde, karar vericilerin, çok büyük veritabanlarından yararlanmasına ve bu verileri işlemesine yardımcı olan çeşitli KDS türleri kullanılmaktadır. 1980 yılında Alter, KDS'yi problemin türünden ve işlevinden bağımsız olarak, gerçekleştirdiği genel işlemlere göre 7 farklı kategoriye ayırmıştır:

- **Dosya sürücü sistemleri;** veri öğelerine erişim sağlamaktadırlar.

- **Veri analizi sistemleri;** belirli bir göreve ve ortama uygun hale getirilmiş bilgisayarlı araçlar veya daha genel araçlar ve operatörler tarafından verilerin işlenmesini desteklemektedirler.
- **Analiz bilgi sistemleri;** bir dizi karar odaklı veri tabanına ve küçük modellere erişim sağlamaktadırlar.
- **Muhasebe ve finansal modeller;** muhtemel eylemlerin sonuçlarını hesaplamaktadırlar.
- **Temsili modeller;** nedensel ilişkileri ve muhasebe tanımlarını içeren simülasyon modellerine dayalı olarak eylemlerin sonuçlarını tahmin etmektedirler.
- **Optimizasyon modelleri;** bir dizi kısıtlamayla, tutarlı bir optimal çözüm üreterek, eylem için yönergeler sağlamaktadırlar.
- **Öneri modelleri;** oldukça yapılandırılmış veya iyi anlaşılabilir bir görev için önerilen belirli bir karara götüren mantıksal işlemeyi gerçekleştirmektedirler.

Günümüzde ise KDS çalışmaları çok daha fazla çeşitlendiği için Alter'inkinden (1980) daha geniş bir çerçeveye ihtiyaç duyulmaktadır. Şuanda kullanılmakta olan en yaygın KDS sınıflandırması Power (2002) tarafından sunulmuştur:

- **Veriye Dayalı KDS:** KDS'nin ilk kategorisi olan veriye dayalı KDS, büyük miktarda yapılandırılmış verinin analizini vurgular. Bu sistemler arasında, dosya sürücüsü, yönetim raporlama sistemleri, veri ambarı ve analitik sistemler, yönetici bilgi sistemleri ve mekansal KDS (MKSS) yer almaktadır.
- **Modele Dayalı KDS:** İkinci bir kategori olan modele dayalı KDS, muhasebe ve finansal modelleri, temsili modelleri ve optimizasyon modellerini kullanan sistemleri içerir. Modele dayalı KDS, bir modele erişimi ve modelin işlenmesini vurgulamaktadır.
- **Bilgiye Dayalı KDS:** Bu KDS kategorisi için terminoloji hala gelişmektedir. Bilgiye dayalı KDS, yöneticilere eylemler önerir ve iş kurallarını ve bilgi tabanlarını kullanmaktadır.
- **Belgeye Dayalı KDS:** Belgeye dayalı bir KDS, yöneticilerin Web sayfaları da dahil olmak üzere yapılandırılmamış belgeleri toplamasına, geri almasına, sınıflandırmasına ve yönetmesine yardımcı olmak için geliştirilmektedir. Belgeye dayalı bir KDS, eksiksiz belge alma ve analiz sağlamak için çeşitli depolama ve işleme teknolojilerini entegre etmektedir.

- **İletişim Odaklı ve Grup KDS:** Bir grup karar destek sistemi (GKDS) hem iletişim teknolojilerinin hem de karar süreci modellerinin kullanımını vurgulayan hibrit bir KDS olarak görülür. GKDS, bir grup olarak birlikte çalışan karar vericiler tarafından sorunların çözümünü kolaylaştırmayı amaçlayan etkileşimli bilgisayar tabanlı bir sistemdir.

Bu sistemler kategori sayısını yönetilebilir durumda tutabilmek için çok daha geniş olan KDS türlerinin sınıflandırılmasıyla elde edilmiştir. Bunlardan, veriye dayalı, modele dayalı ve bilgiye dayalı olan sistemler Alter'ın (1980) sınıflandırmasını da kapsamaktadır. Ayrıca, bu sistemler içerisinde bazı KDS'ler, birden fazla KDS bileşeni veya alt sistemi tarafından yürütülen hibrit sistemler olarak kullanılmaktadır. Birçok alanda kullanılmakta olan KDS'lerin faydaları, Alter (1980), Turban (1995), Udo ve Guimaraes (1994) ve daha birçok araştırmacı tarafından aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

- Bireysel üretkenliği artırmaktadır,
- Karar kalitesini artırmakta ve problem çözmeyi hızlandırmaktadır,
- Kişilerarası iletişimi geliştirmektedir,
- Karar verme becerilerini geliştirmektedir,
- Kurumsal kontrolü artırmaktadır.

KDS'nin sağladığı bu avantajların yanında bir takım sınırlılıkları da mevcuttur. Bu sınırlılıklar aşağıda sunulmuştur:

- Bir KDS, belirli bir amaç için yapılandırılmıştır ve bu nedenle sistemdeki veriler ve modeller, nasıl kullanılabileceğini sınırlamaktadır,
- KDS'nin belirli kullanılabilmesi alanlar vardır, her alanda kullanımı mümkün olmayabilir,
- Bir karar verici sistemi kullanmayı seçmedikçe ve analizleri karar sürecine dahil etmedikçe, KDS karar vericileri destekleyememektedir,
- KDS'nin kullanılan teknolojiye göre sınırlamaları olabilmektedir,
- Son olarak, KDS bir davranış mühendisliği biçimidir ve birçok yönetici bu tür müdahalelere direnmektedir (Power, 2002).

Birçok yönden hala gelişmekte olan KDS'ler, mimari tasarım ve kentsel planlama alanlarında da son zamanlarda yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüz

kentlerinde trafik, hava kirliliği, araç hakimiyeti, nüfus artışından kaynaklı birçok planlama sorunları ile karşılaşmaktadır. Bu sorunların çözümünde kullanılan geleneksel yöntemler genellikle anlık olarak sorunu çözmekte ancak kişisel fikirlere dayandığı için kullanıcı ya da çevre verileri yeteri kadar dikkate alınamamaktadır. Bu nedenle çözümler de bir süre sonra geçerliliğini yitirebilmekte veya kullanıcıların taleplerini yeterince yerine getiremeyebilmektedir. KDS'lerin yaşadığımız kentlerin planlanmasında kullanılmasıyla ise, daha analitik ve veri odaklı bir yaklaşım sunularak kentlerde oluşan anlık planlama sorunlarının önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Bu noktada genellikle, kentleri oluşturan mekânsal verilerin işlenebilmesi için, temel olarak bir veriye dayalı KDS türü olan mekânsal karar destek sistemleri (MKDS) kullanılmaktadır.

2.2.2 Bibliyometrik Analiz Yöntemi Üzerinden Yer Seçimi ile İlgili Karar Destek

Sistemi Yöntemlerinin İncelenmesi

Gerçekleştirilen çalışmada bir hafif raylı sistemin istasyon noktalarının yer tespitinin, amaca uygun bir karar destek sistemi üzerinden değerlendirmeler yapılarak belirlenmesi hedeflenmektedir. Böylece veri odaklı bir yöntem kullanılarak raylı sistem hattı üzerindeki istasyon noktaları için en uygun noktaların tespit edilmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

Bu bölümde, böylesi bir süreçte istasyon noktalarının belirlenmesinde kullanılabilecek karar destek sistemlerinin neler olabileceği ve nasıl ele alınabileceğine odaklanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, akademik çalışmalarla ilgili nicel ve nitel analizler yapmayı sağlayan, bibliyometrik analiz yöntemi kullanılarak bu konuda literatürde yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Bu incelemeler neticesinde, özellikle yer seçimi konusunda kullanılan karar destek sistemlerinde hangi yöntemlerin etkili olarak kullanılabileceği hakkında bir kanaatin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

2.2.2.1 Bibliyometrik Analiz

Bibliyometri kavramını tanımlayan ilk yazarlardan biri olan Pritchard (1969) bu kavramı, “matematiksel ve istatistiksel yöntemlerin bilimsel iletişim ortamlarına uygulanması” olarak tanımlamıştır. Daha sonra ise bibliyometri kavramını Diodato (1994), “matematiksel ve istatistiksel tekniklerle, yayımlanmış dergi, kitap vb. bilimsel bilgi paylaşım araçlarının incelenmesinde kullanılan yöntem” olarak tanımlamıştır. Krauskopf (2018) da bibliyometriyi, genellikle bireysel bir araştırmacının, araştırma gruplarının, kurumların, ülkelerin veya dergilerin etkisini değerlendirmek için kullanılan nitel ve nicel

bir araştırma analizi olarak tanımlamaktadır. Akademik çalışmalarda çeşitli amaçlarla kullanılan bibliyometrik analiz, bilgi teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, ulaşılabilir bilgi miktarının arttığı günümüzde, elde edilen bilgilerin ayıklanması ve sınıflandırılması sayesinde, ihtiyaç duyulan doğru, güvenilir ve yeterli bilgiye erişim imkânı sağlamaktadır (Zeren ve Kaya, 2020; Akyıldız, 2023).

Bu yöntem ile akademik bir alanda yayımlanmış çalışmalar; konu, yıl, katkı sağlayan kurum, kullanılan anahtar sözcükler, eserlerin yazar sayıları, atıflar, ortak atıflar gibi farklı bibliyometrik özellikleri çerçevesinde analiz edilerek, bilimsel iletişime ilişkin bir takım bulgular elde edilmektedir (Çiçek ve Kozak, 2012). Böylece, bir bilim dalı ile ilgili çalışmaların mevcut durumu, yönelimi veya gelişimi ortaya konulabilmektedir (Zeren ve Kaya, 2020). Bu süreçte bulgular; bir ekip çalışmasının okuma süreci sonunda yaptığı çizelgeler ile belirlenebildiği gibi, günümüz teknolojisindeki ilerlemeler sonucu geliştirilen yazılımlar sayesinde veritabanları üzerinden de efektif olarak elde edilebilmektedir. Web of Science, Science Direct gibi veri tabanları söz konusu bu imkânı sunmaktadır (Kurutkan ve Orhan, 2018b).

Literatürde birçok farklı alanda, bu yöntem ile yapılan çalışmalar mevcuttur. Örneğin yönetim alanında, Demir ve Erigüç (2018), yönetim düşüncesinin evrimini sistematik olarak incelemek için bibliyometrik analiz kullanmışlardır. Cobo vd. (2018) de, Endüstri 4.0 araştırma alanında 2013-2017 arasındaki temaları vurgulamak için bibliyometrik analizi kullanmışlardır. Dos Santos vd. (2019) ise, 2009'dan 2018'e kadar halk sağlığı bağlamında veri madenciliği ve makine öğrenimi tekniklerinin uygulamaları üzerine bir bibliyometrik analiz gerçekleştirmişlerdir. Knani vd. (2022), turizm ve konaklama alanındaki mevcut son teknoloji yapay zeka araştırmalarını incelemek amacıyla bibliyometrik bir yaklaşım önermektedirler. Mimarlık alanında ise Palabıyık ve Demircan (2020), hesaplamalı tasarım alanında geliştirilen yöntemlerin yaşam döngüsü modeli üzerinden değerlendirilmesi sürecinde bibliyometrik analizi kullanmışlardır. Bu çalışmayla, hesaplamalı tasarım alanında en fazla yayın yapılan tasarım yöntemlerini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmaların hepsi, farklı veri tabanları kullanarak birçok farklı alandaki çalışmaları analiz ederek, bu çalışmaların gelişimini, yönelimini irdelemişlerdir.

Gerçekleştirilen bibliyometrik analizleri görsel hale getirmek ve disiplinlerin, alanların, uzmanlıkların, bilimsel yazıların ve yazarların birbirleri ile ilişkisini uzaysal bir temsilde

ifade etmek (bilimsel haritalama) için (Small, 1999), BibliCitespace, HistCite, SciMAT ve Sci2, Jigsaw, Carrotssearch, Power Grid Analysis, Action Science Explorer (iOpener), Voswiwer gibi çok sayıda yazılım kullanılmaktadır (Kurutkan ve Orhan, 2018b). Bu çalışmada da, ücretsiz bir şekilde erişilebilen, verilerin görsel ifadesi noktasında iyi performans gösteren ve literatürde de sıklıkla kullanılan VOSviewer yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım; VOS, (Visualization of Similarities) ve viewer (görüntüleyici) kelimelerinden oluşmakta ve benzerliklerin görselleştirilerek görüntülenmesi anlamına gelmektedir (Kurutkan ve Orhan, 2018a). Bu yazılım sayesinde Web of Science veya Scopus gibi veri tabanlarından elde edilen veriler içerisinde kolay bir şekilde analizler yapılabilmekte ve görsel materyaller elde edilebilmektedir. Çalışma kapsamında da Web of Science'tan alınan veriler Voswiwer yazılımında analiz edilerek, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında belirlenen amaç doğrultusunda ilk olarak istasyonların belirlenmesi ile ilgili tarama yapılacak olan sözcüklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu noktada, konu ile ilgili iki kıstas karşımıza çıkmaktadır:

- Verilecek olan kararlara yardımcı olması öngörülen bir sistem (karar destek sistemi),
- Yer seçimi problemi.

Bu iki kıstas kapsamında, tarama sözcükleri “karar destek sistemi” ve “yer seçimi” olarak belirlenmiştir. Tarama sözcüklerinin belirlenmesinin ardından “Web of Science (WoS)” üzerinde ilgili taramalar yapılmıştır. Bu alandaki çalışmaların indekslendiği, Scopus, TR Dizin ULAKBİM, YÖK Tez merkezi, ProQuest, Google Scholar gibi birçok veri tabanı bulunmaktadır. Bunların içinde WoS veri tabanı, araştırmacılara farklı disiplinlere ait geniş kapsamlı bir veri içeriği sunması nedeniyle ön plana çıkmakta ve yaygın olarak kullanılan bibliyometrik veri tabanlarının başında gelmektedir (Li vd., 2018).

Çalışma kapsamında konu ile ilgili belirlenen kıstaslara dayanarak, Web of Science veri tabanında “documents” kısmına, “decision support system (karar destek sistemi)” ve “site selection (yer seçimi)” sözcükleri yazılarak tarama yapılmış ve toplam 203 adet çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmaların türlerine ait adet ve yüzdeleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 2.5: Taranan çalışmaların türleri.

Çalışmanın Türü	Kayıt Sayısı	% of 203
Makale	165	81.281
Bildiri	34	16.749
İnceleme Makalesi	9	4.433
Kitap Bölümü	4	1.970
Erken Erişim	2	0.985

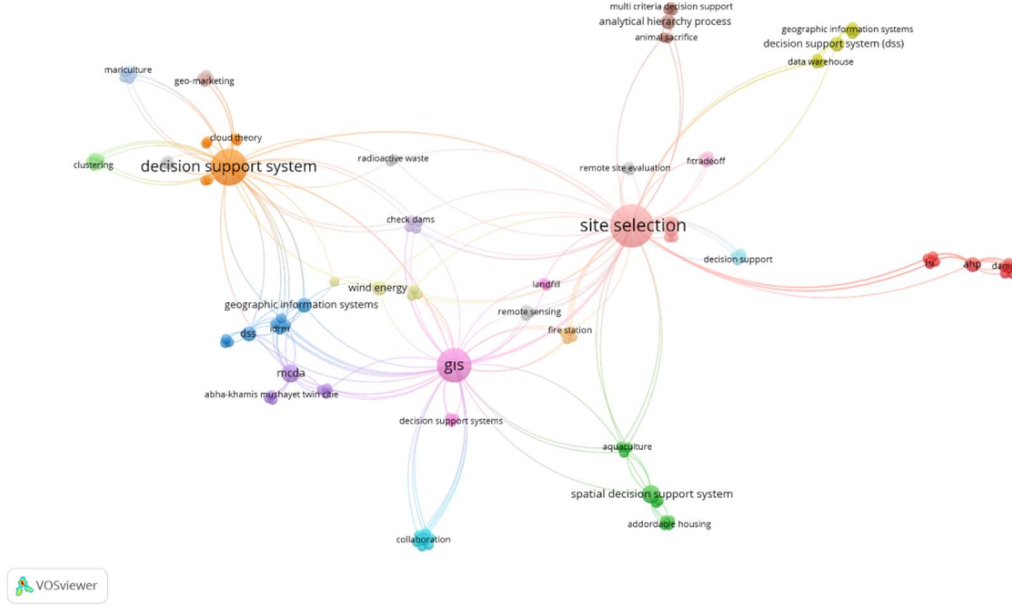
Buradan elde edilen veriler, bazı analizler için doğrudan kullanılmış, bazıları içinse, erişimi ve kullanımı kolay bir uygulama olan VOSviewer’da analiz edilmiştir. Bibliyometrik haritaların oluşturulmasına ve görselleştirilmesine olanak tanıyan bu uygulamada yapılan analizler neticesinde çalışma kapsamındaki kıstaslar çerçevesinde, literatürdeki çalışmalarda kullanılan anahtar sözcükler belirlenmiştir. Anahtar sözcükler içerisinde, genellikle, kullanılan yöntem bilgisinin bulunduğu varsayımından yola çıkılarak, efektif olarak kullanılabilir olacak olası karar destek sistemi yöntemleri belirlenmiştir. Bu tespitin sonrasında ise, en çok atıf alan çalışmaların kullandıkları yöntemler ortaya konmuştur, böylece yer tespiti problemlerinde çoğunlukla kullanılan ve kabul gören yöntemlerle ilgili bir çıkarım gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmaların gerçekleştirildiği araştırma alanları incelenerek, mimarlık ve kentsel çalışmalar içerisindeki kullanım yoğunluğu tespit edilmiş; bu konudaki gerçekleştirilen çalışmaların ülkelere göre dağılımı yayın sayısı ve toplam atıf sayısı bazında ele alınarak, Türkiye’nin Dünya genelindeki yeri ile ilgili tespitler gerçekleştirilmiştir. Son olarak ise, bu konuda yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı analiz edilerek, zaman içerisinde bu konudaki çalışmaların gelişimi ortaya konmuştur. Bu analizler sonucunda elde edilen bulgular ilerleyen bölümde sunulmaktadır.

2.2.2.2 Bibliyometrik Analiz Bulguları

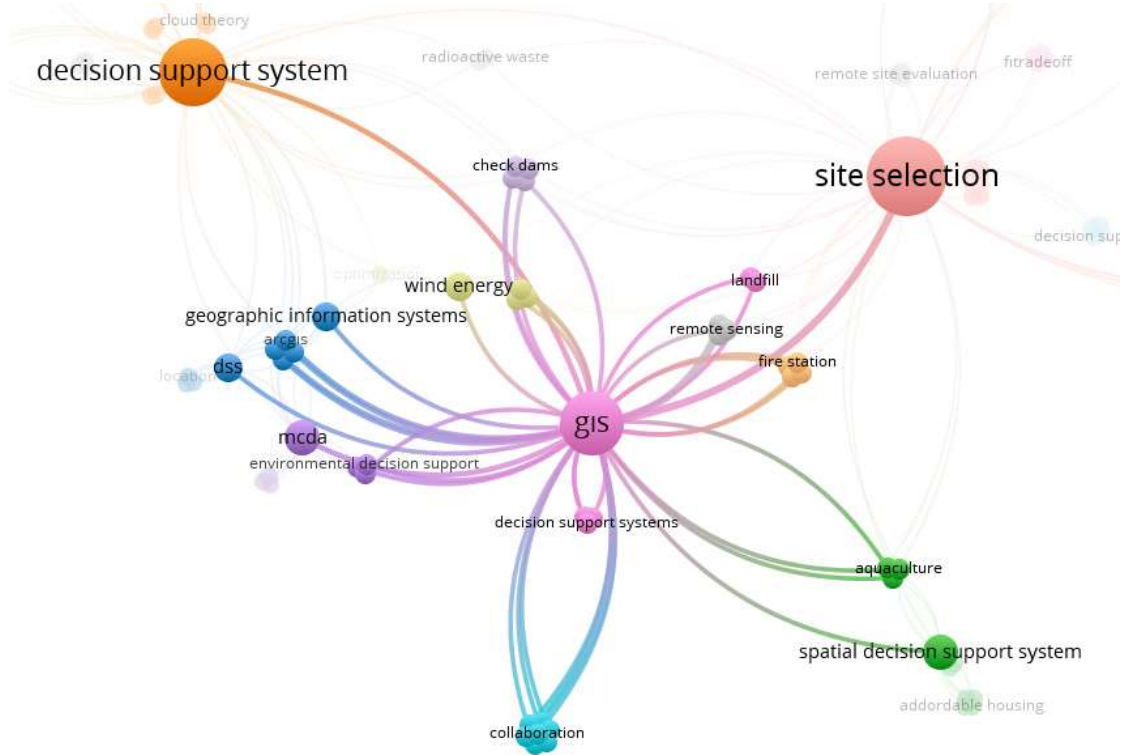
İlk olarak, elde edilen veriler VOSviewer uygulamasına girilerek, “yer seçimi” ve “karar destek sistemi” ile ilgili 1996-2023 yılları arasında yapılan çalışmalarda, kullanılan yöntemleri ortaya çıkarmak amacıyla, anahtar sözcükler arasındaki ilişkiler ile ilgili bibliyometrik analiz gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2.12’de, “yer seçimi” ve “karar destek sistemleri” kavramları ile “GIS” sözcüğü arasında güçlü bir ilişki olduğu ve yer seçimi konusunda AHP yönteminin ön plana çıktığı görülmektedir. Şekil 2.13’te ise GIS ile ilgili bu bağlantı daha detaylı olarak gösterilmiştir

ve bu noktada mekânsal karar destek sistemleri, çevresel karar destek sistemleri gibi kavramlar da karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2.12: “Yer seçimi” ve “karar destek sistemleri” kavramları arasındaki ilişkiler ağı.



Şekil 2.13: “Yer seçimi” ve “karar destek sistemleri” kavramları ile GIS arasındaki ilişki.

Anahtar sözcüklere ait elde edilen ilk veriler incelendiğinde, aynı kavramı ifade eden sözcükler (DSS ve decision support systems gibi) olduğu gözlenmiştir. Bu tür sözcüklerin ayrı ayrı ele alınması, kullanım durumlarını algılamayı güçleştirdiği için, öncelikle sunulan bu çalışma ile ilişkili olmayan sözcükler belirlenmiş ve değerlendirme dışı bırakılmıştır, aynı kavramı ifade eden sözcükler de birleştirilerek, Tablo 2.6 oluşturulmuştur.

Tablo 2.6: Çalışma alanı ile ilgili anahtar sözcükler.

		Yayın Sayısı	Toplam Bağlantı Gücü
DSS	DSS	20	78
	Environmental DSS	2	11
	Spatial DSS	3	11
Site selection	Site selection	24	107
	-dam site selection	1	4
	-hospital site selection	1	6
	-industrial site selection	1	8
	-municipal landfill site selection	1	7
	-parking site selection	1	3
	-safe site selection	1	3
	-site selection	15	60
	-sport facility site selection	1	10
	-warehouse site selection	1	4
	-wind farm siting	1	2
DSS Yöntemi	GIS	24	121
	mcdm/mcda	18	84
	Artificial neural networks (anns)	1	5
	Adaptive neuro-fuzzy inference systems (anfiss)	1	5
	Expert system	1	3
	Genetic algorithm (ga)	1	4
MCDM Yöntemi	AHP	6	30
	Borda method	1	2
	ELECTRE	1	3
	TOPSIS	1	6
	VIKOR	1	4
	Weighted linear combination (WLC)	1	7
	technique		
Fuzzy	9	30	

Bu tabloda da görüldüğü gibi, karar destek sistemleri ve yer seçimi kavramları kesişiminde “çevresel karar destek sistemleri” ve “mekânsal karar destek sistemleri” kavramları

karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca yine bu iki kavramın kesişiminde “GIS” sözcüğünün 24 yayında vurgulandığı ve 121 toplam bağlantı gücü ile bu kavramın etkisinin oldukça yoğun olduğu görülmektedir. GIS sözcüğünden sonra ise en çok kullanılan kavramın “çok kriterli karar verme / çok kriterli karar analizi (mcdm/mcda)” olduğu görülmektedir. Ele alınan kavramlar özelinde, yapay sinir ağları, uzman sistemler, genetik algoritmalar gibi daha gelişmiş karar destek sistemlerinden de, az sayıda da olsa yararlanıldığı tespit edilmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden ELECTRE, TOPSIS, VIKOR gibi yöntemler kullanılsa da, yoğunluklu olarak AHP’nin kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca, 9 adet yayında da bulanık mantık ile ilgili anahtar kelimelere yer verildiği tespit edilmiştir.

Tablo 2.7: 1996-2023 yılları arasında en çok atıf alan yayınların kullandıkları yöntemler.

Yayın Adı	Yılı	Atıf Sayısı	Kullandığı Yöntem	
			Analiz / Görselleştirme	Karar Destek Sistemi
Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region	2008	375	GIS (ArcGIS)	FMCDM (AHP)
A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece	2015	219	GIS (MapInfo)	MCDA (WLS)
A decision support system for selecting convenience store location through integration of fuzzy AHP and artificial neural network	2002	217	-	Yapay Sinir Ağı ve Bulanık AHP
GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey	2010	207	GIS (ArcGIS)	MCDM (OWA)
Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS	2016	177	GIS (ArcGIS)	MCDM (Boole Mantığı)
Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants	2008	165	GIS (ArcView)	MCE (Multi criteria evaluation) (AHP)
Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India	2017	155	-	MCE (AHP) ve Fuzzy TOPSIS
Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study	2010	148	GIS (ArcGIS)	MCA (Multi Criteria Analysis) AHP

Tablo 2.7: (devam)

Yayın Adı	Yılı	Atıf Sayısı	Kullandığı Yöntem	
			Analiz / Görselleştirme	Karar Destek Sistemi
GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain	2014	138	GIS (gvSIG)	MCDA (ELECTRE-TRI)
A new spatial multi-criteria decision support tool for site selection for implementation of managed aquifer recharge	2012	134	GIS (ArcGIS)	SMCDA (AHP-WLC-OWA)
A group-based spatial decision support system for wind farm site selection in Northwest Ohio	2013	131	GIS (ArcMap)	MCE (WLC-Borda Yöntemi)
GIS Based Multi-Criteria Analysis for Industrial Site Selection	2014	130	GIS (ArcGIS-IDRISI)	MCDM (AHP-WLC)
Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review	2017	128	İnceleme makalesi	
Spatial group choice: A SDSS tool for collaborative spatial decision-making	1997	110	GIS (ArcView)	MCDM
Identification of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review	2016	109	İnceleme makalesi	
Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: Method, implementation and case study	2013	109	GIS (ArcGIS)	MC-SDSS (AHP)
A Decision Support System methodology for selecting wind farm installation locations using AHP and TOPSIS: Case study in Eastern Macedonia and Thrace region, Greece	2019	94	GIS (ArcMap)	MCDM (AHP-TOPSIS)
A web-based participatory GIS (PGIS) for offshore wind farm suitability within Lake Erie, Ohio	2015	89	PGIS (ArcGIS)	MCDA (Borda Yöntemi)
Multi -criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province, Iran	2020	74	GIS (ArcGIS)	MCDM (AHP)
A group multicriteria spatial decision support system for parking site selection problem: A case study	2015	69	GIS (Google Maps)	MC-SDSS (OWA-Borda Yöntemi)

Yer seçimi ile ilişkili çalışmalar detaylı olarak incelendiğinde ise (Tablo 2.7); baraj, hastane, sanayi alanı, otopark, spor tesisi gibi çok farklı alanlardaki yer seçimi problemlerinde, karar destek sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir.

En çok atıf alan 20 yayın incelendiğinde ise, gerçekleştirilen analizler ve bu analizlerin görsel olarak ifade edilmesi noktasında çalışma yapan tüm yayınların GIS kullandığı; sadece yöntemi teknik olarak anlatan ve görsel ifade de bulunmayan yayınların GIS kullanmadığı görülmektedir. GIS kullanan yayınların çoğunluğunda da ArcGIS yazılımının kullanıldığı (16 çalışmanın 9'u) tespit edilmiştir.

Karar destek sistemlerinin geliştirilme, değerlendirme, derecelendirme gibi süreçlerinde genellikle “çok kriterli” yaklaşımların benimsendiği anlaşılmaktadır. Belirlenen 18 çalışmanın 10 tanesinde AHP'nin kullanılması bu kapsamda AHP'nin daha yaygın olarak kullanıldığını göstermektedir.

Ortaya çıkarılan bu tespit sonrasında, daha güncel yayınların henüz yeterli zaman geçmediği için atıf sayılarının az olabileceği düşünülmüş ve önemli olabilecek bu çalışmaları da göz ardı etmemek için, son 5 yıl içerisindeki (2019'dan günümüze kadar) yayınlar atıf sayılarına göre sıralanmış ve bu yayınlardan ilk 10'u ile ilgili bilgiler aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 2.8: 2019-2023 yılları arasında en çok atıf alan yayınların kullandıkları yöntemler.

Yayın Adı	Yılı	Atıf Sayısı	Kullandığı Yöntem	
			Analiz / Görselleştirme	Karar Destek Sistemi
A Decision Support System methodology for selecting wind farm installation locations using AHP and TOPSIS: Case study in Eastern Macedonia and Thrace region, Greece	2019	94	GIS (ArcMap)	MCDM (AHP-TOPSIS)
Multi -criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province, Iran	2020	74	GIS (ArcGIS)	MCDM (AHP)
The determination of offshore wind energy potential of Turkey by using novelty hybrid site selection method	2019	57	-	NHSSM (AHP)
GIS-AHP Multi Criteria Decision Analysis for the optimal location of solar energy plants at Indonesia	2020	42	GIS (ArcGIS)	MCDA (AHP)
Sustainability assessment of existing onshore wind plants in the context of triple bottom line: a best-worst method (BWM) based MCDM framework	2021	39	-	MCDM (BWM)
Site selection for rainwater harvesting structures in Kiambu County-Kenya	2019	38	GIS (ArcGIS)	-
GIS-Based Site Selection for Check Dams in Watersheds: Considering Geomorphometric and Topo-Hydrological Factors	2019	34	GIS (SAGA-GIS), (ArcGIS)	MCDA (AHP)
Sanitary landfill site selection by integrating AHP and FTOPSIS with GIS: a case study of Memari Municipality, India	2021	30	GIS	MCDM (AHP-FTOPSIS)
Land suitability analysis for maize production in Indonesia using satellite remote sensing and GIS-based multicriteria decision support system	2021	28	GIS (ArcGIS)	MCDM (AHP)
Onshore wind farms GIS-Assisted suitability analysis using PROMETHEE II	2021	27	GIS (ArcGIS)	MCDA (PROMETHEE II)

Daha güncel zaman içerisinde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde ise, iki çalışmada GIS kullanılmadığı, geri kalan 8'i içerisinde 6'sının ise GIS tekniklerini uygulamak için, ArcGIS yazılımını kullandığı görülmektedir. Karar destek sistemi noktasında ise, sadece bir çalışmanın bir değerlendirme yöntemi önermeden, yalnızca GIS teknikleri ile uygun

alanları tespit ettiği belirlenmiştir. Onun dışındaki 9 çalışmadan 7'sinde ise çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP'nin kullanıldığı tespit edilmiştir.

Tablo 2.9: Araştırma alanına göre yayın sayıları ve yüzdeleri.

Araştırma Alanı	Yayın sayısı	203 Yayın içerisindeki yüzdesi
Çevre bilimleri, ekoloji	67	33.005
Mühendislik	49	24.138
Bilgisayar bilimi	37	18.227
Enerji yakıtları	34	16.749
Bilim teknoloji, diğer konular	26	12.808
Uzaktan algılama	15	7.389
Jeoloji	14	6.897
Yönetim araştırmaları, yönetim bilimi	11	5.419
İş ekonomisi	10	4.926
Coğrafya	10	4.926
Fiziksel coğrafya	10	4.926
Su kaynakları	10	4.926
Tarım	9	4.433
Görüntüleme bilimi, fotoğraf teknolojisi	5	2.463
Bilgi bilimi, kütüphane bilimi	4	1.970
Malzeme bilimi	4	1.970
Telekomünikasyon	4	1.970
Toplu taşıma	4	1.970
Kentsel çalışmalar	4	1.970
Otomasyon kontrol sistemleri	3	1.478
Biyolojik çeşitliliğin korunması	3	1.478
Gıda bilimi teknolojisi	3	1.478
İnşaat yapı teknolojisi	2	0,985
Eğitim eğitim araştırmaları	2	0,985
Balıkçılık	2	0,985
Ormancılık	2	0,985
Deniz tatlısu biyolojisi	2	0,985
Matematik	2	0,985
Madencilik cevher hazırlama	2	0,985
Fizik	2	0,985
Termodinamik	2	0,985
Mimarlık	1	0,493
Biyoteknoloji uygulamalı mikrobiyoloji	1	0,493
Kimya	1	0,493
Uluslararası ilişkiler	1	0,493
Sosyal bilimlerde matematiksel yöntemler	1	0,493
Meteoroloji atmosfer bilimleri	1	0,493
Oşinografi	1	0,493
Bitki bilimleri	1	0,493
Kamu yönetimi	1	0,493

Tablo 2.9’da ise araştırma alanına göre yayın sayıları ve yüzdeleri ifade edilmiştir. Tabloyu incelediğimizde, sadece 4 yayının kentsel çalışmalar ve 1 yayının da mimarlık alanında olduğu görülmektedir. Belirlenen kavramlarla ilişkili en çok yayınların ise çevre bilimleri, mühendislik, bilgisayar bilimleri vb. farklı alanlarda olduğunu tespit edilmiştir.

Ele alınan konularda en çok yayın yapılan ülkeye bakıldığında ise, 18 yayın ile Türkiye’nin ilk 5 içerisinde olduğu belirlenmiştir (Tablo 2.10). Bu sıralama toplam atıf sayılarına göre güncellendiğinde ise Türkiye’nin 4. Sıraya yükseldiği görülmektedir (Tablo 2.11). Tablo 2.10 ve 2.11’i incelediğimizde, yayın sayısı olarak ilk 5 içerisinde olan bazı ülkelerin (Çin Halk Cumhuriyeti, Hindistan gibi), atıf sayısına göre bu listeye giremediği, yayın sayısı az olan bazı ülkelerin ise atıf sayısının fazlalığı dolayısıyla ilk 5’e yükseldiği (İspanya, Yunanistan gibi) görülmektedir.

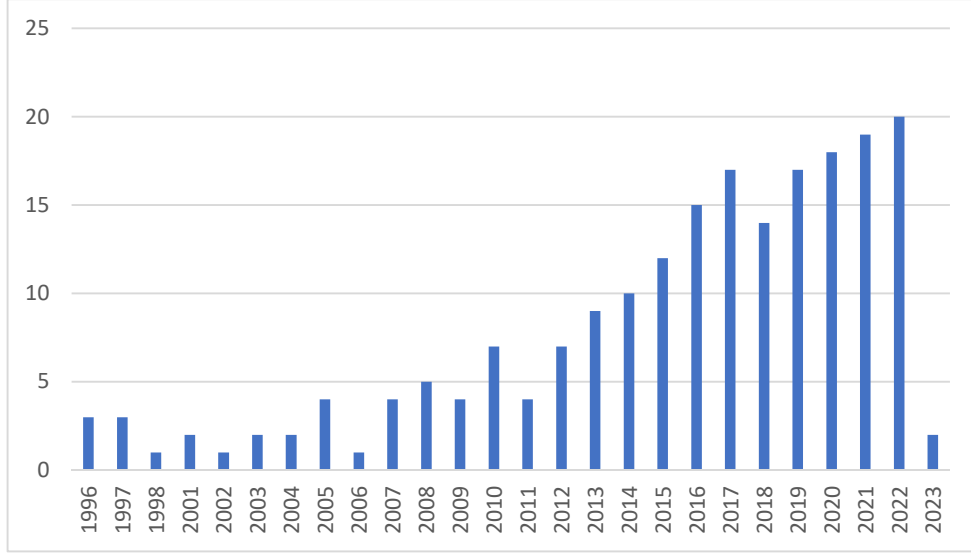
Tablo 2.10: Toplam yayın sayıları ve yüzdelerine göre ilk 5 ülke.

Ülkeler/Bölgeler	Kayıt sayısı	203 Yayın içerisindeki yüzdesi
1 İran	31	15.271
2 Amerika Birleşik Devletleri	26	12.808
3 Çin Halk Cumhuriyeti	19	9.360
4 Hindistan	18	8.867
5 Türkiye	18	8.867

Tablo 2.11: Toplam atıf sayılarına göre ilk 5 ülke.

Ülkeler/Bölgeler	Kayıt sayısı	Toplam Atıf Sayısı	203 Yayın içerisindeki yüzdesi
1 Amerika Birleşik Devletleri	26	1127	12.808
2 Yunanistan	15	795	7.389
3 İran	31	612	15.271
4 Türkiye	18	489	8.867
5 İspanya	8	354	3.941

Bu tablolar incelendiğinde, bahsi geçen konularla ilgili, Türkiye’de yapılan çalışmaların da sayı ve nitelik bakımından, diğer Dünya ülkeleri ile yarışır seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun, ileride yapılacak olan benzer konulardaki çalışmalara motivasyon sağlayacağı düşünülmektedir.



Şekil 2.14: Yıllara göre yayın sayıları.

Şekil 2.14’te ise yıllara göre bu konudaki yayın sayıları ifade edilmiştir. Grafik incelendiğinde, özellikle 2010’lu yıllardan sonra bu alandaki çalışmalarda hızlı bir artış olduğu görülmektedir. Teknolojideki ilerlemelerle birlikte, karar destek sistemlerinde yaşanan gelişmeler ve ortaya çıkan yeni yöntemler neticesinde, bu sistemlerin, yer seçimi problemlerinde, son yıllarda oldukça yoğun bir şekilde kullanıldığı, gerçekleştirilen analizlerden anlaşılmaktadır.

2.2.2.3 Bibliyometrik Analiz ile Yapılan Tespitler

Hafif raylı sistemlerin, kent içerisindeki kişisel araç kullanımını azaltarak kent sağlığına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ancak bu sistemlerin insanlar tarafından tercih etmesi ve verimli bir şekilde uzun süreli olarak kullanılması noktasında istasyon noktalarının yer seçimi büyük önem taşımaktadır. Gerçekleştirilen bibliyometrik analiz ile, istasyon noktaları yer tespitinin fiziksel veriler çerçevesinde daha sistematik bir şekilde yapılabilmesi için, Balıkesir kent merkezindeki mevcut raylı sistemin hafif raylı sisteme dönüşümü noktasında faydalanılacak olan karar destek sistem/lerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bibliyometrik analiz yöntemi kullanılarak yapılan incelemeler sonucunda, “yer seçimi” ve “karar destek sistemi” kavramlarının bir arada yer aldığı yayınlar içerisinde, karar destek sistemlerine “mekânsal” sözcüğünün de eklendiği ve “mekânsal karar destek sistemi (MKDS / SDSS)” kavramının karşımıza çıktığı görülmektedir. Bununla birlikte mekânsal

analizler ve görsel ifadeler için GIS yöntemlerinden yararlandığı anlaşılmaktadır. GIS kullanan araştırmacıların ise çoğunlukla erişim, kullanım kolaylığı ve etkili analiz yöntemleri sunduğu için ArcGIS yazılımını tercih ettikleri gözlemlenmiştir.

GIS tekniklerinin yanında “seçim yapma”, “değerlendirme” gibi işlemler için çoğunlukla “çok kriterli karar verme” yöntemlerinden yararlandığı gerçekleştirilen analizlerle tespit edilmiştir. Daha az sayıda da olsa, uzman sistemler, yapay sinir ağları gibi daha gelişmiş sistemlerle de bu çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Çok kriterli karar verme tekniklerinden ise, çoğunlukla AHP'nin sürece dahil edildiği, bunun yanında ELECTRE, TOPSİS, WLC, OWA, PROMETHEE II gibi farklı yöntemlerinde kullanıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca birçok çalışmada, bulanık mantığın da sürece destek verecek şekilde kullanıldığı görülmektedir.

Elde edilen veriler ve yapılan tespitlere göre, gerçekleştirilecek olan tez çalışmasında HRS istasyonlarının belirlenmesi noktasında geliştirilecek yöntemde, çevre kriterlerinin dikkate alınması önemli görülmüş ve geliştirilecek yöntemin “çok kriterli karar verme” yöntemlerinden biri olan, kriterler hiyerarşisine dayanan ve grup değerlendirmesine uygun AHP yöntemi ile belirsizlikler konusunda daha iyi performans alabilmeyi sağlayan bulanık mantık üzerine yapılandırılmasına karar verilmiştir. Bunun yanında, mekânsal analizleri gerçekleştirebilmek ve analiz sonuçlarını görsel olarak ifade edebilmek için ArcGIS yazılımı aracılığı ile GIS tekniklerinden yararlanılması uygun görülmüştür.

Gerçekleştirilen bibliyometrik analiz neticesinde, belirlenen konularda yapılan çalışmalar kolayca analiz edilerek, veriye dayalı çıkarımlar yapılabilmektedir. Böylece amaca yönelik araştırılacak alana ait konu başlıkları elde edilmiştir. Bu süreçte VOSviewer yazılımı kolay, hızlı ve görsel etkileşimi yüksek bir analiz ortamı sunmuştur. Ancak sağladığı avantajların yanında, bir takım sınırlılıkları da bulunmaktadır. Bu sınırlılıklar aşağıdaki gibidir;

- Gerçekleştirilen analizlerde, uygulamanın, çok yakın/aynı anlamlı sözcükleri birleştirememesinden kaynaklı olarak, ortaya çıkan görselde bazı kavramların olması gerektiğinden zayıf kaldığı ve birden fazla noktada benzer sözcüklerin ortaya çıktığı görülmektedir. Bu durum ilişkilerin doğruluk payında azalmaya neden olmaktadır. Çalışma kapsamında, oluşturulan anahtar sözcüklerle ilgili tabloda bu birleştirmeler manuel olarak yapılmıştır.

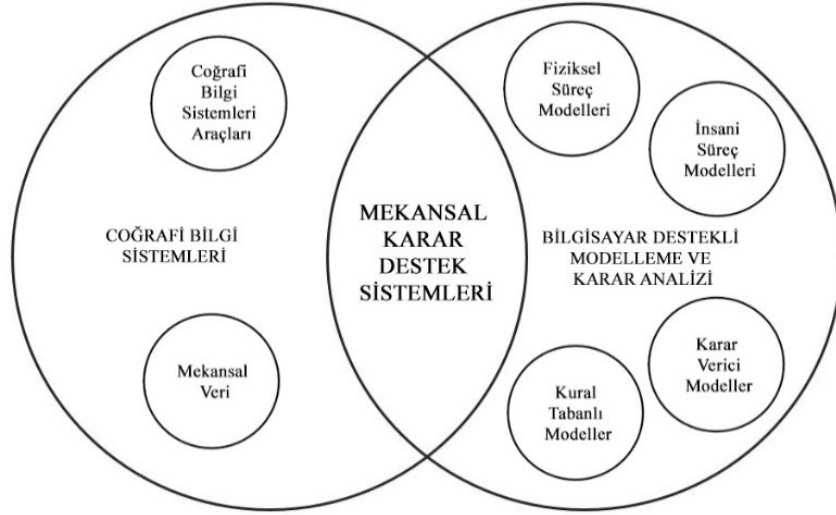
- Ayrıca, Yazar ve Uysal'ın (Gönenç Sorguç vd., 2017) da belirttiği gibi, anahtar sözcüklerde görülen kopuk kümeleşme eğilimi nedeniyle, alana dair yapılan haritalamalarda tam doğru sonuç elde etmek güçleşmektedir. Bu kopuk kümeleşme durumundaki sözcükler incelendiğinde, kopukluğun çok özel anahtar sözcük kullanımından kaynaklandığı gözlemlenmiştir.
- Çalışmada sadece Web of Science'tan alınan verilerin kullanımından dolayı, veri sayılarının nispeten az olmasıdır. Scopus, Dergipark gibi farklı veri tabanlarının da dahil edilerek program tarafından verilerinin birleştirilebilmesi, çok daha bütüncül ve detaylı bir tespiti sağlayacağı öngörülmektedir.

Yöntemdeki bu kısıtlılıkların giderilmesiyle, yapılan değerlendirmelerin daha anlamlı hale getirilebileceği ve ilerleyen zamanlarda yapılacak olan çalışmalara daha fazla katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Çalışmanın ilerleyen bölümünde, gerçekleştirilen bibliyometrik analiz çalışması sonucunda, HRS'lerin yer tespitinde kullanılmasına karar verilen yöntemler ve yazılımlar hakkında daha kapsamlı bilgiye yer verilmiştir.

2.3 Mekansal Karar Destek Sistemleri

Kentsel çalışmalarda kullanılan karar destek sistemleri ile birlikte, kentten elde edilen mekansal veriyi işlemek ve analiz etmek için CBS'nin de sıklıkla yardımcı olarak kullanıldığını görmekteyiz. Karar destek sistemleri ve CBS yöntemlerinin entegrasyonu karşımıza çıkan "mekansal karar destek sistemleri (MKDS)" (Şekil 2.15) çok kaynaklı mekansal veri ve onun analiz sonuçlarına dayalı mekansal ilişkili problemlerin çözümünde kullanılan karar vermeye yardımcı sistemler olarak ifade edilmektedir (Aydın ve Erdoğan, 2011).

Karar destek sistemlerine ek olarak MKDS'ler, mekansal veri entegrasyonu, mekansal verilerde karmaşık yapı ve ilişkilerinin kullanıcıya sunumunu sağlamakta; mekansal analiz tekniklerini ve mekansal verilerin haritalar ile görsel sunumlarının yapılmasını kapsamaktadır (Bilgilioğlu, 2018).



Şekil 2.15: Coğrafi bilgi sistemleri ve karar destek sistemleri arasındaki ilişki (Zhang vd. 2009).

Kent merkezlerindeki toplu taşıma sistemleri ile ilgili yer seçimi problemlerinin bahsedilen sistemlerle çözümü de “akıllı kentler” bağlamında önemli hale gelmektedir. Bu sistemlerle kurgulanan bir toplu taşıma sisteminde, mekânsal veriler de dikkate alındığı için, toplu taşıma sistemlerinin daha verimli bir şekilde kullanılabilmesi ve bu sayede özel araç kullanımının azaltılması mümkün olabilecektir. Bu çalışmada, literatürde de sıklıkla kullanılan, ağırlıklandırma odaklı bir karar destek yöntemi olan Bulanık AHP ve CBS yöntemleri birlikte kullanılacaktır.

2.3.1 Bulanık AHP

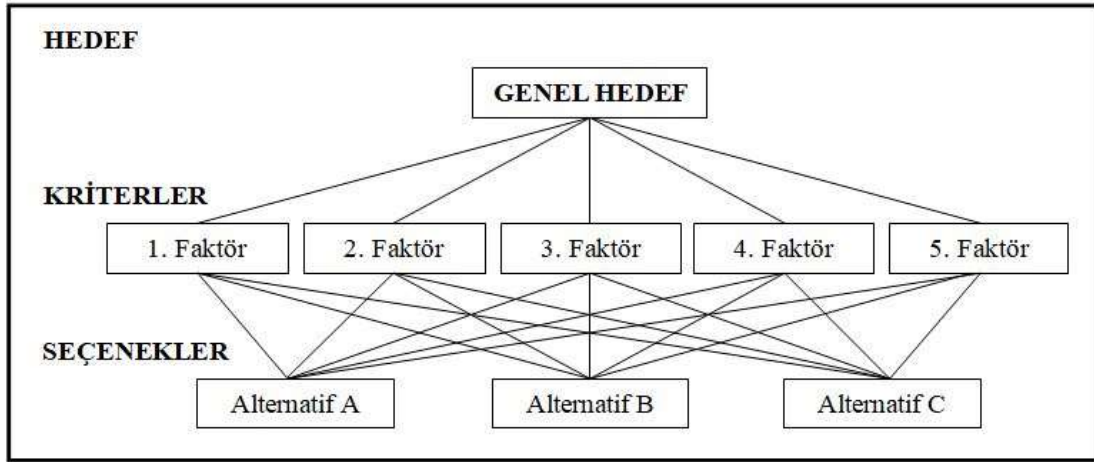
Karar destek sistemleri tarafından desteklenen karar verme süreçlerinin çoğunluğu, genellikle çok kriterli karar vermeye (ÇKKV) dayanmaktadır. ÇKKV yöntemleri, alternatifleri sıralamak veya seçmek için, iki yada daha fazla niteliğe göre değerlendirilmelerini sağlamaktadırlar. Bu ÇKKV yöntemlerinin en çok kullanılanlarından biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), 1970’lerde Saaty tarafından, karmaşık karar verme problemlerinde öncelikleri belirlemek amacıyla geliştirilmiştir. Kriter, alt kriter ve alternatifler hiyerarşisi olarak tanımlanan AHP, nicel ve nitel verileri birleştirerek subjektif kriterleri dikkate almaktadır (Saaty, 2008).

Kentsel planlama süreçlerinde, kentsel alanın kapsamlı yapısı gereği farklı faktörlerin göz önünde bulundurulması ve geliştirilecek kararların bütünleşik bir çerçevede birbirleriyle ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Bu noktada AHP, farklı paydaşların da katılımıyla,

analitik bir yöntemle bu ilişkilerin tartışılabilir ve ölçülebilir bir şekilde önceliklendirilmesi anlamına gelmektedir. AHP, farklı planlama problemleri için farklı planlama alanlarında, değişebilecek gereksinimlerin hiyerarşik ve sayısal bir karşılaştırmaya dayalı bir biçimde organize edilmesini sağlamaktadır. Ancak, alternatifler arasından seçim yapılması aşamasında, karar vericinin öznel tercihlerinin geçerli olması, bu yaklaşımın eleştiri alan temel konularından birini oluşturmaktadır (Alkay, 2014).

AHP yönteminin temel aşamaları kısaca aşağıdaki gibi tariflenebilmektedir:

1. Problemin tanımı ve hiyerarşik yapının oluşturulması: AHP yöntemi ile ulaşılmak istenen hedefin belirlenmesinin ardından, kriter, alt kriter ve alternatifler hiyerarşisinin (Şekil 2.16) kurulması gerekmektedir.



Şekil 2.16: AHP yöntemine göre problemin hiyerarşik yapısı.

2. İkili karşılaştırmaların gerçekleştirilmesi: Bu aşamada, kriterler ağırlıklandırılarak, değerlendirmelere bu ağırlıklar doğrultusunda etki etmeleri sağlanmaktadır. Karar vericilerin kişisel düşüncesine dayanan bu süreçte, bütün kriterler birbiri ile karşılaştırılarak bu kriterlerin göreceli önem dereceleri belirlenmektedir (Palabıyık, 2011). Bu karşılaştırmalar Tablo 2.12’de verilen 1-9 arasındaki önem ölçeğine göre gerçekleştirilmektedir.

Tablo 2.12: AHP yönteminde kullanılmakta olan 9’lu karşılaştırma cetveli.

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	İki faktör aynı derecede önem taşımaktadır.
3	Orta derecede önemli	İki faktörden biri diğerine göre biraz daha fazla önem taşımaktadır.
5	Kuvvetli derecede önemli	İki faktörden biri diğerine göre oldukça önem taşımaktadır.
7	Çok kuvvetli derecede önemli	İki faktörden biri diğerine göre çok daha fazla önem taşımaktadır.
9	Kesinlikle daha önemli	İki faktörden biri diğerine göre kesinlikle daha önemlidir.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Tercih değeri birbirine çok yakın olduğunda kullanılır.

Bu karşılaştırmaların yapılarak kriterlerin ağırlıklarının farklılaşabilmesi için, ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması gerekmektedir. İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulurken, n sayıda kriter olduğu kabul edilirse, A_1 kriterinin A_2 kriterine göre önem derecesi “w” ise, A_2 kriterinin A_1 kriterine göre önem derecesi “1/w” olmaktadır. Kriterlerin birbirine göre ağırlıkları bir matris olarak Tablo 2.13’deki gibi ifade edilebilmektedir. Bu tabloda belirtilen w_1/w_2 ifadesi, belirlenen amaca ulaşmak için A_1 kriterinin A_2 kriterine göre ne derece daha önemli olduğunu ifade etmektedir (Saaty, 2008; Palabıyık, 2011).

Tablo 2.13: Kriterlere ait ikili karşılaştırma matrislerinin göreceli ağırlıklar cinsinden gösterimi.

	A_1	A_2	...	A_n
A_1	w_1/w_1	w_1/w_2	...	w_1/w_n
A_2	w_2/w_1	w_2/w_2	...	w_2/w_n
...
...
A_n	w_n/w_1	w_n/w_2	...	w_n/w_n

3. Önceliklerin belirlenmesi ve tutarlılık oranlarının hesaplanması: ikili karşılaştırma matrislerinin tamamlanmasının ardından, karşılaştırılan elemanların her birinin öncelik değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. $n \times 1$ boyutundaki bir matris için öncelik vektörlerinin belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Supçiller ve Çapraz, 2011):

$i = 1,2,3, \dots, n$ ve $j = 1,2,3, \dots, n$ olmak üzere,

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}}{n} \quad (2.1)$$

Bu formül ile ilk olarak kriterlerin öncelik vektörleri elde edilmekte, sonrasında ise her bir kriterle göre alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisleri doldurularak, alternatiflere ait öncelik vektörleri tespit edilmektedir.

Kriter ve alternatiflerin öncelik vektörlerinin hesaplanmasının ardından, ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı hesaplanmaktadır. Karar vericilerin ikili karşılaştırmalar sırasında tutarlı davranması ortaya çıkacak son kararın güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir (Palabıyık, 2011; Paksoy vd., 2013; Altıntaş, 2018).

Tutarlılık, ikili karşılaştırmalar sonucunda bulunan değerlerin yani önceliklerin birbirleriyle olan mantıksal ve matematiksel ilişkisi olarak tanımlanabilmektedir. İkili karşılaştırma matrislerinin öncelik vektörü hesaplandıktan sonra, bulunan bu değerlerin tutarlı olup olmadığını belirlemek amacıyla tutarlılık oranı hesaplanmaktadır (Göksu ve Güngör, 2008). Tutarlılık oranının hesaplanması için aşağıdaki işlemleri takip etmek gerekmektedir (Palabıyık, 2011; Altıntaş, 2018).

1. İkili karşılaştırma matrisinin, bu matrisin öncelik vektörü ile çarpılmasıyla, “ağırlıklandırılmış toplam vektör” (P) elde edilmektedir. Bu işlemde karar matrisi A, öncelik vektörü W ile ifade edilirken; n, hiyerarşideki kriter veya alt kriterlerin sayısını; m ise öncelik vektörü sayısını belirtmektedir.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{22} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_n \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

2. Elde edilmiş olan ağırlıklandırılmış toplam vektörlerin her birinin, buna karşılık gelen öncelik vektörüne bölünmesiyle, Eşitlik 2.3’deki gibi, üçüncü bir vektör elde edilmektedir.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2.3)$$

3. 2. Adımda elde edilen vektör değerlerinin ortalamasının alınmasıyla “maksimum öz değer” elde edilmektedir. Bu değer λ_{\max} olarak ifade edilmektedir ve λ_{\max} , n değerine ne kadar yakın olursa, sonucun o kadar tutarlı olduğu anlaşılmaktadır.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (2.4)$$

4. Tam tutarlılık durumunda $\lambda_{\max} = n$ olmaktadır, bu eşitlik ile sapma derecesini gösteren “Tutarlılık indeksi” (TI) aşağıdaki formülle ifade edilmektedir.

$$\text{Tutarlılık indeksi} = (\lambda_{\max} - n) / n-1 \quad (2.5)$$

5. İkili karşılaştırma matrislerinin ortalama tutarlılık indeksi “rassallık indeksini (RI)” verir (Tablo 2.14). Rassallık indeksi en çok 15 boyutlu matrisler için hesaplanmaktadır. Kriter sayısının 15’ten daha fazla olması, kriterlerin tümü birlikte değerlendirildiklerinde tutarlı sonuç elde etme ihtimalini azaltmaktadır (Şengül, Eren ve Eslamian Shiraz, 2013). Tutarlılık indeksinin, Tablo 2.13’deki A matrisinin n değerine karşılık gelen rassallık indeksine bölünmesiyle elde edilen orana ise “Tutarlılık oranı” (TO) denilmektedir. Tutarlılık oranının 0,1 değerinden küçük olması durumunda matrisin tutarlı olduğu kabul edilir; ancak, bu oran 0,1 değerinden fazla çıkarsa, karar verici karşılaştırma değerlerini tekrar gözden geçirmelidir.

$$\text{Tutarlılık oranı(TO)} = \text{Tutarlılık indeksi(TI)} / \text{Rassallık indeksi(RI)} \quad (2.6)$$

Tablo 2.14: Rassallık indeksi.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

İkili karşılaştırmalar sürecinde tutarlı olmak pek mümkün olamamaktadır; çünkü karar aşamasındaki birçok faktör tutarsızlığa sebebiyet vermektedir. Yine de tutarlılığın gerekliliği yadsınamaz bir özelliktir, çünkü tutarsız bir matris, karar vericinin konuya dair yetersizliğini veya deneyimsizliğini gösterecektir (Brunelli, 2015).

Sözel ifadelerle dayanan değerlendirme işlemlerinde ki belirsizlikleri ifade edebilmek için AHP yöntemi ile birlikte de sıklıkla bulanık mantık da kullanılmaktadır. Bulanık mantık, klasik mantığın aksine kesin sınırları gerektirmeyen problemleri çözmek için Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiştir. Gerçek hayatta da sıklıkla karşılaştığımız “az çok”, “biraz” gibi doğrudan sayısal ifadelerle tariflenemeyen kavramların tanımlanmasında kullanılmaktadır. Bulanık AHP'nin klasik AHP'ye göre avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Güner, 2005):

- Bulanık sayılar ile insanların kriterlere göre değerlendirmeleri daha iyi yansıtılabilmektedir.
- Bulanık sayılar, ana amaca ulaşmak için yapılan değerlendirmelerde karar vericilere kolaylık sağlamaktadır.

Kesin değerler yerine, sözel ifadeleri dikkate alarak bulanık sayıların kullanıldığı bulanık AHP yöntemi ile Saaty'nin hiyerarşik analizi genişletilmiştir. Bulanık AHP yöntemi ile ilgili ilk çalışma, Laarhoven ve Pedrytcz (1983) tarafından, üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen bulanık oranları karşılaştırarak gerçekleştirilmiştir. Bu ilk çalışmalardan sonra, 1989'da Boender vd. de, logaritmik regresyon fonksiyonuna göre optimal ağırlıklar veren ve Saaty'nin eşit uzaklık ölçeği yerine geometrik oran ölçeğini kullanan bir yöntem önermişlerdir. Buckley ise 1985 yılında, yamuk üyelik fonksiyonları ile ikili karşılaştırmaların bulanık önceliklerini belirleyerek, yamuk bulanık sayıları kullanan yeni bir model geliştirmiştir. 1996 yılında ise Chang tarafından, ikili karşılaştırma ölçeğinde üçgensel bulanık sayıları kullanan ve bu ikili karşılaştırmaların sentetik derece değerleri için mertebeye (genişletme) analizi yöntemini (extent analysis method) kullanan yeni bir yaklaşım sunulmuştur.

Chang tarafından geliştirilen bu metod, temel olarak üç aşamada gerçekleşmektedir:

1. Aşamada, ikili karşılaştırma matrislerini bulanıklaştırılmış bir şekilde çözerek kriterlerin önemlerini ve alternatiflerin performanslarını belirlenmesini sağlayan bulanık sentetik değer analizi gerçekleştirilmektedir.

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ nesne kümesini ve $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ amaç kümesini ifade ettiği kabul edilirse, her bir nesnenin, her bir amaç için sentetik performans analizleri yapılmaktadır. Böylece, her bir nesne için, n tane sentetik (genişletme) analiz değeri elde

edilmektedir (Palabıyık, 2011; Paksoy vd., 2013). 1/9'dan 9'a kadar sıralanan bir seçilik ikili karşılaştırma matrisi aşağıdaki gibi verildiğinde:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

A, seçilik ikili karşılaştırma matrisi, $f = (l, m, u)$ üçgensel bulanık sayıları kullanılarak bulanıklaştırılmaktadır. Karar vericiler tarafından tanımlanan belirsiz alanın alt sınırı l ve üst sınırı ise u 'dur. Seçilik değerleri bulanıklaştıran üçgensel bulanık sayılar aşağıda (Tablo 2.15) ifade edilmiştir (Palabıyık, 2011).

Tablo 2.15: Seçilik değerlerin bulanık değer karşılıkları.

SEÇİLİK DEĞERLER	BULANIK DEĞERLER
1	Diyagonal ise (1, 1, 1) değerleri ile, diğer her durum için (1, 1, 3)
2	(1, 2, 4)
3	(1, 3, 5)
4	(2, 4, 6)
5	(3, 5, 7)
6	(4, 6, 8)
7	(5, 7, 9)
8	(6, 8, 10)
9	(7, 9, 11)
1/1	Diyagonal ise (1, 1, 1) değerleri ile, diğer her durum için (1/3, 1, 1)
1/2	(1/4, 1/2, 1/1)
1/3	(1/5, 1/3, 1/1)
1/4	(1/6, 1/4, 1/2)
1/5	(1/7, 1/5, 1/3)
1/6	(1/8, 1/6, 1/4)
1/7	(1/9, 1/7, 1/5)
1/8	(1/10, 1/8, 1/6)
1/9	(1/11, 1/9, 1/7)

Üçgensel bulanık sayılar ile oluşturulan, bulanık ikili karşılaştırma matrisi (\tilde{A}) aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} (a_{11l} \ a_{11m} \ a_{11u}) & (a_{12l} \ a_{12m} \ a_{12u}) & \dots & (a_{1nl} \ a_{1nm} \ a_{1nu}) \\ (a_{21l} \ a_{21m} \ a_{21u}) & (a_{22l} \ a_{22m} \ a_{22u}) & \dots & (a_{2nl} \ a_{2nm} \ a_{2nu}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

Bulanık performans matrisinin elde edilmesi için, Eşitlik 2.8'de belirtilen bulanık ikili karşılaştırma matrisine bulanık sentetik değer analizi uygulanmaktadır. Değerlendirmelerde kullanılmakta olan kriter (x) ağırlıkları ve alternatiflerin (w) önemini elde edebilmek için ise aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$x_i \text{ or } w_i = \frac{\sum_{j=1}^k \tilde{a}_{ij}}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \tilde{a}_{ij}} \quad (2.9)$$

Yukarıdaki eşitlikte, işlemi yapılan öğelere bağlı olarak; $i=1,2,3,\dots,n$; $j=1,2,3,\dots,n$ ve $k = n$ veya $k = m$ olmaktadır.

2. Aşamada ise bulanık sentetik değerler karşılaştırılmaktadır. $a_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ ve aynı zamanda, $l_{ij} = 1/l_{ji}$, $m_{ij} = 1/m_{ji}$, $u_{ij} = 1/u_{ji}$ olduğu, $A = (a_{ij})_{n \times m}$ şeklinde bir bulanık ikili karşılaştırma matrisi belirlenirse, her bir kriter altındaki ağırlık vektörü değerleri için bulanık sayıların karşılaştırılması prensibine ihtiyaç duyulmaktadır (Chang, 1996; Palabıyık, 2011).

$$V(S_1 \geq S_2) = 1 \text{ eğer } m_1 \geq m_2,$$

$$V(S_2 \geq S_1) = \text{hgt}(S_1 \cap S_2) = \mu_{S_1}(d) \quad (2.10)$$

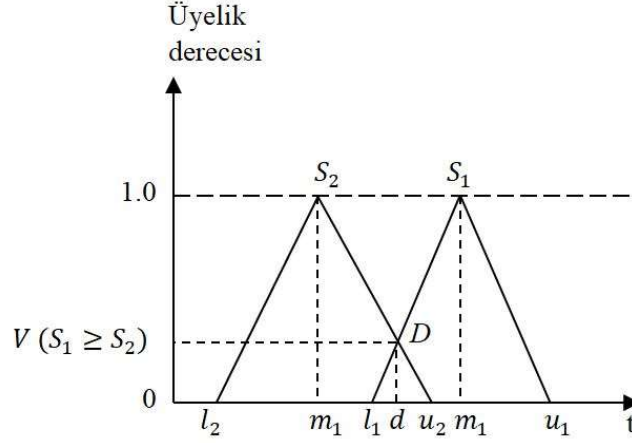
Yukarıdaki eşitlikte d , μ_{S_1} ve μ_{S_2} arasındaki en yüksek kesişim noktası D'nin ordinate olmaktadır.

$S_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $S_2 = (l_2, m_2, u_2)$ olarak kabul edilirse, D'nin ordinatı aşağıdaki eşitlikten elde edilebilmektedir.

$$V(S_2 \geq S_1) = \text{hgt}(S_1 \cap S_2)$$

$$= \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} \quad (2.11)$$

S_1 ve S_2 'nin karşılaştırılabilmesi için $V(S_1 \geq S_2)$ ve $V(S_2 \geq S_1)$ değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 2.17) (Chang, 1996; Palabıyık, 2011).



Şekil 2.17: Sentetik değerlerin karşılaştırılması.

Bir dışbükey bulanık sayının, k dışbükey bulanık sayılarından S_i ($i=1,2,\dots,k$) daha büyük olma olasılığı aşağıdaki şekilde tanımlanabilmektedir:

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k)$$

$$= V[(S \geq S_1) \text{ ve } (S \geq S_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (S \geq S_k)] \quad (2.12)$$

$$= \min V(S \geq S_i), i = 1, 2, \dots, k$$

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (2.13)$$

$k = 1, 2, \dots, n$; $k \neq i$ varsayımında bulunulursa, normalize edilmemiş ağırlık vektörü Eşitlik 2.19'deki gibi ifade edilebilmektedir.

$$W' = (d'(A_1).d'(A_2) \dots d'(A_n))^T \quad (2.14)$$

Bu eşitlikteki A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) n tane elemanı ifade etmektedir.

Normalizasyon yoluyla elde edilmiş ağırlık vektörleri (W) aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$W = (d(A_1). d(A_2) \dots d(A_n))^T \quad (2.15)$$

Bu eşitlikteki W değeri bulanık olmayan bir sayıyı ifade etmektedir (Chang, 1996; Palabıyık, 2011).

3. Aşamada ise alternatiflerin ağırlıklı performans değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Ortaya çıkan çok kriterli karar problemi için karar matrisi (X) ve ağırlık vektörü (W) aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir.

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nn} \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

$$W = (W_1, W_1, \dots, W_m) \quad (2.17)$$

Buradaki n , hiyerarşideki kriter veya alt kriterlerin sayısını ifade etmektedir.

Bu aşamanın sonrasında, karar matrisi ve ağırlık vektörü çarpılmasıyla, bulanık ağırlıklandırılmış performans matrisini ifade eden P değeri elde edilmektedir.

$$P = X * W = \begin{pmatrix} W_1X_{11} & W_2X_{12} & \dots & \dots & W_nX_{1n} \\ W_1X_{21} & W_2X_{22} & \dots & \dots & W_nX_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_1X_{n1} & W_2X_{n2} & \dots & \dots & W_nX_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ \dots \\ P_n \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

Alternatiflere ait ağırlıklandırılmış performanslardan en yüksek değere sahip olan alternatif, en uygun maksimumu (P_1, P_2, \dots, P_n) ifade etmektedir (Chang, 1996; Palabıyık, 2011).

Chang'ın genişletilmiş analiz yönteminde tutarlılığı hesaplamak birçok durumda mümkün olamamaktadır, çünkü, bulanık AHP hesaplamalarında toplam ağırlık vektöründe bazı kriterlerin ağırlıkları sıfır çıkmaktadır. Tutarlılık indeksi hesaplarırken, durulaştırılmış ikili karşılaştırma matrisi ile ağırlık vektörü çarpılıp, bulunan vektörün ağırlık vektörünün her bir elemanına tek tek bölünmesi gerekmektedir. Ağırlık vektörünün elemanlarından birisi sıfır olduğu durumlarda sayının sıfıra bölünmesi gerekmektedir ve bu durum matematikte tanımsızlık belirtmektedir. (Göksu ve Güngör, 2008) Bu nedenle bu yöntemde, verilerin bulanıklaştırılması aşamasından önceki adımda tutarlılık analizinin yapılması gerekmektedir.

Bulanık AHP ile ilgili metod geliştirmeye yönelik farklı çalışmalar da gerçekleştirilmiştir, ancak literatürde de en çok kullanılan yöntemlerden birisi Chang tarafından önerilen mertebeye analizi yöntemidir. Bu çalışmada da, diğer metodlara göre kullanımı kolay olan ve yapısı klasik AHP ile benzerlik gösteren Chang tarafından 1996'da geliştirilmiş olan mertebeye analiz yöntemi (extent analysis method) kullanılmıştır. Çalışmada, bu çok kriterli karar verme yöntemi ile uygunluk kriterlerinin ağırlıklandırılması ve uygunluk haritası yönteminde, alternatif istasyon yerlerinin değerlendirilmeleri gerçekleştirilmiştir.

2.3.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri

Dünya üzerinde, insanlara ve doğaya ait özelliklerin dağılımı ile ilgili verilerin toplanması ve karşılaştırılması uzun zamandan beri toplumların uğraşı haline gelmiştir. Günümüzde ise her alanda artmakta olan veri miktarı ve bu verilerin nasıl depolanıp, analiz edileceği gibi sorunlara cevap olarak "bilgi sistemleri" kavramı ortaya çıkmıştır. Bilgi sistemleri, "mekansal olmayan" ve "mekansal bilgi sistemleri" olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Mekansal olmayan bilgi sistemleri, metinsel veya sayısal bilgilerle ilişkili iken, mekansal bilgi sistemleri, yönetsel ve planlama amaçlı geliştirilen ve konuma bağlı verilerin toplanması, modellenmesi, analizi ve kullanıcılara sunulması işlevlerini yerine getiren yazılım, donanım ve yöntemlerin bütünü olarak tanımlanmaktadır (Bilgilioğlu, 2018). Daha önceleri büyük bir kısmı kağıt belgeler ve anlaşılması kolay olmayan haritalar halinde saklanan bu mekânsal veriler üzerinde sınırlı ve zorlu bir şekilde analiz

yapılabilmektedirken, bilgisayar teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler sayesinde, verilerin depolanması, düzenlenmesi, paylaşımı, yeniden değerlendirilmesi ve analizinin kolay bir şekilde yapılması mümkün hale gelmiştir. Var olan verilerin doğru ve güvenli bir şekilde depolanmasının yanı sıra, yeni bilgi sistemleri sayesinde, verilerle ayrıntılı modelleme, araştırma ve analizler yapma imkanı ortaya çıkmıştır. Bu gelişmelerle birlikte, çevremizin daha iyi anlaşılması, araştırılması ve yönetilmesi konularında yeni bir çağ açılmıştır (Banger, 2011).

Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kavramı ilk olarak 1963'te, Kanada'da Roger Tomlinson tarafından gündeme getirilmiştir. O zamandan günümüze kadar da gerçekleşen teknolojik gelişmelerle birlikte CBS metodolojisi de gelişmiş ve yaygınlaşmıştır (Longley ve Batty, 2003; Turoğlu, 2000). Bu süreçte CBS'nin gelişimini sağlayan dört temel faktör aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Bilgisayar grafiklerindeki gelişmeler,
- Veri tabanı teknolojileri ve bilgi sistemindeki gelişmeler,
- Çevresel uzaktan algılama yöntemlerindeki gelişmeler,
- Farklı aktivitelere ait katmanları temsil eden verileri birleştirme yeteneğindeki gelişmeler (Longley ve Batty, 2003).

Bu gelişmelerin de CBS çalışmalarına entegre edilmesiyle kullanım alanı hızla artmış ve farklı amaçlara yönelik farklı kapasite ve yeteneklerdeki birçok yazılım geliştirilmiştir. 1960'larda CBS ile ilgili ilk ticari yazılım ise Jack Dangermond tarafından geliştirilmiştir. Günümüzde ise CBS, şimdiye kadarkinden çok daha geniş bir zamansal ve mekânsal ölçeği bütünleştirebilen, çok çeşitli kurumlar ve araçlar tarafından gündelik ve uzman ortamlarda kullanımı teşvik edilen ve coğrafi olayların keşfi, simülasyonu ve analizi için en küçük el cihazlarını bile küresel bir bilgi işlem ağına bağlayabilen bir konuma gelmiştir (Longley ve Batty, 2003).

CBS'nin tanımını inceleyecek olursak; Clark (1986) CBS'yi, mekansal verilerin yakalanması, depolanması, geri alınması, analizi ve görüntülenmesi için kullanılan bilgisayar destekli sistemler olarak tanımlamaktadır. Clark (1986)'ın tanımından da anlaşılacağı gibi, CBS hemen her türlü otomatik coğrafi veri işleme sürecini kapsamaktadır. Cowen (1988)'e göre ise CBS, mekânsal referanslı verilerin bir problem

çözme ortamına entegrasyonunu içeren bir karar destek sistemidir. CBS'nin coğrafi analiz disiplini için çok derin ve evrensel bir etkisi olduğuna dikkat çeken Cowen (1988), CBS'nin farklı veri tiplerini entegre edebilme yeteneği ile, coğrafya disiplininin hem fiziksel hem de sosyal bilimlere birbirine bağlayan bir köprü olma vaadini yerine getirmesi için teknik bir temel sağladığını ifade etmektedir. Goodchild (1985) ise, CBS'nin en iyi şekilde, coğrafi nitelikteki sorgulara yanıt sağlamak için konumsal bir veri tabanı kullanan bir sistem olarak tanımlanabileceğini ifade etmektedir. Belirtilen tanımlardan da yola çıkarak CBS'nin, mekânsal karar destek problemlerinin çözümü noktasında, farklı veri tiplerinin entegrasyonunu sağlayan ve veri işleme süreçlerini otomatikleştiren bir metodoloji olduğu söylenebilmektedir.

Bahsedilen “mekansal veri (spatial data)”, dünya üzerinde bilinen bir yer, gerçek bir coğrafi referans ile örtülü veya açık bir ilişkisi bulunan verileri ifade etmektedir. Bu verilerde yollar, yapılar gibi birçok farklı katmanlar vektör veya raster veri formatında olabilmektedirler. Bu katmanlardaki vektör veriler genellikle nokta, çizgi ya da çokgenlerin kombinasyonlarından oluşmaktadır. CBS metodolojisinde vektör veri kullanımı, dijital verilere dayalı haritalar çizmek için bilgisayarların kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır. Raster verilerde ise Dünya'nın yüzeyini tanımlamak için “hücre (piksel)” adı verilen küçük birimlerden oluşan bir ızgara sistem kullanılmaktadır. Bu hücrelerin boyutu ve bir araya gelişleriyle mekana ait unsurlar ifade edilmektedir. Her bir hücrenin değeri veya bir özelliğe ait niteliği kaydedilmektedir. Bu nedenle, raster veriler, vektör verilere göre daha fazla bilgisayar hafızası gerektirmektedirler (O'Sullivan ve Unwin, 2010; Tomlinson, 2014). Mekansal ve mekansal olmayan (tanımsal) bilgileri bir arada işlemeyi sağlayan CBS'de kullanılan veri türleri Tablo 2.16'da açıklanmıştır (Banger, 2011; Bilgilioğlu, 2018).

Tablo 2.16: Mekansal ve tanımsal veri türleri (Banger, 2011; Turoğlu, 2000).

Mekansal Veriler	
Vektör Veri	
Noktalar	<ul style="list-style-type: none">• Tek koordinat çiftinden oluşur.• Uzunluğu ve alanı yoktur.• Ağaçlar, yükseklik, yerleşim, pınarlar örnek olarak verilebilir.
Çizgiler	<ul style="list-style-type: none">• Başlangıç ve bitiş noktaları bulunan koordinatlar dizisidir.• Uzunluğu vardır, alanı yoktur.• Yollar, dereler, çitler, kanallar örnek olarak verilebilir.
Alanlar (çokgenler)	<ul style="list-style-type: none">• Başlangıç ve bitiş noktası ayrı olan koordinatlar dizisidir.• Uzunluğu ve alanı vardır.• Eğim, yapılar, toprak cinsi, arazi kullanımı örnek olarak verilebilir.
Raster Veri	
Hücre	<ul style="list-style-type: none">• Boyutları kullanıcının tercihine göre değişkendir.• Tek hücre, bir unsurun doğadaki noktasal veya iki boyutlu mekânsal dağılımını ifade etmektedir.• Birden fazla hücre topluluğu, çizgisel veya alansal bir özelliği temsil etmektedir.
Tanımsal Veriler	
Form ve Listeler	<i>Toprak grupları, özellik ve nitelikler, indeksler, arazi kullanım sınıfları vb.</i>
Raporlar	<i>Planlar, yönetmelikler, yasal tanımlar vb.</i>
Ölçüm ve Sayımlar	<i>Trafik sayımı, envanterler, kadastral plan tanımları vb.</i>

Bu coğrafi katmanlarla bağlantılı, genellikle tablo formatında, yolların isimleri, yapıların türleri gibi mekansal olmayan bilgiler (tanımsal veriler) de veri tabanında tutulmaktadır. Bu özellikler, CBS ortamında “öznitelikler (attributes)” olarak ifade edilmektedir ve aslında bu özniteliklerin kapsamı ve derinliği, mekansal veriyi güçlü bir araç haline getirmektedir (Tomlinson, 2014).

CBS, yeryüzünün herhangi bir özelliği ile ilgili çalışmaların bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Kullanıcılarına zaman ve emek tasarrufu sağlamakta ve birçok işlem otomatik olarak gerçekleştirildiği için, çalışmalardaki hata payını en aza indirmektedir. Mekan, insan, zaman gibi konularla ilgilenen bir çok farklı

bilim dalı ve meslek grubu CBS'den faydalanmaktadırlar. Bu farklı grupların kendi ihtiyaçları doğrultusunda geliştirdikleri birçok CBS yazılımı mevcuttur. Bunlardan bazıları; ATLAS GIS, IDRISI, GEO MAP, ERDAS, ARCINFO, ER MAPER, CAT, STAR GIS, MAPS, ArcGIS olarak sıralanabilmektedir (Turoğlu, 2000). Haritalar üzerinde sunulan konumsal ilişkiler, örüntüler veya bağlantılar uzun zamandır birçok bilim alanında kullanılmaktadır. Ancak, bu konumsal bilgileri anlamlı bir şekilde analiz edebilmek için Coğrafi Bilgi Sistemleri programları üzerinde bütün bu bilgileri bir araya getirmek nispeten daha yeni bir yaklaşımdır (Steinberg ve Steinberg, 2015).

CBS'nin tek bir tanımı olmasa da, konunun uzmanlarının hemfikir olduğu bazı genel prensipler bulunmaktadır:

- CBS bir takım yazılımsal ve donanımsal araçların birlikteliğini gerektirmektedir.
- CBS mekânsal veya konumsal içeriği bulunan “veri” ye ihtiyaç duymaktadır.
- CBS veri tabanını geliştirme ve verileri işleme noktasında bilgi sahibi kişilere ihtiyaç duymaktadır.
- CBS, sistemde saklanan ve korunan verilerden toplanan bilgileri incelemek, görüntülemek ve çıktısını almak için kullanılan bir analiz sistemidir (Steinberg ve Steinberg, 2015).

Çalışma kapsamında da, mekansal verilerin analizi ve görselleştirilmesi noktasında kullanılacak olan CBS, konum kavramını da kullanan bir bilgi sistemi sınıfıdır ve dünya üzerindeki konum verilerini depolamak ve analiz etmek için kullanılmaktadır. Coğrafi bilgi sistemlerinin temel işlevleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

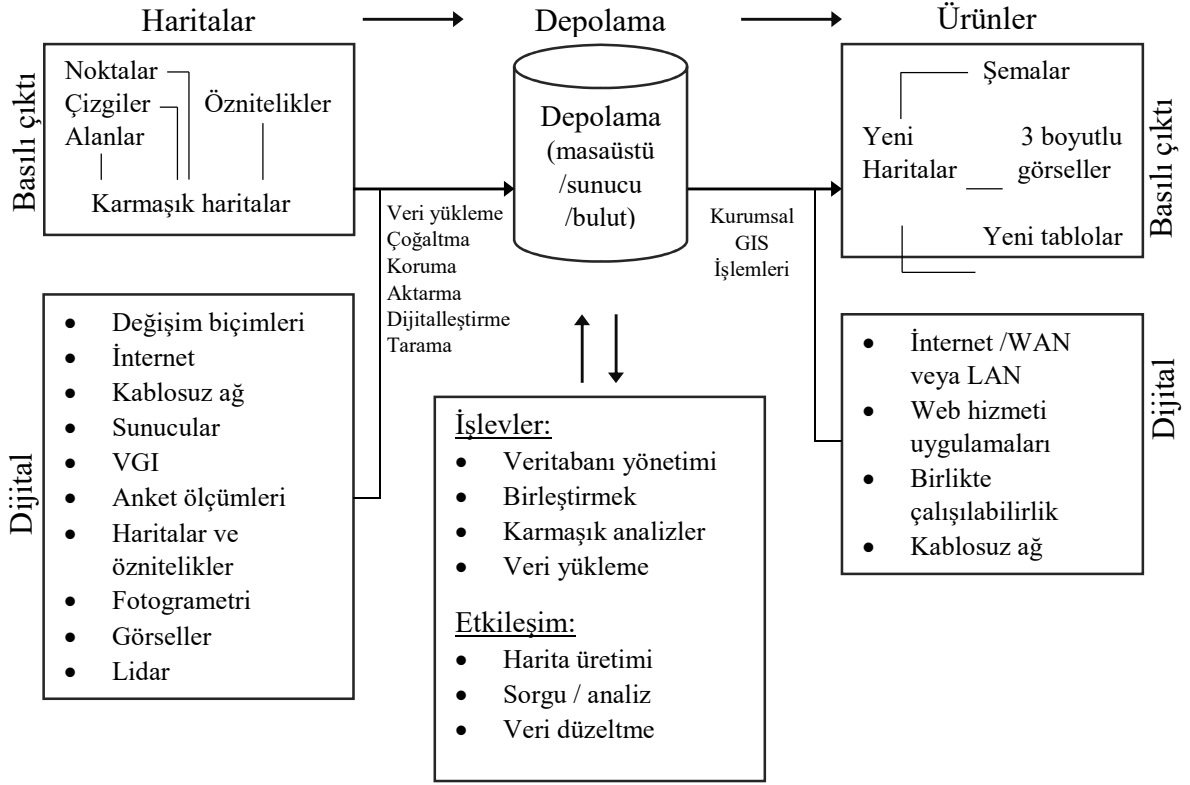
- Veri Üretimi
- Veri depolama ve yönetimi
- Manipulasyon
- Mekansal analizler
- Veri görselleştirme ve sunumu
- Harita otomasyonu
- Harita çakıştırma
- Etkileşimli görüntüleme ve sorgulama (Banger, 2011; Bilgilioğlu, 2018).

Bu yetenekleri ile CBS, sadece harita üretimi değil; birçok veri tipini bir araya getirerek, bunu mekânsal olarak ifade etmeyi, haritaları çakıştırmayı ve bunlar üzerinde analizler yapmayı sağlamaktadır. Kent planlamada kullanılan diğer bilgi sistemleri ise;

- Veritabanı yönetim sistemleri (VTYS / DBMS),
- Karar destek sistemleri (KDS / DSS) ve
- Diğer uzman sistemlerdir (veri madenciliği, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar vb.) (Alkay, 2014).

Bunlardan ilki olan veritabanı yönetim sistemleri, mekânsal analiz ve modellemeler için sadece bir veritabanı sağlarken, CBS, hem bir veritabanı hem de bir araçlar bütünü olarak hizmet vermektedir (Alkay, 2014). Karar destek sistemleri ve diğer uzman sistemler ise mekânsal problemin türüne göre, genellikle CBS ile bir arada kullanılan sistemlerdir. Bu çalışmada da kriter ve alternatifler hiyerarşisine dayanan bir karar destek sistemi olan Bulanık AHP yöntemi, CBS teknikleri ile bir arada kullanılmıştır.

CBS aslında 1960'larda bilgisayar grafikleri neredeyse yokken geliştirilmiştir ve o zamanlardan beri de çok güçlü bir veri toplama, organizasyon, keşif ve analiz aracı olarak araştırmacılara yardımcı olmaktadır. Bunun yanında belki de en büyük değeri değişkenler veya faktörler arasındaki bağlantıları görmemizi, anlamamızı ve paralelinde çizmemizi sağlamasıdır (Steinberg ve Steinberg, 2015).



Şekil 2.18: CBS'nin bölümleri (Tomlinson, 2014).

Şekil 2.18'deki şema ile Tomlinson (2014) verileri analiz yoluyla yararlı bilgiye dönüştüren işlevsel bir coğrafi bilgi sisteminin bütünsel bir modelini sunmuştur. Şekilde CBS'nin, öznitelik bilgileriyle ilişkili mekânsal verileri, gerekli çıktıları oluşturmak için analitik işlevlerin insan tarafından etkileşimli olarak kontrol edildiği bir CBS veritabanında depolanabildiğini görmekteyiz. Bu kapsamda CBS teknolojisinin sağladığı avantajlar aşağıda sunulmuştur:

- İş verimliliğini ve başarısını artırmaktadır.
- İşlem yapabilme etkinliğini artırmaktadır.
- Bilgi akışını hızlandırmaktadır.
- Mevcut veriye ulaşımı hızlandırmaktadır.
- Mevcut kaynak ve verilerle etkili ve doğru analiz yapma imkanı sunmaktadır.
- Veri güncelleştirmeleri kolaylıkla yapılabilmektedir.
- Çalışmayı daha kolay ve keyifli bir hale getirmektedir.
- Bürokrasi kaynaklı iş gücü ve zaman kaybını önlemektedir (Banger, 2011).

Modern bilgi teknolojileri sayesinde, CBS modelleri kolaylıkla yürütülebilmektedir. Günümüzdeki yüksek teknolojik gelişmeler doğrultusunda üretilen CBS teknolojisi ve yazılımları kullanılarak CBS modelleri etkili ve başarılı bir şekilde uygulamaya geçirilebilmektedir (Banger, 2011). CBS modellerinde kullanılan teknolojilerden bazıları aşağıda verilmiştir:

Tablo 2.17: CBS uygulamaları için kullanılan teknolojiler (Banger, 2011).

Teknoloji	CBS Uygulamaları
Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD)	Sayısal haritalar
Veritabanı Yönetim Sistemi (DBMS)	Arazi ile ilgili verilerin yönetimi ve güncellenmesi
Mekansal Analiz (Spatial Analysis)	Çeşitli arazi ve kaynakların analiz modellemesi
Uzaktan Algılama ve Görüntü Analizi (Remote Sensing and Image Analysis)	Coğrafi görüntülerin, bağlantılı olduğu diğer coğrafi verilerle birlikte görüntülenmesi ve analizi
Küresel Konumlama Sistemi (GPS)	Coğrafi koordinatların arazide toplanması
Multimedya	Video görüntüleri
Merkezi Denetim ve Veri Toplama Sistemi (SCADA)	Coğrafi veritabanından su ve gaz dalgalarının kontrolü
Belge Görüntüleme (Document Imaging)	Görüntülerin depolanması
Metin İşleme (Text Processing)	Verilere ait öznitelik verilerinin işlenmesi
Ağ İletişimi ve Elektronik Veri Alışverişi (EDI)	Veri iletişiminin ve paylaşımının sağlanması

CBS çalışmalarında, bu teknolojileri gerçekleştirebilmek amacıyla iki temel ihtiyaç olarak, yazılım ve donanım gereksinimleri sayılabilmektedir. Bunlardan ilki olan yazılım ile ilgili, kullanım amacına uygun bir yazılım tercih edilmeli, donanım ile ilgili ise gerçekleştirilecek çalışmanın ihtiyacına uygun özelliklere sahip bir bilgisayar kullanılmalıdır (Turoğlu, 2000). Çalışma kapsamında karar verme problemlerinde sıklıkla kullanılan ve coğrafi analizler noktasında oldukça etkili olan, ayrıca python ile uyumlu bir şekilde çalışan ArcGIS Pro yazılımı tercih edilmiştir. Donanım olarak ise, 8 çekirdekli CPU (işlemci) ve 8 GB kapasiteye sahip GPU (ekran kartı), 32 GB RAM kapasitesi ve yüksek okuma yazma hızına sahip M2 SSD hard disk içeren bir bilgisayardan yararlanılmıştır. Gerçekleştirilen analizlerin bazılarını hızlı ve herhangi bir sorunla karşılaşmadan yapabilmek için donanım özellikleri önemli hale gelmektedir. Çalışmadaki bir takım parametreler değiştirildiğinde, ya da farklı bir çalışmaya uyarlandığında daha da detaylı bir analiz yapılabilmesi için, donanım özelliklerinin iyileştirilmesi gerekliliği ortaya çıkabilecektir.

2.3.3 ArcGIS Pro Yazılımı

Dünyada en çok kullanılan CBS yazılımlarından biri olan ArcGIS, ESRI firması tarafından üretilmiştir. Firmanın temel amacı “sürdürülebilir bir dünya inşa etmek için bilim ve teknolojiyi kullanmak” olsa da, konum tabanlı teknoloji ile geliştirdikleri yazılımlar, sosyal eşitlik, halk sağlığı, eğitim, afetle mücadele, sürdürülebilirlik, iklim değişikliği vb. gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Esri, Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2023).

ESRI'nin kullandığı bu konum tabanlı teknolojiler:

- Haritalama,
- Saha operasyonları,
- Mekânsal analiz ve veri bilimi,
- Gerçek zamanlı görselleştirme ve analiz,
- 3B görselleştirme ve analiz,
- Görüntü ve uzaktan algılama,
- Veri yönetimi gibi yeteneklere sahiptir (Esri, Erişim Tarihi: 17 Mayıs 2023).

Bu yetenekler sayesinde ArcGIS Pro yazılımı mekânsal verilerin işlenmesi, analizi ve görselleştirilmesi noktasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca, ArcGIS Pro yazılımı ile bütünleşik olarak kullanılabilen python aracılığı ile standart analizler dışında, mekânsal verilerle daha spesifik çalışmalar yapabilmek mümkün olabilmektedir.

2.3.4 Python

Bilgisayarlar aracılığı ile yapılan programlama, insana bilgisayar gücü katan heyecan verici bir alandır. Programlama sayesinde, basit veya karmaşık uygulamalar ve analizler, yeniden kullanılabilen kodlar ile kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir (Toms ve Parker, 2022). Programlama çok büyük bir bilgi alanıdır, ancak bu çalışmada GIS yazılım ortamına iyi bir şekilde adapte olmuş olması nedeniyle kullanılan “Python” programlama diline odaklanılmıştır.

Python programlama dili, Guido Van Rossum tarafından 1980'lerde tasarlanmıştır. O yıllarda programlama dilleri çok karmaşık olduğundan, bu yeni programlama dili heyecan verici bir şekilde karşılanmıştır (Toms ve Parker, 2022).

Phyton, “phyton.exe” olarak çalışan bir uygulamadır. Bu uygulama, kod satırlarını işlemek için çalıştırılabilmekte veya diğer uygulamalardan komut dosyalarını çalıştırmak için çağırılabilir (Toms ve Parker, 2022). Programlama için gerekli olan ve phyton da dahil olmak üzere birçok programlama dilinde geçerli olan bazı kavramlar Tablo 2.18’de sunulmuştur.

Tablo 2.18: Programlamanın temel kavramları (Toms ve Parker, 2022).

Temel Kavramlar	Açıklaması	Kod Örneği
Değişkenler (Variables)	Herhangi bir veri türündeki Phyton nesnelere atanan isimlerdir. Değişkenler bir harf ile başlamak zorundadır ve alt çizgi (_) kullanılabilir.	<pre>x = 0 y = 1 xy = x+y xy_str = str(xy)</pre>
Veri Türleri (Data Types)	<p>“Strings” metinler için kullanılır.</p> <p>“İntegers” tam sayılar için kullanılır.</p> <p>“Floats” kayan noktalı sayılar için kullanılır.</p> <p>“Data container” (lists, tuples ve dictionaries) verileri düzenlemek için yaygın olarak kullanılır.</p> <p>“Booleans” ise doğru-yanlış (true-false) durumları için kullanılır.</p>	<pre>str_var = “string” int_var = 4 float_var = 5.7 list_var = [44, 54, 18] tuple_var = (81, ‘a’, 24) dict_var = {‘key’:‘value’} bool_var = True</pre>
Yineleme (Iteration)	<p>“for” döngüleri , yinelenen bir veri nesnesini tekrarlamak için kullanılır.</p> <p>“while” döngüleri, bir koşul sağlanana kadar döngü yapmak için kullanılır.</p>	<pre>for item in datalist: print(item) x = 0 while x < 1: x+=1</pre>
Sayıcılar (Counters / Enumerators)	<p>Bir “for” döngüsü veya “while” döngüsü tarafından gerçekleştirilen döngü sayısını takip etmek için bir değişken kullanılabilir. Bazı dillerde yerleşik numaralandırma (built-in enumeration) işlevi bulunur. Phyton’da bu, enumerate () işlevi ile sağlanır. Sayıcılar artırıldıktan sonra kendilerine yeniden atanırlar. Phyton’da, x += y kısayolu, x = x+y ile aynıdır.</p>	<pre>counter = 0 list_var = [34, 51, 24, 51] for item in list_var: print(item, counter) counter += 1 l_var = [34, 51, 24, 51] for c, i in enumerate(l_var): print(i, c)</pre>

Tablo 2.18: (devam)

Temel Kavramlar	Açıklaması	Kod Örneği
Koşullular (Conditionals)	If/Elif/Else bir nesnenin bir koşulu sağlayıp sağlamadığını yorumlayan ifadelerdir.	<pre>list_var = [1, '1', 1.0] for item in list_var: if type(item) == type('a'): print('integer') elif type(item) == type('a'): print('string') else: print('Float')</pre>
Sıfır-Tabanlı İndeksleme (Zero-Based Indexing)	Veri kapsayıcılarına, 0 ile başlayan dizinler kullanılarak erişilir. Dizinler, köşeli parantez [] kullanılarak listeye veya demete geçirilir. Dize karakterlerine aynı kalıp kullanılarak erişilebilir.	<pre>list_var = ['s', 'm', 't'] m_var = list_var[0] name_var = "logan" l_var = name_var[0]</pre>
Kod Yorumları (Code Comments)	Kodlarda yorumlar eklenebilir. Düşüncelerimizi hem diğer okuyuculara hem de kendimize açıklamaya yardımcı olurlar. Yorumlar # simgesi kullanılarak oluşturulurlar. Bu yorumlar kendi başlarına bir satırda olabilir veya bir ifadenin sonuna eklenebilirler, çünkü # simgesinden sonraki herşey yok sayılır.	<pre># This is a comment x = 0 # also a comment</pre>
Hatalar (Errors)	Birçok türde hata mesajı Phyton'da yerleşiktir. Hata izleme, etkilenen kod satırlarını ve hatanın türünü gösterir.	<pre>>>> str_var = 'red' File "<stdin>", line 1 Str_var = 'red' ^ SyntaxError: EOL while scanning string literal</pre>

Phyton ile tek tek kodları çalıştırmanın yanı sıra, phyton betikleri (kod bloğu / script) de çalıştırabilmektedir. Bu betikleri çalıştırdığımızda, bir hata olmadığı sürece, program yukarıdan aşağıya doğru kodları okuyup işlemektedir. Eğer bir hata ile karşılaşırsa, işlem durmakta ve bir hata mesajı karşımıza gelmektedir (Toms ve Parker, 2022).

Kolaylığı dolayısıyla, kullanım alanı oldukça yaygın olan Phyton, ArcGIS Pro programı ile birlikte standart bir yazılım aracı olarak yüklenmektedir. Böylece phyton kodları ArcGIS Pro üzerinde kolaylıkla çalıştırılabilmekte ve gerçekleştirilen işlemler doğrudan haritalar üzerinde görsel olarak da ifade edilebilmektedir.

2.4 Optimizasyon

Optimizasyon, fiziksel gerçek bir durumu modelleyen ve matematiksel olarak tanımlanabilen belirli bir problemin “en iyi” çözümlerini belirlemeye çalışan bir bilim alanı olarak tanımlanmaktadır (Fletcher, 2020). Optimizasyon problemleri, mühendislik, matematik, ekonomi, fizik, sosyal bilimler gibi birçok farklı disiplinde ortaya çıkabilmektedir. Bu problemlerin, matematiksel ifadelerle soyutlanarak modelinin kurgulanması, problemin en iyi şekilde çözülmesi sürecinde önemli bir aşamayı oluşturmaktadır. Gerçek hayattaki problemlerin çoğu fazla karmaşık olduğundan, her zaman matematiksel bir modelin oluşturulması mümkün olmasa da; genellikle araştırmacılar çeşitli varsayımlarda bulunarak problemin basitleştirilmiş bir halini formulize etmeye çalışmaktadırlar. Varsayımlarla yapılan bu modellerde, ortaya çıkan çözümler arasında çelişki olmaması için, geliştirilen matematiksel model ve uygulanacak olan optimizasyon tekniği önem arz etmektedir (Sarker ve Newton, 2007).

Optimizasyon yöntemlerinin 1900’lerden bu yana kullanıldığı bilinmektedir. İlk başlarda, fonksiyonu minimize veya maksimize etme amaçlı basit araçlar kullanılırken, II. Dünya Savaşı sırasında, eldeki kaynaklarla savaş gücünü maksimuma çıkarmak amacıyla, daha karmaşık, taktiksel problemlerde de kullanılmaya başlanmıştır. 1947’de George B. Dantzig’in doğrusal programlama problemlerini çözmek için basitleştirilmiş bir algoritma geliştirmesi, alanda güçlü bir ivme kaydedilmesini sağlamıştır. O zamandan beri de optimizasyon alanında bir çok geleneksel yöntem geliştirilse de, son zamanlarda geliştirilen modern teknikler (benzetimli tavlama, tabu arama, genetic algoritma, sinirsel hesaplama, bulanık mantık, karınca kolonisi optimizasyonu vb.) araştırmacılara, daha karmaşık durumlar için, bazı gelişmiş araçlarla birlikte çözüm sunmaktadır (Sarker ve Newton, 2007).

2.4.1 Optimizasyonun Temel Elemanları

Optimizasyon problemlerinde 3 temel kavramdan bahsedilmektedir (Engin, 2013):

Değişkenler: Karar verme süreçlerinde değeri belirlenecek olan değişkenlerin tanımlanması gerekmektedir. Değişkenlerin sayısı çözüm sürecini de etkilemektedir.

Amaç Fonksiyonu: Genellikle minimum veya maksimum yapılmak istenen fonksiyon olarak tanımlanan amaç fonksiyonu, karar vericinin amacını yansıtmaktadır. Başka bir ifadeyle, problemin nasıl iyi bir şekilde çözüleceğine karar veren fonksiyondur ve

genellikle sürecin en zor ve en önemli kısmını oluşturmaktadır. Bu fonksiyon, problemi ifade eden matematiksel modelin de kendisidir.

Kısıtlar: Değişkenlerin alacağı değer aralığını belirleyen faktörlerdir. Hiçbir kısıtın olmadığı optimizasyon türüne kısıtsız optimizasyon, bazı kısıtlayıcı fonksiyonların tanımlandığı optimizasyon türüne ise kısıtlı optimizasyon adı verilmektedir.

2.4.2 Optimizasyonun Modelleri

Bir optimizasyon probleminde, öncelikle amaç fonksiyonu, kısıt fonksiyonları ve değişkenler incelenmelidir. Bu noktalardaki farklı durumlar, çözümü ve çözüm yöntemi seçimini doğrudan etkilemektedir.

Tablo 2.19: Optimizasyon yöntemleri (Engin, 2013).

Optimizasyon Türü	Açıklama
Klasik Optimizasyon Modelleri	<i>Verilen sürekli bir fonksiyonun, matematik kuralları içerisinde minimum veya maksimum değerleri araştırılmaktadır.</i>
Kısıtlı Optimizasyon Teknikleri	- Doğrusal Optimizasyon - Şebeke (network) Optimizasyonu - Tamsayılı Optimizasyon - Dinamik Optimizasyon - Stokastik Optimizasyon - Kuadratik (karesel) Optimizasyon
Kısıtsız Optimizasyon Teknikleri	- Golden Section (Altın Oran) Yöntemi - Newton Yöntemi - Sabit Kesen (Regula Falsi) Yöntemi - Gradient Arama - Lagrange Çarpanı - Newton Benzeri Algoritması (Quasi Newton)

Tablo 2.19: (devam)

Optimizasyon Türü	Açıklama
Akıllı Optimizasyon Modelleri	<i>İstenen sonuç her zaman değişkenlere ait bir fonksiyon olarak ifade edilmekte ve optimizasyon sürecinde bu fonksiyonun en küçük veya en büyük değerini veren koşullar bulunmaktadır.</i>
Karınca Algoritması	<i>İlk kez 1992 yılında Marco Dorigo tarafından kullanılan yöntem, en kısa yol problemlerinde çözüm sunmaktadır.</i>
Benzetimli Tavlama	<i>Vecchi, Kirkpatrick ve Gerlatt tarafından ortaya konulan yöntem, rastlantısal bir arama algoritmasıdır. Çok bilinmeyenli optimizasyon problemlerinde kullanılmaktadır.</i>
Tabu Arama	<i>1986 yılında Glover tarafından önerilen yöntem, yerel bir araştırma tabanlı meta sezgisel yöntem olarak Kabul edilmektedir.</i>
Yapay Sinir Ağları	<i>Biyolojik sinir sisteminden esinlenerek hazırlanmış, beynin öğrenme özelliğini gerçekleştiren bir optimizasyon yöntemidir.</i>
Genetik Algoritma	<i>Doğal evrim prensiplerini temel alan genetic algoritmalar, gelişigüzel araştırma (random search) tekniklerinin bir formu olup seçilen karakterler tamamen rastlantısal bir süreç ile birleştirilmektedirler.</i>
Bulanık Mantık	<i>Zadeh tarafından ortaya konulan bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık küme teorisi, belirsizlik içeren, kesin bir değer değil de belli bir aralığı kabul eden bir yaklaşımdır.</i>

Mühendislik, bilgisayar, yönetim bilimi gibi bir çok farklı alandaki optimizasyon problemlerinde, çoğu zaman farklı tipteki karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar gerekmektedir (Akyol, 2021). Problemin net bir matematiksel model ile ifade edilemediği böyle durumlarda, akıllı optimizasyon tekniklerinden yararlanılmaktadır. Bu tekniklerden biri olan “genetik algoritmalar” da, biyoloji tabanlı sezgisel algoritma kullanan bir optimizasyon türü olarak son yıllarda bir çok alanda sıklıkla kullanılmaktadır.

Genetik algoritmanın klasik optimizasyon yöntemlerine göre farklı olduğu noktalar aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir (Ergül, 2010):

- Genetik algoritma, çözüm uzayında aynı anda çok sayıda noktadan araştırmaya başlanmaktadır. Bir tek noktadan değil, bir grup çözüm içinden arama yaptığı için,

yerel en iyiye yakalanma olasılığını ortadan kaldırmaktadır. Klasik optimizasyon yöntemlerinde, aramaya tek bir noktadan başlandığı için, ilk bulunan yerel en iyi noktasında arama sonlandırılmaktadır. Bu nedenle, çok amaçlı optimizasyon için uygun değildir.

- Genetik algoritmada, arama uzayında bireylerin puan değerlerini bulmak için sadece amaç - uygunluk fonksiyonu (objective - fitness function) gerekmektedir. Böylece sonuca ulaşmak için türev, diferansiyel gibi işlemlere ihtiyaç duymamaktadır.
- Genetik algoritma, bireyleri seçme ve birleştirme aşamalarında belirgin kurallar yerine olasılık kurallarını kullandığı için her çalışmada, çözüme yakın ama birbirinden farklı sonuçlar üretmektedir.
- Diğer yöntemlerde olduğu gibi, doğrudan parametrelerle çalışmamaktadır. Genetik algoritmalar, optimize edilecek parametreleri kodlamakta ve parametreler üzerinde değil, bu kodlar üzerinde işlem yapmaktadırlar.
- Genetik algoritma en iyilemeye çalıştığı problemle ilgili herhangi bir bilgiye ihtiyaç duymamaktadır veya sistemin matematiksel model bilgilerini gerektirmemektedir. Karmaşık matematik hesapları yerine sadece amaç ve uygunluk bilgilerine ihtiyaç duymaktadır.
- Genetik algoritmalar olasılık kurallarına göre çalıştığı için, programın ne kadar iyi çalıştığı önceden kesin olarak belirlenmemektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada, en uygun istasyon noktalarının elde edilmesinin (çift yönlü olarak) ardından, bu noktaların mesafeleri ve uygunluk puanları dikkate alınarak belirli bir sayıya indirgenmesi manuel olarak yapılamamaktadır. Bu kapsamda belirlenen iki amaç fonksiyonuna göre en iyi seçimin yapılabilmesi için “genetik algoritmalar” yararlanılmıştır. Tek bir kesin çözümün olmadığı, buna benzer, özellikle kentsel ölçekteki problemlerde, genetik algoritmalar belirlenen amaç fonksiyonlarına göre, birçok optimize edilmiş çözüm alternatifi sunmaktadır.

2.4.3 Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar, evrimsel hesaplamalara (evaluationary computation) dayanan ve Darwin’in evrim teorisinden yola çıkılarak oluşturulmuş bir hesaplama tekniğidir. 1960’larda, bilgisayar bilimlerinde evrimsel mekanizmaları kullanan iki temel yaklaşım

(“evrimsel stratejiler” ve “genetik algoritmalar”), Amerika ve Almanya’da çalışılmaya başlanmıştır. Evrimsel programlamaya dayanan, en popüler tekniklerden biri olan genetik algoritmaların ilk çalışmaları, Amerika’da, Michigan Üniversitesi’nde psikoloji ve bilgisayar bilimi uzmanı olan John Holland tarafından gerçekleştirilmiştir. Holland’ın ilk amacı, bir problemin çözümü için algoritma ortaya koymaktan ziyade, doğal adaptasyon mekanizmalarını bilgisayar sistemlerine uygulayabilmektir. Holland’ın öğrencisi David E. Goldberg’in 1989’da yayınlanan kitabından sonra ise mühendislik problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Evrimsel stratejiler yaklaşımları ise, temel olarak optimizasyona odaklanan Rechenberg ve Schwefel tarafından Almanya’da çalışılmaya başlanmıştır. Bu iki yaklaşımın birçok ortak yönü olmasına rağmen, birbirinden bağımsız bir şekilde farklı iki bölgede geliştirilmişlerdir (Affenzeller vd., 2009; Çakar, 2009; Engin, 2013).

Her iki yaklaşım da, bir topluluktaki her bireyin genetik bilgisinin farklı olduğu bir popülasyon modeliyle çalışmaktadır. Her iki yöntem de, potansiyel çözüm popülasyonu oluşturmaya çalışmakta ve daha uygun bireylerin hayatta kalma prensibine göre seçim yapmaktadırlar. Evrimsel stratejiler ve genetik algoritmalar arasındaki temel farklar ise aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir (Affenzeller vd., 2009; Çakar, 2009):

- Evrimsel stratejiler nümerik bir optimizasyon yöntemi olarak geliştirilmiş, ancak genetik algoritmalar, genel amaçlı bir adaptif arama yöntemi olarak formülize edilmiştir.
- Evrimsel stratejiler, yüzen nokta vektörlerle (floating point vector) işlem yaparken, genetik algoritmalar, ikili vektör (binary vector) esaslı çalışmaktadır.
- Evrimsel stratejilerde, seçim süreci deterministiktir, dolayısıyla bireyler tekrar seçilemezler. Genetik algoritmalarda ise seçim süreci rastlantısaldır ve güçlü bireyler bir sonraki nesil için tekrar seçilebilirken, en zayıf bireylerin de seçilme olasılığı mevcuttur.
- Genetik algoritmalarda, çarpazlama ve mutasyon olasılığı gibi yeniden üretim (reproduction) parametreleri, evrim sürecinde sabit kalmaktadır. Evrimsel stratejilerde ise bu değerler her defasında değiştirilmektedir.

Genetik algoritmalar çok sayıda bireyden oluşan bir popülasyonun, tanımlı seçim kuralları (amaç fonksiyonu) altında “uygunluğu”nu (fitness) maksimize eden dönüşümüne imkan

vermektedir (Haupt ve Haupt, 2004). Genetik algoritmalar özellikle, çözüm uzayının geniş, süreksiz ve karmaşık olduğu problemlerde başarılı sonuçlar vermektedirler (Taşkın ve Emel, 2002). Günümüzde ise birçok mühendislik alanında yaygın bir şekilde kullanılmakla birlikte, kentsel ölçekte de, planlama kararlarının desteklenmesi (Mahdi ve Esztergar-Kiss, 2023), akıllı kentler (Reddy vd., 2020), akıllı araç ağ sistemleri (Li vd., 2020), seyahat öneri sistemleri (Paulavičius vd., 2023) gibi birçok konuda kullanıldığını görebilmekteyiz.

Genetik algoritmalar stokastik (rastlantısal) ve yinelemeli (iterative) bir prosedüre sahip algoritmalar, bu nedenle olasılık kavramı genetik algoritmaların temel elemanlarından biridir. Birçok stokastik modele benzer şekilde genetik algoritmalar, global (küresel) optimum çözümü garanti etmemektedir. Bunun yerine olası çözümler arasından kabul edilebilir derecede iyi bir çözümü bulmayı hedeflemektedir. Yinelemelerin sonlandırılması genellikle, maksimum sayıda nesile ulaşılması, kabul edilebilir bir çözüm bulunması veya erken yakınsamayı gösteren daha karmaşık sonlandırma kriterlerinin bulunmasıyla gerçekleşmektedir (Sivanandam ve Deepa, 2008; Affenzeller vd., 2009).

Genetik algoritmalar rastgele seçilen bireylerden (“çözüm alternatifleri” veya “kromozomlar”) ilk popülasyonun oluşması ile başlamaktadır. Popülasyondaki her bir birey (dizi), problem için potansiyel bir çözüm alternatifi sunmaktadır. Bu bireyler her bir tekrarlamada (iterations) yavaş yavaş gelişerek yeni nesilleri ortaya çıkarmaktadırlar. Her bir nesilde popülasyondaki her bir birey bazı uygunluk ölçütleri (amaç fonksiyonu) kullanılarak değerlendirilmektedir. Daha sonra ise genetik operatörler aracılığı ile bir sonraki nesil popülasyonu oluşturulmaktadır. Bu prosedür sonlandırma şartları sağlanıncaya kadar devam etmektedir (Sakawa, 2002; Affenzeller vd., 2009). Hemen hemen bütün genetik algoritma türlerinin temellerini sunan standart genetik algoritmanın temel iş akışı Şekil 2.19’da sunulmuştur.

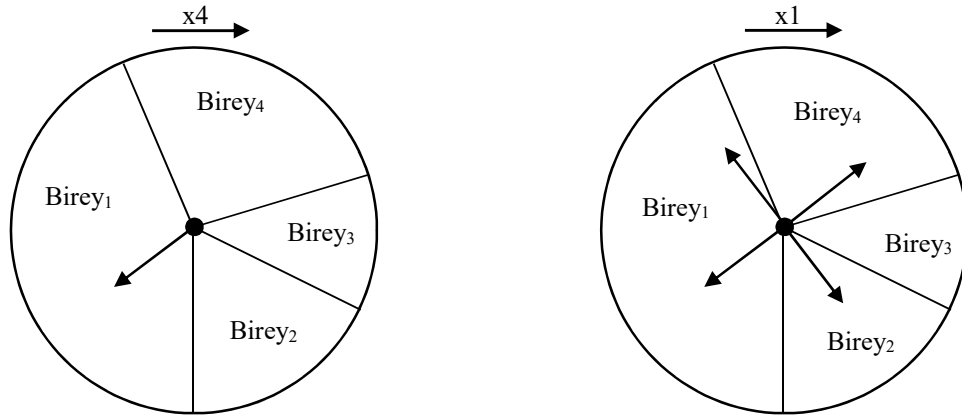


Şekil 2.19: Genetik algoritmanın temel iş akışı (Affenzeller vd., 2009; Çakar, 2009; Ergül, 2010).

Genetik algoritmalarda seçme aşaması, temel olarak uygunluk değerlerine göre, bir sonraki topluluğun ebeveyn adayları arasında bazı bireylerin seçilmesi şeklinde işlemektedir. Böylece uygunluk değerlerine göre seçme işlemleri gerçekleştiği için bir sonraki neslin daha “güçlü” olma şansı artmakta ve hangi bireylerin çarprazlama ve mutasyona uğrayacağı seçilmiş olmaktadır. Bu noktada, rulet tekerleği seçimi / oransal seçim (Roulette Wheel Selection / RWS), turnuva seçimi (Tournament Selection / TS), doğrusal sıralama seçimi (Linear-rank Selection / LRS), stokastik evrensel örnekleme (Stochastic Universal Sampling / SUS), rassal seçim, elitizm yöntemi, denge durumu seçim yöntemi gibi bazı seçim mekanizmaları kullanılmaktadır. Bu seçim mekanizmalarından sıklıkla kullanılan bazıları kısaca aşağıda sunulmaktadır (Affenzeller vd., 2009; Ergül, 2010; Yücel, 2016):

Rulet tekerleği seçimi / oransal seçim: Standart bir genetik algoritmada, Holland'ın şema teoreminde de önerilen bu seçim yöntemi kullanılmaktadır. Puan ile orantılı bir seçim mekanizmasıdır ve bireylerin puan değerlerine bağlı olasılık dağılımına göre seçilme ihtimalleri değişiklik göstermektedir. Popülasyonun her bir bireyi, teker üzerinde uygunluğuyla orantılı bir alan olarak temsil edilmektedir. Tekerleğin defalarca döndürülmesiyle, yeni popülasyonda yer alacak olan bireyler rastgele seçilmektedirler.

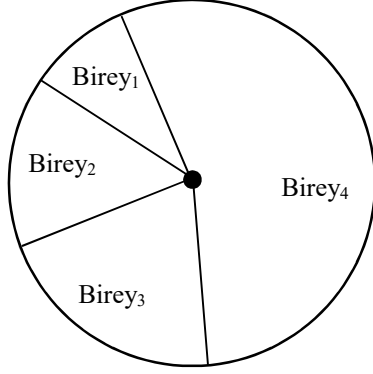
Bu yöntemde, tek bir bireyin ya da bir grup bireyin uygunluğunun çok yüksek olması durumunda (süper bireyler), bu bireylerin seçilme ihtimalleri çok yükselmekte ve diğer bireylerin seçilme şansı neredeyse kalmamaktadır. Bu sorunu çözmek için oransal seçim metodunun daha sonraki varyantlarında, stokastik örnekleme teknikleri kullanılarak bu süper bireylerin baskınlığı azaltılmaya çalışılmaktadır. Bu teknikle, tekerleğin her seçim için bir kere dönmesi yerine, popülasyon buyutuna eşit sayıda seçim yaparak tekerlek bir kere dönmektedir (Şekil 2.20).



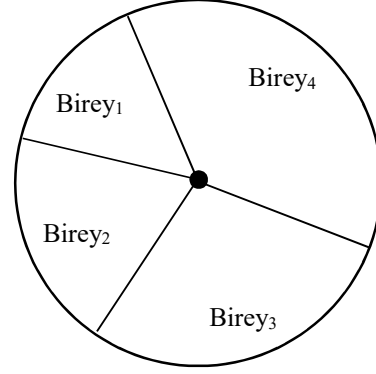
Şekil 2.20: (a) Rulet tekerleği seçim yöntemi (b) Stokastik örnekleme tekniği kullanımı (Ergül, 2010).

Doğrusal sıralama seçimi: Bu yöntemde ise, öncelikle popülasyondaki bireyler uygunluklarına göre sıralanmaktadır. Daha sonra ise belirli bir orana göre bu bireylere değer verilerek seçilme olasılığı belirlenmektedir. Örneğin en kötü birey “1” değerini alırken, en iyi birey “N” değerini almaktadır. Bu yöntemle, dolaylı olarak, “süper bireylerin” baskın etkileri azaltılabilmektedir. Ancak bu yöntemin dezavantajı ise, yakın uygunluk değerlerinin arasındaki farkı çarpıttığı için, seçilme baskısını artırabileceğidir. Yöntem bazı konularda başarılı sonuçlar verse de, bireyler arasındaki uygunluk farkları ile ilgili bilgiyi göz ardı etmekte ve şema teoremini de ihlal etmektedir.

Bireyler	Uygunluk Değeri	Sıralaması	Sıralama Değeri
Birey ₁	5	1	10
Birey ₂	10	2	20
Birey ₃	20	3	30
Birey ₄	60	4	40



Rulet Tekerleği Yöntemi

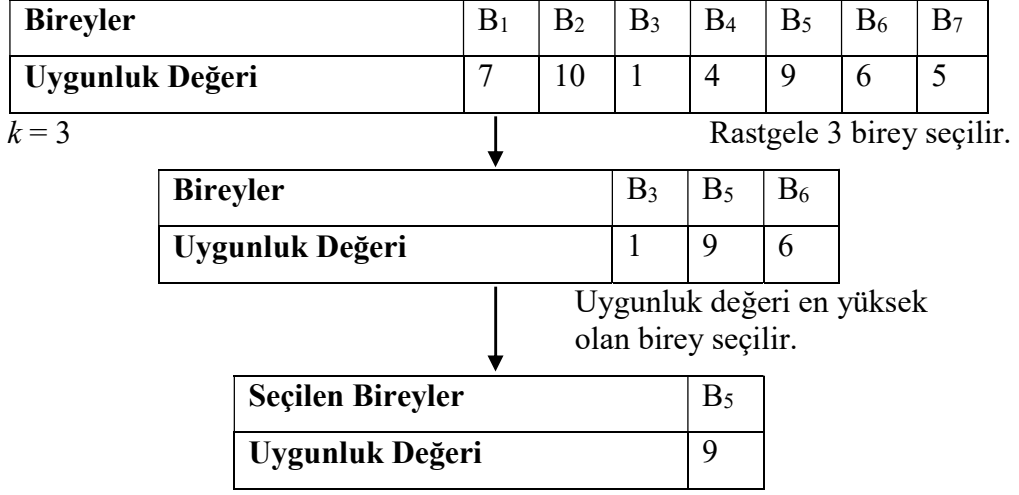


Doğrusal Sıralama Yöntemi

Şekil 2.21: Rulet tekerleği seçim yöntemi ile doğrusal sıralama seçim yöntemi karşılaştırmalı örneği.

Turnuva seçimi: Seçme mekanizması olarak en çok kullanılan yöntemlerden biri de turnuva seçim metodudur. Bu yöntemin kendi içinde farklı çeşitleri olsada, en sık kullanılanı k -turnuva seçimi metodudur. Bu yöntemde, popülasyondan k sayısı kadar birey rastgele seçilmekte ve bu bireylerden en uygun olanı yeni popülasyonda ebeveyn olarak yerini almaktadır.

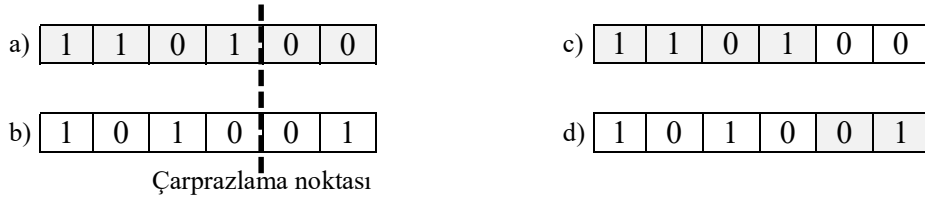
Bu yöntemle, k için uygun bir sayı seçilerek, seçilme baskısı miktarı ayarlanabilmekte ve böylece sonlandırma hızı değiştirilebilmektedir. Turnuva seçiminde, her rastgele seçilen grup arasından yalnızca bir kazanan olacağı varsayılmaktadır ve bu işlem yeni popülasyon tamamlanana kadar tekrarlanmaktadır.



Şekil 2.22: Turnuva seçimi örneği (Banihashemian ve Adibnia, 2021).

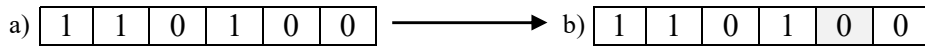
Genetik algorithmada, uygun seçim mekanizması ile bireylerin seçilmesinin ardından, yeni çözüm alternatifleri üretmek için iki temel operatör kullanılmaktadır (Sivanandam ve Deepa, 2008; Affenzeller vd., 2009):

Çarpazlama: Bu operatör, ebeveyn olarak isimlendirilen iki bireyin ve üretilen bir veya iki yeni bireyin (çocuk) bazı parçalarını rastgele birleştirmektedir (Şekil 2.23).



Şekil 2.23: Çarpazlama operatörünün işleyişi (a, b: ebeveyn; c, d: çocuk bireyler).

Mutasyon: Bu operatör ise temel olarak rastgele değişiklik yapmaktadır. Böylece, arama alanından rastgele elemanlar ekleyerek, yinelemelerin erken sonlanmasını önlemektedir. Örneğin bir bit dizisinde mutasyon, bu dizideki bitlerin mutasyon oranı adı verilen belirli bir olasılıkla rastgele çevrilmesiyle uygulanmaktadır (Şekil 2.24).



Şekil 2.24: Mutasyon operatörünün işleyişi (a: ebeveyn; b: çocuk birey).

Genetik algoritmalar, problem sayısına göre tek amaçlı ve çok amaçlı olarak, parametrelerin kodlanma şekline göre gerçel veya ikili; problem türüne göre ise kısıtlamalı veya kısıtlamasız olarak sınıflandırılmaktadırlar (Ergül, 2010). Bu tez çalışması

kapsamında, ikili kodlama (binary) kullanan, kısıtlamasız ve çok amaçlı (pareto) genetik algoritmalar kullanılmıştır.

3. ALAN ÇALIŞMASI: GELİŞTİRİLEN KARAR DESTEK MODELİNİN BALIKESİR HRS İSTASYONLARININ TESPİTİ AMACIYLA UYGULANMASI

Literatürde de kent içerisindeki yer seçimi problemlerinde karar destek sistemleri ile CBS yöntemlerinin bir arada kullanıldığını görebilmekteyiz. Bu kapsamda özellikle ulaşım planlaması alanında, bisiklet paylaşım istasyonları, otobüs durakları veya elektrikli araç şarj istasyonları gibi farklı konularda, bu istasyonların optimizasyonu veya en uygun istasyon konumunu belirleme gibi konular sıklıkla ele alınmaktadır. Shatnawi vd. (2020) bu yönde yaptıkları çalışmada, otobüs duraklarının lokasyonlarının optimizasyonu noktasında CBS ve yapay zeka tekniklerinden yararlanmışlardır. Yine Erbaş vd. (2018) elektrikli araçların şarj istasyonlarının en uygun konumlara yerleştirilmesi ile ilgili CBS tabanlı bulanık çok kriterli bir karar verme yöntemi önermektedirler. Ancak buna benzer çalışmalarda çoğunlukla, yer tespitinin sağlandığı karar aşamasında yine insani yargıların devreye girdiğini görmekteyiz. Bu durum, alınan kararlar noktasında karar destek sisteminin etkisinin boyutu ile ilgili çelişki oluşturmaktadır. Çünkü karar verme durumunda insan, elinde olan uygun alanları göz önünde bulundursa da, kendi zihninde oluşturduğu fikirler doğrultusunda yer tespiti yapmaktadır.

Ayrıca literatürde, özellikle tesis yeri seçimi ile ilgili CBS tabanlı ağ analizleri de kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları, en uygun yol (New route), kaynak tahsis alanı (Service area), konum tahsis / yer seçimi (Location-allocation), araç-rota problemi (Vehicle routing problem), başlangıç-gidilecek yer maliyet matrisi (Origin-destination cost matrix) analizleridir (Aydınoğlu vd., 2022). Özellikle mekânsal optimizasyon problemlerinin çözümü için sıklıkla kullanılan yer seçimi modellerinden bazıları P-medyan modeli, P-merkez modeli, kapasite kısıtsız tesis yeri seçim modeli, kapasite kısıtlı tesis yeri seçim modeli, karesel atama modeli, küme kapsama modeli, maksimum kapsama modeli, P-dağılım modeli, sabit maliyetli tesis yerleşim modeli, ana dağıtım üssü yerleşim modeli ve maksimum toplam modelidir (Drezner ve Hamacher, 2001; Bastı, 2012). Bu modeller genel olarak talep ve yerleştirilecek alternatif tesis noktaları arasındaki farklı ilişkilere dayanmaktadır.

Bu kapsamda, Banerjee ve ekibinin (2020) gerçekleştirdiği çalışmada, bir konum tahsis analiz aracı kullanarak, Baltimore'daki mevcut bisiklet paylaşım sistemine üç yeni istasyon

noktası eklemiştir. Çalışma, önerilen istasyon noktalarının 1000 m. yarıçapındaki nüfusun, talebi oluşturduğu ve toplu taşıma durakları, cazibe merkezleri ve restoranlara yakınlığın ise çekiciliği oluşturduğu varsayımı ile ele alınmıştır. Çalışma alanı 300 m. lik ızgaralara bölünerek aday istasyon noktaları belirlenmiş ve bu noktaların uygunluk puanları hesaplanarak en uygun istasyon noktaları tespit edilmiştir. Benzer bir yaklaşımla bu çalışmada da, Balıkesir'deki demiryolu güzergahı üzerinde, hafif raylı sistem için en uygun istasyon noktalarının belirlenmesi ile ilgili bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu model, talebi oluşturan kriterlerin çeşitlenebilmesi ve ağırlıklandırılabilmesi, en uygun noktanın seçiminin, belirlenen bütün güzergah / alan içerisinde yapılabilmesi ve seçim aşaması algoritmasının, probleme göre geliştirilerek kullanılabilmesi noktalarında öne çıkmaktadır.

Bu bağlamda, Balıkesir kent merkezinden geçen mevcut raylı sistemin dönüştürülmesi problematiğine geliştirilecek karar destek modeli üzerinden cevaplar aranan bu çalışma kapsamında, hattın 1000 m. çevresi istasyonların etki alanı olarak kabul edilmiş ve alan çalışması bu sınırlar içerisindeki verilerle gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Çalışma alanı.

Bu doğrultuda geliştirilen modelin, **ilk aşamasında** HRS istasyonlarının yerleşiminde etkili olacak kriterler belirlenerek, bu kriterler değerlendirici bir grup tarafından bulanık

AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve ele alınan alan içerisindeki kriterlere ait vektörel veriler toplanmıştır. **İkinci aşamada** ise, toplanan kriter verilerinin alanları hesaplanarak, HRS hattı üzerinde belirli aralıklarla alternatif istasyon noktaları oluşturulmuş ve bu noktaların 1000 m. çevresindeki kriter verileri ile aralarındaki mesafeler hesaplanmıştır. Bu mesafeler ve kriterlere ait verilerin alanları ve belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak her bir alternatif istasyon noktası için bir uygunluk puanı hesaplanmıştır. Modelin **üçüncü aşamasında**, phyton üzerinde geliştirilen algoritma yardımıyla, alternatif istasyon noktaları arasından mesafeye ve puanlarına göre, en uygun olanlarının tespit edilmesi sağlanmıştır. **Son aşamada** ise, geliştirilen algoritmanın çift yönlü olarak çalıştırılmasıyla elde edilen en uygun noktalar, genetik algoritma kullanılarak optimize edilmiştir. Geliştirilen karar destek modelinin aşamaları, ilerleyen bölümlerde alan çalışması üzerinden detaylı olarak sunulmaktadır.

3.1 Değerlendirme Kriterlerinin Tespit Edilerek Ağırlıklandırılması

Balıkesir gibi gelişmekte olan kentlerde, ileride ortaya çıkabilecek ulaşım sorunlarını en aza indirmek için kent içerisinde araç kullanımını azaltacak bir takım uygulamaları planlamak gerekmektedir. Araç kullanımını azaltma noktasında en etkili yollardan biri de kullanışlı bir toplu taşıma ağının varlığıdır. Balıkesir için, kent içi hafif raylı sisteme dönüştürülmesi planlanan hat üzerinde istasyon noktalarının kullanıma en uygun şekilde yerleştirilmesi de bu kapsamda önem taşımaktadır. İstasyonların, kullanım talebine ve kentsel verilere göre sistematik olarak yerleştirilmesi sistemin verimliliğini artıracaktır.

İstasyonların en uygun noktalara yerleştirilmesi noktasında, belirlenen kriterler önemli hale gelmektedir. Bu kapsamda, Kocaman (2018) da yüksek lisans tezinde Sakarya'daki otobüs güzergahları ve duraklarının CBS yardımı ile optimizasyonlarını gerçekleştirmeye çalışmıştır ve öneri olarak mahalle alanı bazlı 10 m. x 10 m. aralıklı nüfus örnekleme yerine, nüfusun doğrudan binalar ile ilişkilendirilecek bir şekilde konumlandırılması neticesinde yapılacak çalışma ile daha kesin sonuçlar elde edilebileceğini belirtmektedir. Başka bir ifadeyle nüfusun mahalle bazında eşit şekilde dağıldığını kabul etmek değil de, bina ölçeğinde yapıların türüne göre ortaya konacak olan nüfus yoğunluğunun (talep miktarı) daha doğru olacağını ifade etmektedir. Literatürde, bisiklet paylaşım istasyonları (Kabak vd., 2018), elektrikli araç istasyonları (Kaya vd., 2022) gibi farklı ulaşım türlerine ait istasyon noktalarının tespiti ile ilgili de kriterler ele alınmıştır. Bunun yanında benzer çalışmalarda (Kuby vd., 2004; Lanza vd., 2020), hafif raylı sistem güzergahı ve istasyon

yerleşimi için de kriterler belirlendiği görülmüştür. Bu kriterlerin bir kısmı talebi oluşturan yapılarla ilgiliyken, bir kısmı da arazi nitelikleri ile ilgili olabilmektedir.

Bu doğrultuda çalışma kapsamında ilk aşama olarak öncelikle, istasyonların en uygun alanlara yerleştirilmesi için gerekli kriterler belirlenmiş, daha sonra ise kriterlerin önemine göre etkisinin farklılaşabilmesi için bulanık AHP ile kriterlerin ağırlıklandırılması gerçekleştirilmiştir.

3.1.1 Kriterlerin Belirlenmesi

Gerekli literatür araştırması sonrası hafif raylı sistem istasyonlarının en uygun noktalara yerleştirilmesi ile ilgili bir takım kriterler belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin uygunluğunun değerlendirilmesi için, araştırmacının kendisi ile birlikte, Balıkesir Üniversitesi Mimarlık Bölümünden iki öğretim üyesi ve Balıkesir Büyükşehir Belediyesinde görevli bir mimar ve bir şehir ve bölge plancısından oluşan 5 kişilik değerlendirici bir grup belirlenmiştir. Bu grubun üyelerine ayrı ayrı çalışmanın kısa özeti ile birlikte kriterler gönderilmiş ve yaptıkları incelemelerden sağladıkları geri dönüşler neticesinde kriterlerde düzenlemeler yapılmıştır. Gerekli düzeltmeler sonrası ortaya çıkan, istasyonların kullanımını etkileyeceği düşünülen, çevre nitelikleri ile ilgili toplam 15 alt kriter, eylem alanlarına yakınlık, istasyonlara ulaşım kolaylığı ve istasyon çevresinin nitelikleri ana başlıklarında toplanmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: HRS istasyon yerleri tespiti için belirlenen çevre nitelikleri ile ilgili kriterler (Kuby vd., 2004; Palabıyık, 2004; Kırlangıçoğlu, 2014; Lanza vd., 2020).

Kriterler	Açıklaması
A. Eylem alanlarına yakınlık (yoğunluk)	<i>Raylı sistem istasyonlarının kullanımını etkileyen en önemli faktör yolculuk talebidir. İstasyon çevresindeki nüfus yoğunluğunu oluşturan eylem alanları bu talebi etkilemektedir.</i>
A.1. Konut alanlarına yakınlık	<i>İstasyon noktalarının yoğun konut alanlarına yakınlığı yolculuk talebini artırarak, bu alanlardan kent merkezine ulaşım için kullanılan özel araç miktarını da azaltacaktır.</i>
A.2. Yurtlara ve eğitim kurumlarına yakınlık	<i>Yoğun yolcu talebini karşılayabilen hafif raylı sistemde istasyonların yurtlara ve eğitim kurumlarına yakın olmasıyla, bu yapılara gidip gelen özel araç yada servis gibi daha az kapasiteli araçlar azalacaktır.</i>
A.3. Kamu kurumlarına yakınlık	<i>Eğitim kurumlarıyla benzer şekilde, istasyonların kamu kurumlarına yakın konumlandırılmasıyla, belirli saatlerde işe gidip gelenlerin ve kuruma ulaşmak isteyen kentlilerin toplu taşımayı kullanması teşvik edilmiş olacaktır.</i>
A.4. Sağlık birimlerine (hastane vb.) yakınlık	<i>İstasyonların hastane gibi yoğun kullanımı olan alanlara yakınlığı, kullanıcıların toplu taşımayı tercih etmelerini artıracaktır.</i>
A.5. Alışveriş merkezleri ve ticari alanlara yakınlık	<i>Sağlık birimleri ile benzer şekilde, gün içerisinde yoğun kullanılan alışveriş merkezleri ve ticari alanlara ulaşım ile ilgili hafif raylı sistem istasyonunun yakın olması önem taşımaktadır.</i>
A.6. Sosyal ve spor tesislerine yakınlık	<i>Etkinlikler nedeniyle toplu bir şekilde ulaşım gerektiren sosyal tesislere ulaşım noktasında, kişisel araç kullanımını azaltmak için istasyonların bu alanlara yakın olması gerekmektedir.</i>
A.7. Sanayi alanlarına yakınlık	<i>Bu alanlarda çalışanların işe gidip gelmeleri ve bu alanlara ulaşmak isteyen insanların özel araç yerine toplu taşımayı tercih etmesi için istasyonların bu alanlara yakın olması gerekmektedir.</i>
A.8. Havaalanı, terminal, gar yapılarına yakınlık	<i>Havaalanı, terminal, gar gibi yoğun yolcu giriş çıkışı yapılan yapılara yakınlık, şehir dışına gidip gelen yolcuların istedikleri yere ulaşmaları için çok önemli hale gelmektedir.</i>
A.9. Kent pazarlarına yakınlık	<i>Haftanın belirli günleri kentin farklı alanlarında kurulan kent pazarlarının yoğun bir kullanımı mevcuttur ve kentlilerin bu alanlara raylı sistem ile ulaşabiliyor olması araç trafiğini azaltacaktır.</i>

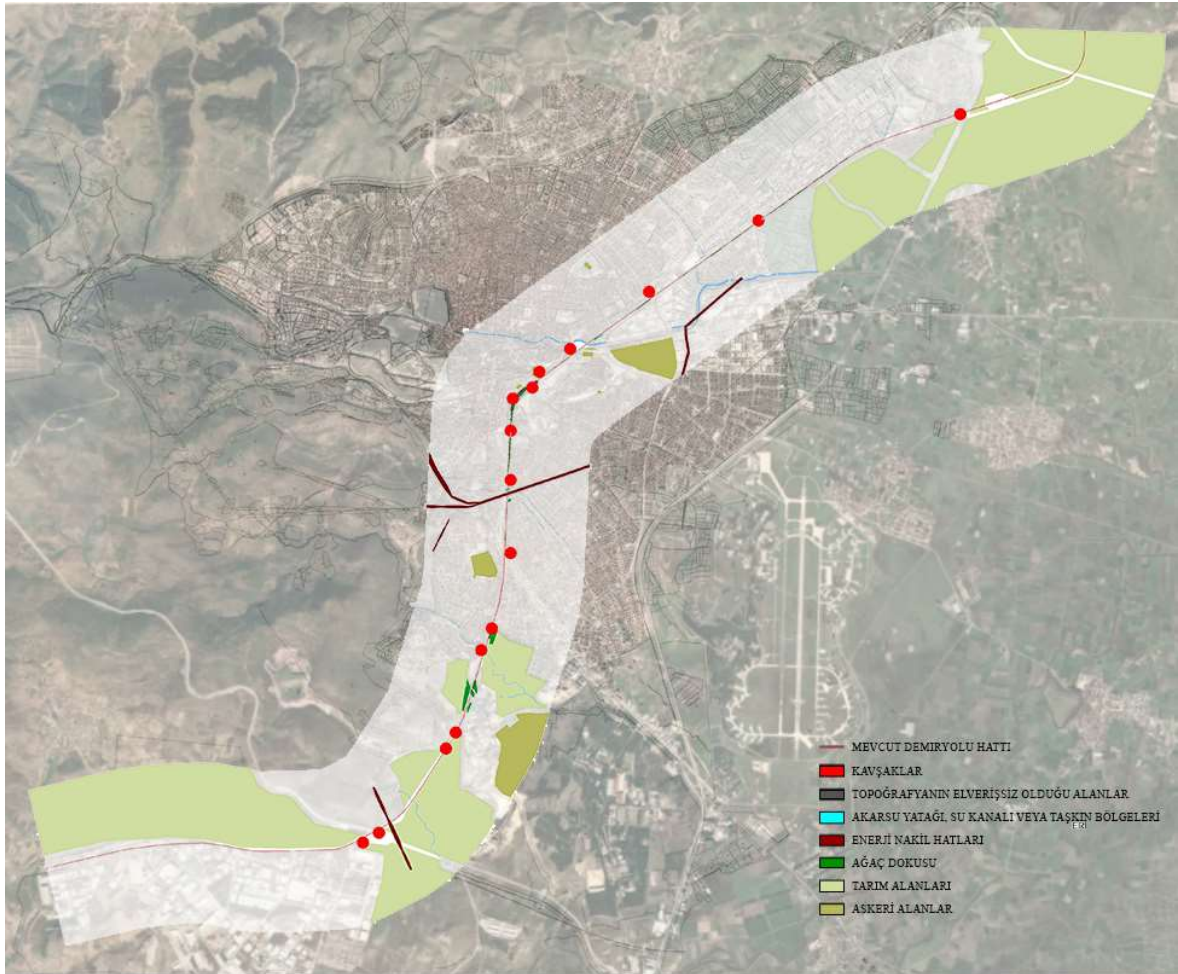
Tablo 3.1: (devam)

Kriterler	Açıklaması
A.10. Gelecek projeksiyonunda nüfus yoğunluğunun artacağı öngörülen alanlara yakınlık	<i>İleriki zamanlar için planlanan kentsel dönüşüm ve yeni projeler ile gelecekte nüfus yoğunluğunun artacağı düşünülen alanlara yakın istasyon noktalarının olması, sistemin gelecekte deverimli çalışmasını sağlayacaktır.</i>
B. İstasyonlara ulaşım kolaylığı	<i>İstasyonlara ulaşımın kolay olması sistemin kullanımını artıran önemli bir başka etkidir.</i>
B.1. Açık/kapalı otoparklara yakınlık	<i>Kent içerisinde belirli noktalara aracını bırakıp toplu taşımayla seyahat etmek isteyenler için otopark alanlarına yakınlık önem taşımaktadır.</i>
B.2. Otobüs, minibüs ve taksi duraklarına yakınlık	<i>Raylı sistem istasyonlarından diğer ulaşım sistemlerine aktarma yapabilmesi yolculuk talebini artırmaktadır.</i>
B.3. Geçiş yardımcılara (yaya geçidi, üst geçit vb.) yakınlık	<i>Yaya veya bisikletlilerin istasyon noktalarındaki caddeyi / sokağı güvenli bir şekilde geçebilmeleri için geçiş yardımcılarının olması durağın kullanılabilirliğini artıracaktır.</i>
C. İstasyon Çevresinin Nitelikleri	<i>İstasyon çevresinin niteliği, istasyonların kentteki rolünü belirleyecektir.</i>
C.1. Konfor öğelerine (yeşil alan, rekreasyon / dinlenme alanları vb.) yakınlık	<i>İstasyon yakınında bekleme, vakit geçirme eylemleri için gerekli elemanların olması gerekmektedir.</i>
C.2. Çekici alanlara (kentteki referans noktası olan öğeler vb.) yakınlık	<i>İstasyon noktalarının kimlik kazanması ve akılda kalıcılığının artması için çevresindeki kentsel doku önem taşımaktadır.</i>

Belirlenen kriter setine göre değerlendirmelerin yapılmasının ardından, istasyon alternatiflerinin yerleştirilmesi aşamasında arazi nitelikleri ile ilgili istasyon yapımına elverişli olmayan alanlar ile ilgili bir takım kriterler (Tablo 3.2) de göz önünde bulundurulmuştur. Bu kriterlere göre uygun olmayan alanlara istasyon alternatiflerinin yerleştirilmesinden kaçınılmıştır.

Tablo 3.2: HRS istasyon yerleri tespiti için belirlenen arazi nitelikleri ile ilgili kriterler (Kuby vd., 2004; Palabıyık, 2004; Kırılangoğlu, 2014; Lanza vd., 2020).

Kriterler	Açıklaması
1. Kavşaklara uzaklık	<i>Hali hazırda trafiğin yoğunlaştığı kavşak noktalarına raylı sistem istasyonlarının eklenmesi yaya ve araç kazalarına sebebiyet verebilmektedir (Kasımoğlu, 2015).</i>
2. Topoğrafyanın elverişsiz olduğu alanlar	<i>İstasyon noktalarının yakın çevresinde eğimin çok fazla olması (hattın zemin kotunun altında olması gibi) yapım maliyetini artıracak ve kullanımı zorlaştıracaktır.</i>
3. Akarsu yatağı, su kanalı veya taşkın bölgeleri	<i>İstasyonların bir su kaynağına yakın olması, yapımı zorlaştıracak ve kullanım sıkıntalarına sebep olabilecektir.</i>
4. Enerji nakil hatları	<i>Enerji hatlarına zarar vermemek için istasyonların bu hatlardan uzakta konumlandırılması gerekmektedir.</i>
5. Ağaç dokusu	<i>Raylı sistem çevresinde bulunan ağaçlara zarar vermemek için istasyonların bu alanlara uzak olması istenmektedir.</i>
6. Tarım alanları	<i>İstasyonların, nitelikli tarım alanlarını etkilemeyecek mesafede olması gerekmektedir.</i>
7. Askeri alanlara uzaklık	<i>Güvenlik açısından korunaklı yerler olan askeri alanlara istasyonların çok yakın olması istenmemektedir.</i>



Şekil 3.2: İstasyon için uygun olmayan alanlar.

“Karayolları kenarında yapılacak ve açılacak tesisler hakkında yönetmeliğe” (1997) bakıldığında, belediye sınırları içinde kavşak mesafesi ile ilgili bölümde madde 37 de kavşak başlangıcına mesafenin il yollarında 75 metre olması gerektiği belirtilmektedir. Bu yönetmeliğe istinaden kavşak noktalarının 75 metre çapı istasyonlar için uygun olmayan alanlar olarak belirlenmiştir.

Su kanalı ve enerji nakil hatları için Balıkesir İmar Haritasında belirtilen “enerji nakil hattı yapı yasak” sınırı ve “su yüzeyi” sınırında kalan alanlar da istasyonlar için uygun olmayan alanlar olarak tespit edilmiştir.

Tarım alanlarının doğal özelliklerini korumak adına tarım alanları içerisinde istasyon noktası kalmaması için bu alanlar da belirtilmiştir. Topoğrafyanın elverişsiz olduğu (kotun çok alçaldığı) bir alan da tespit edilmiş ve istasyonlar için uygun olmayan alan olarak belirtilmiştir. Ağaç dokusu ile ilgili fiziksel olarak gözlemlenen ve Google Earth üzerinden tespit edilen ağaç dokusunun olduğu alanlar belirlenmiş ve istasyonların mümkün olduğunca bu alanlara zarar vermeyecek şekilde konumlandırılması için uygun olmayan alanlar olarak işaretlenmiştir. Askeri alanlar için de 1/1.000 ve 1/100.000 ölçekli planlardaki yapı yasak alanlar incelenerek, uygun olmayan alanlar olarak belirtilmiştir.

Literatür incelendiğinde, jeolojik yapı, sismoloji gibi bir takım etkenler güzergah tasarımı konusunda etkili kriterler olarak görülmüş ancak, bu çalışmada, mevcut hat üzerinde optimum istasyon noktalarının belirlenmesi noktasında kapsam dışında bırakılmıştır.

Ayrıca “aktif yaşamın” özendirilmesi noktasında bu istasyonların çevresinde yaya ve bisiklet ulaşımı önemli görülmektedir. Yaya ulaşımı noktasında istasyonlara yürüyüş mesafelerindeki kriter verileri dikkate alınmıştır, böylece hat çevresindeki aktif yürüme potansiyeline göre istasyonlar yerleştirilmiş olacaktır. Ancak bisiklet konusunda Balıkesir’de mevcutta veri elde edilebilecek bir düzenleme (bisiklet paylaşım sistemi gibi) bulunmamaktadır. İlerleyen zamanlarda bu istasyonların çevresinde bisiklet kullanımını teşvik edici düzenlemeler yapılması kent sağlığı için olumlu olacaktır.

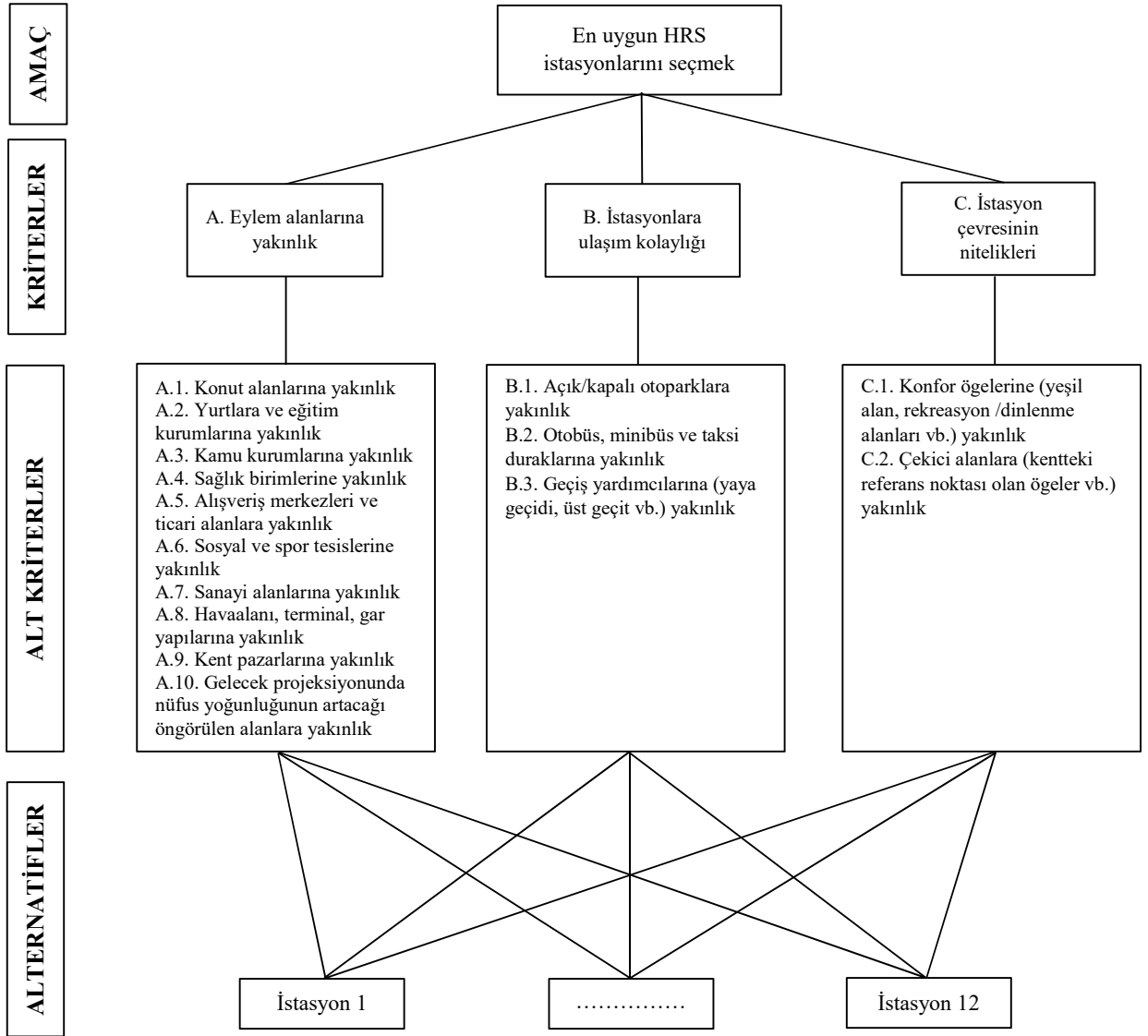
3.1.2 Bulanık AHP ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılmaları için oluşturulan DDSS (Design Decision Support Software) (Şekil 3.3) yazılımı üzerinden değerlendirici grup tarafından online olarak gerçekleştirilmiştir.

The screenshot displays the DDSS software interface for comparing criteria. The interface is organized into a grid with 15 columns and multiple rows. The columns are labeled with importance levels: Keskinlikle Daha Önemli, Ara Değer, Çok Kuvvetli Derecede Önemli, Ara Değer, Kuvvetli Derecede Önemli, Ara Değer, Orta Derecede Önemli, Ara Değer, Eşit Derecede Önemli, Ara Değer, Orta Derecede Önemli, Ara Değer, Kuvvetli Derecede Önemli, Ara Değer, Çok Kuvvetli Derecede Önemli, Ara Değer, Keskinlikle Daha Önemli. The rows list various criteria, each with a radio button and a corresponding importance level column. The criteria listed are: A.-Eylem alanlarına yakınlık (yoğunluk), B.-Duraklara ulaşım kolaylığı, A.-Eylem alanlarına yakınlık (yoğunluk), C.-Durak Çevresinin Nitelikleri, B.-Duraklara ulaşım kolaylığı, C.-Durak Çevresinin Nitelikleri, A.-Eylem alanlarına yakınlık (yoğunluk), A.1.-Konut alanlarına yakınlık, A.2.-Yurtlara ve eğitim kurumlarına yakınlık, A.1.-Konut alanlarına yakınlık, A.3.-Kamu kurumlarına yakınlık, A.1.-Konut alanlarına yakınlık, A.4.-Sağlık birimlerine (hastane vb.) yakınlık.

Şekil 3.3: DDSS yazılımı kullanıcı ara yüzü.

Kriterlerin ağırlıklandırılmasıyla, istasyon yerleşiminde her bir kriterin önemi ve katkısı farklı olabilmektedir. Bunun için öncelikle DDSS yazılımına yönetici girişi yapılarak çalışma oluşturulmuş, değerlendiriciler belirtilmiş ve kriterler sistem üzerinde tanımlanmıştır. Bu çalışma için tanımlanan kriterler hiyerarşisi aşağıdaki gibidir:

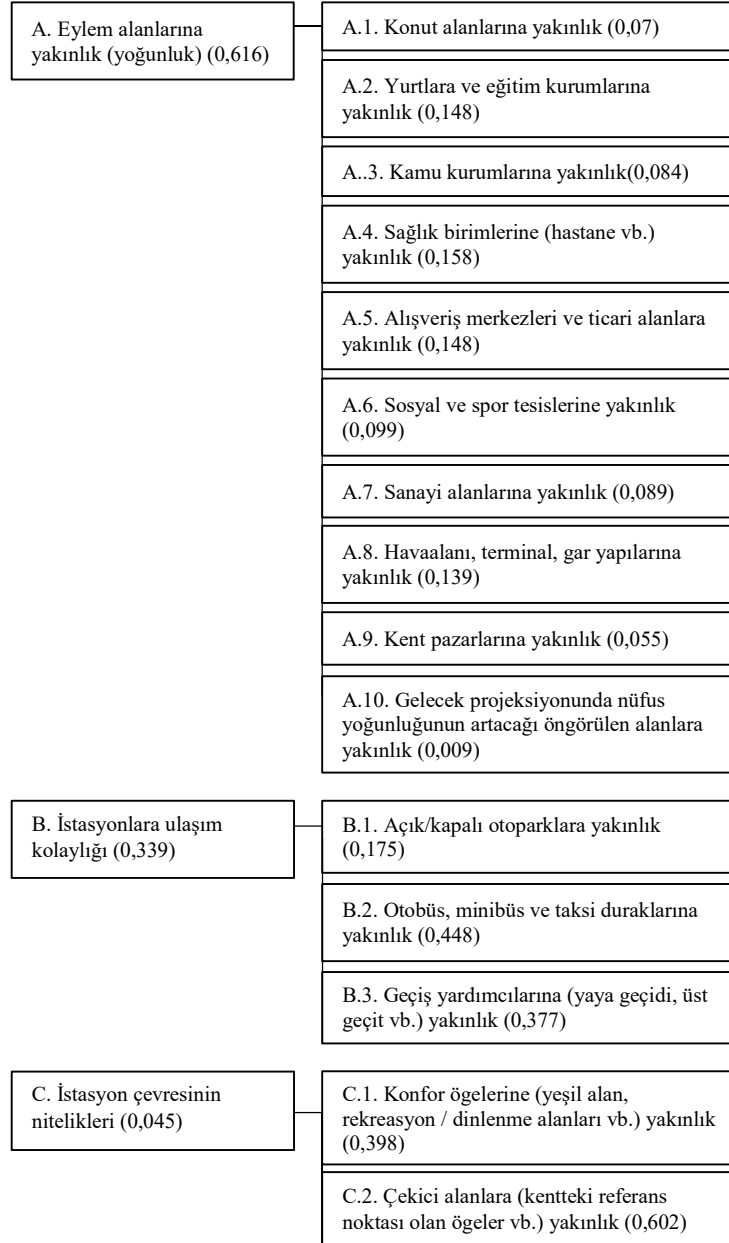


Şekil 3.4: HRS istasyonlarının ağırlıklandırılmasında kullanılan kriterler hiyerarşisi.

Çalışma hazırlandıktan sonra ağırlıklandırma için, yazılım üzerinden her bir değerlendirici kendilerine tanımlanan kullanıcı adı ve şifre ile giriş yapmış ve ilgili çalışmaya ait ikili kriter karşılaştırmalarını doldurmuştur.

Bütün değerlendiriciler değerlendirmelerini tamamladıktan sonra, sisteme yönetici girişi yapılarak kriter ağırlıklarına doğrudan ulaşılmıştır. İlk kriter ağırlıklandırmaları sonucunda değerlendiricilerden alınan geri dönüşler ve etkisiz çıkan kriterler ele alınarak, kriterler yeniden düzenlenmiş ve nihai haline ulaştırılmıştır. Bu aşamada bir takım kriterlerin (Tablo 3.2.) ağırlıklandırma yoluyla değil, sadece bu kriterler açısından istasyon

yerleşimine uygun olmayan alanların belirlenerek, istasyonlar yerleştirilirken dikkate alınması gerektiği kanaatine varılmıştır. Kriterlerin son halinin de tekrar ağırlıklandırılması yapılmak üzere değerlendiricilere gönderilmiştir. Bu son değerlendirme sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları Şekil 3.5'deki gibidir.

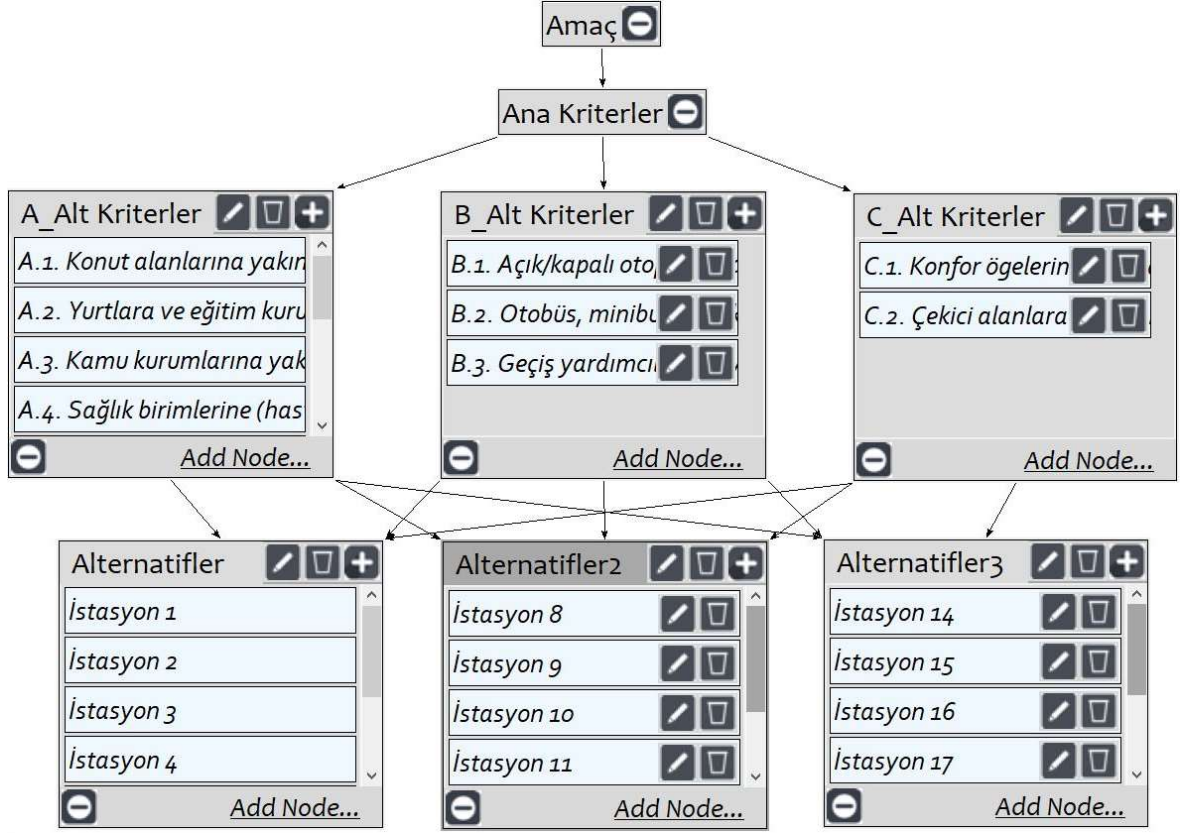


Şekil 3.5: HRS istasyonları için uygun noktaların tespitinde kullanılan kriter ağırlıkları.

Tablo 3.3: Kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranları.

Tutarlılık Oranı	Kriter No	Kriter	Ağırlığı (Önem Derecesi)
0.10370	A.	Eylem alanlarına yakınlık (yoğunluk)	0,616
	B.	İstasyonlara ulaşım kolaylığı	0,339
	C.	İstasyon çevresinin nitelikleri	0,045
0.03426	A.1.	Konut alanlarına yakınlık	0,07
	A.2.	Yurlara ve eğitim kurumlarına yakınlık	0,148
	A.3.	Kamu kurumlarına yakınlık	0,084
	A.4.	Sağlık birimlerine (hastane vb.) yakınlık	0,158
	A.5.	Alışveriş merkezleri ve ticari alanlara yakınlık	0,148
	A.6.	Sosyal ve spor tesislerine yakınlık	0,099
	A.7.	Sanayi alanlarına yakınlık	0,089
	A.8.	Havaalanı, terminal, gar yapılarına yakınlık	0,139
	A.9.	Kent pazarlarına yakınlık	0,055
	A.10.	Gelecek projeksiyonunda nüfus yoğunluğunun artacağı öngörülen alanlara yakınlık	0,009
0.05156	B.1.	Açık/kapalı otoparklara yakınlık	0,175
	B.2.	Otobüs, minibüs ve taksi duraklarına yakınlık	0,448
	B.3.	Geçiş yardımcılara (yaya geçidi, üst geçit, hemzemin geçit vb.) yakınlık	0,377
0.00000	C.1.	Konfor öğelerine (yeşil alan, rekreasyon / dinlenme alanları vb.) yakınlık	0,398
	C.2.	Çekici alanlara (kentteki referans noktası olan öğeler vb.) yakınlık	0,602

Bulanık AHP’de tutarlılığı hesaplamak mümkün olmadığından, çalışmada kriter ve alternatif değerlendirmelerinin tutarlılığının hesaplanması için, AHP tabanlı olarak çalışan “superdecisions” yazılımından yararlanılmıştır. Bu yazılımda, tek bir değerlendirici tarafından matrisler doldurulabilmektedir, dolayısı ile yapılan değerlendirmelerin ortalama değerleri hesaplanarak yazılım üzerine girişleri yapılmış ve tutarlılık değerleri elde edilmiştir (Tablo 4.3). Yazılımda kurulan hiyerarşi Şekil 3.6’daki gibidir.



Şekil 3.6: Superdecisions yazılımında kurulan AHP hiyerarşisi.

Çalışmada kriterlerin değerlendirilmesi noktasında tutarlılık oranları Tablo 3.3'teki gibidir. Herhangi bir 2x2 karşılaştırma matrisinin sütunları bağımlıdır, yani böyle bir matris her zaman tutarlıdır. C Alt kriterleri 2 adet olduğu için, tutarlılık oranı tespit edilememiştir, çünkü zaten tutarlı sayılmaktadır. Diğer kriterlere ait tutarlılık oranları (TO) 0,1' den küçük çıktığından, değerlendirmeler tutarlı olarak kabul edilmiştir.

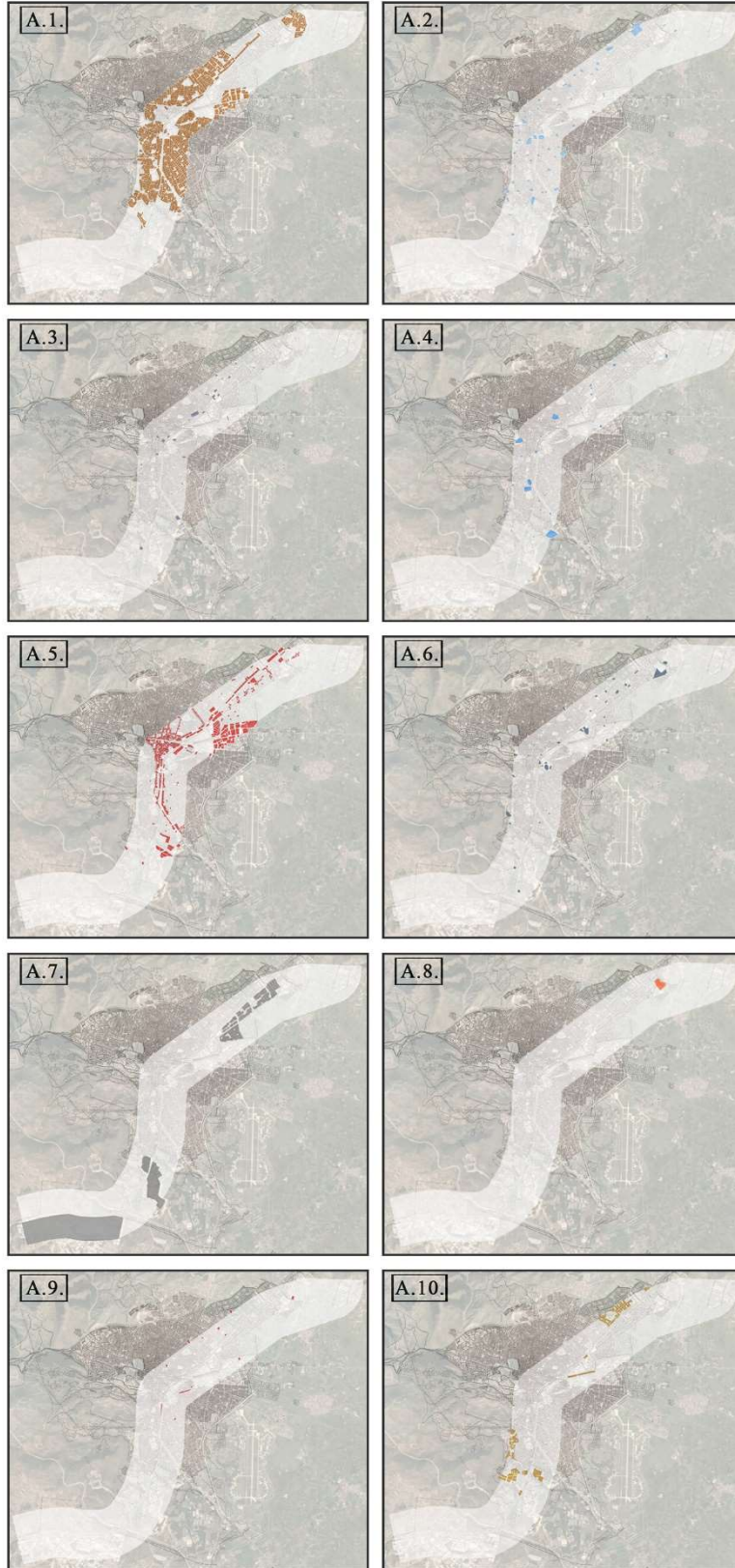
Kriter ağırlıklarının elde edilmesine ek olarak, bir yandan da analizlerde kullanılacak olan, HRS hattının etki alanı içerisinde kalan kriter verilerinin toplanması gerekmektedir. Çalışma kapsamında, raylı sistem hattına yerleştirilecek olan istasyonların etki alanı, istasyonlara yürüme mesafesinde olan alanlar olarak ele alınmıştır. Bu yürüme mesafesinin nasıl tanımlanacağı ise çalışmanın alt problemlerinden birini oluşturmaktadır. Bu konuda literatüre bakıldığında, Shaw (1991) bir banliyö treni için 2000 fitlik bir yürüme mesafesi tanımlarken, Hanson (1995), yürüme mesafelerinin 400 ile 1200 fit arasında değiştiğini öne sürmüştür. Untermann (1984) ise, insanların çoğunun istekli olarak 500 fit yürüdüğünü, %40'ının 1000 fit yürüebildiğini, ancak sadece %10'unun 2000 fitin üzerinde yürüebildiği gibi bir mesafeye göre azalma ilişkisi tespit etmiştir. Literatürdeki tespitlerde

dikkate alınarak, yapılan çalışmada, hat çevresindeki unsurları en uygun şekilde kapsayabilecek 1000 metrelik bir yürüme mesafesi belirlenmiştir. Bu mesafe 20 dakikalık bir yürümeye karşılık gelmektedir. Kriter verileri de bu 1000 metrelik alanda incelenmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Mevcut raylı sistemin 1000 m. çevresi.

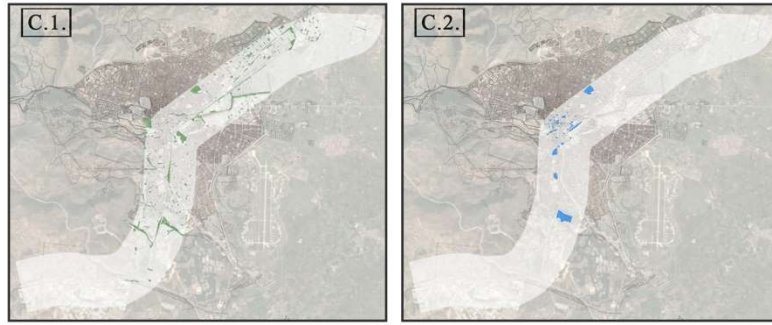
Belirlenen kriterlere göre, demiryolu hattı çevresinin 1000 m. çeperindeki kriter verileri hazırlanmıştır. Bu verilerin bazıları doğrudan 1/1000 ölçekli imar paftalarından elde edilirken, bazıları çeşitli web sitelerinden ve raylı sistem hattı boyunca fiziksel gözlem yapılarak tespit edilmiştir. Toplam 15 adet alt kritere ait veriler toplanmıştır (Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10).



Şekil 3.8: A (Eylem alanlarına yakınlık) kriterinin alt kriterlerine ait ele alınan veriler.



Şekil 3.9: B (İstasyonlara ulaşım kolaylığı) kriterinin alt kriterlerine ait ele alınan veriler.

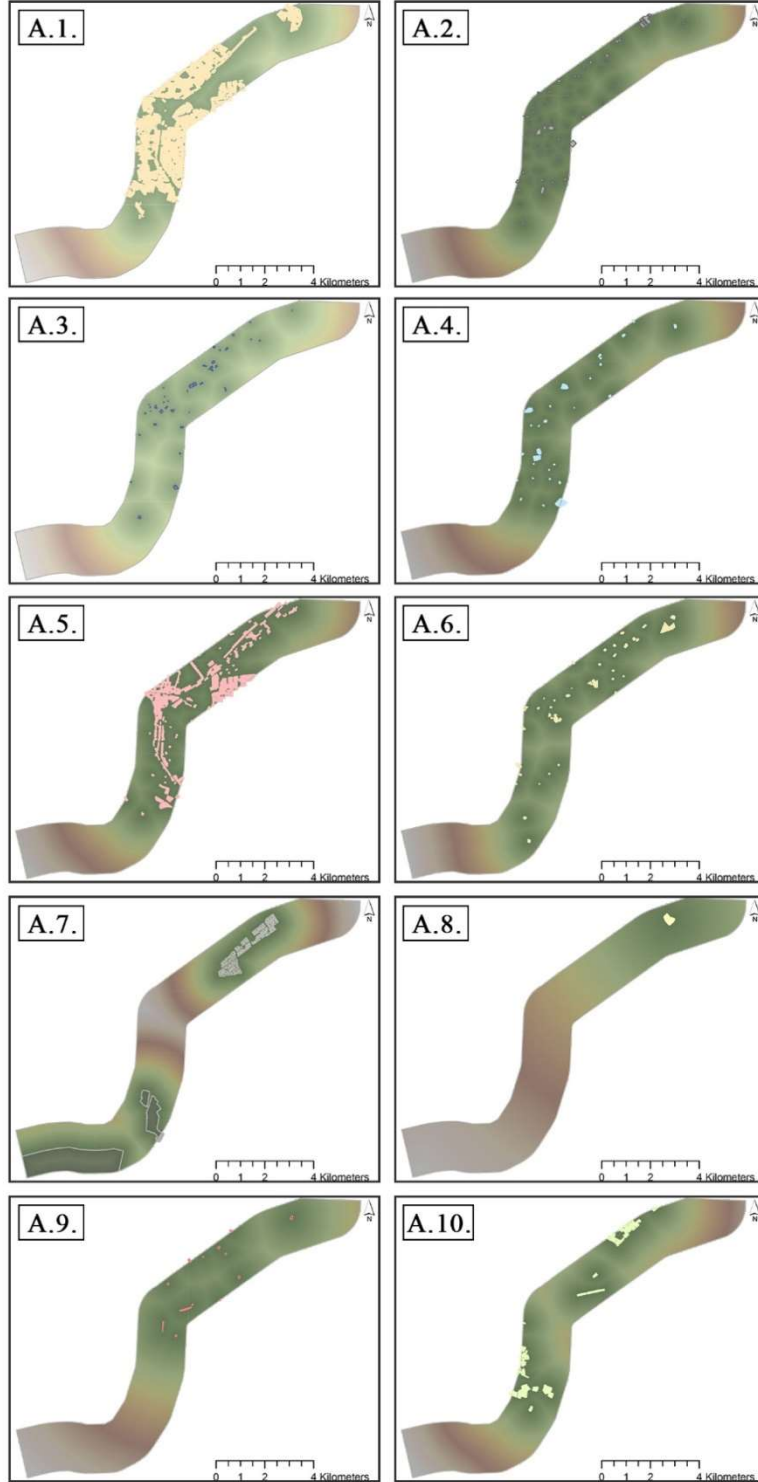


Şekil 3.10: C (İstasyon çevresinin nitelikleri) kriterinin alt kriterlerine ait ele alınan veriler.

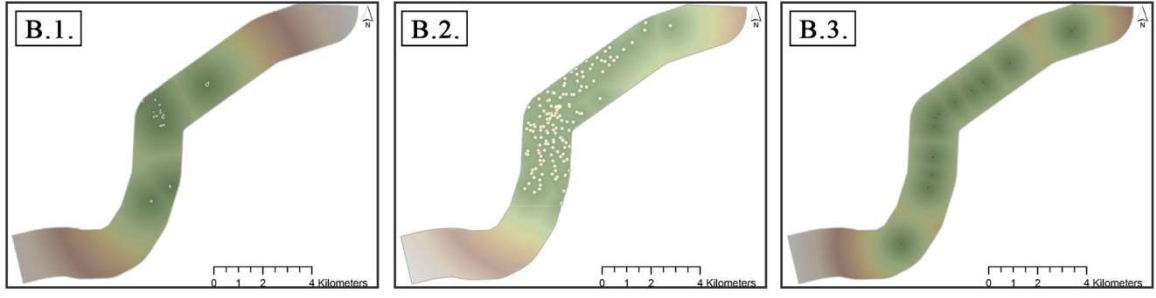
Kriter ağırlıklarının tespit edilmesi ve kriter verilerinin toplanmasının ardından, öncelikle literatürde de sıklıkla kullanılan uygunluk haritası yöntemi ile istasyon yerleri tespit edilmeye çalışılmıştır, ancak kriterlerin ve alternatiflerin sayısına bağlı olarak değerlendirmeler zorlaşabilmektedir. Ayrıca bu yöntemle uygun alanlara alternatif istasyon noktalarının yerleştirilmesi ve bu alternatiflerin değerlendirilmeleri aşamalarında çok fazla kişisel kararlar devreye girmektedir. Bu durum, istasyonların yer tespiti sürecinin tamamen veriye dayalı bir şekilde gerçekleştirilebilmesine engel olmaktadır. Bu nedenle önerilen karar destek modelinde, hat üzerinde belirli aralıklarla konumlandırılan her bir noktanın uygunluk puanına göre otonom olarak seçim yapabilen bir algoritma geliştirilerek, yer tespiti problemlerinde kullanılacak yeni bir model sunulmuştur. Bu aşamada ilerleyen bölümlerde, ilk olarak gerçekleştirilen uygunluk haritası yöntemi anlatılarak elde edilen sonuçlar ifade edilecek, daha sonra ise geliştirilen uygunluk puanına dayalı karar destek modeli Balıkesir HRS istasyon yerleri ile ilgili alan çalışması özelinde detaylı olarak anlatılacaktır.

3.2 Uygunluk Haritası Yöntemi ile HRS İstasyonlarının Tespit Edilmesi

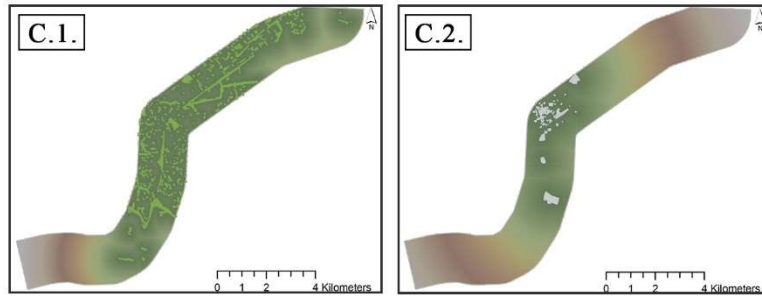
Bütün kriterlere ait gerekli verilerin toplanmasından sonra ArcGIS programında her bir alt kriterine ait aşağıdaki gibi kriter haritaları (Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13) oluşturulmuş, böylece sayısal bir takım veriler mekânsal veriye dönüştürülmüştür.



Şekil 3.11: A (Eylem alanlarına yakınlık) kriterinin alt kriterlerine ait kriter haritaları.



Şekil 3.12: B (İstasyonlara ulaşım kolaylığı) kriterinin alt kriterlerine ait kriter haritaları.



Şekil 3.13: C (İstasyon çevresinin nitelikleri) kriterinin alt kriterlerine ait kriter haritaları.

Kriter verilerinin elde edildiği veri kaynakları ve ArcGIS programında uygulanan analiz yöntemleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.4: Kriter verilerinin elde edildiği veri kaynakları ve ArcGIS programında uygulanan analiz yöntemi.

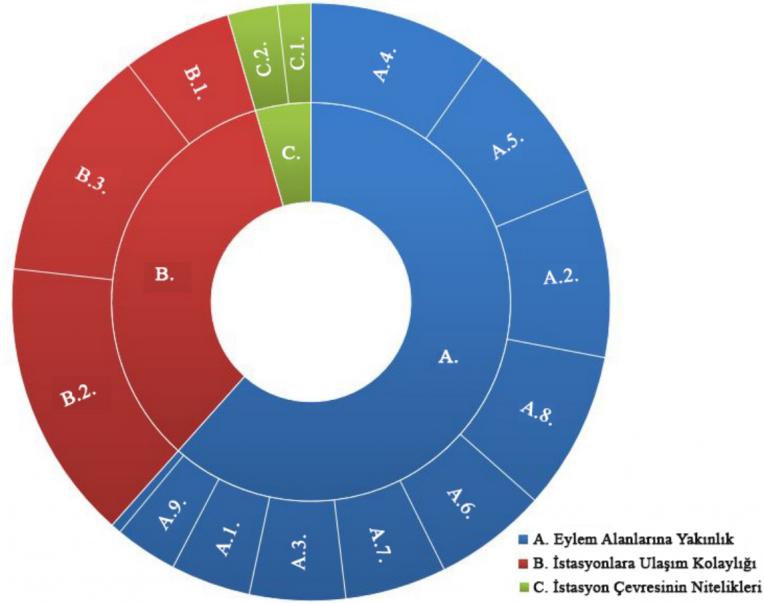
Kriter No	Kriter	Veri	Veri Kaynağı	Analiz Yöntemi
A.1.	Konut alanlarına yakınlık	Konutlar	2017 Balıkesir İmar Haritası	<i>Euclidian Distance</i>
A.2.	Yurtlara ve eğitim kurumlarına yakınlık	Yurt ve eğitim yapıları	2017 Balıkesir İmar Haritası	<i>Euclidian Distance</i>
A.3.	Kamu kurumlarına yakınlık	Kamu kurumları	2017 Balıkesir İmar Haritası	<i>Euclidian Distance</i>
A.4.	Sağlık birimlerine (hastane vb.) yakınlık	Hastane ve sağlık tesisleri	2017 Balıkesir İmar Haritası	<i>Euclidian Distance</i>
A.5.	Alışveriş merkezleri ve ticari alanlara yakınlık	Alışveriş merkezleri ve ticari alanlar	2017 Balıkesir İmar Haritası	<i>Euclidian Distance</i>
A.6.	Sosyal ve spor tesislerine yakınlık	Kültürel, sosyal ve spor tesisleri	2017 Balıkesir İmar Haritası	<i>Euclidian Distance</i>
A.7.	Sanayi alanlarına yakınlık	Sanayi alanları	2017 Balıkesir İmar Haritası	<i>Euclidian Distance</i>
A.8.	Havaalanı, terminal, gar yapılarına yakınlık	Terminal	2017 Balıkesir İmar Haritası	<i>Euclidian Distance</i>
A.9.	Kent pazarlarına yakınlık	Kent pazarları	2017 Balıkesir İmar Haritası	<i>Euclidian Distance</i>
A.10.	Gelecek projeksiyonunda nüfus yoğunluğunun artacağı öngörülen alanlara yakınlık	Yeni planlanan konut alanları, ticari yapılar, kamu yapıları	2017 Balıkesir İmar Haritası, Balıkesir Büyükşehir Belediyesi ile görüşmeler	<i>Euclidian Distance</i>
B.1.	Açık/kapalı otoparklara yakınlık	Açık/kapalı otoparklar	2017 Balıkesir İmar Haritası	<i>Euclidian Distance</i>
B.2.	Otobüs, minibüs ve taksi duraklarına yakınlık	Otobüs, minibüs ve taksi durakları	Balıkesir Toplu Taşıma A.Ş. resmi web sitesi	<i>Euclidian Distance</i>
B.3.	Geçiş yardımcılara (yaya geçidi, üst geçit, hemzemin geçit vb.) yakınlık	Üst geçit, hemzemin geçit	Google Maps ve Fiziksel Gözlem	<i>Euclidian Distance</i>
C.1.	Konfor öğelerine (yeşil alan, rekreasyon / dinlenme alanları vb.) yakınlık	Yeşil alan, rekreasyon / dinlenme alanları	2017 Balıkesir İmar Haritası	<i>Euclidian Distance</i>
C.2.	Çekici alanlara (kentteki referans noktası olan ögeler vb.) yakınlık	Tescilli yapılar / alanlar ve meydanlar	2017 Balıkesir İmar Haritası	<i>Euclidian Distance</i>

Kriter haritalarının oluşturulmasının ardından, bulanık AHP yöntemi ile değerlendiricilerin yaptıkları karşılaştırmalar sonucu oluşan kriter ağırlıkları, kriter haritaları ile bir arada kullanılarak ArcGIS pro programında uygunluk haritası oluşturulmuştur. DDSS yazılımı ile elde edilen kriter ağırlıkları, ağırlıklandırılmış değerler olup, her bir üst kriter için kendi içinde 1 olacak şekilde alt kriterlerin ağırlık dağılımı yapılmıştır. ArcGIS Pro programına

sadece alt kriterler girildiğinden bu ağırlıklandırılmış değerlerin ağırlıklandırılmamış hale getirilip (hepsinin toplamı 1 olacak şekilde) kullanılması gerekmektedir. Bunun için her bir alt kriterin ağırlığı, bağlı olduğu üst kriterin ağırlığıyla çarpılarak aşağıdaki ağırlıklandırılmamış değerler elde edilmiştir.

Tablo 3.5: Kriterlere ait ağırlıklandırılmış ve ağırlıklandırılmamış değerler.

Kriter No	Kriter	Ağırlıklandırılmış Değerler	Ağırlıklandırılmamış Değerler
A.	Eylem alanlarına yakınlık (yoğunluk)	0,616	
B.	İstasyonlara ulaşım kolaylığı	0,339	
C.	İstasyon çevresinin nitelikleri	0,045	
A.1.	Konut alanlarına yakınlık	0,07	0,04312
A.2.	Yurtlara ve eğitim kurumlarına yakınlık	0,148	0,09117
A.3.	Kamu kurumlarına yakınlık	0,084	0,05174
A.4.	Sağlık birimlerine (hastane vb.) yakınlık	0,158	0,09733
A.5.	Alışveriş merkezleri ve ticari alanlara yakınlık	0,148	0,09117
A.6.	Sosyal ve spor tesislerine yakınlık	0,099	0,06098
A.7.	Sanayi alanlarına yakınlık	0,089	0,05482
A.8.	Havaalanı, terminal, gar yapılarına yakınlık	0,139	0,08562
A.9.	Kent pazarlarına yakınlık	0,055	0,03388
A.10.	Gelecek projeksiyonunda nüfus yoğunluğunun artacağı öngörülen alanlara yakınlık	0,009	0,00554
B.1.	Açık/kapalı otoparklara yakınlık	0,175	0,05933
B.2.	Otobüs, minibüs ve taksi duraklarına yakınlık	0,448	0,15187
B.3.	Geçiş yardımcılara (yaya geçidi, üst geçit, hemzemin geçit vb.) yakınlık	0,377	0,1278
C.1.	Konfor öğelerine (yeşil alan, rekreasyon / dinlenme alanları vb.) yakınlık	0,398	0,01791
C.2.	Çekici alanlara (kentteki referans noktası olan öğeler vb.) yakınlık	0,602	0,02709



Şekil 3.14: Kriter ağırlıklarının yüzdesel dağılımı.

Uygunluk haritasını oluşturmak için hazırlanan kriter katmanları ağırlıklandırılmış doğrusal kombinasyon (weighted linear combination) yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu yöntemle her bir alternatifin değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır (Küçükönder ve Karabulut, 2007).

$$S_i = \sum_j^n w_j v(x_{ij}) \quad (3.1)$$

Burada S_i , (x_i, y_i) koordinatları tarafından tanımlanan konumdaki i 'inci alternatifin toplam değeridir. w_j normalleştirilmiş ağırlıktır ($\sum_{j=1}^n w_j = 1$); $v_j(x_i)$ ise, j kriterine karşılık gelen i 'inci alternatifin değerini ifade etmektedir (Küçükönder ve Karabulut, 2007; Malczewski, 2011; Menzafou vd., 2021).

Değer işlevi (S_i), insan yargısının matematiksel bir temsilidir. Eğer x_{ij} , i 'inci alternatif için j 'inci kriterin düzeyi ise, o zaman değer fonksiyonu $v(x_{ij})$, o alternatifin o kritere göre değerini ifade etmektedir. Bu eşitlik, olası karar sonuçlarını, karar vericinin tercihlerini yansıtan bir ölçekle ilişkilendirir. Bu noktada, GIS'de bir değer fonksiyonunu oluşturmak için en sık kullanılan yaklaşım, "puan aralığı prosedürü" yöntemidir. Bu yöntem, kritere ait harita katmanını aşağıdaki gibi standartlaştırılmış (değer) puanlara, $v(x_{ij})$ dönüştürmektedir:

$$v(x_{ij}) = \begin{cases} \frac{(x_{ij}) - \min_i \{x_{ij}\}}{r_j}, & k'inci \text{ kriterin maksimize edilmesi için} \\ \frac{(\max_i \{x_{ij}\}) - (x_{ij})}{r_j}, & k'inci \text{ kriterin minimize edilmesi için} \end{cases} \quad (3.2)$$

Standartlaştırılmış puan değerleri, $v(x_{ij})$, 0 ile 1 arasında değişmektedir; 0 en az istenen sonucun değeri ve 1 ise en çok istenen sonucun değerini ifade etmektedir.

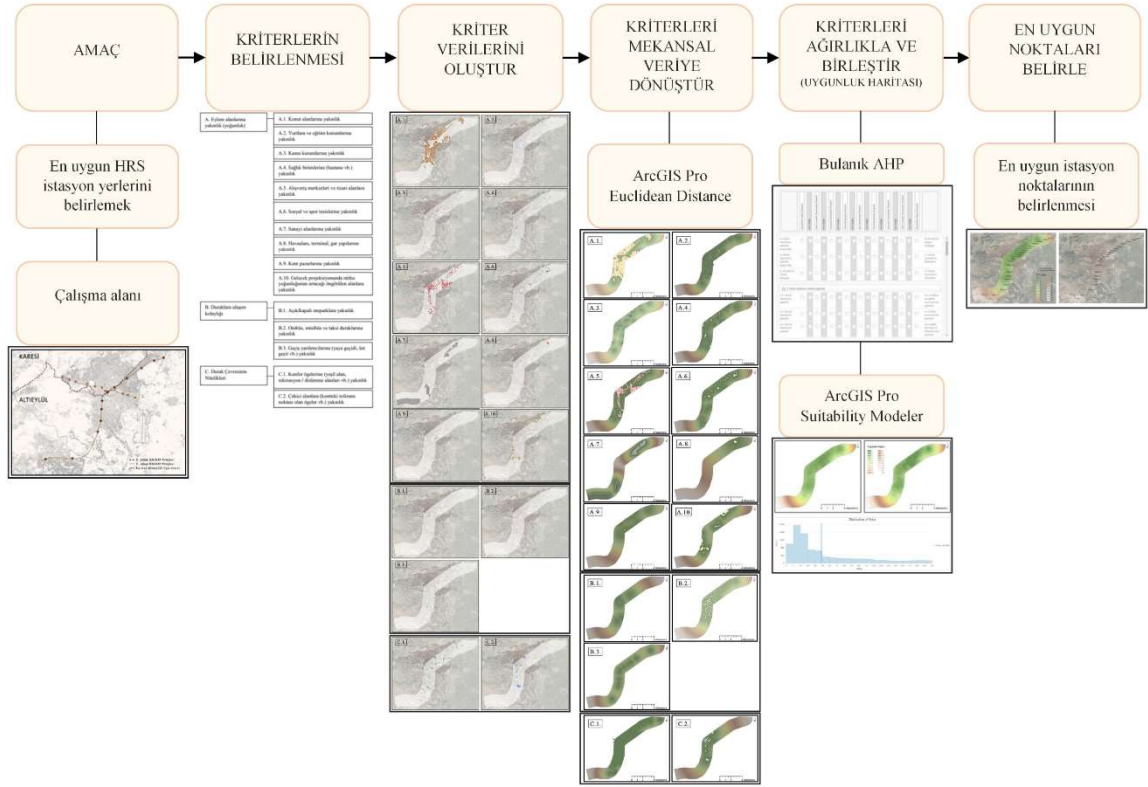
Denklemdaki puan aralığı tüm çalışma alanı için tanımlandığından, r_j değeri global aralık olarak adlandırılmaktadır. Sonuç olarak, $v(x_{ij})$ global değer fonksiyonudur. Bu, değer fonksiyonunun, kriter puanı x_{ij} ve o puanın değeri $v(x_{ij})$ arasındaki ilişkinin mekansal heterojenliğini hesaba katmadığı anlamına gelmektedir. Tercihlerin, yerel bağlamdan ve belirli bir kriter puanıyla ilişkili değer düzeyini etkileyebilecek faktörlerden bağımsız olarak homojen olduğu varsayılmaktadır (Malczewski, 2011).

Çalışmada, ArcGIS pro programında ki “suitability modeler” aracı uygunluk haritasını oluşturmak için kullanılmıştır. Bu araç ile kriter ağırlıkları kolay bir şekilde tanımlanabilmekte ve kriterlere göre etkileşimli bir şekilde uygunluk haritası oluşturulmaktadır. Bu araç, toplu taşıma durakları, bisiklet paylaşım istasyonları veya konut, okul, iş merkezi, hastane vb. bazı yapıları yerleştirmek için en uygun yerleri tanımlamakta da kullanılabilir.

ArcGIS Pro'nun güncel sürümlerinde hazır bir eklenti olarak gelen “suitability modeler” aracı ile bir uygunluk modeli oluşturmak için dört ana adım gerekmektedir:

1. Kriterlerin belirlenmesi,
2. Her bir kriter değerinin ortak bir uygunluk ölçeğine dönüştürülmesi,
3. Kriterlerin birbirine göre ağırlıklarının belirlenmesi ve bunların birleştirilerek bir uygunluk haritasının oluşturulması,
4. En uygun alanların tespit edilmesi (Esri, Erişim tarihi: 5 Mayıs 2023).

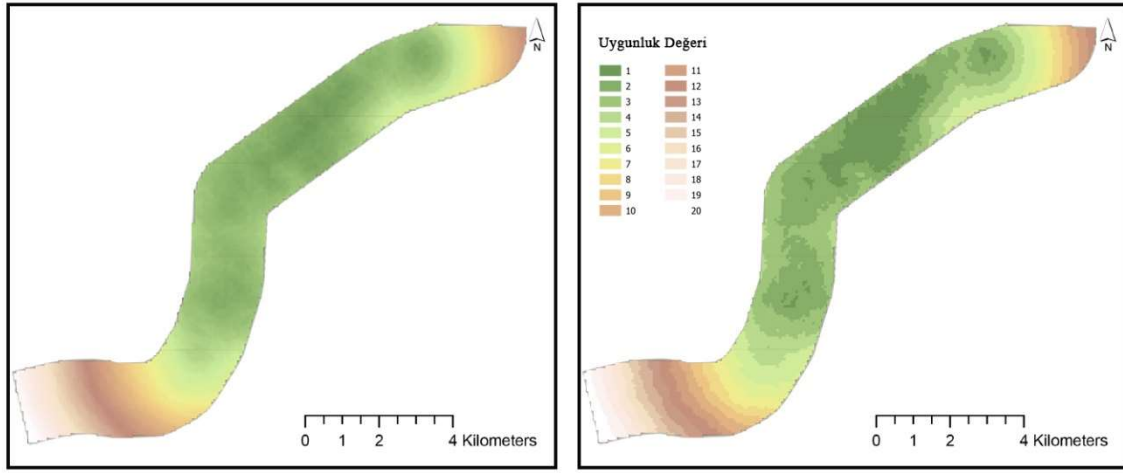
Bu çalışmada gerçekleştirilen uygunluk analizi için kullanılan iş akışı aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.15: Uygunluk analizi iş akışı ((Esri, Erişim tarihi: 5 Mayıs 2023); Menzafou vd., 2021).

Şekil 3.15’te de görüleceği üzere, çalışmanın amacına yönelik kriterlerin belirlenmesinin ardından, bu kriterlere ait veriler toplanmış ve bu veriler mekânsal veriye dönüştürülmüştür. Bu mekânsal verilerin kriter ağırlıklarıyla birleştirilmesi sonucunda da hafif raylı sistem için en uygun istasyon noktalarının belirlenmesi sağlanmıştır.

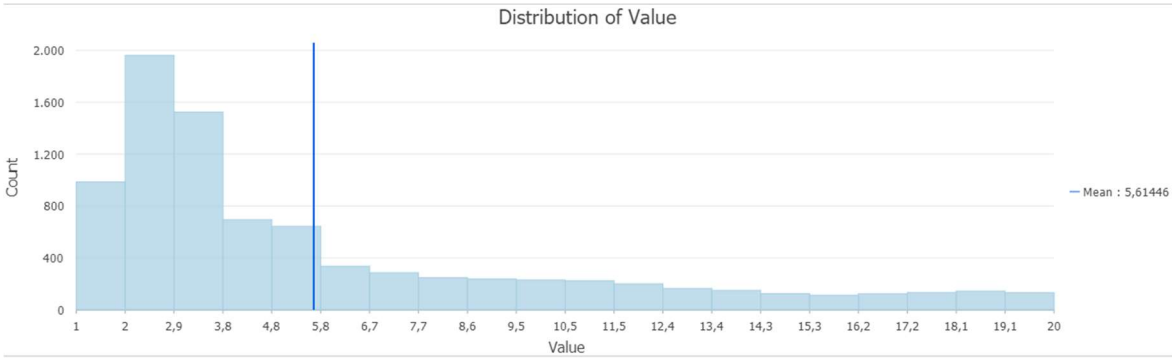
Gerçekleştirilen bu analiz sonucunda en uygun alanlar koyu yeşil renkte gösterilen alanlar olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.16). Şekil 3.17’deki grafikte de görüleceği üzere oluşturulan 20 uygunluk sınıfı içerisinde, en fazla 2. ve 3. sınıflar alan kaplamaktadır. Ortalama değer ise 5,61 olarak tespit edilmiştir.



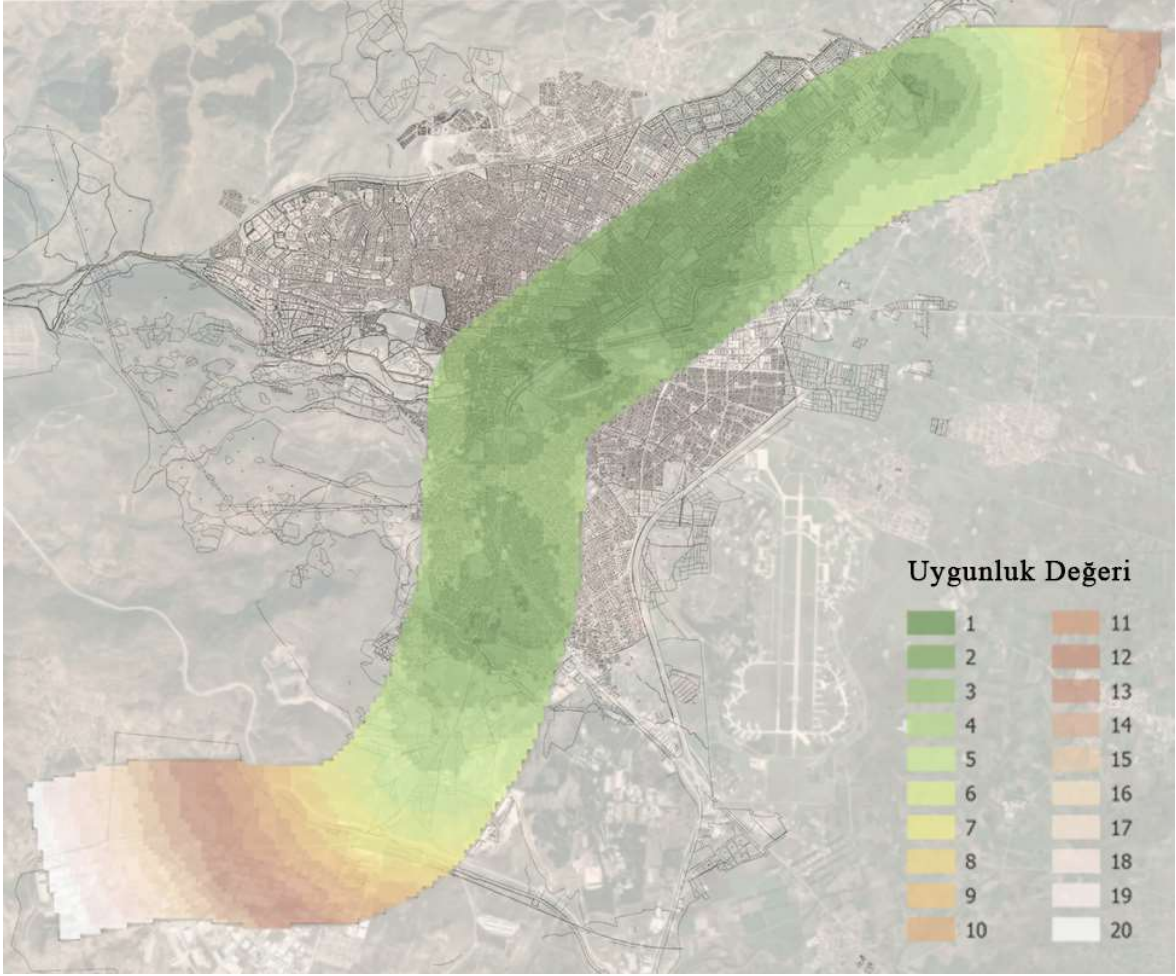
(a)

(b)

Şekil 3.16: (a) Normalize edilmiş uygunluk haritası; (b) Sınıflandırılmış uygunluk haritası.



Şekil 3.17: Değerlerin dağılım grafiği.

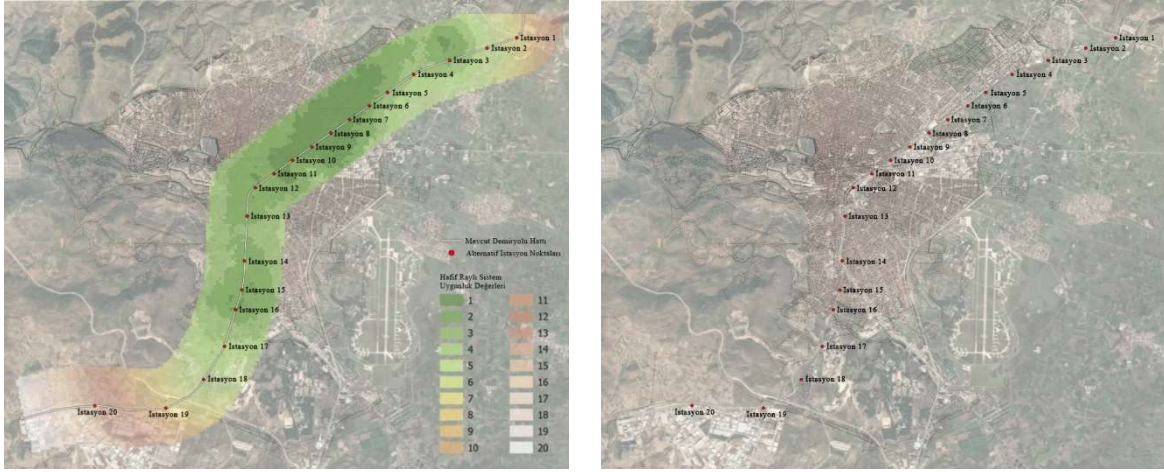


Şekil 3.18: Uygunluk haritasının kentteki durumu.

Uygunluk haritasının kent üzerindeki durumuna bakacak olursak, otogar çevresi, kent merkezi ve son yıllarda gelişme gösteren şehir hastanesi çevresinin (Plevne-Gaziosmanpaşa mahalleleri) uygunluk durumunun yüksek olduğunu görebiliyoruz (Şekil 3.18). Bu uygunluk durumuna göre Otogarın olduğu alanlardan başlanarak manuel olarak alternatif istasyon noktaları belirlenmiştir.

Çalışmada kriterlere göre oluşan uygun alanlara alternatif istasyonlar yerleştirilirken istasyonlar arası mesafeler de dikkate alınmıştır. İstasyonların fazla yakın olması, kullanıcı sayısını artırabilmekte, ancak seyahat süresini uzatmaktadır (Kuby vd., 2004). Bu nedenle 600-1200 m. aralığında optimum sayıda istasyon alternatifi belirlenmeye çalışılmıştır. İstasyonların yerleşimine daha uygun alanlarda 600 m. ye yakın aralıklarda; uygunluk azaldıkça ise 1200 m. ye yakın aralıklarda olacak şekilde istasyonlar yerleştirilmiştir. İstasyon yerleşimine uygun görünmeyen aralıklar ise boş geçilmiştir.

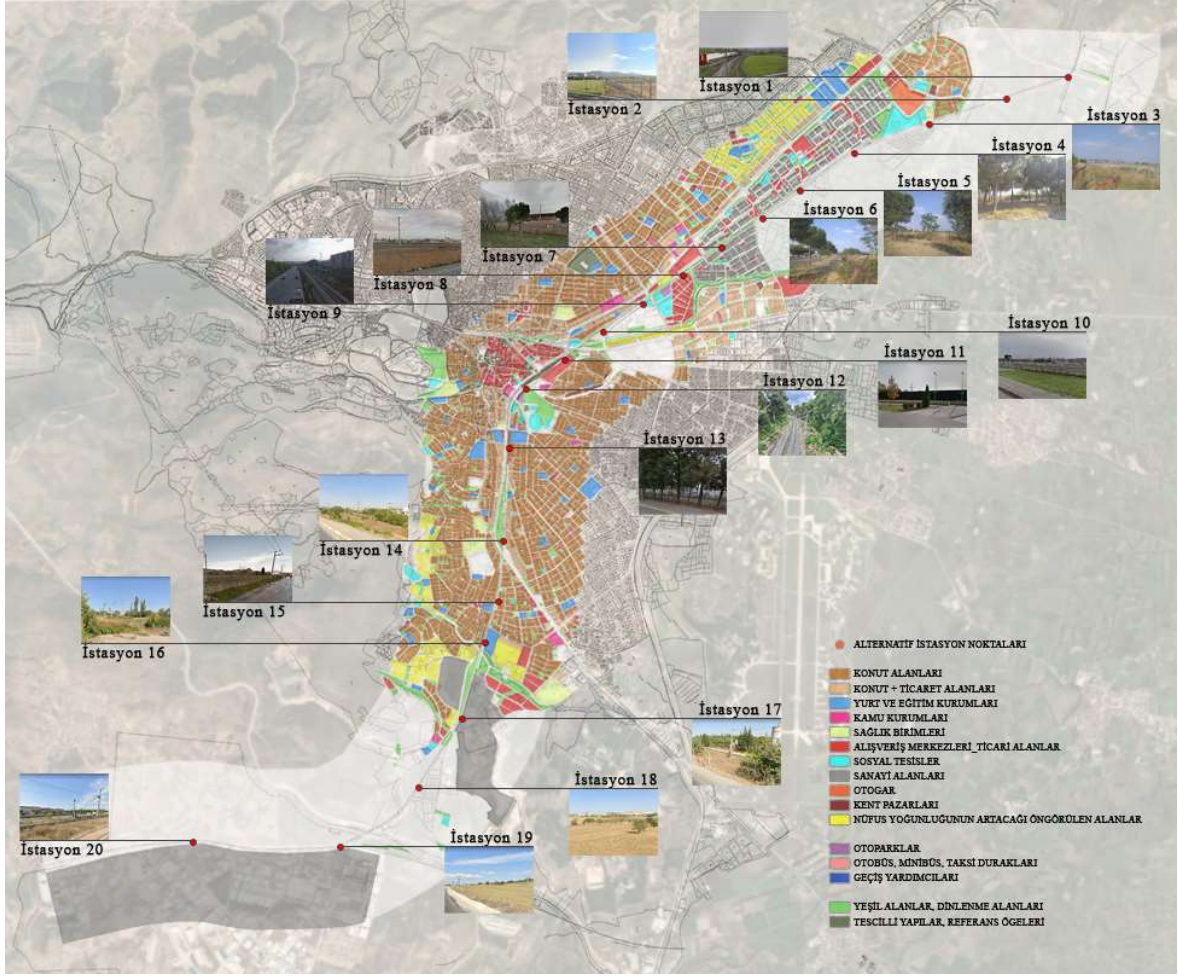
Alternatif noktalar belirlendikten sonra uygun olmayan alanlara (Şekil 3.1) denk gelen istasyon noktalarında düzeltmeler yapılmıştır. Belediye ile görüşmeler sonrasında, uygun olmayan alan olarak belirtilmiş olan, kent merkezindeki zemin kotunun alçaldığı alan için, raylı sistemin zemin altına alınmasının söz konusu olduğu bilgisi alınmıştır. Bu nedenle bu noktadaki kot alçalmasının belki de avantaja dönüşeceği düşünülerek, bu alana denk gelen alternatifler için yer değişikliği yapılmamıştır. Bu şekilde toplam 20 adet alternatif istasyon noktası (Şekil 3.19) belirlenmiştir.



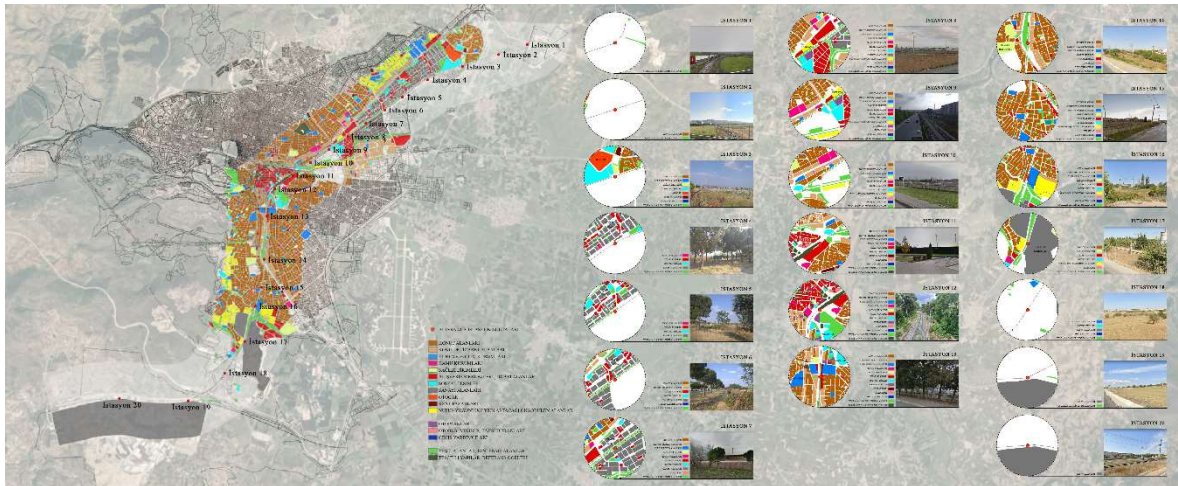
Şekil 3.19: (a) Uygunluk haritası üzerinde alternatifler;

(b) Alternatif istasyon noktalarının kentteki yerleri.

İstasyon alternatiflerinin belirlenmesinin ardından, şehir içindeki konumları ve yakın çevre (500 m. çevresi) verileri görsel olarak ifade edilerek, alternatifleri ağırlıklandırmaları için değerlendiricilere gönderilmiştir (Şekil 3.20; Şekil 3.21).



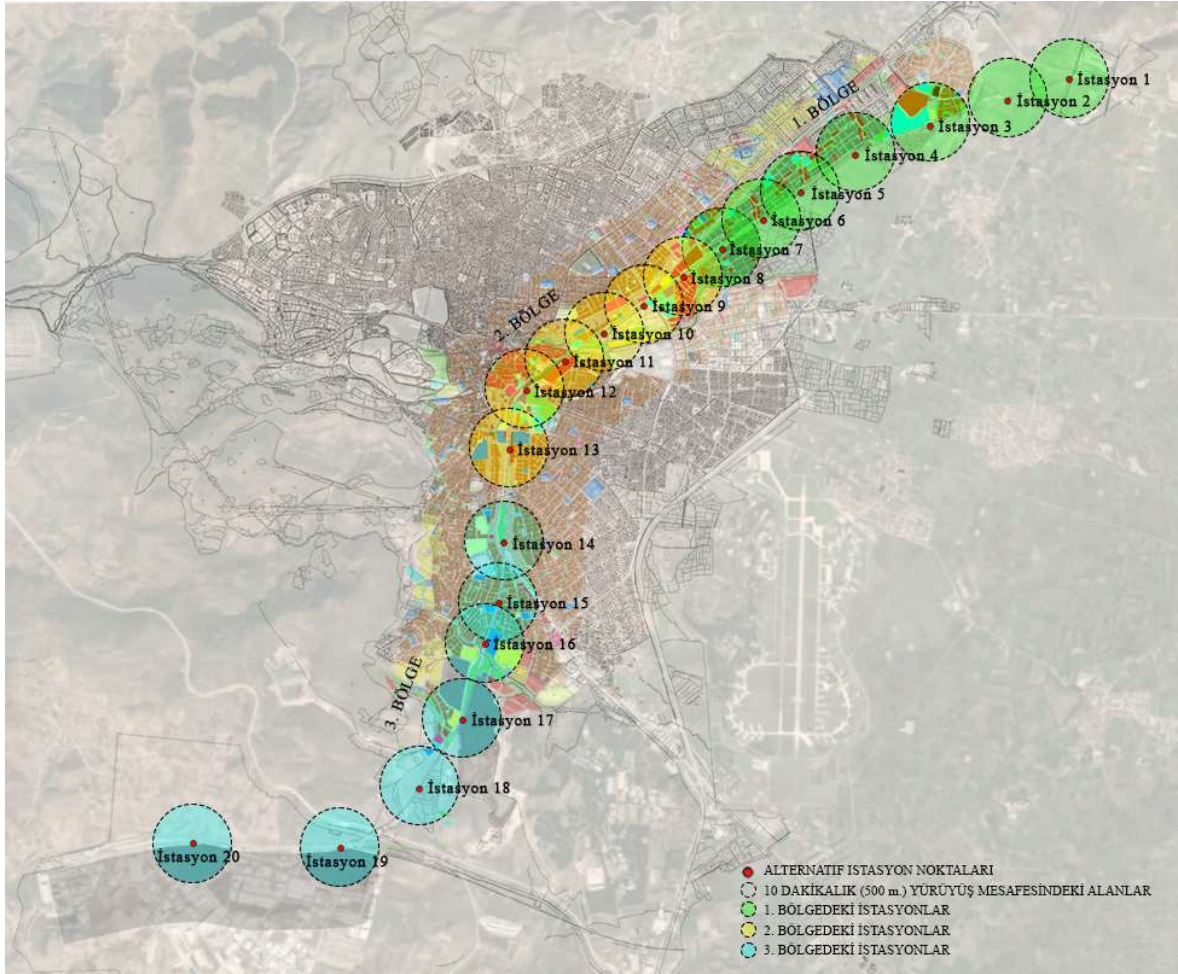
Şekil 3.20: Belirlenen alternatiflerin kent içindeki durumu.



Şekil 3.21: Belirlenen alternatiflerin yakın çevre verileri.

Değerlendirmeler yine DDSS yazılımı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir, ancak, AHP' nin yapısı dolayısıyla alternatif sayısı arttıkça ikili karşılaştırma matrisi çok uzamaktadır.

Toplam 15 alt kriter için 20 alternatifi birbiri ile değerlendirmek çok zorlaştığından ve bu şekilde bir değerlendirme ile, değerlendirmelerin veriminin düşeceği öngörüldüğünden çalışma alanının üç alt bölüme (Şekil 3.22) ayrılmasına karar verilmiştir. Otogar ve küçük sanayi kısmını kapsayan alternatif 1-7 arası 1. Bölge; uygunluğun daha fazla görüldüğü merkez kısımdaki alternatif 8-13 arası 2. Bölge; alternatif 14-20 arası ise 3. Bölge olarak belirlenmiş ve bölgeler kendi içlerinde değerlendirilmiştir. Böylece karşılaştırma matrisi sayısı üçte iki oranında azaltılmış ve alternatif değerlendirmeleri 3 kişilik bir grup tarafından gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.22: Alternatiflerin değerlendirilmesi noktasında belirlenen bölgeler.

Alternatiflerin değerlendirmeler sonunda elde edilen ağırlık değerleri Tablo 4.9'daki gibidir. Burada görüldüğü üzere, en yüksek değeri alan 1. Bölge için 3. İstasyon; 2. Bölge için 12. İstasyon ve 3. Bölge için ise 14. İstasyon olmuştur. Kriterlere göre istasyonların ağırlık değerleri ve tutarlılık oranları ise Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de görülmektedir.

Tablo 3.6: 1. Bölge için kriterlere göre alternatiflerin önem dereceleri ve tutarlılık oranları.

Alternatif İstasyonlar Kriterler	İst. 1	İst. 2	İst. 3	İst. 4	İst. 5	İst. 6	İst. 7	Tutarlılık Oranı
A.1. Konut Alanlarına Yakınlık (0,07)	0	0,007	0,02	0,003	0,003	0,016	0,021	0,01944
A.2. Yurlara ve eğitim kurumlarına yakınlık (0,148)	0	0	0,065	0	0	0	0,083	0,00766
A.3. Kamu kurumlarına yakınlık (0,084)	0	0	0	0,027	0,024	0	0,033	0,00551
A.4. Sağlık birimlerine (hastane vb.) yakınlık (0,158)	0	0	0,093	0	0	0	0,065	0,00903
A.5. Alışveriş merkezleri ve ticari alanlara yakınlık (0,148)	0	0	0	0,027	0,034	0,034	0,054	0,0179
A.6. Sosyal ve spor tesislerine yakınlık (0,099)	0	0	0,044	0,015	0,021	0,015	0,004	0,0348
A.7. Sanayi alanlarına yakınlık (0,089)	0	0	0	0,02	0,019	0,024	0,026	0,01027
A.8. Havaalanı, terminal, gar yapılarına yakınlık (0,139)	0	0	0,139	0	0	0	0	0
A.9. Kent pazarlarına yakınlık (0,055)	0	0	0,055	0	0	0	0	0
A.10. Gelecek projeksiyonunda nüfus yoğunluğunun artacağı öngörülen alanlara yakınlık (0,009)	0,002	0,002	0,003	0,003	0	0	0	0,01462
B.1. Açık/kapalı otoparklara yakınlık (0,175)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0
B.2. Otobüs, minibüs ve taksi duraklarına yakınlık (0,448)	0	0	0,058	0	0	0,185	0,205	0,02203
B.3. Geçiş yardımcılara (yaya geçidi, üst geçit vb.) yakınlık (0,377)	0	0	0,15	0	0	0,227	0	0,20292
C.1. Konfor öğelerine (yeşil alan, rekreasyon / dinlenme alanları vb.) yakınlık (0,398)	0,005	0,014	0,097	0,074	0,073	0,053	0,08	0,01719
C.2. Çekici alanlara (kentteki referans noktası olan öğeler vb.) yakınlık (0,602)	0	0	0,267	0,054	0,054	0,055	0,163	0,01152

Tablo 3.7: 2. Bölge için kriterlere göre alternatiflerin önem dereceleri ve tutarlılık oranları.

Alternatif İstasyonlar Kriterler	İst. 8	İst. 9	İst. 10	İst. 11	İst. 12	İst. 13	Tutarlılık Oranı
A.1. Konut Alanlarına Yakınlık (0,07)	0	0,014	0,009	0,019	0	0,028	0,02602
A.2. Yurlara ve eğitim kurumlarına yakınlık (0,148)	0	0	0,047	0,025	0	0,076	0,02609
A.3. Kamu kurumlarına yakınlık (0,084)	0,008	0,026	0,022	0,002	0,026	0	0,02159
A.4. Sağlık birimlerine (hastane vb.) yakınlık (0,158)	0,021	0,022	0,039	0	0,034	0,042	0,01081
A.5. Alışveriş merkezleri ve ticari alanlara yakınlık (0,148)	0,047	0,016	0	0,035	0,033	0,017	0,04646
A.6. Sosyal ve spor tesislerine yakınlık (0,099)	0,016	0,027	0,009	0,012	0,022	0,013	0,25201
A.7. Sanayi alanlarına yakınlık (0,089)	0,079	0,01	0	0	0	0	0,00969
A.8. Havaalanı, terminal, gar yapılarına yakınlık (0,139)	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0
A.9. Kent pazarlarına yakınlık (0,055)	0	0	0	0,009	0	0,046	0,01333
A.10. Gelecek projeksiyonunda nüfus yoğunluğunun artacağı öngörülen alanlara yakınlık (0,009)	0,003	0,002	0,003	0	0	0	0,01737
B.1. Açık/kapalı otoparklara yakınlık (0,175)	0,026	0,057	0	0	0,082	0,01	0,02942
B.2. Otobüs, minibüs ve taksi duraklarına yakınlık (0,448)	0	0	0	0,22	0,131	0,096	0,02914
B.3. Geçiş yardımcılara (yaya geçidi, üst geçit vb.) yakınlık (0,377)	0,06	0,087	0,005	0,074	0,101	0,051	0,01416
C.1. Konfor öğelerine (yeşil alan, rekreasyon / dinlenme alanları vb.) yakınlık (0,398)	0	0	0,049	0,09	0,259	0	0,01411
C.2. Çekici alanlara (kentteki referans noktası olan öğeler vb.) yakınlık (0,602)	0	0	0	0,216	0,299	0,087	0,0219

Tablo 3.8: 3. Bölge için kriterlere göre alternatiflerin önem dereceleri ve tutarlılık oranları.

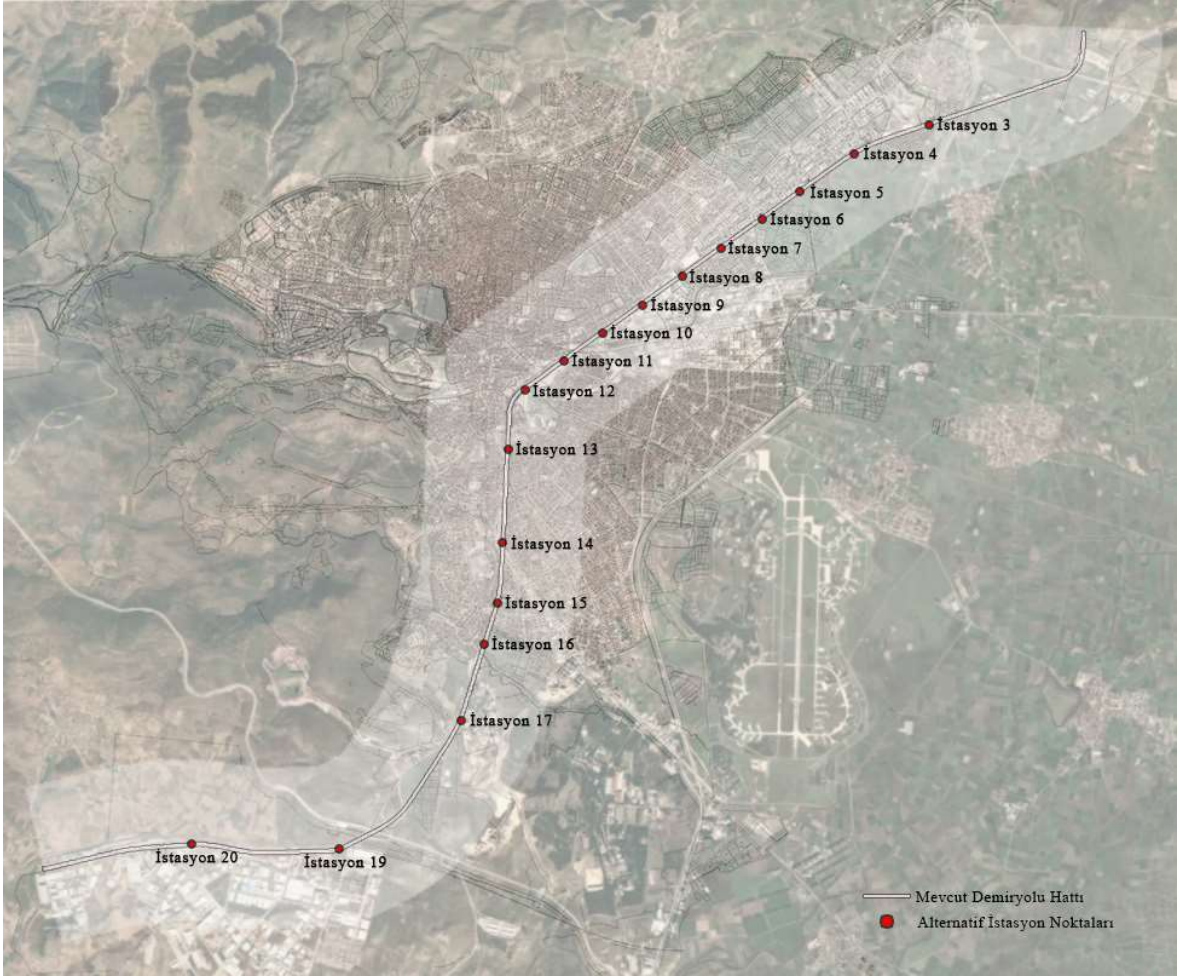
Alternatif İstasyonlar Kriterler	İst. 14	İst. 15	İst. 16	İst. 17	İst. 18	İst. 19	İst. 20	Tutarlılık Oranı
A.1. Konut Alanlarına Yakınlık (0,07)	0,022	0,025	0,015	0,008	0	0	0	0,03541
A.2. Yurtlara ve eğitim kurumlarına yakınlık (0,148)	0,037	0,049	0,05	0	0,012	0	0	0,04862
A.3. Kamu kurumlarına yakınlık (0,084)	0,017	0,017	0,017	0,034	0	0	0	0
A.4. Sağlık birimlerine (hastane vb.) yakınlık (0,158)	0,079	0,052	0,01	0,017	0	0	0	0,017
A.5. Alışveriş merkezleri ve ticari alanlara yakınlık (0,148)	0,063	0,045	0,024	0,015	0	0	0	0,01128
A.6. Sosyal ve spor tesislerine yakınlık (0,099)	0,019	0,035	0,023	0,017	0,004	0	0	0,00906
A.7. Sanayi alanlarına yakınlık (0,089)	0	0	0	0,023	0	0,032	0,034	0,03499
A.8. Havaalanı, terminal, gar yapılarına yakınlık (0,139)	0	0	0	0	0	0,069	0,069	0
A.9. Kent pazarlarına yakınlık (0,055)	0,017	0,025	0,013	0	0	0	0	0,00743
A.10. Gelecek projeksiyonunda nüfus yoğunluğunun artacağı öngörülen alanlara yakınlık (0,009)	0	0	0,005	0,004	0	0	0	0,01949
B.1. Açık/kapalı otoparklara yakınlık (0,175)	0,017	0,017	0,072	0,017	0,017	0,017	0,017	0
B.2. Otobüs, minibüs ve taksi duraklarına yakınlık (0,448)	0,171	0,118	0,088	0,07	0	0	0	0,02777
B.3. Geçiş yardımcılara (yaya geçidi, üst geçit vb.) yakınlık (0,377)	0,102	0,095	0,092	0,011	0,056	0,011	0,011	0,02226
C.1. Konfor öğelerine (yeşil alan, rekreasyon / dinlenme alanları vb.) yakınlık (0,398)	0,142	0,076	0,116	0,064	0	0	0	0,0309
C.2. Çekici alanlara (kentteki referans noktası olan öğeler vb.) yakınlık (0,602)	0,251	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0

Tablolarda da görüldüğü üzere, 1. bölge için B.3. kriterinde (Geçiş yardımcılara yakınlık) ve 2. bölge için A.6. kriterinde (Sosyal ve spor tesislerine yakınlık) tutarlılık oranı 0,1'in üzerinde çıkmıştır. Bu tutarsızlıkların insan tarafından gerçekleştirilen değerlendirmeler dolayısıyla, kişisel yargılar ya da hatalardan oluşmuş olabileceği öngörülmektedir. Diğer değerlendirmeler için tutarlılık oranı 0,1'in altında kalmıştır ve dolayısı ile değerlendirmeler tutarlı olarak kabul edilmiştir. Tablo 3.9'da istasyonların nihai ağırlıkları görülebilmektedir.

Tablo 3.9: Alternatif istasyonlara ait ağırlık değerleri.

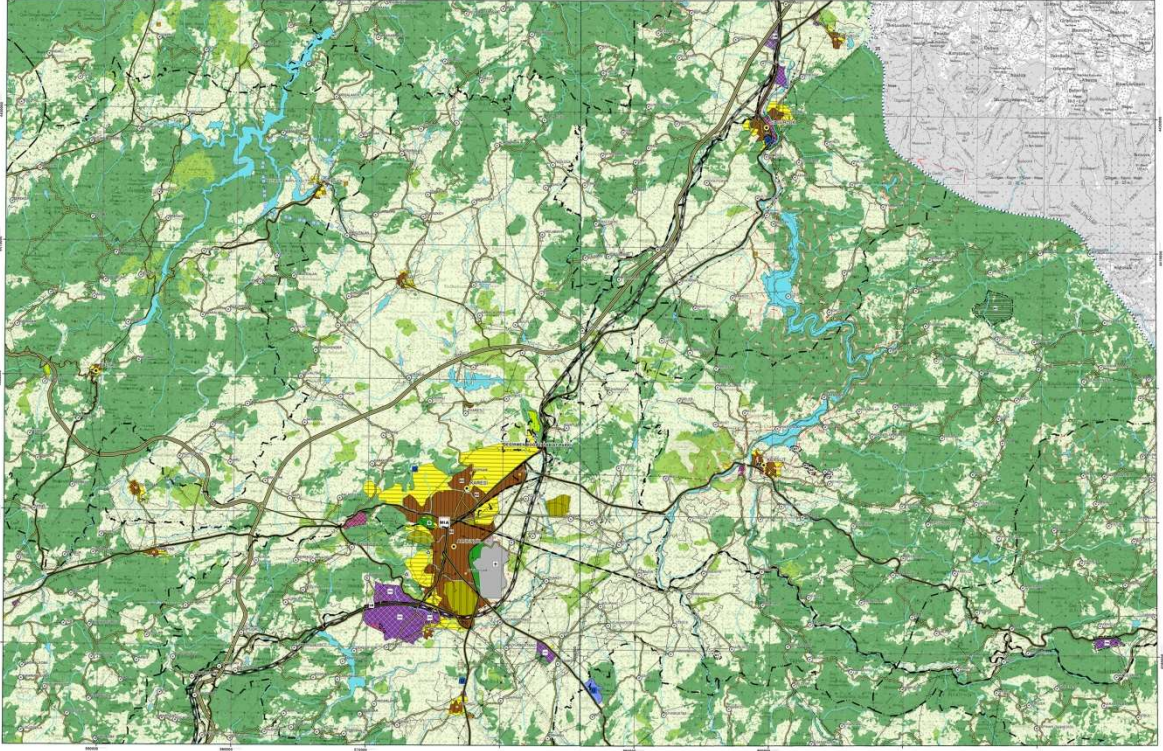
Bölge	İstasyon Adı	Ağırlığı (Önem Derecesi)
1. Bölge	İstasyon 1	0,01
	İstasyon 2	0,01
	İstasyon 3	0,35
	İstasyon 4	0,07
	İstasyon 5	0,08
	İstasyon 6	0,21
	İstasyon 7	0,27
2. Bölge	İstasyon 8	0,15
	İstasyon 9	0,13
	İstasyon 10	0,1
	İstasyon 11	0,19
	İstasyon 12	0,22
	İstasyon 13	0,21
3. Bölge	İstasyon 14	0,27
	İstasyon 15	0,24
	İstasyon 16	0,19
	İstasyon 17	0,11
	İstasyon 18	0,04
	İstasyon 19	0,07
	İstasyon 20	0,08

Bu ağırlık değerlerine göre, 0,05'in altında kalan 1, 2 ve 18. istasyonlar iken; 0,1'in altında kalan ise 4, 5, 19 ve 20. istasyonlar olmuştur. Düşük değer alan alternatiflerin daha çok çevresinde pek yapılaşmanın olmadığı alanlar olduğu göze çarpmaktadır. 2. Bölge daha çok merkezi alanı kapsadığı için değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En düşük değerleri alan (0,05'in altında kalan) İstasyon 1, 2 ve 18 alternatiflerinin ise kaldırılmasına karar verilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda karar verilen toplam 17 adet istasyon noktası Şekil 3.23'deki gibidir.

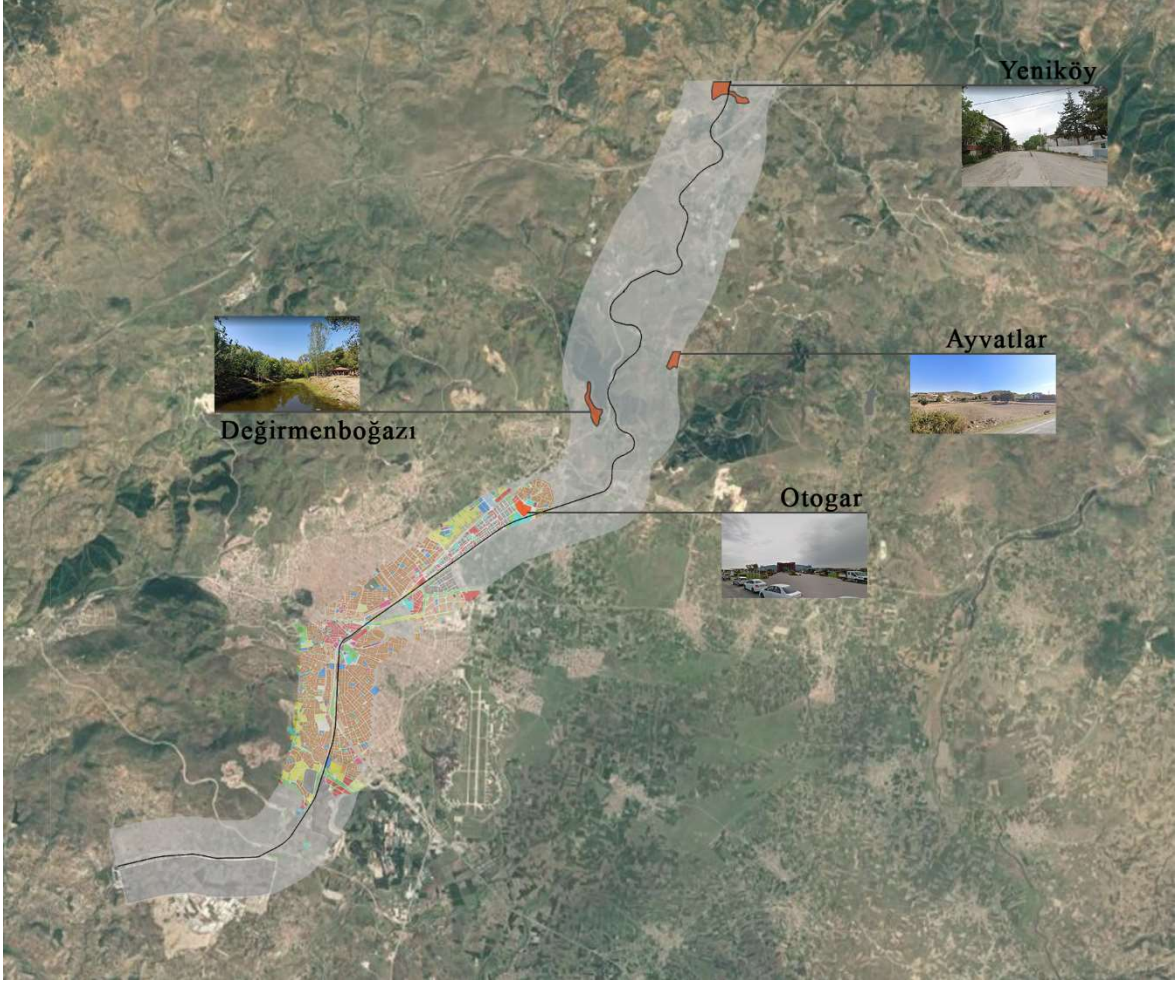


Şekil 3.23: Değerlendirmeler sonrasında elde edilen istasyon noktaları.

Çalışma kapsamında Balıkesir’de 2017 yılında planlanmış olan 1. etap hafif raylı sistem alanı ele alınmıştır. Bu hattın, belediyenin yaptığı planda da olduğu gibi Ayşebacı yakınlarında sonlanacağı düşünülmüştür, ancak Balıkesir Büyükşehir Belediyesi ile yapılan görüşmelerden, Balıkesir’in yeni gar yapısının “Yeniköy” de yapılacağı öğrenilmiştir. Bu bilgiler ışığında “Balıkesir - Çanakkale Planlama Bölgesi 1/100.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı (Şekil 3.24)” incelenerek, hafif raylı sistemin Yeniköy’den başlayarak “Değirmenboğazı” mesire alanına da ulaşımın sağlanacak şekilde bir istasyon yerleştirilmesi ve Otogara kadar daha hızlı bir şekilde ulaşımın sağlanmasının önemli olacağı düşünülmektedir (Şekil 3.25). Bu şekilde, hızlı trenle kurulacak olan ilişki sayesinde çevre illerden geliş gidiş imkanı kolaylaşarak kentin gelişimine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.



Şekil 3.24: Balıkesir - Çanakkale planlama bölgesi 1/100.000 ölçekli çevre düzeni planı (Pafta İ19-İ20).



Şekil 3.25: Otogar ile Yeniköy arasındaki bölge.

3.2.1 Uygunluk Haritası Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Kullanılan uygunluk haritası yöntemi, kent içerisindeki HRS istasyonları için uygun alanları belirleme noktasında veri elde etmemizi sağlamaktadır. Böylece istasyon için uygun veya uygun olmayan alanlar net bir şekilde ortaya çıkmakta ve bu sayede istasyonları yerleştirme noktasında kolaylık sağlanmaktadır. Ancak özellikle alternatiflerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi noktasında bir takım dezavantajları da tespit edilmiştir. Bu dezavantajlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Alternatif istasyon noktaları oluşturulurken, ortaya çıkan uygunluk haritası referans alınarak, yine subjektif fikirlerle karar verilmektedir. Bu durum, karar verme sürecini daha objektif hale getirerek daha doğru sonuçlar elde etmeye odaklanan bu çalışmada çelişki yaratmaktadır.
- Kriter ve alternatif sayısı arttıkça alternatif istasyon noktalarını değerlendirmek için ortaya çıkan ikili matrisler çok fazla olmaktadır ve bu nedenle değerlendirmeleri

gerçekleştirmek fiziki anlamda çok zorlaşmakta ve çok zaman almaktadır. Bu nedenle çalışmada, matrisleri azaltmak için HRS hattı 3 ayrı bölgeye bölünmüştür ve değerlendirici sayısı kriterleri değerlendirirken 5 iken, alternatifleri değerlendirirken 3'e düşürülmüştür.

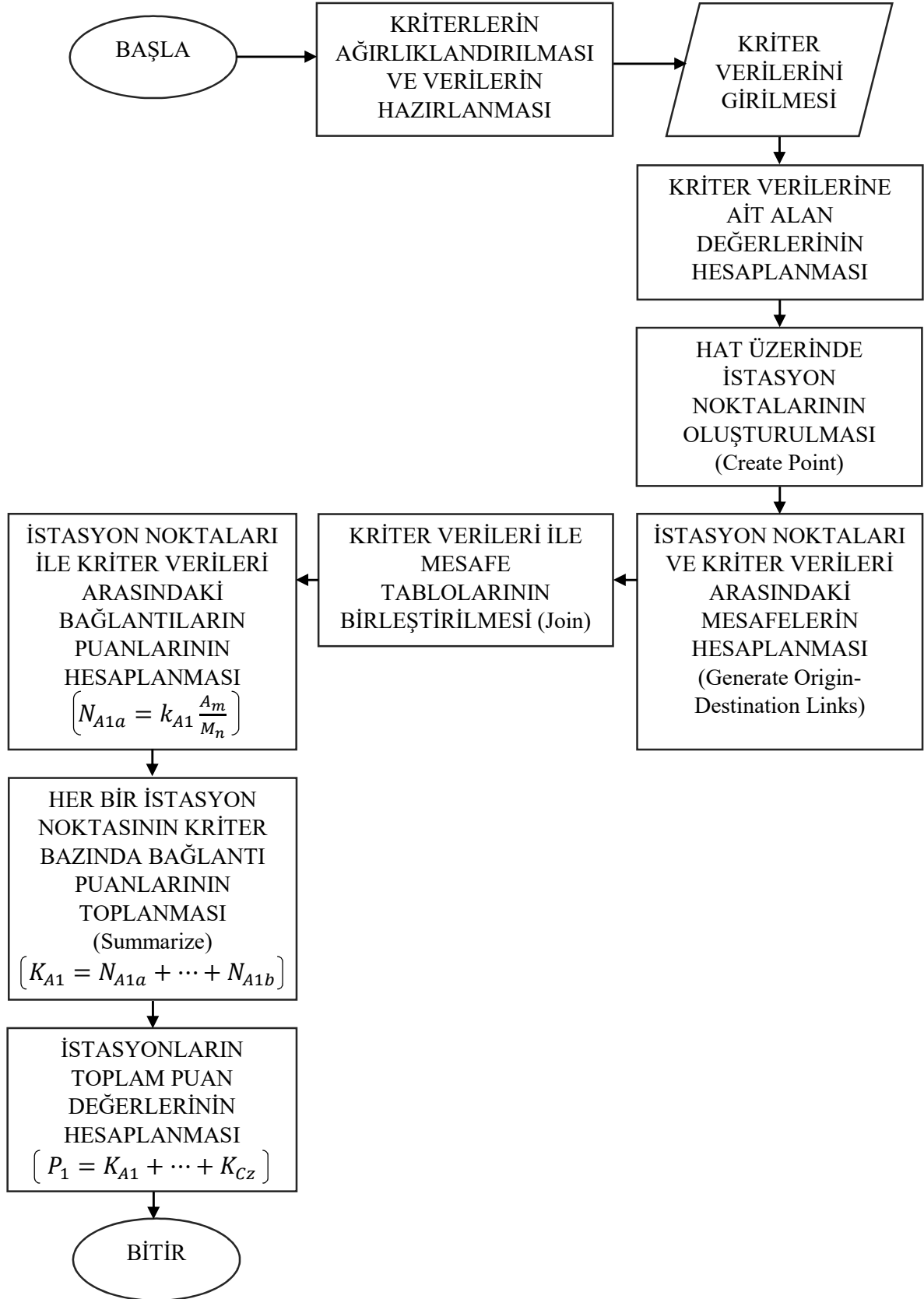
- Değerlendiricilerin bir 'insan' olarak tek tek kriterlere göre alternatif noktaları değerlendirmesi aşamasında, verilerin hepsini bir arada algılayabilmek ve değerlendirmek güçleşmektedir. Bu süreç, istasyon noktalarının kriter verilerine olan uzaklığı ve kriter verilerinin kullanım kapasitesi dikkate alınarak yapıldığından, neredeyse tamamen sayısal bir süreci tariflemekte, ancak değerlendiriciler tarafından bütün verilerin sayısal durumlarının analiz edilebilmesi ve dikkate alınabilmesi mümkün olmadığından, değerlendirmelerin doğruluk oranı da düşmektedir. Bu nedenle çalışmada, uygunluk haritası için istasyonları etkileyecek çevre verileri 1000 m. olarak ele alınmış, ancak alternatifleri değerlendirirken bu veriler 500 m. ile sınırlanmıştır.
- Yapılan insani değerlendirmelerden kaynaklı, değerlendiricilerin gözünden kaçan veriler olabilmekte, ya da işaretlemelerde hatalar yapılabilmektedir. Bu nedenle tutarlılık oranı yüksek çıkabilmekte veya sonuçlarda hatalı noktalar oluşabilmektedir.

Literatür incelendiğinde, farklı konularda yer tespiti ile ilgili AHP yöntemi ve GIS tekniklerinin bir arada kullanıldığını görebilmekteyiz. Ancak birçok çalışmada da görülmüştür ki, kriter ağırlıkları neticesinde belirlenen uygunluk haritası üzerinde istenilen noktaların / alanların tespiti için uygun alanlarda manuel olarak bir tercih yapılmak durumunda kalınmaktadır (Kılıç vd., 2022). Bu çalışmalarda, kriterlere göre uygun alanlar görülebilmekte, ancak yer seçimleri yine bireysel kararlara dayanmaktadır. Örneğin, Karipoğlu vd. (2022) yaptıkları çalışmada, güneş enerjili hidrojen yakıt şarj istasyonu seçiminde CBS ile en uygun alanları tespit etmişler ve sonrasında uygun alanlarla ilgili tespitlerde bulunmuşlardır. Kabak vd. (2018) de İzmir Karşıyaka'daki bisiklet paylaşım sistemi için istasyon noktalarını CBS tabanlı çok kriterli karar verme yöntemiyle belirlemeye çalışmışlar ve uygunluk haritasının oluşturulmasının ardından, uygun alanlar içerisine belirli aralıklar korunarak 10 adet istasyon noktasını manuel olarak tespit etmişlerdir. Kılıç vd. (2023) ise bir eko-köy tasarımı için Erzincan ilinde uygunluk haritası oluşturmuşlar, ancak köyün yapılacağı yeri uygun alanlar içerisinden manuel olarak belirlemişlerdir. Yine Kaya vd. (2022) de elektrikli araba paylaşım istasyonlarının yer

seçimi için CBS tabanlı çok kriterli bir karar verme yaklaşımı kullanmışlardır. Ancak çalışmada, yine uygunluk haritası elde edildikten sonra alternatif istasyon noktalarının belirli mesafelerde manuel olarak atandığı görülmektedir. Benzer şekilde Nyimbili ve Erden (2020) de çalışmalarında İstanbul'da itfaiye istasyonlarının yer seçimi ile ilgili bulanık AHP ve GIS yöntemlerini bir arada kullanmışlardır. İtfaiye istasyonları için uygunluk haritasını oluşturduktan sonraki aşamada, öneri istasyon noktalarını uygun alanlara manuel olarak atadıkları anlaşılmaktadır. Görüldüğü gibi literatürde de birçok çalışmada farklı konularda, farklı yöntemlerle uygun alanların belirlenmesi gerçekleştirilebilmekte, ancak uygun alanlar arasında yer seçimi yapma noktasında yine kişisel tespitlere başvurulmaktadır. Bu noktadaki kısıtlılığa bir çözüm sunabilmek için, çalışmada ArcGIS Pro ve python yardımı ile, en uygun istasyon noktalarının yerlerinin belirlenmesi aşamasını daha sistematik ve sübjektif yargılardan uzak bir şekilde gerçekleştirebilen bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Yer tespiti problemlerine yeni bir yaklaşım getiren bu model ilerleyen bölümlerde sunulmaktadır. Bu model sayesinde makinenin kapasitesini kullanarak, hem daha doğru (tutarlı) sonuçlar elde edilebilmekte, hem de süreç sübjektif yargılardan bağımsız, daha sistematik bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Böylece, karar vericilere hızlı ve veriye dayalı bir çözüm sunulabilmektedir.

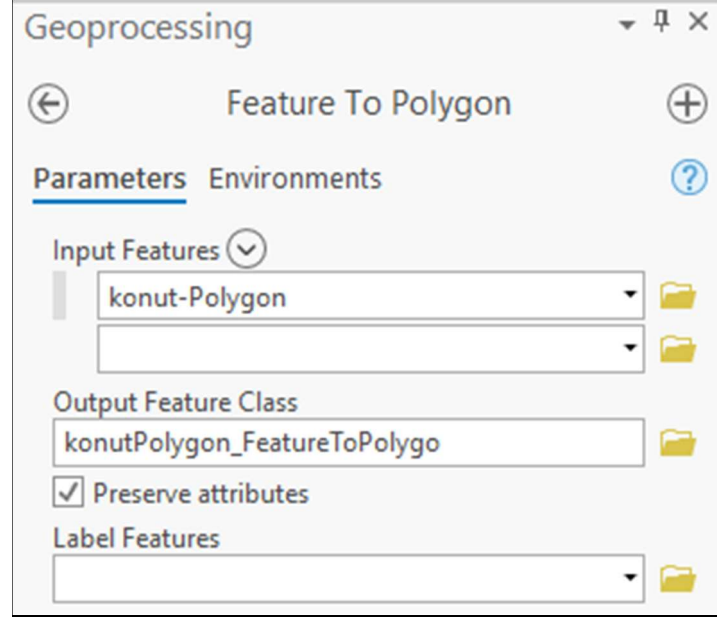
3.3 Alternatif İstasyon Noktalarının Uygunluk Puanlarının Hesaplanması

Kriterlerin belirlenerek ağırlıklandırılmasının ardından, geliştirilen karar destek modelinin ikinci aşamasını oluşturan, alternatif istasyon noktalarının uygunluk puanlarının tespit edilmesi ile ilgili geliştirilen algoritma aşağıdaki gibidir.



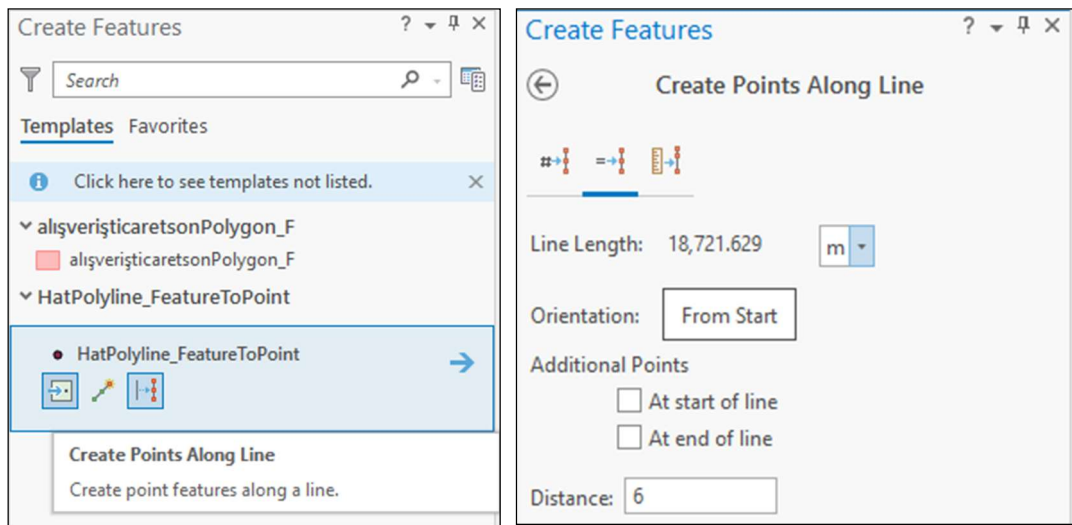
Şekil 3.26: Uygunluk puanlarının hesaplanma algoritması.

Bu aşamada ilk olarak, bulanık AHP yardımıyla ağırlıklandırmaları elde edilmiş olan kriterlere ait veriler, vektör veri olarak ArcGIS Pro'ya girilmiştir. Daha sonra ise her bir kriter verisi çokgene (polygon) dönüştürülerek (Şekil 3.27), bu çokgenlerin alanları hesaplatılmıştır.



Şekil 3.27: Kriter verilerini çokgene (polygon) dönüştürme.

Bütün kriterler için aynı işlemler gerçekleştirildikten sonra, ele alınan hat üzerinde istasyon noktalarını oluşturmak için, 6 m. aralıklı olacak şekilde toplam 3120 nokta tanımlanmıştır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28: Hat üzerinde noktaları oluşturma.

Oluşturulan noktaların uygunluğunu tanımlayabilmek amacıyla, oluşturulan bütün noktalar için bir puanlama yapılmıştır. Bu puanlar P_1, P_2, \dots, P_n olarak ifade edilmiş olup, aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$P_1 = K_{A1} + K_{A2} + \dots + K_{Ax} + K_{B1} + \dots + K_{By} + K_{C1} + \dots + K_{Cz} \quad (3.3)$$

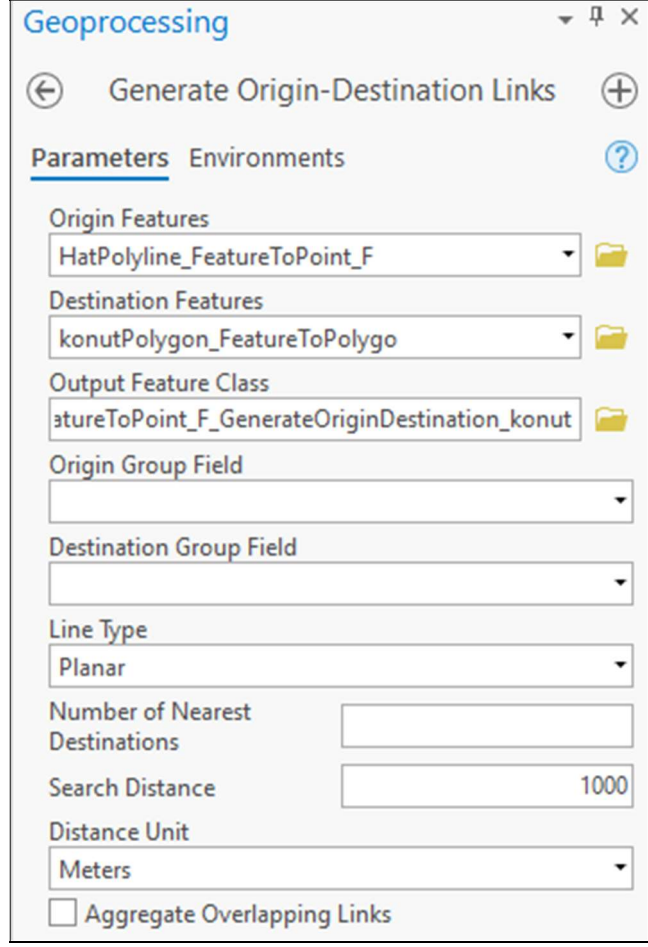
Yukarıdaki formüldeki K_{A1} değeri 1. nokta için 1000 m. çevresindeki A1 kriterine ait bütün bağlantılarının puanının toplamını ifade etmektedir. Bütün kriterlere ait K puanlarının toplanması ile her bir noktanın aldığı P değeri hesaplanmaktadır. Aşağıda da görüldüğü gibi A1 kriterine ait a 'ncı bağlantıdan b 'inci bağlantıya kadar olan bütün puanların toplamı K_{A1} değerini oluşturmaktadır.

$$K_{A1} = N_{A1a} + \dots + N_{A1b} \quad (3.4)$$

Buradaki N_{A1a} değeri ise, her bir noktanın A1 kriterine ait çokgenler ile olan bağlantılarının puanını ifade etmektedir. Bu değer ise aşağıda görüldüğü gibi, A1 kriterinin ağırlık katsayısı (k_{A1}) ve bağlantının kurulduğu çokgenin alanının (A_n) çarpılarak istasyon noktasına olan uzaklığına (M_n) bölünmesiyle elde edilmektedir. Bu noktada n , ilgili kriterine ait çokgenin numarasını (ID) ifade etmektedir.

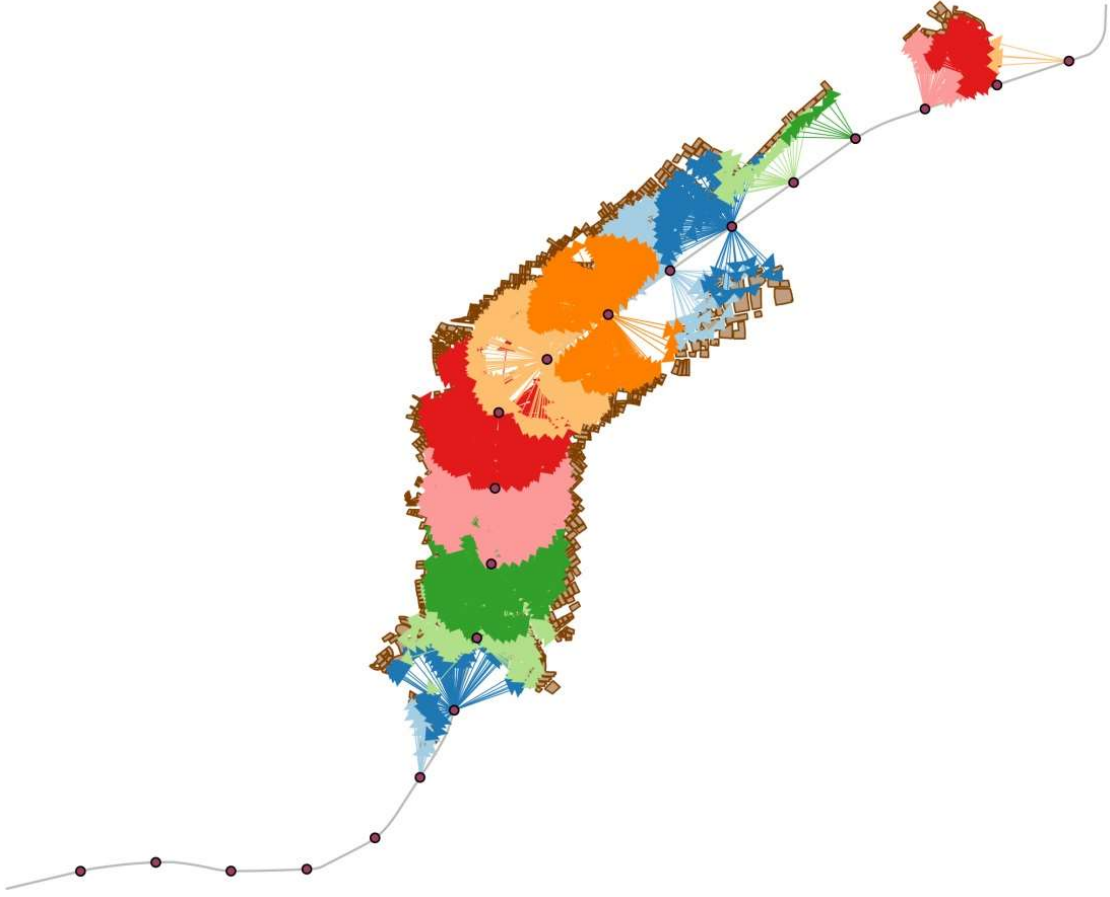
$$N_{A1a} = k_{A1} \frac{A_n}{M_n} \quad (3.5)$$

En uygun noktaları belirlemeyi sağlayacak olan P değerlerini hesaplamak için öncelikle, noktalar ile o noktanın 1000 m. yakınındaki kriterlere ait verilerin (çokgenlerin) orta noktalarına olan uzaklıkları, "Generate Origin-Destination Links" analizi ile hesaplanmıştır (Şekil 3.29).



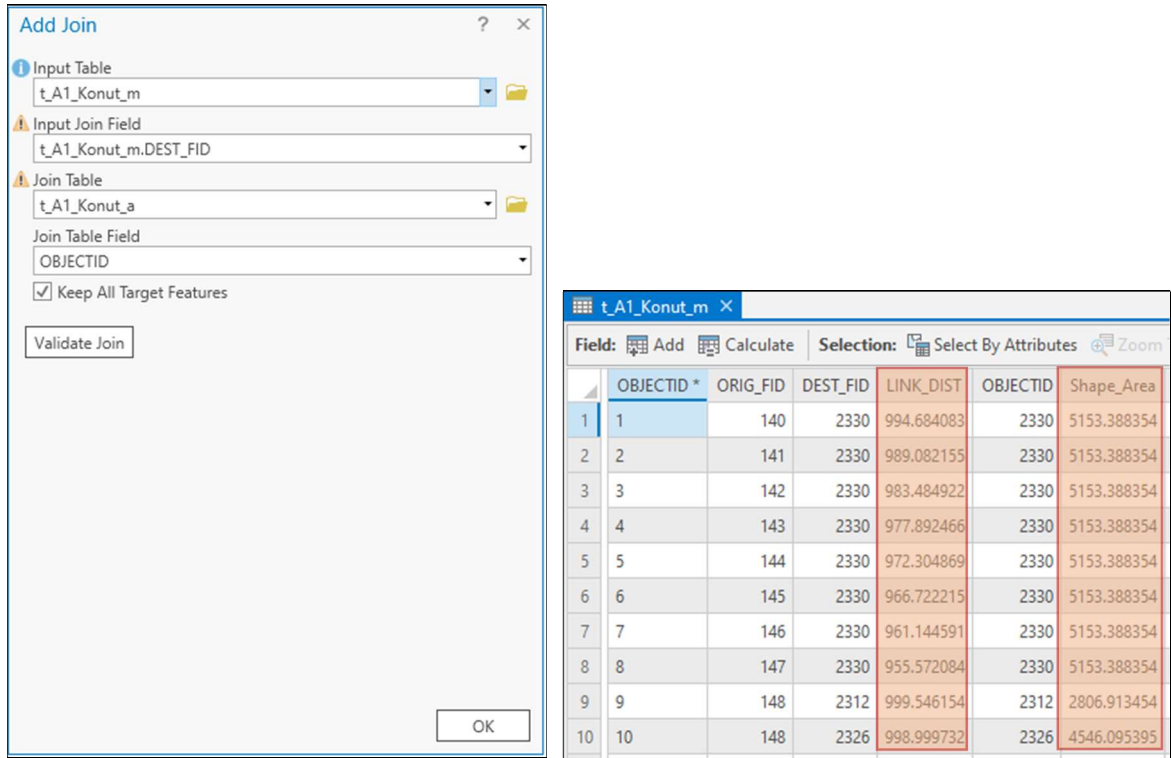
Şekil 3.29: Noktalar ile kriter verileri arasındaki bağlantıların oluşturulması.

Şekil 3.30’de görülen bağlantılar yalnızca bir kriter için, 20 nokta üzerinden yapılan bir deneme analizidir. Çalışmada her bir kriter için 3120 nokta üzerinde aynı analiz gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.30: Noktalar ile kriter verileri arasındaki bağlantılar (20 nokta ile yapılan deneme).

Noktalar ile veriler arasındaki bağlantılar oluşturulduktan sonra, kriter verilerine ait öz nitelik tabloları (attributes) ve bu bağlantılara ait öz nitelik tabloları dışa aktararak (export), ayrı birer katman olarak program üzerine eklenmişlerdir. Böylece ana veriler korunarak, ilgili tablolarda gereksiz alanlar silinmiştir. Bu aşamadan sonra, kriter verilerine ait öznitelikler tablosu ile bağlantıların oluşturulduğu öznitelikler tabloları birleştirilmiş (join) ve böylece kriter verilerine ait alanlar ve bağlantılara ait mesafeler aynı tabloya getirilmiştir (Şekil 3.31).

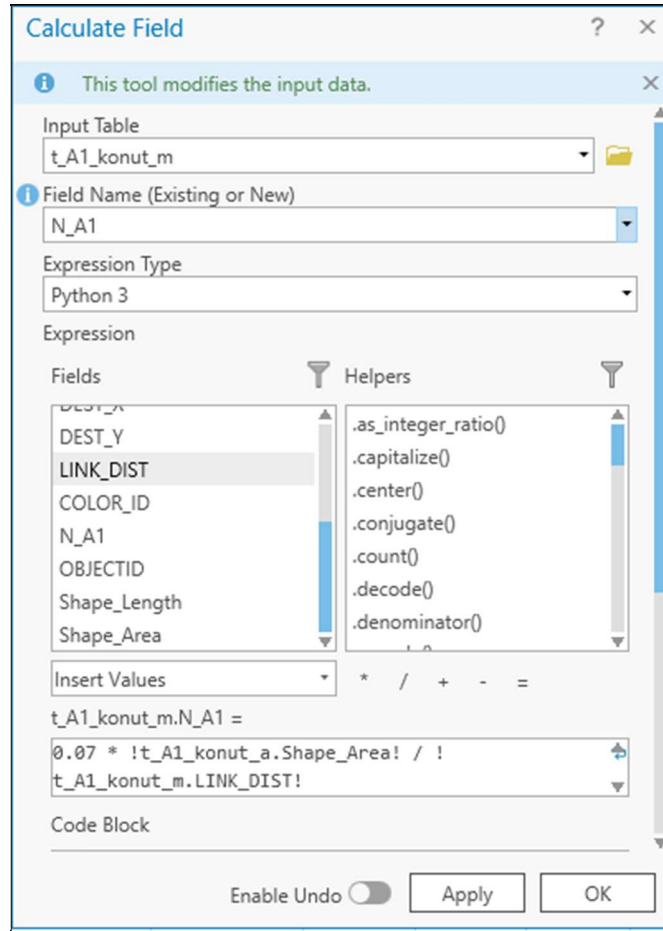


Şekil 3.31: Bağlantı ve kriter verilerinin tablolarını birleştirme.

Birleştirilen yeni tabloda yeni sütun (field) açılarak (Şekil 3.32), istasyon noktalarının o kriterle ait puan değerleri (N_{A1a}) hesaplanmıştır (Formül 4.3). Şekil 3.33’de de görüldüğü gibi N değerleri, kriterin ağırlık katsayısının, bağlantının kurulduğu çokgenin alanı ile çarpılması ve nokta ile çokgen arasındaki mesafeye bölünmesiyle elde edilmektedir (Şekil 3.34).

Visible	Read Only	Field Name	Alias	Data Type	Allow NULL	Highlight	Number Format	Domain	Default	Length
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	OBJECTID	OBJECTID	Object ID	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ORIG_FID	ORIG_FID	Long	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEST_FID	DEST_FID	Long	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LINK_DIST	LINK_DIST	Double	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	t_A1_Konut_a.OBJECTID	OBJECTID	Long	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	t_A1_Konut_a.Shape_Area	Shape_Area	Double	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N_A1	N_A1	Double	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	K_A1	K_A1	Double	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			

Şekil 3.32: Tabloda yeni alan tanımlama (N_A1).



Şekil 3.33: A1 (Konut alanlarına yakınlık) kriterine göre N değerlerinin hesaplanması.

	OBJECTID *	ORIG_FID	DEST_FID	LINK_DIST	OBJECTID	Shape_Area	N_A1
1	1	140	2330	994.684083	2330	5153.388354	0.223402
2	2	141	2330	989.082155	2330	5153.388354	0.224667
3	3	142	2330	983.484922	2330	5153.388354	0.225946
4	4	143	2330	977.892466	2330	5153.388354	0.227238
5	5	144	2330	972.304869	2330	5153.388354	0.228544
6	6	145	2330	966.722215	2330	5153.388354	0.229863
7	7	146	2330	961.144591	2330	5153.388354	0.231197
8	8	147	2330	955.572084	2330	5153.388354	0.232546
9	9	148	2312	999.546154	2312	2806.913454	0.121089
10	10	148	2326	998.999732	2326	4546.095395	0.196224

Şekil 3.34: N_A1 değerleri.

Oluşan tabloda “summarize” işlevi kullanılarak, her bir istasyon noktasına göre kritere ait toplam puan değerlerini (K_{A1}) hesaplayıp (Şekil 3.35), bu verilerle yeni bir tablo oluşturulmuştur.

Summary Statistics

Input Table
t_A1_Konut_m

Output Table
t_A1_Konut_m_Statistics1

Statistics Field(s)

Field	Statistic Type
t_A1_Konut_m.N_A1	Sum

Case field

K_A1
t_A1_Konut_m.ORIG_FID

OK

Şekil 3.35: Her bir istasyon için bağlantı değerlerinin (N) toplanması.

	OBJECTID *	K_A1	ORIG_FID	FREQUENCY	SUM_t_A1_Konut_m.N_A1
1	1	<Null>	140	1	0.223402
2	2	<Null>	141	1	0.224667
3	3	<Null>	142	1	0.225946
4	4	<Null>	143	1	0.227238
5	5	<Null>	144	1	0.228544
6	6	<Null>	145	1	0.229863
7	7	<Null>	146	1	0.231197
8	8	<Null>	147	1	0.232546
9	9	<Null>	148	4	0.803997
10	10	<Null>	149	4	0.808463

Şekil 3.36: Her bir istasyon için bağlantı değerlerinin (N) toplanması.

Şekil 3.36’da da gördüğümüz gibi 140-147 arası noktalar için birer bağlantı mevcutken, 148 ve 149. noktalar için 4’er tane bağlantı bulunmaktadır. İşaretli alanda ise bu bağlantıların puanlarının toplamı mevcuttur.

Her kriter için N değerleri toplanarak K değerlerinin hesaplandığı bu yeni tablolar oluşturulmuştur. Şekil 3.36’daki tabloda K değerleri “SUM_t_A1_Konut_m.N_A1” (Konut kriterine göre oluşan bağlantı puanlarının toplamı) olarak görünmektedir. Daha sonra alternatif istasyon noktalarının bulunduğu katmanın öznelik tablosuna, bütün kriterler için ayrı ayrı oluşturulan K değerleri eklenmiştir (join) (Şekil 3.37).

	OBJECTID *	OBJECTID	K_A1	ORIG_FID	FREQUENCY	SUM_t_A1_Konut_m.N_A1	OBJECTID	K_A2	ORIG_FID	FREQUENCY	SUM_t_A2_Yurt.N_A2
662	515	376	<Null>	515	25	5.092805	347	<Null>	515	6	12.085064
663	516	377	<Null>	516	23	4.723668	348	<Null>	516	6	12.1133
664	517	378	<Null>	517	22	4.578593	349	<Null>	517	6	12.141071
665	518	379	<Null>	518	21	4.347316	350	<Null>	518	6	12.168365
666	519	380	<Null>	519	20	4.182637	351	<Null>	519	6	12.195168
667	520	381	<Null>	520	20	4.173303	352	<Null>	520	6	12.221467
668	521	382	<Null>	521	19	3.890842	353	<Null>	521	6	12.247248
669	522	383	<Null>	522	19	3.883388	354	<Null>	522	6	12.272499
670	523	384	<Null>	523	18	3.672016	355	<Null>	523	5	11.83822
671	524	385	<Null>	524	18	3.665546	356	<Null>	524	5	11.864639
672	525	386	<Null>	525	17	3.565695	357	<Null>	525	5	11.890473
673	526	387	<Null>	526	17	3.560027	358	<Null>	526	5	11.915712
674	527	388	<Null>	527	17	3.554476	359	<Null>	527	5	11.940341
675	528	389	<Null>	528	17	3.549039	360	<Null>	528	5	11.964347

Şekil 3.37: Her bir istasyon için K değerlerinin aynı tabloda birleştirilmesi.

Ortaya çıkan tabloda, alternatif istasyon noktasına karşılık gelen bağlantı yoksa (yani K değeri oluşmamışsa) bu alanlar tanımsız (null) görünmektedir. Hesaplamalarda çıkacak sorunu engellemek için Şekil 3.38’deki “if else” yapısı kullanılarak mevcut alanlar tekrar hesaplanmış, ve bu alanlar “0” a dönüştürülmüştür.

Calculate Field ? x

This tool modifies the input data. x

Field Name (Existing or New)
t_A1_Konut_m_Statistics.SUM_t_A1_Konut_m_N_A1

Field Type
Text

Expression Type
Python 3

Expression

Fields

- OBJECTID
- P_Toplam_Puan
- OBJECTID
- K_A1
- ORIG_FID
- FREQUENCY
- SUM_t_A1_Konut_m.N_A1

Helpers

- .as_integer_ratio()
- .capitalize()
- .center()
- .conjugate()
- .count()
- .decode()
- .denominator()

Insert Values

t_A1_Konut_m_Statistics.SUM_t_A1_Konut_m_N_A1 =

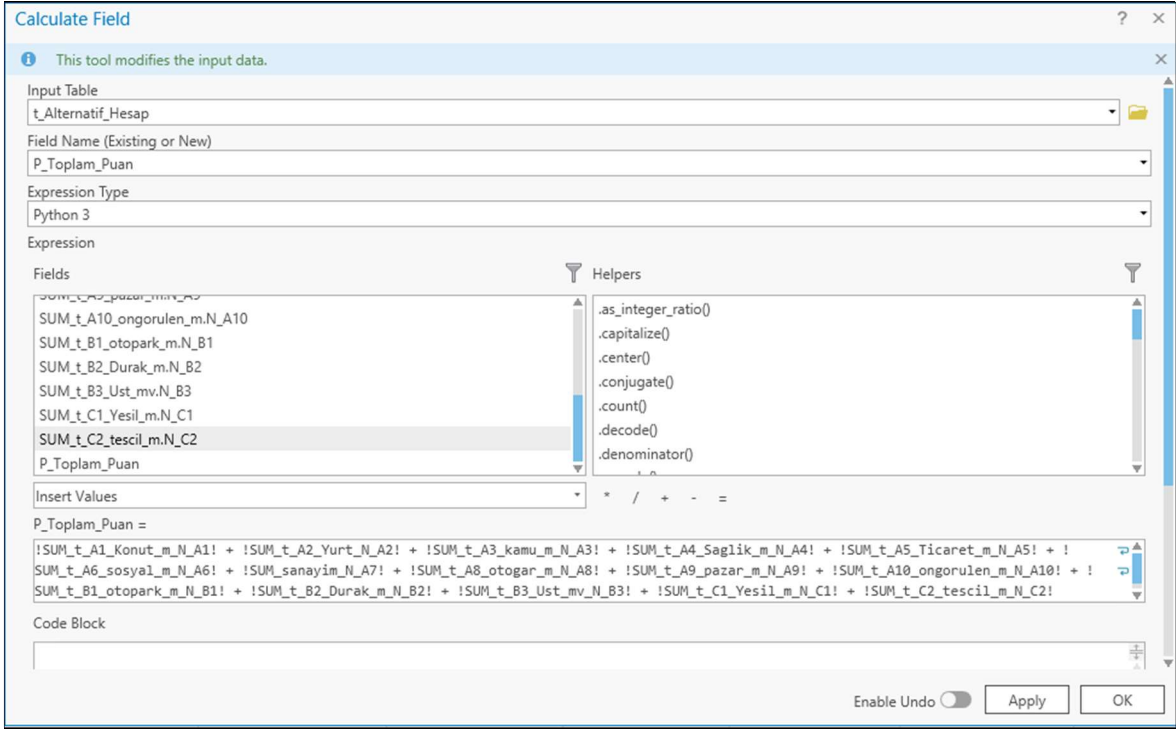
`0 if !t_A1_Konut_m_Statistics.SUM_t_A1_Konut_m_N_A1! is None else !t_A1_Konut_m_Statistics.SUM_t_A1_Konut_m_N_A1!`

Code Block

Enable Undo Apply OK

Şekil 3.38: Tanımsız alanların 0’a dönüştürülmesi.

Bu aşamadan sonra, tabloda yeni alan açılarak, bu alanda bütün noktalar için oluşturulmuş olan K değerleri toplanıp, noktaların nihai puanları (P) hesaplanmıştır (Formül 4.1) (Şekil 3.39).



Şekil 3.39: K değerlerinin toplanması.

	JM_t_A9_pazar_m_N_A9	SUM_t_A10_ongorulen_m_N_A10	SUM_t_B1_otopark_m_N_B1	SUM_t_B2_Durak_m_N_B2	SUM_t_B3_Ust_mv_N_B3	SUM_t_C1_Yesil_m_N_C1	SUM_t_C2_tescil_m_N_C2	P_Toplam_Puan
1016	0	0.776271	2.458843	0.42036	0.046931	6.537511	2.402284	215.818492
1017	0	0.775549	2.415343	0.434496	0.04817	6.493133	2.407944	213.813436
1018	0	0.774904	2.373322	0.424542	0.049501	6.463047	2.413531	213.86813
1019	0	0.774332	2.332708	0.426169	0.050935	6.427482	2.419045	213.659965
1020	0	0.773828	2.293434	0.435989	0.052482	6.401039	2.424482	213.513103
1021	0	0.773391	2.255434	0.448836	0.060557	6.378812	2.429841	212.893892
1022	0	0.773015	2.21865	0.44941	0.062407	6.360185	2.435121	213.19508
1023	1.049084	0.578283	0	2.336687	0.034055	9.226713	3.743616	192.473074
1024	1.054935	0.573554	0	2.351306	0.034199	9.778001	3.748637	191.653402
1025	1.060814	0.568743	0	2.366083	0.03436	10.206378	3.753828	192.678355
1026	1.06672	0.563861	0	2.38103	0.034537	10.216629	3.757307	193.795113
1027	1.072651	0.558918	0	2.416679	0.034732	9.851906	3.767348	195.189578
1028	1.078608	0.553925	0	2.420194	0.034945	9.416489	3.774376	195.179791
1029	1.084589	0.548892	0	2.435889	0.035176	8.982707	3.778186	195.030564

Şekil 3.40: P değerlerinin elde edilmesi.

Böylece Şekil 3.40'da da görüldüğü gibi, HRS hattı üzerindeki her 6 m. ye karşılık gelen nokta için bir uygunluk puanı (P) oluşturulmuştur.

3.4 En Uygun İstasyon Noktalarının Seçilmesi

Uygunluk puanları elde edildikten sonra, en uygun noktaların optimum mesafelerde yerleştirilmesi için phytonda bir kod bloğu (Ek A) yazılarak ArcGIS üzerinde çalıştırılmıştır.

Bu noktada ilk olarak, Balıkesir Büyükşehir Belediyesi ile de yapılan görüşmeler ışığında, planlanan hızlı trenin Yeniköy istasyonundan otogara kadar banliyö treni gibi daha hızlı bir sistemle ulaşımın sağlanacağı varsayılarak, ilk HRS istasyonu hattın otogara yakın bir noktada olacağı kabul edilmiştir. Bu varsayıma göre model, ilk olarak hattın bütününde çalıştırılmış ve otogar çevresindeki puanı en yüksek olarak elde edilen nokta ilk istasyon noktası olarak ele alınmıştır.

İlk noktanın belirlenmesinin ardından, daha önce de bahsedildiği gibi ortalama HRS istasyonları arası mesafe 600 - 1200 m. olarak ele alınmıştır. Bu noktada, 300 m.'nin rahat yürünebilir bir mesafe olarak kabul edilmesinden dolayı iki istasyon noktası arasının minimum 600 m. olması öngörülmüştür. İki istasyon arası mesafenin 1200 m.'nin üstüne çıkması ile ise, istasyonlardan birine ulaşım için yürüme mesafesinin 600 m.'nin üzerinde olması dolayısıyla ulaşımın zorlaşacağı kabul edilmiştir.

Bu doğrultuda geliştirilen algoritmanın puanı çok düşük olan (kentsel yerleşim dışında kalan) alanları seçim yapmadan geçebilmesi için bir alt puan sınırı belirlemek gerekmektedir. Bu sınır değerini belirleyebilmek için öncelikli olarak noktaların genel puan dağılımları incelenmiştir (Şekil 3.41).



Şekil 3.41: P değerlerinin dağılımı.

Şekil 4.16’da P değerlerine (her bir nokta için uygunluk puanı) bakıldığında, 0-20, 80-125 ve 195-275 puan aralıklarında yoğunlaşmalar olduğu görülmektedir. 20-80 ve 125-195 aralığında puan alan nokta sayısının çok fazla olmadığı anlaşılmaktadır. Bu dağılımın ortaya konmasından sonra, seçim için alt puan sınırı 0, 40, 60, 80, 100, 120 ve 160 olacak şekilde model çalıştırılarak denemeler yapılmıştır.

Tablo 3.10: Minimum uygunluk puanlarına göre seçilen istasyon noktaları.

		Minimum Uygunluk Puanı						
		0	40	60	80	100	120	160
Seçilen İstasyonların ID'leri	175	175						
	303	303	303	303	303	303		
	426	426	426	426	426	426		
	625	625	625	625	625	625		
	804	804	804	804	804	804	804	
	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003	1003
	1174	1174	1174	1174	1174	1174	1174	1174
	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1367
	1467	1467	1467	1467	1467	1467	1467	1467
	1653	1653	1653	1653	1653	1653	1653	1653
	1753	1753	1753	1753	1753	1753	1753	1753
	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861	1861
	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015
	2115	2115	2115	2115	2115	2115	2115	
	2237	2237	2237	2237	2237	2237		
	2436	2436	2436	2536				
	2613	2613	2613	2684	2613	2684		
	2794	2794	2794	2794	2794			
	2894	2894	2894	2894				
	3003	3003	3003	3003				
3103	3103	3103	3103					

Tablo 3.10 incelendiğinde, alt puan sınırı 80’e kadar olan denemelerde seçilen istasyon noktalarında fazla bir değişiklik olmadığı, 80’den sonra ise farklılaşmalar / eksilmeler olduğu görülmektedir. Dolayısı ile 80 değerinin alt limit olarak alınması uygun bulunmuştur. Böylece, P değeri 80’in altında kalan noktalar, kullanımının olmadığı alanlarda istasyon noktası çıkmaması için, seçim dışında tutulmuştur. Bu kabuller üzerine, ilk istasyondan sonraki ikinci istasyon noktasının tespiti için ArcGIS üzerinde ilk noktadan itibaren 600 - 1200 m. aralığındaki en yüksek puanlı noktanın seçilmesi sağlanmıştır. Devamında ise, seçilen noktadan itibaren yine 600 - 1200 m. aralığındaki uygunluk puanı en yüksek olan noktanın seçilmesi sağlanmıştır. Bu şekilde hat bitimine kadar aynı işlemler

devam etmiştir. Bir istasyon noktasından sonraki 600 - 1200 m. aralığında 80'in üstünde puanı olan nokta yoksa, bir sonraki 600 m.'lik aralıktaki en yüksek puanlı nokta seçilmiştir. Böylece seçilen toplam 21 noktanın ID'leri ve puanları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

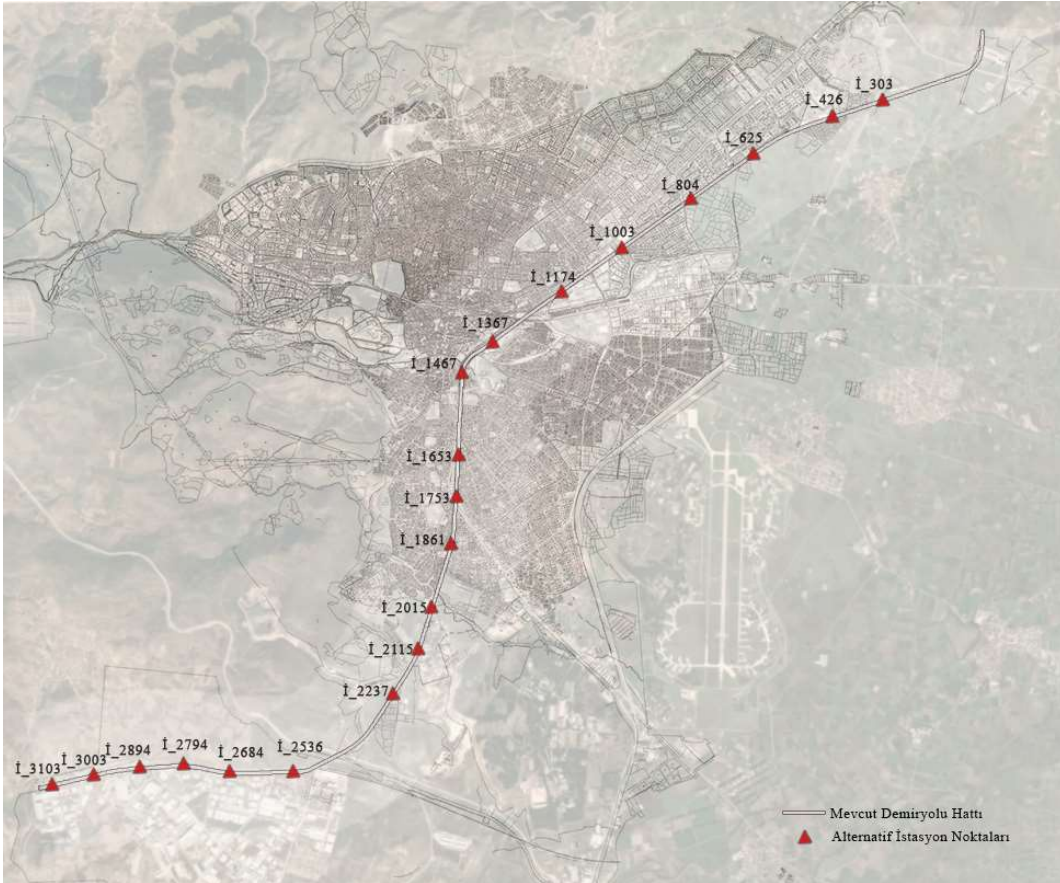
Tablo 3.11: Model tarafından en uygun bulunan istasyon noktaları.

Seçilen İstasyonun ID'si	Seçilen İstasyonun Puanı
303	127,8073916
426	137,8113968
625	129,6505491
804	246,0415674
1003	217,1365117
1174	275,2292482
1367	284,4131029
1467	244,6141521
1653	270,9594206
1753	224,7586816
1861	229,4379594
2015	205,7388885
2115	128,3156869
2237	113,5487675
2536	99,24654471
2684	122,5572173
2794	111,3323352
2894	95,99232932
3003	89,06999848
3103	82,31617600

Noktaların tespitinin ardından, Şekil 3.42'de de görüldüğü gibi, ortalama puanları 80 civarında olan OSB bölgesinde seçilen noktaların sıklığı oldukça fazlayken, ortalama puanları 200'ün üzerinde olan merkez bölgesinde ise seçilen istasyon aralıklarının 1200'e kadar yaklaştığı görülmektedir. Bu durumun tespiti üzerine, daha doğru bir yaklaşım sergilemek adına, bölgenin ortalama puanına göre istasyon aralıklarının özelleşmesi gerektiği görülmüştür. Böylece kodlarda revizyon (Ek B) yapılarak, incelenen aralığın ortalama puan değerine göre, seçimin farklı aralıklarda yapılması sağlanmıştır. Bunun için aşağıdaki koşullar geliştirilen modele eklenmiştir:

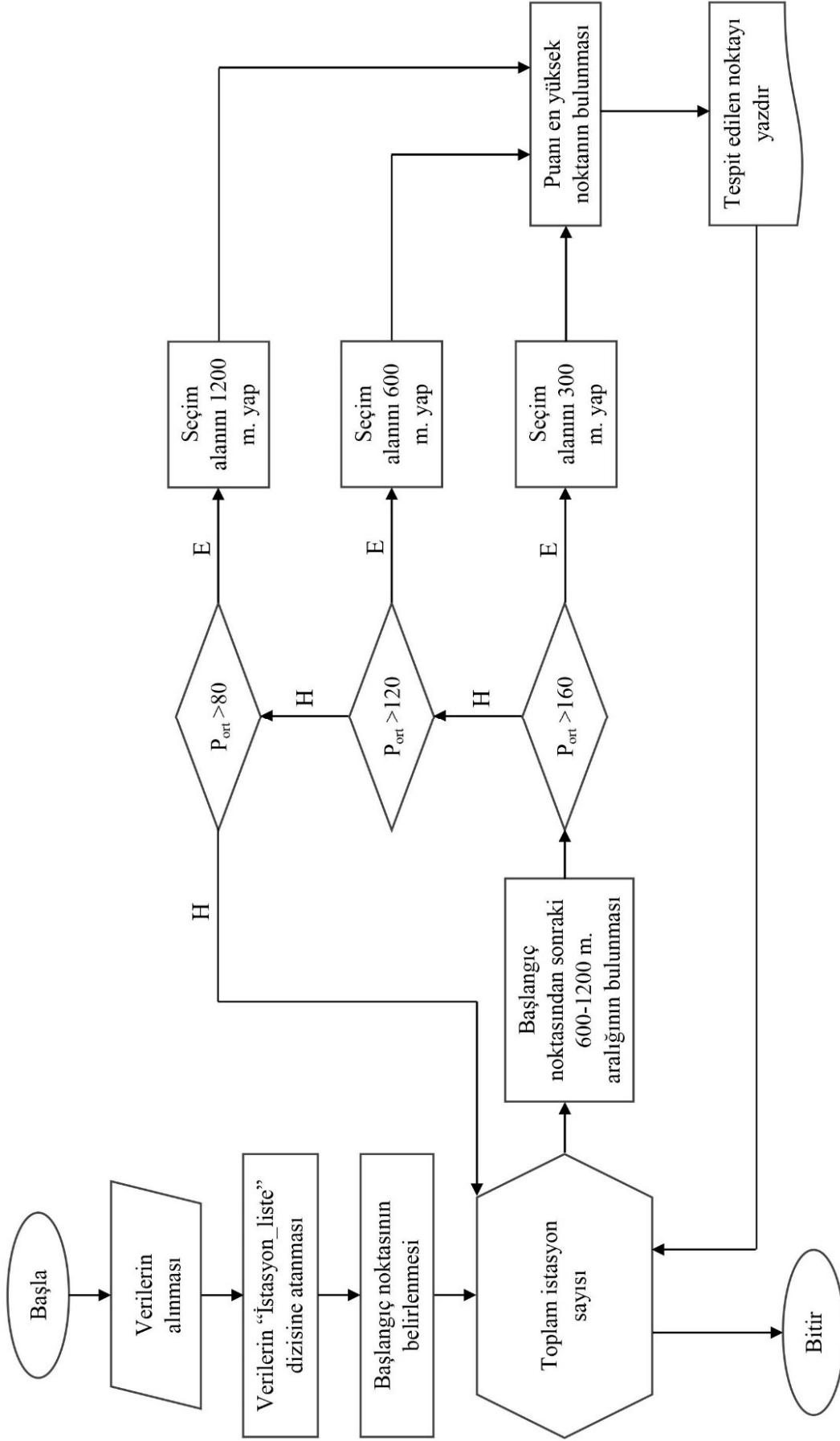
- İncelenen 600 m. lik alanın ortalama puan değeri 80'in altındaysa, bir sonraki 600 m. incelenecektir.

- İncelenen 600 m. lik alanın ortalama puan değeri 80 ile 120 arasında ise, puanı en yüksek noktanın seçimi, 1200 m.’lik bir alanda yapılacaktır.
- İncelenen 600 m. lik alanın ortalama puan değeri 120 ile 160 arasında ise, puanı en yüksek noktanın seçimi, 600 m.’lik bir alanda yapılacaktır.
- İncelenen 600 m. lik alanın ortalama puan değeri 160’tan fazla ise, puanı en yüksek noktanın seçimi, ilk 300 m.’lik alanda yapılacaktır.



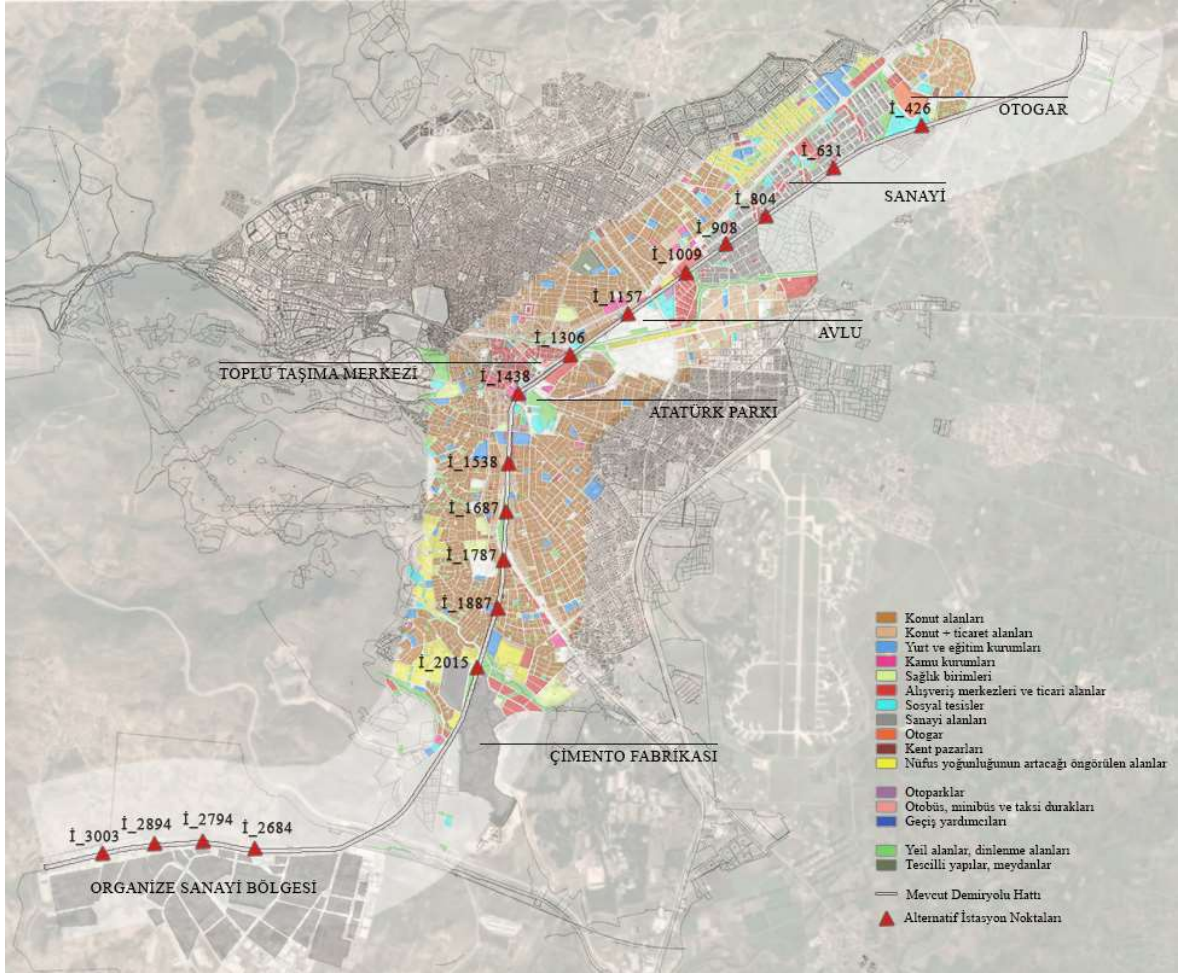
Şekil 3.42: Model tarafından uygun bulunan noktaların harita üzerindeki yeri.

Böylece bölgenin puan aralığına göre istasyonların sıklığı daha özelleşmiş olmaktadır. Yapılan bu revizyondan sonra, yazılan kodlarla ilgili, Şekil 3.43’deki “En uygun istasyon noktalarının tespit edilmesi” aşamasına ait algoritma aşağıda sunulmuştur.



Şekil 3.43: En uygun istasyon noktalarının seçim algoritması.

Gerçekleştirilen bu değişiklik ile birlikte elde edilen en uygun istasyon noktaları, uygun olmayan alanlara denk gelme durumları da kontrol edilerek, aşağıdaki gibi elde edilmiştir.



Şekil 3.44: Revize edilen model tarafından uygun bulunan noktaların harita üzerindeki konumu.

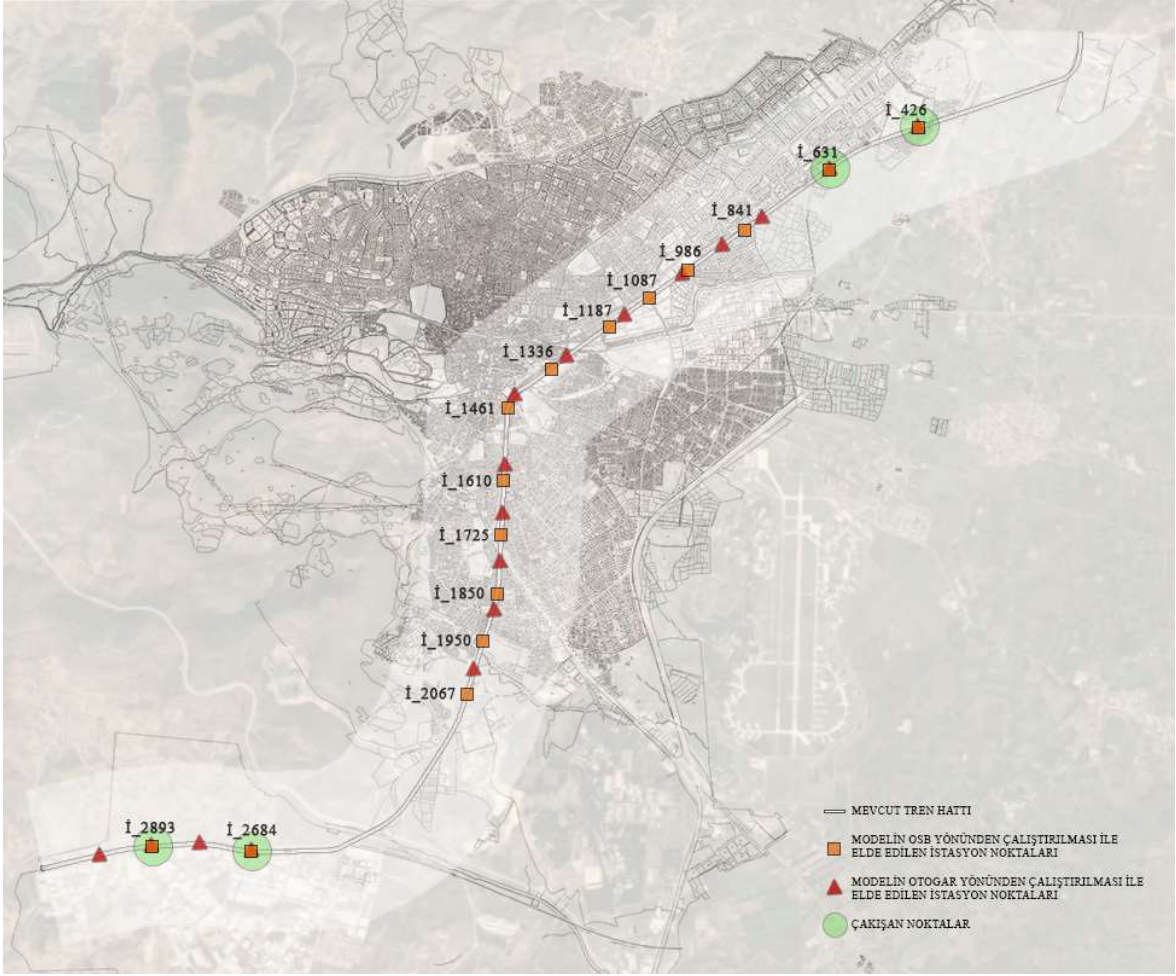
Modelde yapılan bu revizyonla, merkez bölgesinde istasyon sıklığının ve sayısının arttığı, ancak puanı daha düşük olan kısımlarda ise azaldığı görülmektedir. Şekil 3.45’de, yapılan revizyondan önceki ve sonraki sonuçlar bir arada sunulmuştur.



Şekil 3.45: (a) Modelin ilk hali ile elde edilen istasyon noktaları;

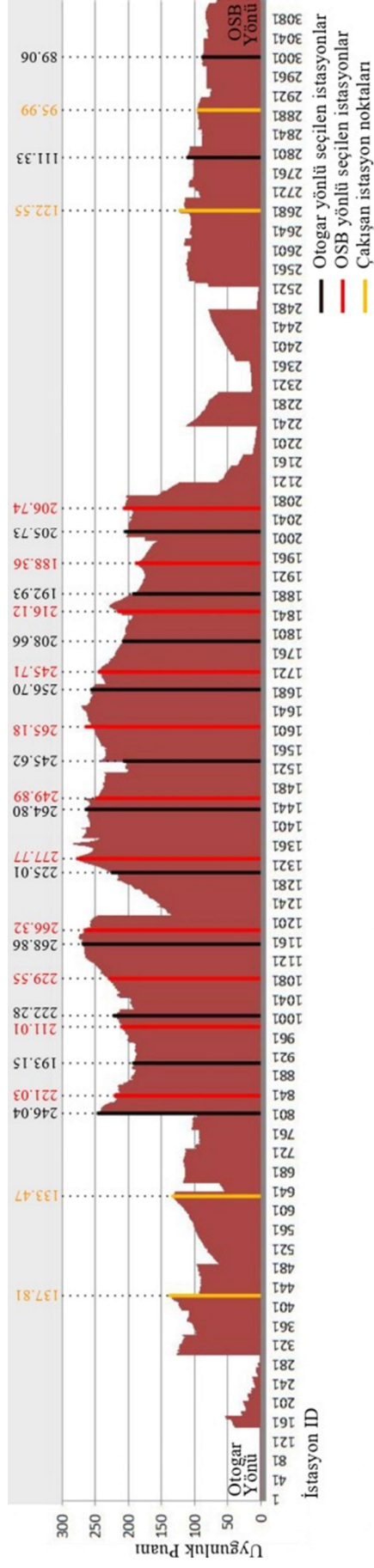
(b) Modelde yapılan revizyon sonrası elde edilen istasyon noktaları.

Modelin kodları sabit bir şekilde çalıştığından, sadece başlangıç noktasında ya da mesafe değerlerinde değişiklik yapılarak kolayca güncelleme yapılabilmektedir. Bu sayede kolaylıkla algoritma ters yönden (OSB'den Otogar'a doğru) çalıştırılmış ve böylece minimum mesafelerden kaynaklı oluşabilecek hat üzerindeki potansiyeli olan noktaların göz ardı edilmemesi sağlanmaya çalışılmıştır. Algoritmanın ters yönden çalıştırılmasıyla da en uygun 15 istasyon noktası daha tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar iki yönlü olarak Şekil 3.46'da sunulmuştur.



Şekil 3.46: Otogar ve OSB yönlü çalıştırılan model ile elde edilen istasyon noktaları.

Şekilde de görüldüğü gibi, bazı bölgelerde çakışmalar mevcut olsa da, özellikle kent merkezindeki alanlarda farklı istasyon noktalarının ortaya çıktığı görülmektedir. Bu durum, modelin başlangıç noktasından ve seçilen her bir istasyon noktasından sonra 600 m. boş geçmesi ve sonrasında 600-1200 m. aralığındaki alanı değerlendirmeye almasıyla ilgilidir. Modelin iki yönlü çalıştırılması sonrasında, birbirine çakışan noktalar tek sayılarak, toplam 29 adet, istasyon yapımı için uygunluğu en yüksek nokta tespit edilmiştir. Bu noktaların yerleşimi ve uygunluk puanlarına ait grafik Şekil 3.47’de görülebilmektedir.



Şekil 3.47: Otogar ve OSB yönlü elde edilen 29 istasyon noktasının yerleşimi ve uygunluk puanları.

Bu aşamadan sonra, bu 29 alternatif istasyon noktasının en yüksek uygunluk puanına sahip olacak ve aralarındaki mesafeler maksimumda olacak şekilde elimine edilerek toplam 15 noktaya düşürülmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, ilk olarak 29 alternatif istasyon noktası ile optimizasyon gerçekleştirilmeye çalışılmış, ancak mesafe verisinin duraklar arası mesafelerden oluşması nedeniyle, birbirine çok yakın olan istasyonların mesafe puanları çok düşük çıktığından, hemen hemen hiç seçilemedikleri ortaya çıkmıştır. Bu durum ise uygunluk puanı yüksek olan bazı bölgelerin boş geçilmesine ve bazı bölgelerde fazla yoğunlaşmalar olmasına sebep olmaktadır.

Bu nedenle, öncelikli olarak birbirine 300 m'den yakın olan istasyon noktalarından puanı en yüksek olanın seçilip, düşük olanın ise elenmesine karar verilmiştir. Bu kapsamda, yine ArcGIS üzerinden, python aracılığıyla bir betik yazılarak elenecek olan istasyon noktalarının otonom olarak seçilmesi sağlanmıştır. Böylece verilerin artması durumundaki hesaplamalardan kaynaklanan iş yükü ve hata yapma ihtimali minimuma indirilmiştir.

Bunun için öncelikle ArcGIS'e, çift yönlü olarak elde edilen toplam 29 istasyon noktasının ID'leri ve puanlarından oluşan bir tablo tanımlanmıştır. Daha sonra ise, istasyon ID'sine i denilirse, bir istasyonun, kendinden bir önceki istasyona göre mesafesi aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

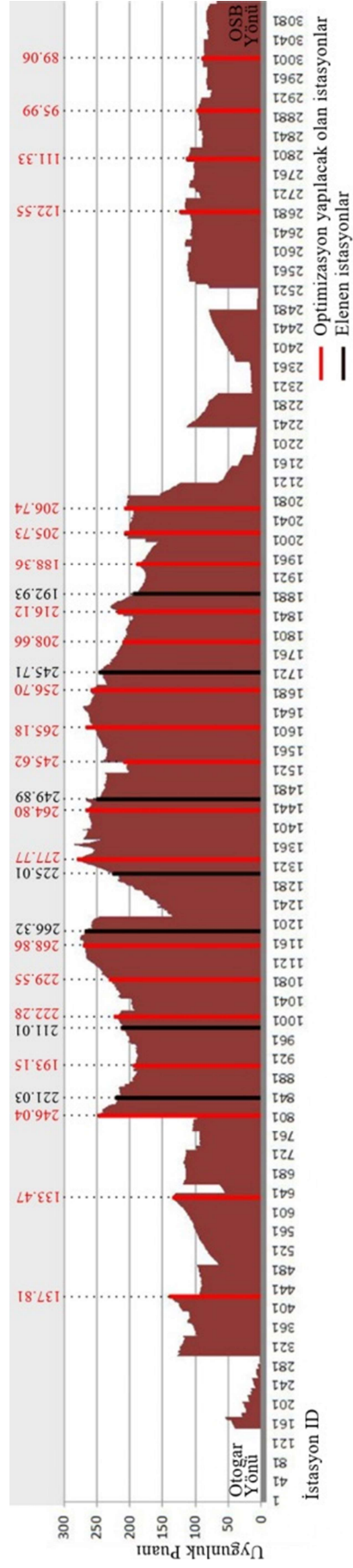
$$\text{mesafe} = ((i + 1) - i) \times 6 \quad (3.6)$$

İstasyonlar 6 m'de bir yerleştirildiği için ID'ler arasındaki fark 6 ile çarpılarak, metre cinsinden mesafeler elde edilmiştir. Belirlenen bu mesafelerin 300'den küçük olması durumunda, bir koşul yapısı kullanılarak, iki istasyon arasından uygunluk puanı düşük olanın, elenen nokta olarak belirlenmesi sağlanmıştır. Bu seçim süreci ile ilgili yazılan kodlar Ek C'te sunulmuştur. Girilen verilere göre kodların çalıştırılmasıyla elde edilen istasyonlar (elenenler) ve puanları aşağıda sunulmuştur.

Tablo 3.12: Mesafesi 300 m'den az olan istasyonların uygunluk puanına göre elenmesi.

	İstasyon ID	Uygunluk Puanı
1	426	137,8114
2	631	133,4799
3	804	246,0416
4	841	221,0326
5	908	193,1573
6	986	211,0107
7	1009	222,2827
8	1087	229,5554
9	1157	268,8633
10	1187	266,3274
11	1306	225,0189
12	1336	277,7744
13	1438	264,8094
14	1461	249,8947
15	1538	207,0352
16	1610	265,1864
17	1687	256,703
18	1725	245,7154
19	1787	208,66
20	1850	216,1238
21	1887	192,9312
22	1950	188,3612
23	2015	205,7389
24	2067	206,7416
25	2684	122,5572
26	2794	111,3323
27	2893	95,9983
28	2894	95,99233
29	3003	89,07

Elenen istasyon noktaları grafik üzerinde de Şekil 3.48'de ifade edilmiştir. Bu grafikte de görüldüğü gibi, birbirine çok yakın olan istasyon noktalarından puanı düşük olanlar elimine edilerek, istasyonlar arası mesafelerin daha dengeli bir şekilde ele alınabilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.48: Mesafesi 300 m'den az olan istasyon noktalarının elenmesi.

Bu eleme sonrasında ortaya çıkan toplam 21 alternatif nokta arasından, çok amaçlı genetik algoritma kullanılarak, mesafe ve uygunluk puanı açısından optimum olacak şekilde 15 tanesinin seçilmesi sağlanmıştır. Sonraki bölümde bu optimizasyon süreci sunulacaktır.

3.5 Optimizasyon ile En Uygun İstasyon Noklarına Ait Dizilimlerin Belirlenmesi

Belirlenen 21 noktanın optimum şekilde 15'e düşürülmesi için aşağıdaki iki amaç belirlenmiştir:

- Seçilen istasyon noktalarının uygunluk puanlarının toplamının maksimuma yaklaşması.
- Seçilen istasyon noktaları arası mesafelerin maksimuma yaklaşması.

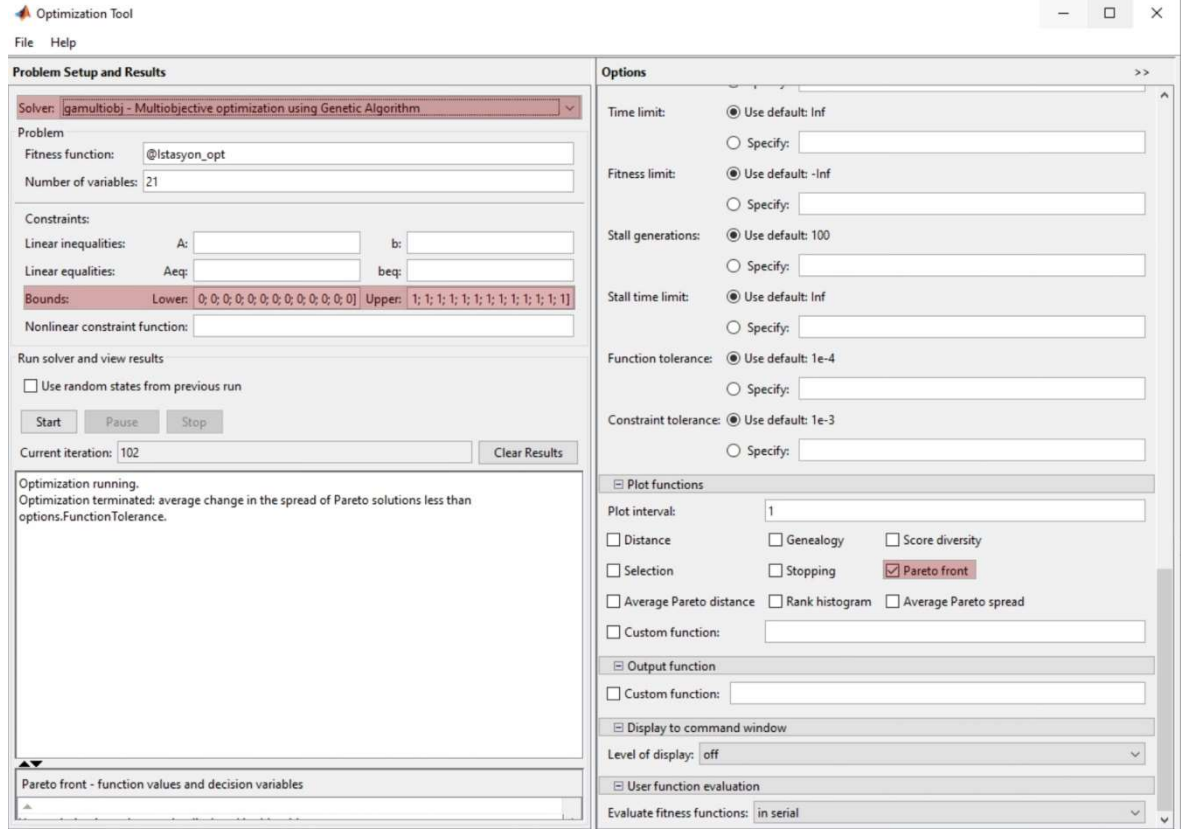
Bu kapsamda, ilk amaç sayesinde olabildiğince uygunluk puanları en yüksek olan istasyon noktalarının seçilmesi sağlanmış; ikinci amaç sayesinde ise istasyonların birbirine çok yakın konumlanmasının önüne geçilerek, belli bir bölgede yığılma olması engellenmiş olacaktır.

Bu hedefler çerçevesinde, iki amaç fonksiyonu belirlenerek, MATLAB yazılımı aracılığı ile, genetik algoritma tabanlı çok amaçlı bir optimizasyon (pareto) gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasında, n sayıdaki istasyon için, uygunluk puanlarının toplamını ve istasyonlar arası mesafeyi maksimize eden amaç fonksiyonu $f(x)$ ve $f(y)$ aşağıda verilmiştir.

$$f(x) = \sum_{k=0}^n x_n \quad f(y) = \sum_{k=0}^n y_n \quad (3.7)$$

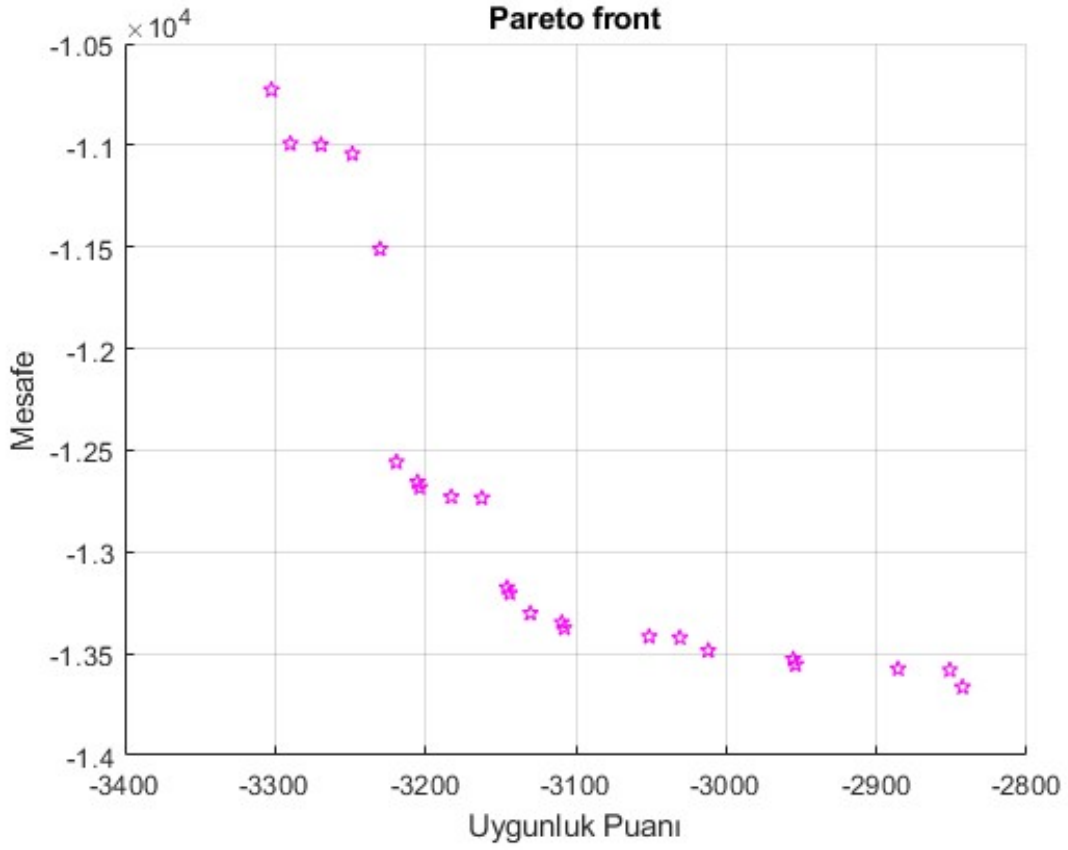
Bu fonksiyonlardan ilki olan uygunluk puanı fonksiyonuna göre, seçilen istasyon noktalarının uygunluk puanlarının en yüksek olması sağlanmaya çalışılmıştır. Mesafeye göre olan ikinci amaç fonksiyonuyla ise duraklar arası mesafelerin en fazla olması sağlanmaya çalışılmıştır. Mesafe puanları, seçilen 21 noktanın her biri için, sağ ve solundaki en yakın istasyon noktasıyla olan mesafelerinin aritmetik ortalaması alınarak elde edilmiştir. Böylece istasyonların kapsama alanlarını hesaba katılarak, istasyonların kent içerisinde maksimum düzeyde erişim sağlanabilecek şekilde bir düzenleme gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bu iki amaç fonksiyonu ile aralarındaki mesafelerin ve uygunluk puanlarının en fazla olduğu optimum istasyon diziliminin elde edilmesi

hedeflenmiştir. MATLAB üzerinden kullanılan algoritma fonksiyonlara göre değerleri minimize etmeye uygun olduğundan, veriler negatif kullanılarak işleyiş tersine (maksimize) çevrilmiştir.



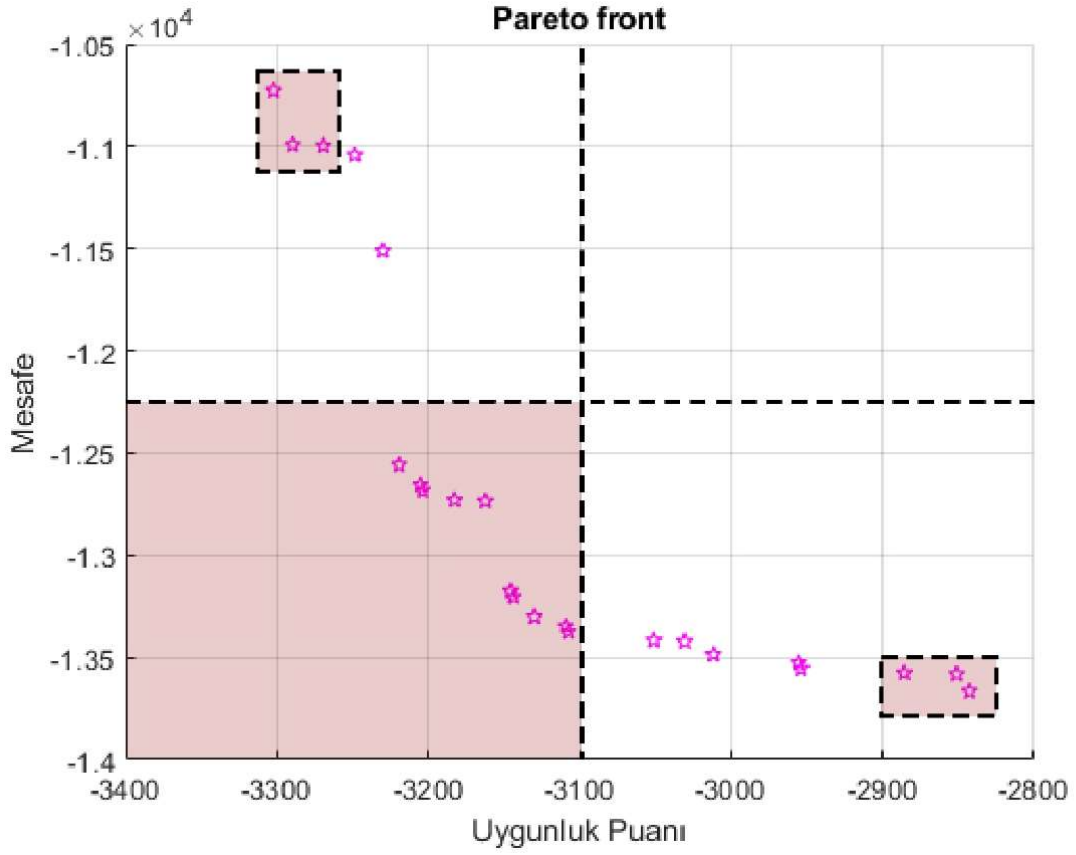
Şekil 3.49: MATLAB yazılımı ile genetik algoritma tabanlı çok amaçlı optimizasyon (pareto) kullanımı.

Amaç fonksiyonlarının tanımlanmasının ardından, mesafe ve uygunluk puanları verileri de yazılıma girilmiş ve Şekil 3.49’da görüldüğü gibi, MATLAB yazılımı içerisinde “Optimization Tool” kullanılarak, uygunluk fonksiyonu, değişkenlerin (alternatif istasyon noktalarının) sayısı, ve sınır aralığı tanımlanmış ve uygun bütün dizilerin sıralanacağı pareto eğrisinin oluşabilmesi için “pareto front” seçilmiştir. Bu süreçte ilk ve son istasyon noktası sabit olarak ele alınmıştır. Optimizasyon gerçekleştirilirken, ikili turnuva yöntemi kullanılmış olup, çarpazlama oranı 1 olarak ele alınmıştır. Böylece çalıştırılan algoritma, 102 iterasyonda pareto eğrisi üzerinde uygun dizileri yerleştirmiştir (Şekil 3.50).



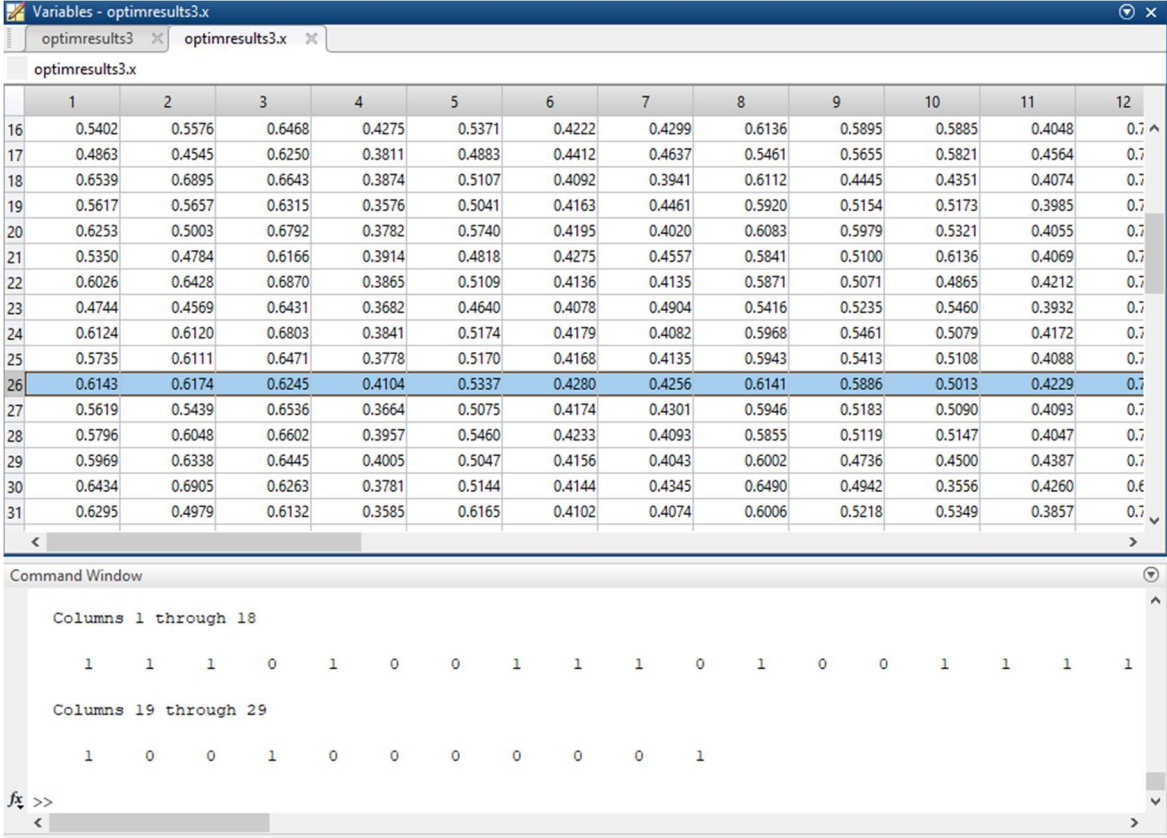
Şekil 3.50: İki amaç fonksiyonuna göre oluşan Pareto eğrisi.

Uygunluk puanı ve mesafeye göre, en uygun olan istasyon dizilerinin belirlendiği Pareto eğrisi üzerinde, mesafeye göre görece daha uygun olan 3 dizi, uygunluk puanına göre görece daha uygun olan 3 dizi ve iki amaç fonksiyonunun orta değerlerinin kesişimindeki alanda bulunan 10 dizinin istasyon noktaları incelenmiştir (Şekil 3.51).



Şekil 3.51: Pareto eğrisinde iki amaç fonksiyonunun durumlarına göre incelenen diziler.

Genetik algoritmalarda bireylerin kodlanması, ikili sayı kodlama (binary code), gerçel sayı kodlaması ve gray kodlama tekniklerinden biri ile yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, bireyler ikili sayı biçiminde kodlanmıştır ve gerçel sayı olarak elde edilen değerler, ikili sayılara dönüştürülerek (Şekil 3.52) seçilen istasyon noktaları değerlendirilmiştir.



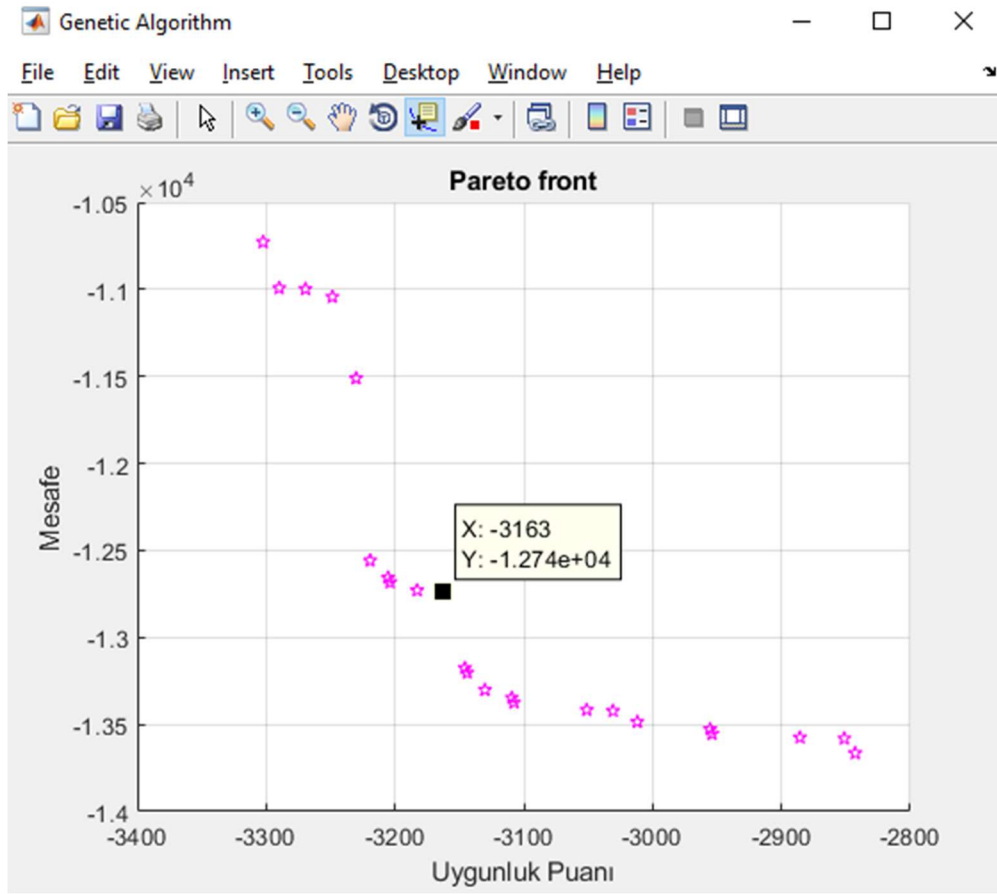
Şekil 3.52: MATLAB yazılımında gerçel sayıların ikili sayı biçimine dönüştürülmesi.

Şekil 3.51’de belirtilen dizilerdeki seçilen istasyon noktaları Şekil 3.53’de bir araya getirilerek incelenmiş, mesafe ve uygunluk puanına göre, seçilen istasyonlar arasında anlamlı bir fark olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

	Uygunluk Puanı			Uygunluk Puanı ve Mesafe Optimum Ağırlıklı												Mesafe Ağırlıklı			
	ID	Puan	Mesafe (aritmetik)	44. Dizi	41. Dizi	42. Dizi	38. Dizi	8. Dizi	19. Dizi	37. Dizi	45. Dizi	20. Dizi	34. Dizi	4. Dizi	1. Dizi	40. Dizi	46. Dizi	30. Dizi	36. Dizi
1	426	137,8114	1230	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	631	133,4799	1134	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	804	246,0416	831	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	908	193,1573	615	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
5	1009	222,2827	537	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
6	1087	229,5554	444	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
7	1157	268,8633	747	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1336	277,7744	843	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1438	264,8094	606	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1538	207,0352	516	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
11	1610	265,1864	447	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
12	1687	256,7030	531	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
13	1787	208,6600	489	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
14	1850	216,1238	489	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1950	188,3612	495	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	2015	205,7389	351	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	2067	206,7416	2007	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	2684	122,5572	2181	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	2794	111,3323	627	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	2893	95,9983	627	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	3003	89,0700	660	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

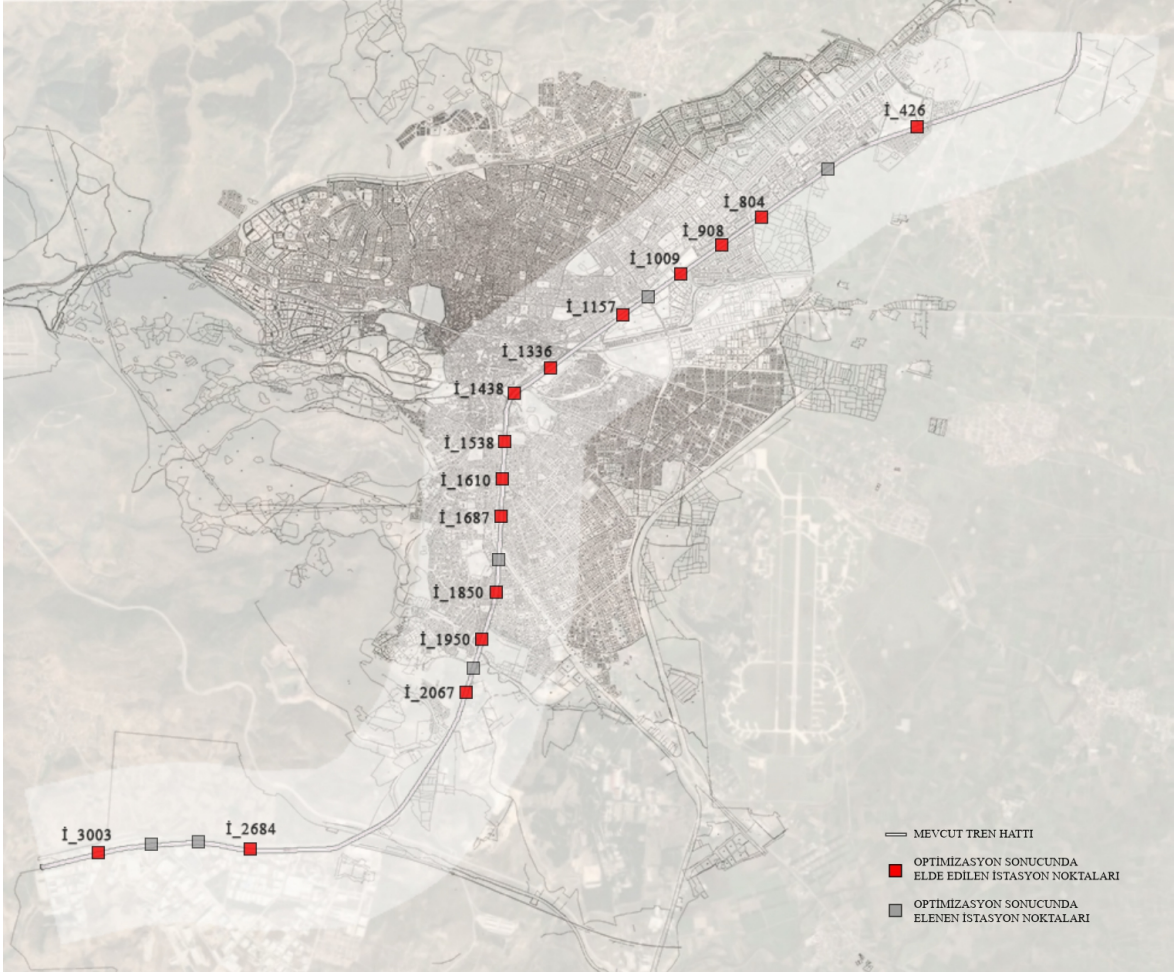
Şekil 3.53: Ele alınan dizilerdeki istasyonların uygunluk puanı ve mesafe verilerine göre seçilme durumları.

Şekil 3.53’de sunulan sonuçlar incelendiğinde, uygunluk puanının ağırlığının fazla olduğu alanlarda kent merkezinden uzaklaştıkça (uygunluk puanı düştükçe) seçilmeyen istasyon noktalarının yoğunlaştığını, mesafe puanı ağırlığının arttığı alanlarda ise kent merkezindeki (uygunluk puanı yüksek) seçilmeyen istasyon noktalarının yoğunlaştığını görmekteyiz. İstasyon yerleşimindeki bu yığılmaları engellemek için mesafe ve uygunluk puanı ağırlıklarının dengede olduğu grafiğin orta akslarına yakın bir dizinin seçilmesi daha uygun görünmektedir. Bu doğrultuda, Şekil 3.54’deki orta akslara en yakın olan işaretli dizinin (45 nolu) en optimum çözüm olacağı kanaatine varılmıştır.

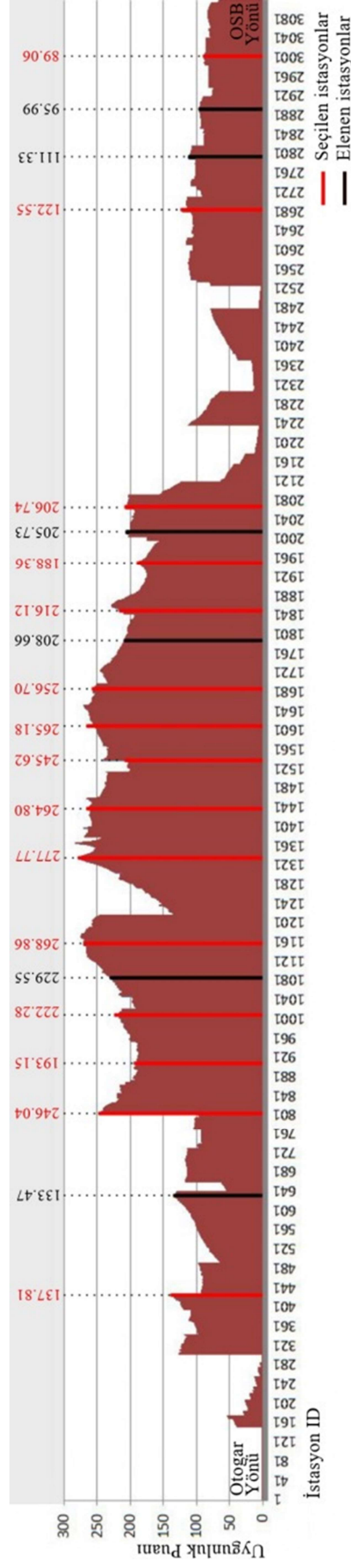


Şekil 3.54: Pareto eğrisinde seçilen dizinin (45 nolu) yeri.

Şekil 3.53’deki grafik incelendiğinde de, Şekil 3.54’de belirtilen 45. dizide yığılmaların minimumda olduğu, bu dizinin kent içerisinde en iyi dağılımı oluşturabilecek çözüm olduğu görülmektedir. Bu dizide seçilen ve elenen istasyon noktaları aşağıdaki Şekil 3.55’deki haritada ve Şekil 3.56’deki grafikte belirtilmiştir.

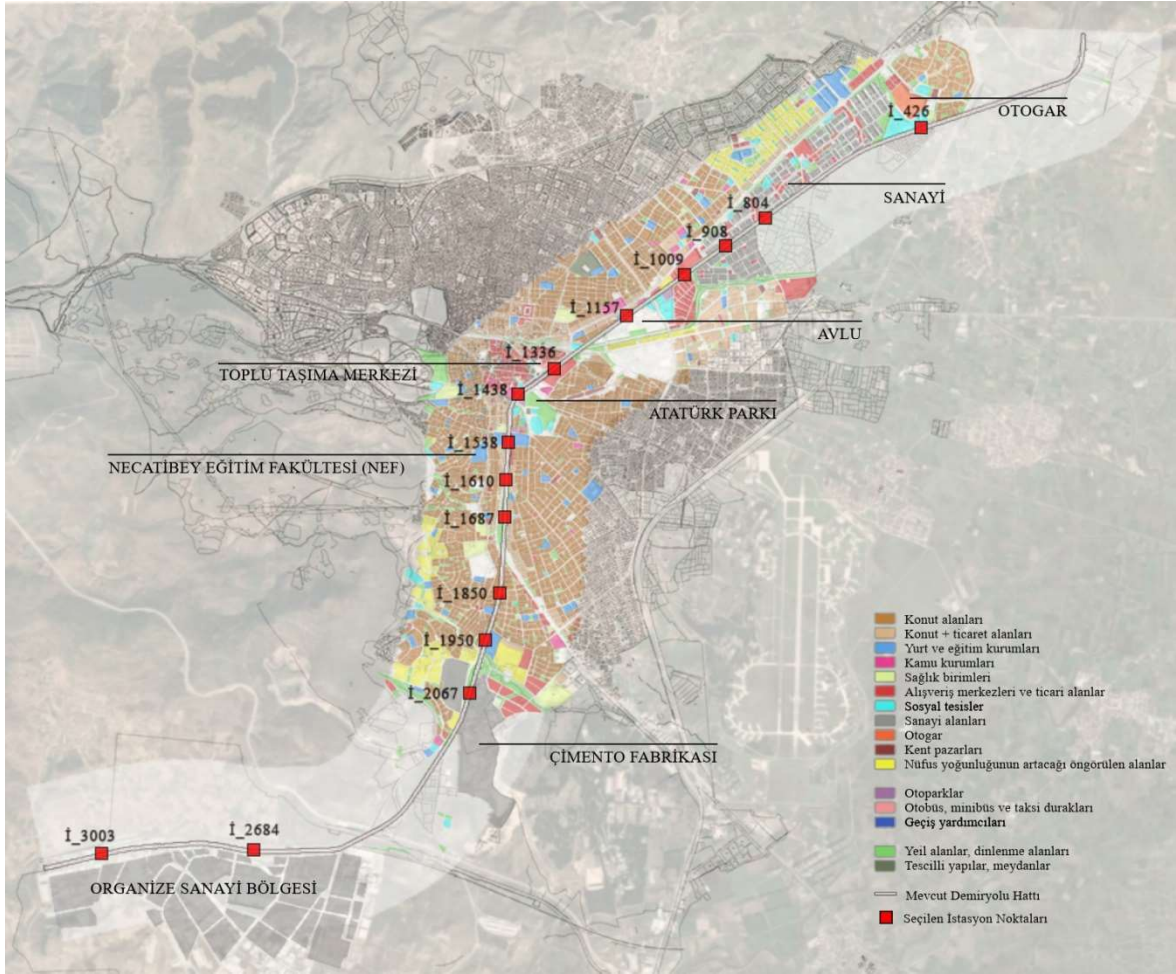


Şekil 3.55: Optimizasyon sonucunda seçilen 45. diziye ait istasyon noktaları (harita üzerinde).



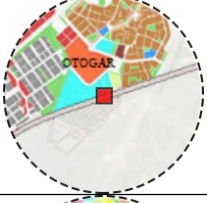





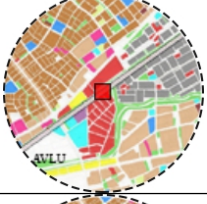






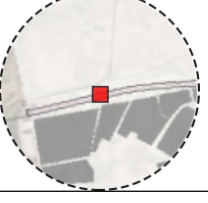

Şekil 3.56: Optimizasyon sonucunda seçilen 45. diziye ait istasyon noktaları (puan grafiği üzerinde).

Gerçekleştirilen optimizasyon süreci sayesinde, kendi zihnimizle bilinçli olarak elemediğimiz, fazla sayıda istasyon noktası arasından, belirlenen uygunluk fonksiyonuna göre elemeler yapılarak maksimum fayda sağlayabilecek istasyon dizilimini elde etmek mümkün olmuştur. Ayrıca, yöntem bize, birçok optimize edilmiş dizi sunabildiği için, seçilen dizilimde uygun görülmeyen bir durum olduğunda, diğer alternatifler de değerlendirilebilecektir. Seçilen 45. diziye ait istasyon noktalarının kent içerisindeki dağılımı Şekil 3.57’de; uygunluk puanları ve yakın çevreleri ise Tablo 3.13’de sunulmuştur.



Şekil 3.57: Optimizasyon sonucunda seçilen istasyon noktalarının yerleşimi.

Tablo 3.13: Seçilen 45. diziye ait istasyon noktaları.

Seçilen İstasyonun ID'si	Seçilen İstasyonun Puanı	İstasyonun Konumu (Lejant Ek D'de sunulmuştur.)	Seçilen İstasyonun ID'si	Seçilen İstasyonun Puanı	İstasyonun Konumu (Lejant Ek D'de sunulmuştur.)
426	137,811397		1610	265,186362	
804	246,041567		1687	256,703013	
908	193,157298		1850	216,123841	
1009	222,282706		1950	188,361179	
1157	268,863254		2067	206,741579	
1336	277,77435		2684	122,557217	
1438	264,809367		3003	89,069998	
1538	207,035162				

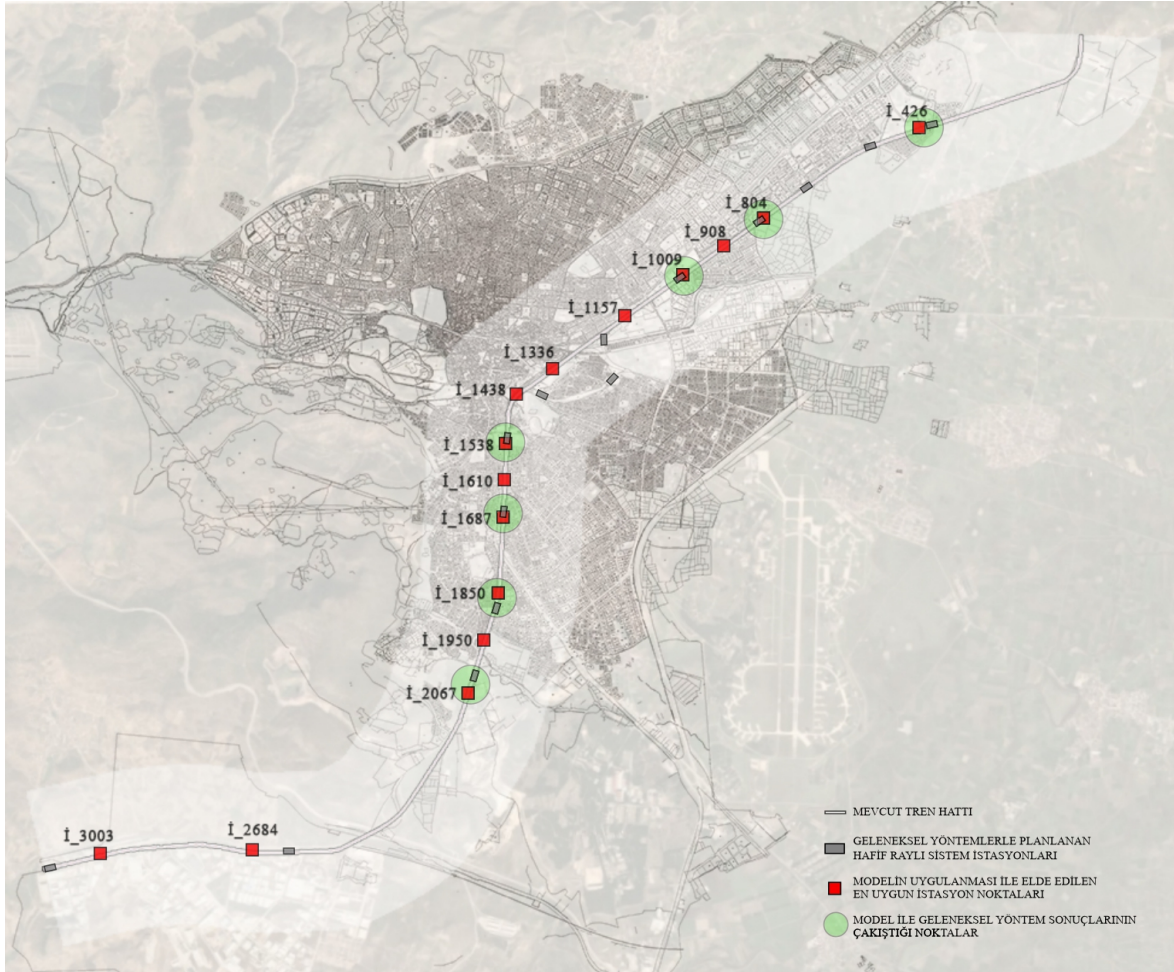
Gerçekleştirilen optimizasyon sürecinde, seçilmesi istenen istasyon sayısına bağlı olarak, en başta belirlenen bir takım kurallara (600 m'den yakın istasyon olmamalı gibi) aykırı durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu gibi durumlarda, ilgili bölge incelenerek, gerekli görülmesi halinde seçilmesi istenen istasyon sayısı revize edilebilir, ya da genetik algoritmanın bize sunduğu diğer en uygun diziler tekrar incelenerek bir karara varılabilecektir. Böylece modelin son aşaması olan optimizasyon ile birlikte, en uygun istasyon dizilimi elde edilmiş olmakta ve model sonlanmaktadır.

Karar verme sürecini daha sistematik ve otomatik hale getiren bu model ile karar verme sürecine birçok katkı sağlanmıştır. Geliştirilen modelin sağladığı faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

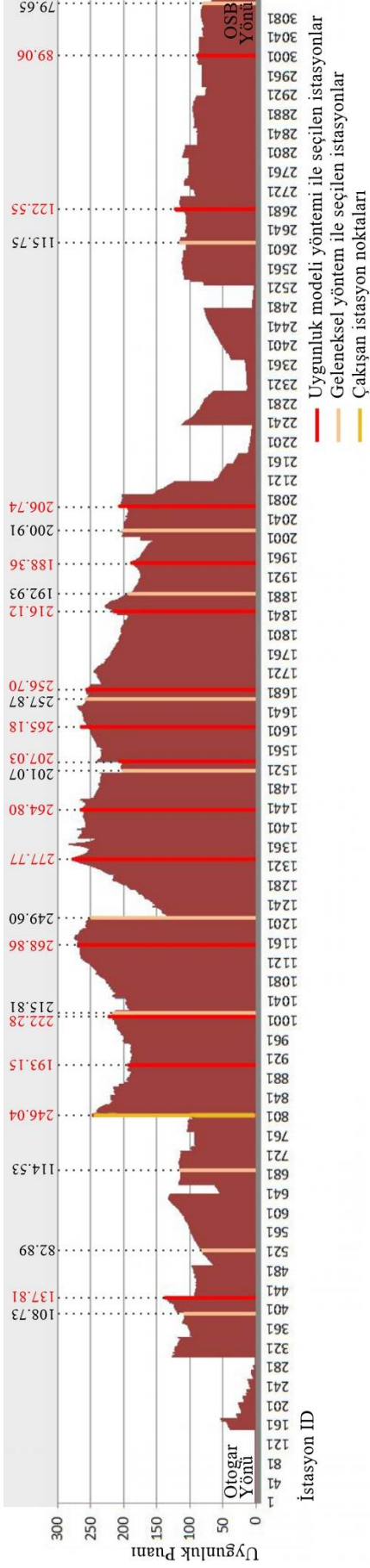
- Geliştirilen model ile HRS istasyonlarının belirlenmesi süreci, kriter verilerine ve baştan kabul edilen bir takım mesafelere göre tamamen program tarafından yürütülebilmektedir. Böylece daha objektif ve veriye dayalı bir süreç gerçekleştirilebilmekte, hesaplamalar ve işlemler hep aynı kodlarla çalıştığı için hata oranı da minimize edilmektedir.
- Hesaplamaları ve karşılaştırmaları makine yaptığı için kriter veya alternatiflerin sayısının bir önemi kalmamaktadır. Hesaplanacak veri miktarı arttıkça yalnızca hesap süresi ve bilgisayarın kapasitesini kullanma miktarı bir miktar artmaktadır, ancak bu durum sonuçları etkilememektedir.
- Benzer şekilde kriter verilerinin çokluğu da hesaplamalarda bir yanlışlığa yol açmamaktadır. Bu çalışmada alternatif istasyon noktalarının uygunluk puanları 1000 m. çevresindeki kriter verilerine göre hesaplanmıştır, ancak farklı çalışmalarda hesaba katılan veri alanını daha geniş (kent bir bölümü yada tamamı gibi) tutmak mümkündür.
- Çalışmanın ölçeğine ve konusuna göre farklı değerlerle çalışmak gerektiğinde veya farklı değerlerle deneme yapılması gerektiğinde sadece modeldeki limit değerlerde değişiklik yapılarak tekrar çalıştırılabilmektedir. Böylece çalışmanın tekrarlanmasına gerek kalmamakta ve kolaylıkla denemeler yapılabilmektedir.
- Ayrıca farklı konularda ve farklı kapsamdaki çalışmalar için kodlarda değişiklikler yapılarak, yöntem kolaylıkla geliştirilebilecektir. Tez süreci içerisinde bile gerekli durumlarda kodlarda çeşitli revizyonlar yapılarak, model tekrar tekrar çalıştırılmıştır.

3.6 Geliştirilen Model, Uygunluk Haritası Yöntemi ve Geleneksel Yöntemlerle Elde Edilen İstasyon Noktalarının Karşılaştırılması

Geliştirilen karar destek modeli ile elde edilen istasyon noktaları, belediye tarafından geleneksel yöntemlerle belirlenmiş olan ve uygunluk haritası yöntemi ile tespit edilen istasyon noktaları karşılaştırılarak, aralarındaki benzerlik ve farklılıklar ortaya konmaya çalışılmıştır. Böylece, modelin hafif raylı sistem istasyonları ile ilgili yer seçimi problemi özelinde sağladığı katkı ortaya konmaya çalışılmıştır. Öncelikle geliştirilen uygunluk puanına dayalı model ile elde edilen ve geleneksel yöntemlerle karar verilen istasyon noktaları karşılaştırılarak Şekil 3.58'deki harita ve Şekil 3.59'daki grafik elde edilmiştir.

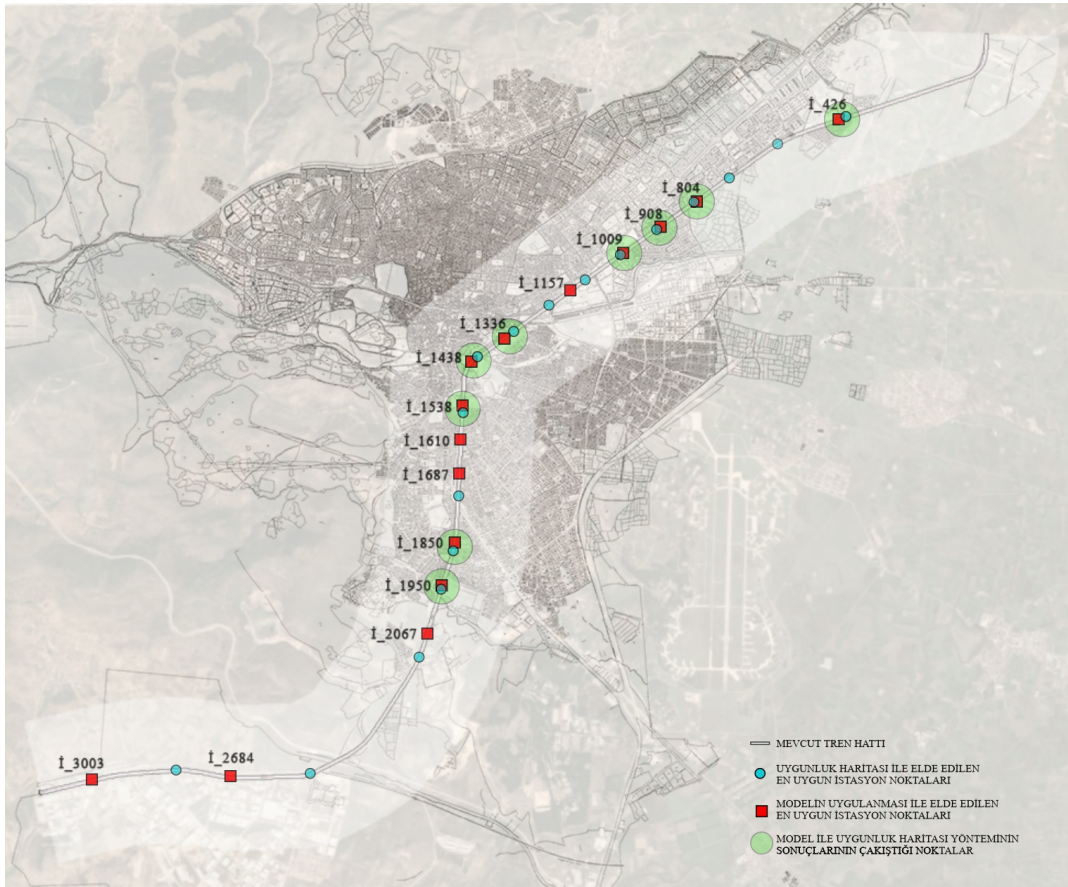


Şekil 3.58: Geliştirilen model ile tespit edilen ve geleneksel yöntemlerle planlanan istasyon noktalarının karşılaştırılması (harita üzerinde).

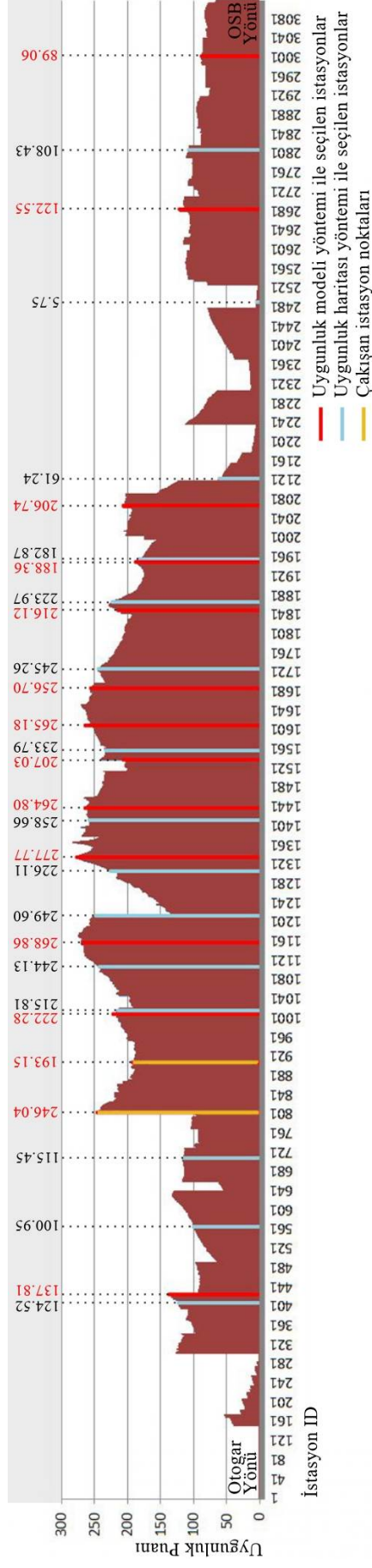


Şekil 3.59: Geliştirilen model ile tespit edilen ve geleneksel yöntemlerle planlanan istasyon noktalarının karşılaştırılması (puan grafiği üzerinde).

Bu yöntem ile tespit edilen istasyon noktaları, geleneksel yöntemlerle planlanan istasyon yerleri ile karşılaştırıldığında (Şekil 3.58) bazı istasyon yerlerinde benzerlikler, bazılarında ise farklılıklar olduğu ortaya konmuştur. Şekil 3.58’de de görüldüğü gibi, 7 adet istasyon noktası geleneksel yöntemlerle planlananlarla çakışmaktadır. Otogardan sonraki sanayi bölgesinde ise geleneksel yöntemlerle yapılan tespitlerde ki iki istasyonun model tarafından seçilmediği görülmektedir. Şekil 3.59’daki grafikte de görüldüğü üzere bu bölgedeki noktaların uygunluk puanı çok yüksek olmadığından model tarafından bu bölge boş geçilmiştir. Gar bölgesinde ise belediyede planlanan güzergah değişikliği sebebiyle (güncel durumda bu değişiklikten vazgeçildiği öğrenilmiştir) istasyon noktalarının hattın dışına taşıdığı görülmektedir, dolayısıyla bu bölge için çakışma kontrolü yapılamamıştır. OSB bölgesi için ise, modelin, geleneksel yöntemlerle seçilen noktalardan daha yüksek puanlı noktaları tercih ettiği görülmektedir (Şekil 3.59). İstasyon 908, 1610 ve 1950’nin ise, geleneksel yöntemlerle istasyon yerleşimi yapılmamış alanlarda, uygunluk puanı yüksek alanlar olduğu için, model tarafından yerleştirildiği görülmektedir.

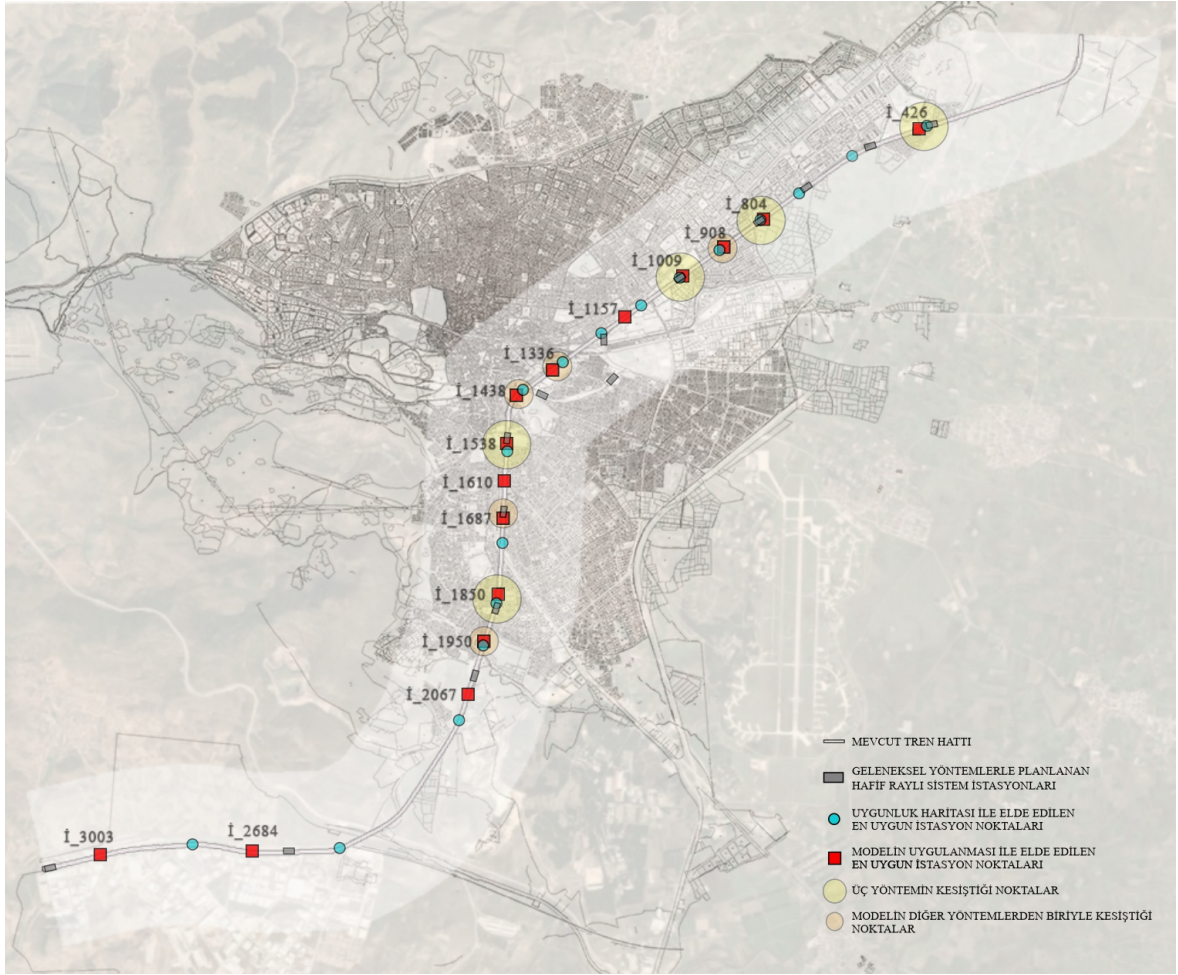


Şekil 3.59: Geliştirilen model ve uygunluk haritası yöntemi ile elde edilen istasyon noktalarının çakıştırılması (harita üzerinde).

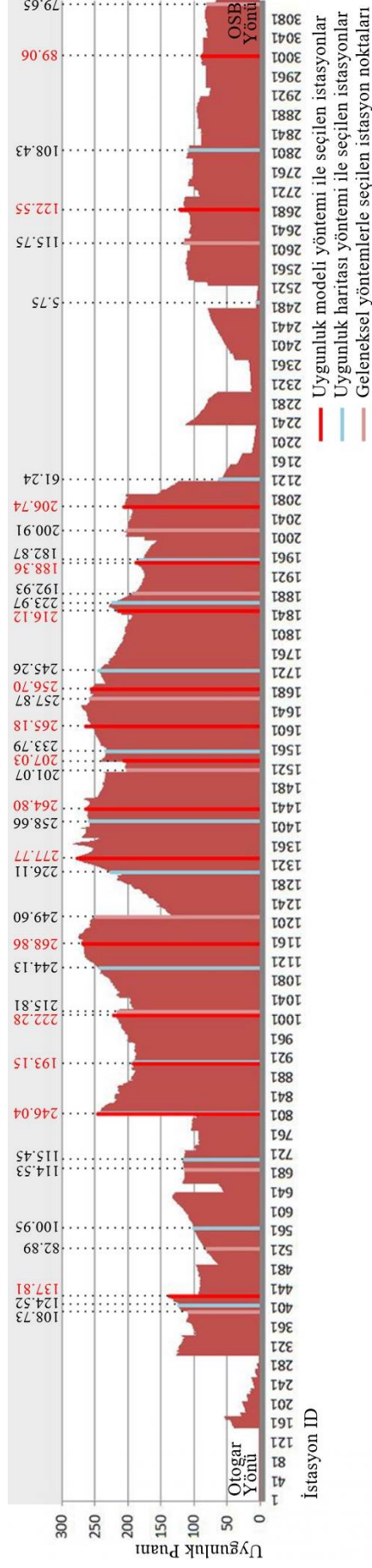


Şekil 3.60: Geliştirilen model ve uygunluk haritası yöntemi ile elde edilen istasyon noktalarının karşılaştırılması (puan grafiği üzerinde).

Geliştirilen model ile tespit edilen istasyon noktaları, uygunluk haritası yöntemi ile elde edilenlerle karşılaştırıldığında (Şekil 3.59, Şekil 3.60) ise toplam 9 adet istasyon noktası neredeyse birebir örtüşmektedir. Uygunluk haritası yöntemine göre de yine sanayi bölgesinde iki istasyon fazla görünmektedir. Uygunluk haritası yönteminde, uygun alanlar daha genel olarak belirlendiğinden ve seçimin uygun alanlar içerisinde sadece mesafeye göre manuel olarak yapıldığından, uygunluk puanı oldukça düşük olan noktalarda da istasyon noktası konulduğu görülmektedir. Merkez bölgesinde ise, iki yöntemdeki istasyonlar birbirine genelde yakın olmakla birlikte, geliştirilen model ile tespit edilen noktaların puanlarının çoğunlukla daha yüksek olduğu Şekil 3.60'daki grafikte görülmektedir.

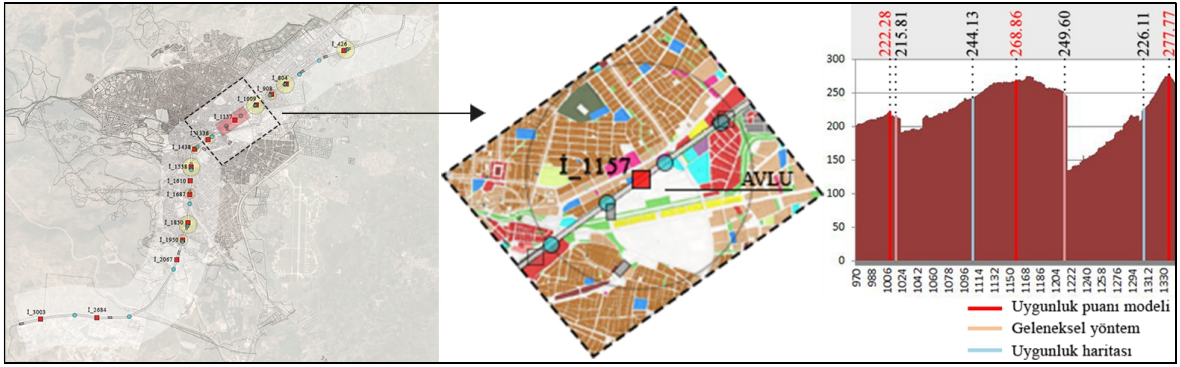


Şekil 3.61: Geliştirilen model, uygunluk haritası yöntemi ve geleneksel yöntemlerle elde edilen istasyon noktalarının karşılaştırılması (harita üzerinde).



Şekil 3.62: Geliştirilen model, uygunluk haritası yöntemi ve geleneksel yöntemlerle elde edilen istasyon noktalarının karşılaştırılması (puan grafiği üzerinde).

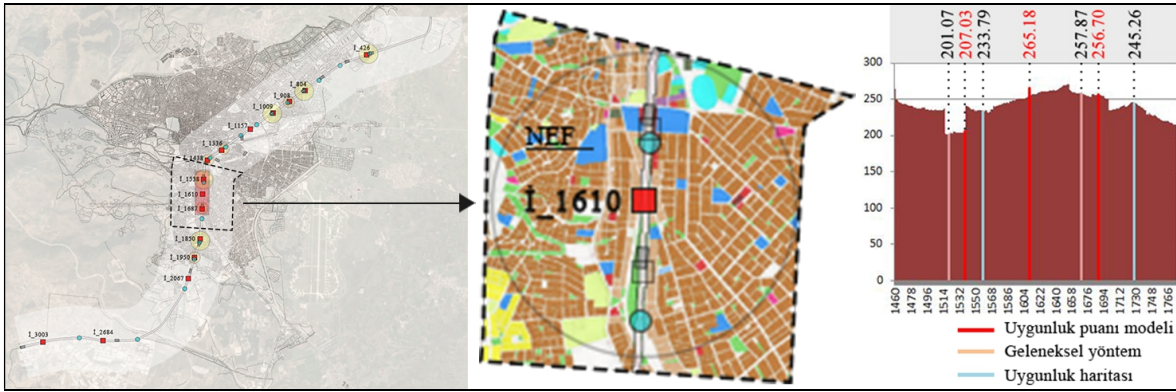
Üç yöntemin sonucunda elde edilen istasyon noktaları karşılaştırıldığında (Şekil 3.61, Şekil 3.62) ise; 5 noktada bütün yöntemlere göre elde edilen istasyonların neredeyse birebir örtüştüğü, geliştirilen modelin ise diğer yöntemlerden biriyle çakıştığı toplam 5 istasyon noktasının mevcut olduğu görülmektedir. Üç yöntemin de birebir çakıştığı istasyon noktalarından 426 nolu olanın otopark ve spor merkezinin yakınında; 804 nolu olanın sanayi alanının bir anda yoğunlaştığı bir noktada; 1009 nolu olanın yoğun bir ticari alan içerisinde, 1538 nolu olanın Necatibey Eğitim Fakültesi ve bazı liselerin bulunduğu yoğun bir eğitim bölgesinde ve 1850 nolu olanın ise konut ve eğitim yapılarının çok yoğunlaştığı bir alanda olduğu görülmektedir. Çakışmaların olduğu noktalar dışında kalan, model ile elde edilen noktaları, yakın çevresindeki uygunluk haritası ve geleneksel yöntemlerle elde edilen noktalarla kıyaslayabilmek için, bu alanlar daha yakın ölçekte incelenmişlerdir (Şekil 3.63, Şekil 3.64, Şekil 3.65 ve Şekil 3.66).



Şekil 3.63: 1157 nolu istasyonun yakın çevresi (Lejant Ek D’de sunulmuştur).

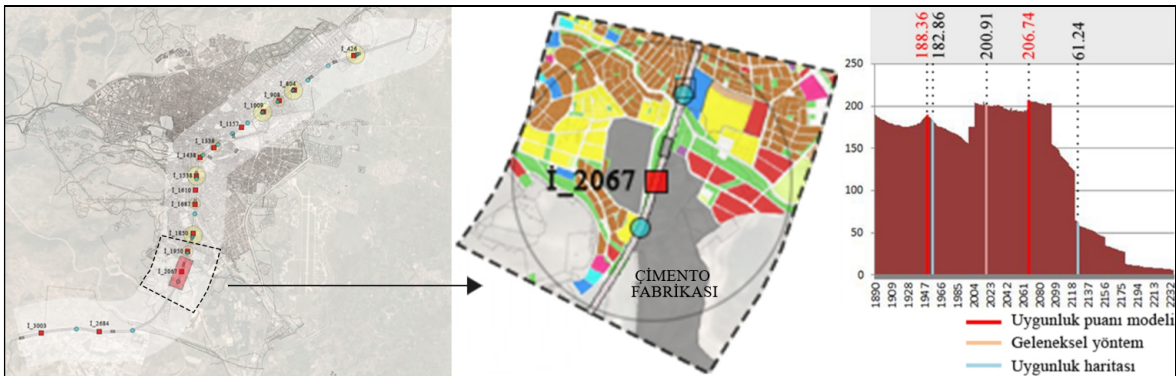
Şekil 3.63’de de görüldüğü gibi, Avlu’nun orta bölgelerinde bulunan 1157 nolu istasyon, yolun karşısındaki kamu kurumları, ticaret ve konut alanlarıyla da ilişki kurulabilen bir üst geçidin olduğu bir alanda konumlanmıştır. Diğer iki yöntem ile elde edilen istasyon noktalarının ise Avlu’nun daha başında ve sonunda konumlandığı görülmektedir. Buradaki geleneksel yöntemlerle elde edilen istasyon noktasının, oldukça aktif bir kullanımı olan bu kent parçasında bir önceki istasyon noktası ile mesafesinin oldukça fazla olduğu görülmektedir. Puan grafiği de incelendiğinde geliştirilen model ile seçilen 1157 nolu istasyon noktasının puanının daha yüksek olduğu ve merkezi bir bölge olduğu için, bir önceki ve bir sonraki istasyonlarla mesafesinin de daha az olduğu görülmektedir. Bu kapsamda, geliştirilen modelin, elde edilen istasyon noktalarında, hem istasyonlar arası mesafeyi dikkate alması, hemde istasyonun gelebileceği aralıktaki en uygun noktayı tespit

edebilmesinin, daha optimum bir nokta seçimine olanak sağlayarak, karar verme sürecine olumlu katkı yaptığı düşünülmektedir.



Şekil 3.64: 1610 nolu istasyonun yakın çevresi (Lejant Ek D’de sunulmuştur).

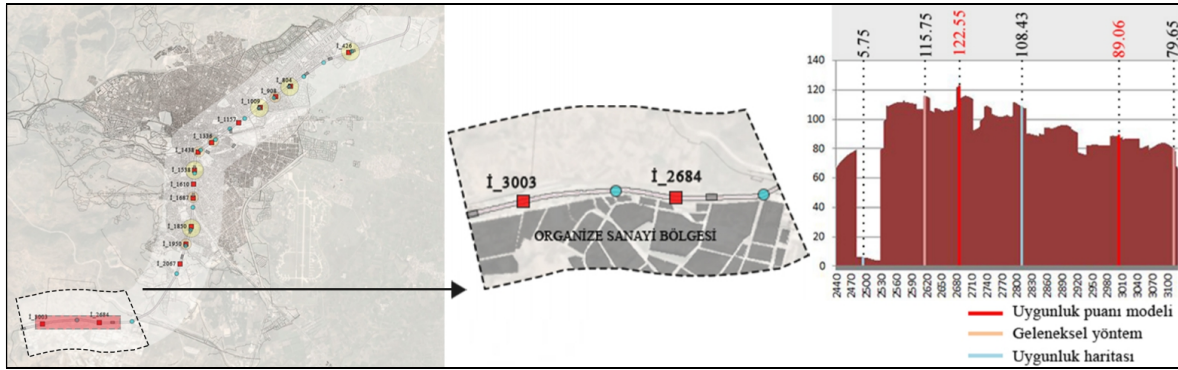
Şekil 3.64’de ise, 1610 nolu noktanın öncesinde ve sonrasında üç yöntemle de yerleştirilen istasyon noktaları olmasına rağmen, konut, ticaret ve eğitim alanı olarak yoğun bir kullanıma sahip bir alan olduğundan, model tarafından uygunluk puanı oldukça yüksek bir istasyon noktası daha eklendiği görülmektedir. Bu istasyon noktası ile, Yeni İzmir Caddesi’nin iki tarafında birbirinin devamı şeklinde bulunan ve mevcut durumdan dolayı kopuk hale gelmiş Sındırgı ve Sanat Okulu caddelerinin tekrar bütünleşmesinin sağlanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 3.65: 2067 nolu istasyonun yakın çevresi (Lejant Ek D’de sunulmuştur).

Şekil 3.65’de, Çimento Fabrikasının yakınlarında konumlanmış olan 2067 nolu istasyon noktasının ise, geleneksel yöntem ve uygunluk haritası yöntemiyle elde edilen noktaların ortalarında olduğu görülmektedir. Bir önceki seçilen istasyon ile mesafesi göz önüne alındığında model tarafından seçilen istasyonun yerleşimi uygun olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca, puan grafiği de incelendiğinde, o aralıktaki en yüksek puanlı noktanın seçilmiş olduğu görülmektedir.



Şekil 3.66: 2684 ve 3003 nolu istasyonların yakın çevresi (Lejant Ek D’de sunulmuştur).

Şekil 3.66’da ise Organize Sanayi Bölgesinde (OSB), farklı yöntemlerle farklı noktalara istasyonlar yerleştirildiği görülmektedir. Bunlardan ilki olan uygunluk haritası yöntemi ile elde edilmiş istasyonun puanının çok düşük olduğu puan grafiğinden anlaşılmaktadır. Sonrasındaki aralıkta ise, 2684 nolu modelin tespit ettiği istasyonun en yüksek puanlı noktada olduğu görülmektedir. OSB’nin son kısmında ise, sanayi alanlarının sonlanmasından dolayı uygunluk puanları düşmeye başladığı için, modelin o alan içerisinde daha yüksek bir puana sahip olan 3003 nolu istasyon noktasını tercih etmiş olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan karşılaştırmalar ile ilgili genel bir değerlendirme yapılacak olursa, istasyonların kullanım verimliliğini artıracak kriterler göz önünde bulundurularak hat üzerindeki her bir noktanın değerlendirilebildiği uygunluk puanı tabanlı çalışan model aracılığı ile diğer yöntemlere göre yüksek oranda daha iyi (yüksek puanlı) sonuçlara ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Karşılaştırmalarda, belirli noktalardaki çakışmalar veya yakın konumlanmalar, modelin rastgele değil, girilen kriter verilerine göre gerekli yerlerde istasyon noktalarının belirlenmesini sağladığını göstermiştir. Çakışma olmayan alanlar incelendiğinde ise, geliştirilen modelin sonuçlarının, yine girilen kriter verilerine ve bir önceki durakla olan mesafesine göre konumlanmalarının optimum olacak şekilde elde edildiği tespit edilmiştir. Model ile belirlenen hafif raylı sistem istasyon noktalarının, bu sistem için iyi bir çözüm önerisi olabildiği görülmektedir. Böyle bir konuda, önerilen karar destek modelinin kullanımının, problemin sistematik bir şekilde çözümü noktasında karar mekanizmalarına destek olacağı düşünülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1 Sonuçlar

Günümüzde kentlerin karmaşıklaşan yapısı ve gelişen teknolojilerle birlikte artan bilgi miktarı, insanların deneyimleriyle ya da bilişsel yetenekleriyle çözümleyebileceklerinin çok üstüne çıkmış durumdadır. Bu nedenle, birçok farklı kentsel problemin çözüm arayışında, sistematik analizler gerçekleştirebilen teknolojilerden yararlanmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada da kentsel alanda yaşanan yer seçimi problemlerini, belirlenen kriterlere göre analitik bir yaklaşımla, otonom bir şekilde çözümleyebilen **mekânsal bir karar destek modelinin geliştirilmesine odaklanılmıştır**. Geliştirilen model ile süreç içindeki karar adımlarında karar destek sistemleri ile kişisel yargılar arasında bir denge kurarak ele alınan kentsel problemlere özdevinimli bir şekilde çözümlerin üretmesi hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen karar destek modeli, Balıkesir özelinde, mevcut raylı sistemin hafif raylı sisteme dönüştürülmesi ile ilgili istasyon yerlerinin belirlenmesinde yaşanan zorluklara rasyonel çözüm alternatifleri üretmek amacıyla test edilmiştir. Geliştirilen modelde ilk aşamada, farklı **paydaşlarla iletişim** kurularak **kriterler belirlenmiş** ve bu kriterlerin DDSS yazılımı aracılığıyla, çok kriterli bir karar verme yaklaşımı olan bulanık AHP yöntemi kapsamında **ağırlıklandırılmaları** gerçekleştirilmiştir. Ayrıca belirlenen kriterlerle ilgili raylı sistem çevresindeki veriler toplanarak CBS üzerinde bir veritabanı oluşturulmuştur.

İkinci aşamada, ilk olarak ArcGIS yazılımına girilmiş olan kriter verilerinin alan hesapları yapılmıştır. Daha sonra, ArcGIS yazılımında, hat üzerine belirlenen aralıklarla (6 m.) alternatif istasyon noktaları tanımlanmıştır. Geliştirilen model farklı çalışmalarda kullanılırken, **çalışmanın kapsamı ve konusu bağlamında bu noktaların sıklığı artırılıp azaltılabilir**. Örneğin daha küçük bir alanda çalışılacaksa, noktaların aralıkları 1 m. alınarak, yer tespiti daha da özelleştirilebilir.

Hat üzerinde tanımlanan bu noktalara, kriter ağırlıkları, kriter verilerinin alanları ve kriter verilerinin istasyon noktaları ile olan mesafeleri dikkate alınarak ArcGIS üzerinde, otomatik olarak uygunluk puanı atanmıştır. Süreç içerisinde, ArcGIS yazılımı aracılığı ile CBS yöntemlerinin kullanılması, büyük hacimli **mekânsal veri kümelerinin hızlı bir**

şekilde işlenmesini ve analizini kolaylaştırarak anlamlı sonuçların elde edilebilmesine katkı sağlamıştır. Bu aşamada her bir noktanın uygunluk puanına tablolar üzerinden erişim sağlanabilmektedir. Ancak insan zihninin çok sayıdaki veriyi ele alma sınırlamaları nedeniyle, yoğun veri içeren bu sürecin geleneksel anlayışla, manuel olarak yürütülmesi seçim sürecini güçleştirmekte ve önemli bir iş yükü oluşturmaktadır. Bu nedenle, sayısal hesaplamaları içeren bu aşamanın yazılım üzerinde otomatik olarak yaptırılmasının sunulan modelin etkinliğini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür.

Geliştirilen modelin üçüncü aşamasında, ArcGIS kullanılarak uygunluk puanları belirlenmiş istasyon noktaları arasından en uygun olan noktaların seçim süreci gerçekleştirilmiştir. Süreç içerisinde Python'da kodlanan bir algoritma, önceden tanımlanmış başlangıç noktasından itibaren mesafe ve uygunluk puanını dikkate alarak hat boyunca en uygun istasyon noktalarının belirlenmesi için kullanılmıştır. Bu yaklaşım ile gerçek verilere dayalı sonuçların belirlenmesi, değerlendirme aşamasındaki ağır iş yükünün ortadan kaldırılması ve olası hataları en aza indirerek sonuçların kesinliğinin artırılması sağlanmıştır. Bu süreçte, minimum istasyon mesafeleri içinde kalan yüksek uygunluk puanına sahip noktaların değerlendirme dışında kalmasını önlemek için, model çift yönlü çalıştırılmıştır. Bu çift yönlü uygulama modelin güvenilirliğini daha da arttırmıştır.

Son aşamada, geliştirilen modelin çift yönlü uygulanması ile elde edilen istasyon noktalarından, mesafe olarak birbirine çok yakın olanlar arasından daha düşük uygunluk puanına sahip istasyon noktalarının elenmesi için, python'da kodlanan bir algoritma kullanılmıştır. Geriye kalan noktalar MATLAB yazılımı kullanılarak **optimize edilmiştir**. Süreç içerisinde, hem uygunluk puanları hem de istasyonlar arası mesafeler dikkate alınarak, istasyon noktalarına ait **optimum dizilimleri elde etmek** için genetik algoritma tabanlı çok amaçlı bir optimizasyon (pareto) gerçekleştirilmiştir. Model kapsamında, optimizasyon sonrası pareto eğrisi üzerinde tespit edilen en iyi dizilimler incelenmiş ve iki amaç fonksiyonunun da pozitif yönde dikkate alınabilmesi için, çalışma amacına daha uygun olduğu anlaşılan grafiğin orta bölgesindeki dizilerden, en uygun dizi seçilmiştir.

Çalışmada kapsamında bu optimizasyon yöntemi ile **amaca yönelik birçok alternatif çözümün geliştirilmesi**, farklı fikirlerin üretilmesi noktasında önemli görülmektedir. Ayrıca, elde edilen farklı istasyon dizilimi senaryoları sayesinde, karar vericiler tarafından

potansiyel sonuçların değerlendirilmesi ve riskleri en aza indiren kararların alınması mümkün olabilmektedir. Farklı konulara yönelik yapılacak çalışmalarda, problemin türüne göre bu alternatif çözümler arasından farklı yönde seçimlerin yapılması mümkündür. Sonuç olarak optimizasyon süreci ile istasyon sayıları uygun seviyeye getirilmiş ve hat boyunca istasyon noktaları için en uygun yer seçimi yapılarak süreç tamamlanmıştır.

Bu süreç sonunda modelden elde edilen verilerin, 2014-2023 Güney Marmara Bölge Planı'nda yer alan, şehirlerarası tren hattının Balıkesir kent merkezi dışına taşınması ve kent merkezinden geçen raylı sistemin hafif raylı sisteme dönüştürülmesini kapsayan birinci etap sürecindeki planlamada, Balıkesir'deki karar vericiler için önemli bir referans teşkil etmesi öngörülmektedir. Ayrıca geliştirilen modelin, bu planlamanın ikinci etabını (Şekil 1.1) oluşturan hafif raylı sistem için yeni bir güzergâh belirlenmesi ve uygun istasyon yerlerinin tespiti sürecinde kullanılması ile olası kentsel problemlerin çözümü noktasında önemli avantajlar sağlayacağı da düşünülmektedir.

Yapılan bu çalışma, modelin çok yönlülüğü ile benzer bağlamlarda uyarlanabilir ve uygulanabilir olduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda, farklı çalışmalara yönelik olarak **geliştirilmeye imkân veren** bu modelin, mekânsal yer seçimi ile ilgili karar verme problemlerinde kullanımının, hem **girilen veriler doğrultusunda tutarlı sonuçlar elde edilmesi**, hem de kullanımında **karar vericiye kolaylık sağlaması** açısından, bu alanda yapılacak benzer çalışmalar için iyi bir rol model olacağı düşünülmektedir. Kent içi ulaşımında etkili bir hafif raylı sistemin planlanması sürecinde, geliştirilen karar destek modelinin kullanılmasıyla elde edilen avantajlar aşağıda sunulmuştur:

- Kentsel alanda yer tespiti problemlerine daha sistematik bir çözüm geliştirilerek, mekânsal verilere dayanan özdevinimli bir süreç sunar. Böylece, öznel yargılara olan bağımlılık azaltılır ve karar verme sürecinin ölçülebilir faktörlere dayanmasını sağlayarak şeffaflık artırılır.
- Model, önceden belirlenmiş kriterlere göre en uygun konumların belirlenmesine yardımcı olur ve seçilen noktaların belirli gereksinimleri karşılamaını sağlayarak daha iyi bir genel performans ve işlevsellik sağlar.
- Model verileri ve kodları bir kez düzenlendikten sonra, tanımlanan sayısal değerler farklılaştırılarak, analizler defalarca tekrarlanabilir. Bu durum, farklı senaryoların analizini kolaylaştırarak, karar vericilerin değişen kriter ve koşulların etkisini değerlendirmesine olanak tanır.

- Geleneksel yöntemlerde değerlendirmenin insan karar vericiler tarafından yapılması, alternatif noktalarının sınırlı sayıda tutulmasına neden olmaktadır. Geliştirilen model ile herhangi bir sınırlama olmaksızın ele alınan her noktanın potansiyeli belirlenebilir.
- Model ile yapılan yer tespitinde, değerlendirme süreçlerinde karşılaşılan ağır iş yükü ve zorluklar makine tarafından gerçekleştirilen hesaplamalar sayesinde ortadan kaldırılır. Böylece karar vericilerin, problemin daha stratejik konularına odaklanmasına imkân sağlanır.
- Elde edilen en yüksek uygunluk puanına sahip istasyon noktalarının optimizasyonu ile tek bir doğru istasyon dizilimi değil, değerlendirilebilecek birçok en uygun istasyon dizilimi elde edilmektedir. Böylece çözüm için farklı alternatifler sunulur, karar vermede daha uygulanabilir bir yaklaşım sağlanır.
- Model kolaylıkla farklı alanlara veya farklı problemlere göre geliştirilerek kullanılabilir.

Hemen hemen bütün karar destek modellerinin belirli güçlü ve zayıf yönleri vardır ve bunlar modelin türüne, karmaşıklığına, dayandığı verilere ve uygulandığı bağlama bağlı olarak değişir. Çalışma kapsamında sunulan model de sahip olduğu birçok güçlü özellikler ile birlikte bazı dezavantajları bünyesinde barındırmaktadır:

- Model içerisinde gerçekleştirilen hesaplamaları ve analizleri gerçekleştirebilmek veya modeli farklı amaçlarla geliştirebilmek için, kullanılan yazılımlar ve gerçekleştirilen kod yapısı konusunda **uzmanlık** gerekmektedir.
- Modelin doğruluğu ve güvenilirliği büyük ölçüde girdi **verilerinin kalitesine** bağlıdır. ArcGIS'e girilen tutarsız veya hatalı konumsal veriler güvenilir sonuçlara yol açabilir.
- Model kapsamında özellikle fazla sayıda kriter ve veri katmanıyla işlemleri gerçekleştirmek, **karmaşıklık** yaratabilmekte ve **uzun işlem sürelerine** neden olabilmektedir.
- Modele, yer seçimi konusunda önemli olabilecek, nüfusun sosyo ekonomik özellikleri gibi topluluk yaşantısındaki kolaylıkla ölçülemeyen **soyut yönler** dâhil edilememektedir. Bu durum, karar vermede potansiyel olarak istasyon konumlarının önemli niteliksel yönlerinin gözden kaçırılmasına neden olabilmektedir.

Bunlarla birlikte genel olarak karar destek modelleriyle ilişkili bazı dezavantajların azaltılmasında, sürece alan uzmanlarını dahil etmek, şeffaflığı sağlamak ve etik sonuçları göz önünde bulundurmaya yararlı olabilmektedir.

4.2 Öneriler

Gerçekleştirilen alan çalışması sonucunda, karar destek sistemleri ile insan yargısını dengeleyen bir anlayış üzerine yapılandırılmış modelin, kentsel alandaki yer seçimi problemlerinde de etkili bir şekilde kullanılabilmesi düşünülmektedir. Modelin böylesi bir kentsel problemin çözümünde; süreç içinde hem zaman hem de işyükünü azaltarak, karar adımlarında kararların rasyonel ve bilinçli bir şekilde verilmesine imkân sağlayacağı, böylece elde edilen sonuçların çok daha güvenilir olacağı öngörülmektedir. Bu anlayışla gelişime açık bir durumda olan model aracılığıyla, tüm çalışma alanı ızgara sistemine bölünerek alternatif noktaların atanması ve bunlar arasından en uygun noktalar belirlenerek **güzergah** veya **tesis yerleri** (okul, hastane, alışveriş merkezi vb.) tespit edilme süreci farklı çalışmalarda araştırılabilir.

Kentsel alanda modeli kullanarak yapılacak olan çalışmalarda, geliştirilebilecek bir arayüz ile kriterlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi süreçlerine **kentin kullanıcılarının da katılımı** sağlanabilecektir. Böylece, kentte yaşayanların fikirleri de dikkate alınarak, daha kapsamlı ve detaylı bir veri seti oluşturulabilecek ve sistemin daha verimli işlemesi sağlanabilecektir. Bu kapsamda, daha ileriki aşamalarda **yapay zeka teknikleri** de entegre edilerek modelin yetenekleri artırılabilir.

Ayrıca, geliştirilen modelin, arazi nitelikleri ile ilgili verilerin de sayısal olarak entegre edilmesiyle, daha geniş kapsamda, **şehirler arası demiryollarının** belirlenmesi süreçlerinde de kullanım potansiyelinin olacağı düşünülmektedir. Böylece modelin, uzun vadeli planlamalarda demiryollarının gelişimi ile ilgili verilecek kararlara destek sağlaması öngörülmektedir.

Çalışmada geliştirilen karar destek modeli, 4 aşama üzerinden alan çalışması kapsamında uygulanırken farklı yazılımlar üzerinde birçok işlem, analiz ve hesaplama gerçekleştirilmiştir. İleride yapılacak bir çalışma ile modelin daha tanımlı bir süreç üzerinden işletilerek kullanım verimliliğini arttırmak için, öncelikle ArcGIS üzerinde

gerçekleştirilen uygunluk puanı hesaplama ve en uygun noktaların seçimi süreçlerini bütünleşik olarak gerçekleştirilebilecek bir aracın geliştirilmesi, CBS yöntemleriyle ele alınan bu sürecin daha kolay ve yaygın kullanımını sağlayabilir. Bulanık AHP ile yapılan kriter ağırlıklandırmaları ve optimizasyon süreçlerinin de geliştirilecek araca entegre edilmesiyle, CBS tabanlı çalışan daha **bütüncül bir aracın** elde edilmesi söz konusu olabilir. Ayrıca, geliştirilen model **mobil cihazlara** uyumlu hale getirilerek, talebe göre kişiselleştirilmiş **konum bazlı öneriler** sunan bir uygulama elde edilebilir.

Balıkesir özelinde ise, istasyon yerlerinin tespitinin ardından, kent merkezinde önerilen hafif raylı sistemin hayata geçmesiyle, belirlenen noktaların çevresi için **geliştirici** bir rol üstlenerek önemli birer odak noktası olacağı öngörülmektedir. Yapılacak **tahmin ve simülasyon** çalışmaları ile bu öngörünün ne ölçüde, ne yönde ve ne yoğunlukta olacağı farklı çalışmalarda araştırılabilir.

5. KAYNAKLAR

- Acar, İ. H. (2005). Kentlerimiz için "metrobüs" çözümleri. 6. *Ulaştırma Kongresi* (s. 89-98), İstanbul.
- Affenzeller, M., Wagner, S., Winkler, S. ve Beham, A. (2009). *Genetic algorithms and genetic programming: modern concepts and practical applications*. Amerika Birleşik Devletleri: CRC Press.
- Akgün, B., Birol, G. ve Çivici T. (2015). Kentsel sınırlar: Balıkesir istasyon bölgesi ve çevresinin sınır kavramı aracılığıyla incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30 (2), 333-344. Erişim Adresi: <https://muhendislik.cu.edu.tr/>
- Akın Güler, G. ve Tural, O. (2018). Eskişehir kent merkezinde demiryolunun yer altına alınarak terk ettiği zeminin kentsel mekana katılımı. 27. *Uluslararası Yapı ve Yaşam Kongresi* (s. 299-306), Bursa.
- Akkar, Z. M. (2006). Kentsel dönüşüm üzerine Batı'daki kavramlar, tanımlar, süreçler ve Türkiye. *Planlama*, 2 (36), 29-38. Erişim Adresi: <https://www.researchgate.net/>
- Akyıldız, N. A. (2023). Biyofilik tasarım konulu lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizi, *Urban Academy- Journal of Urban Culture and Management*, 16 (2), 879-904, doi.org/10.35674/kent.1137707.
- Akyol, S. (2021). Global optimizasyon için yeni bir hibrit yöntem: kata kartalı optimizasyonu-tanjant arama algoritması. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 33 (2), 721-733, doi.org/10.35234/fumbd.956011.
- Aliağaoğlu, A. ve Yiğit, Y. (2013). Balıkesir'de şehirselleşme toponimi: cadde adları. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 18 (30), 311-330, doi.org/10.17295/ataunidcd.31330.
- Alkay, E. (Ed.). (2014). *Şehir planlamada analiz ve değerlendirme teknikleri*. İstanbul: Literatür:Yayıncılık.
- Alter, S.L. (1980). *Decision support systems: current practice and continuing challenge*. Massachusetts: Addison-Wesley.
- Altıntaş, M. (2018). *Using analytic hierarchy process as a decision-making tool in the design process of building elements: a case study on a portable dwelling unit*.

- (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 512691).
- Aydın, G. ve Erdoğan, A. (2011). Web tabanlı bir mekânsal karar destek sistemi tasarımı ve geliştirilmesi. *FEEB 2011 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, (s. 242-247), Elazığ. Erişim Adresi: <https://www.researchgate.net/>
- Aydinoğlu, A. Ç., Şişman, S. ve Ergül, İ. (2022). Sezgisel ağ tabanlı konum tahsis analiz algoritmaları ile tesis yeri optimizasyonu: İtfaiye tesisleri yer seçimi örneği. *Journal of Turkish Operations Management*, 6 (1), 955-976. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/>
- Balıkesir Büyükşehir Belediyesi. (2017). Karesi (Merkez) 1/5.000 Ölçekli Revizyon+İlave Nazım İmar Planı, Plan Açıklama Raporu, 1, İstanbul.
- Banerjee, S., Kabir, M., Khadem, N. K. ve Chavis, C. (2020). Optimal locations for bikeshare stations: A new GIS based spatial approach. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4, doi.org/10.1016/j.trip.2020.100101.
- Banger, G. (2011). *Kent Bilgi Sistemlerinin Esasları*, Ankara: Nobel Yayın.
- Banihashemian, S. ve Adibnia, F. (2021). A novel robust soft-computed range-free localization algorithm against malicious anchor nodes. *Cognitive Computation*, 13 (9), doi.org/10.1007/s12559-021-09879-w.
- Bastı, M. (2012). P-medyan tesis yeri seçim problemi ve çözüm yaklaşımları. *Online Academic Journal of Information Technology*, 3 (7), 47-75, doi.org/10.5824/1309-1581.2012.2.004.x.
- Bilgilioğlu, S. S. (2018). *Makine öğrenmesi teknikleri ile mekansal karar destek sistemlerinin geliştirilmesi: Aksaray İli örneği* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 526527).
- Boender, C. G. E., de Graan, J. G. ve Lootsma, F. A. (1989). Multi-criteria decision analysis with fuzzy pairwise comparisons. *Fuzzy Sets and Systems*, 29 (2), 133-143, doi.org/10.1016/0165-0114(89)90187-5.
- Brunelli, M. (2015). *Introduction to the analytic hierarchy process*. Springer International Publishing.
- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17 (3), 233-247,

doi.org/10.1016/0165-0114(85)90090-9.

Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95, 649-655, doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2.

Cirit, F. (2014). *Sürdürülebilir kent içi ulaşım politikaları ve toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırılması* (Uzmanlık Tezi). T.C. Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü.

Clark, K. C. (1986). Advances in Geographic Information Systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 10 (3-4), 175-184, doi.org/10.1016/0198-9715(86)90006-2.

Colomina, B. (1994). *Privacy and the Publicity: Modern Architecture as Mass Media*, Massachusetts: The MIT Press.

Cobo, M. J., Jürgens, B., Herrero-Solana, V., Martinez, M. A. ve Herrera-Viedma, E. (2018). Endüstri 4.0: bibliyometrik analize dayalı bir bakış açısı. *Procedia Bilgisayar Bilimi*, 139, 364-371.

Cowen, D. J. (1988). GIS versus CAD versus DBMS: What Are the Differences? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54 (11), 1551-1555. Erişim Adresi: <https://www.asprs.org/>

Çakar, K. (2009). *Genetik algoritmalar yardımıyla acil servis istasyonu yerleşiminin optimizasyonu* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 241785).

Çiçek, D. ve Kozak, N. (2012). Anatolia: turizm araştırmaları dergisi'nde yayımlanan hakem denetimli makalelerin bibliyometrik profili. *Türk Kütüphaneciliği*, 26 (4), 734-756. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/>

Çimen, H. D. (2020). Kamusal bir geri dönüşüm projesi: New York High Line Park. Arkitekt. Erişim adresi: <https://www.gzt.com/arkitekt/kamusal-bir-geri-donusum-projesi-new-york-high-line-park-3548614>, Erişim tarihi: 4 Haziran 2023.

Demir, H. ve Eriğüç, G. (2018). Bibliyometrik bir analiz ile yönetim düşünce sisteminin incelenmesi. *İş ve İnsan Dergisi*, 5 (2), 91-114, doi.org/10.18394/iid.395214.

Diodato, V. P. (1994). *Dictionary of bibliometrics*. New York: The Hawthome Press.

- Dinçer, İ. ve Enlil, Z. (Ed.). (2020). *Kent ve planlama*. İstanbul: YEM Yayın.
- Dos Santos, B. S., Steiner, M. T. A., Fenerich, A. T. ve Lima, R. H. P. (2019). Data mining and machine learning techniques applied to public health problems: A bibliometric analysis from 2009 to 2018. *Computers & Industrial Engineering*, 138, 106120, doi.org/10.1016/j.cie.2019.106120.
- Drezner, Z. ve Hamacher, H. (Eds.). (2001). *Facility Location; Applications and Theory*. Almanya: Springer-Verlag.
- Engin, T. (2013). *Genetik algoritma ile toplu ulaşım sistemi hareket çizelgesi optimizasyonu: Çanakkale örneği* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 345093).
- Erbaş, M., Kabak, M., Özceylan, E. ve Çetinkaya, C. (2018). Optimal siting of electric vehicle charging stations: A GIS-based fuzzy multi-criteria decision analysis. *Energy*, 163, 1017-1031, doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.140.
- Ergül, E. U. (2010). *Çok amaçlı genetik algoritmalar: temelleri ve uygulamaları* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 259241).
- Ersoy, M. (ed). (2012). *Kentsel planlama ansiklopedik sözlük*. İstanbul: Ninova Yayıncılık.
- Ersoy, M. (2015). *Kentsel planlamada standartlar*. İstanbul: Ninova Yayıncılık.
- Esri. ArcGIS Pro. Erişim adresi: <https://pro.arcgis.com/>, Erişim tarihi: 5 Mayıs 2023.
- Esri. ArcGIS Hakkında. Erişim adresi: <https://www.esri.com.tr/tr-tr/arcgis-hakkında/genel-bakis>, Erişim tarihi: 17 Mayıs 2023.
- Fletcher, R. (2020). *Practical Methods of Optimization*. Amerika Birleşik Devletleri: John Wiley & Sons.
- Gerçek, H. (2003). İstanbul Ulaştırma Ana Planı ve Mevcut Uygulamalar. *İstanbul Bülten*, 65.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization & machine learning*. Amerika Birleşik Devletleri: Addison-Wesley Publishing Company.
- Goodchild, M. F. (1985). Geographic information systems in undergraduate geography: a contemporary dilemma. *Operational Geographer*, 8, 34 - 38. Erişim Adresi:

<https://asu.elsevierpure.com/>

- Gök Tokgöz, Ö. (2019). *Eskişehir sanayi mirasının kentin işitsel peyzajındaki yeri dönüşümü ve etkileri* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 591781).
- Göksu, A. ve Güngör, İ. (2008). Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13 (3), 1-26. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/>
- Güner, H. (2005). *Bulanık AHP ve bir işletme için tedarikçi seçimi problemine uygulanması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 196993).
- Güney Marmara Kalkınma Ajansı. *TR22 Güney Marmara Bölgesi 2014-2023 Bölge Planı, Balıkesir, Çanakkale*.
- Gürsoy, M. (2019). Çağış yerleşkesi ile Balıkesir il merkezi arasında hafif raylı sistemlerin araştırılması üzerine bir araştırma (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 561506).
- Güven Ulusoy, Ö. ve Ulusoy, C. (2020). Bellekten Mekana: Mimari Tasarım Stüdyosu Aracılığıyla Eskişehir Kentinin Toplumsal Bellek İzlerini Oku(t)mak. *Online Journal of Art and Design*, 8 (1), 58-76. Erişim Adresi: <https://www.researchgate.net/>
- Hanson, S. (Ed.). (1995). *The geography of urban transportation* (s. 81-89), New York: Guilford Press.
- Haupt, R. L. ve Haupt, S. E. (2004). *Practical genetic algorithms*. Amerika Birleşik Devletleri: John Wiley & Sons.
- Kabak, M., Erbas, M., Çetinkaya, C. ve Özceylan, E. (2018). A GIS-based MCDM approach for the evaluation of bike-share stations. *Journal of Cleaner Production*, 201, 49-60, doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.033.
- Karayollari Kenarında Yapılacak Ve Açılacak Tesisler Hakkında Yönetmelik*. (1997, 15 Mayıs). *Resmi Gazete* (Sayı: 22990).
- Karipoğlu, F., Genç, M. S. ve Akarsu, B. (2022). GIS-based optimal site selection fort he

- solar-powered hydrogen fuel charge stations. *Fuel*, 324 (B), doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124626.
- Kasımoğlu, E. (2015). *Tramvay istasyonlarında tasarım ve güvenlik esaslarının araştırılması: İstanbul T1 tramvay hattı incelemesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 398098).
- Kaya, Ö., Alemdar, K. D., Atalay, A., Çodur, M. Y. ve Tortum, A. (2022). Electric car sharing stations site selection from the perspective of sustainability: A GIS-based multi-criteria decision making approach. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, doi.org/10.1016/j.seta.2022.102026.
- Kılıç, D., Yağcı, C. ve İşcan, F. (2023). A GIS-based multi-criteria decision analysis approach using AHP for rural settlement site selection and eco-village design in Erzincan, Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences*, 86, doi.org/10.1016/j.seps.2022.101478.
- Kırlangıçoğlu, C. (2014). *Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı raylı sistem güzergah tasarımı: İstanbul örneği* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 361801).
- Knani, M., Echchakoui, S. ve Ladhari, R. (2022). Artificial intelligence in tourism and hospitality: Bibliometric analysis and research agenda. *International Journal of Hospitality Management*, 107, 103317, doi.org/10.1016/j.ijhm.2022.103317.
- Kocaman, H. (2018). *Toplu taşıma güzergah tespitinde coğrafi bilgi sistemleri ile iyileştirilmiş durak konumu belirleme uygulamaları: Sakarya örneği* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 540822).
- Krauskopf, E. (2018). A bibliometric analysis of the journal of infection and public health: 2008–2016. *Journal of Infection and Public Health*, 11 (2), 224-229, doi.org/10.1016/j.jiph.2017.12.011.
- Kuby, M., Barranda, A. ve Upchurch, C. (2004). Factors influencing light-rail station boardings in the United States. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38 (3), 223-247, doi.org/10.1016/j.tra.2003.10.006.

- Kurutkan, M. N. ve Orhan, F. (2018a). *Kalite prensiplerinin görselharitalama tekniğine göre bibliyometrik analizi*. SAGE Yayıncılık.
- Kurutkan, M. N., & Orhan, F. (2018b). *Sağlık politikası konusunun bilim haritalama teknikleri ile analizi*. Iksad Publications.
- Küçükönder, M. ve Karabulut, M. (2007). Çok kriterli analiz yöntemi kullanılarak Kahramanmaraş'ta çöp depolama alanı tespiti. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5 (2), 55-76, doi.org/10.1501/Cogbil_0000000075.
- Jacobs, J. (2015). *Büyük Amerikan Şehirlerinin Ölümü ve Yaşamı*, İstanbul: Metis Yayınları.
- Lanza, K., Oluyomi, A., Durand, C., Gabriel, K. P., Knell, G., Hoelscher, D. M., Ranjit, N., Salvo, D., Walker, T. J. ve Kohl, H.W. (2020). Transit environments for physical activity: Relationship between micro-scale built environment features surrounding light rail stations and ridership in Houston, Texas. *Journal of Transport & Health*, 19, doi.org/10.1016/j.jth.2020.100924.
- Laarhoven, P. J. M., Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 229-241, doi.org/10.1016/S0165-0114(83)80082-7.
- Li, D., Deng, L. ve Cai, Z. (2020). Intelligent vehicle network system and smart city management based on genetic algorithms and image perception. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 141, doi.org/10.1016/j.ymsp.2020.106623.
- Li, K., Rollins, J. ve Yan, E. (2018). Web of science use in published research and review papers 1997-2017: a selective, dynamic, cross-domain, content-based analysis. *Scientometrics*, 115, 1-20, doi.org/10.1007/s11192-017-2622-5.
- Longley, P. A. ve Batty, M. (2003). *Advanced Spatial Analysis*. Kaliforniya: ESRI.
- Lynch, K. (2015). *Kent İmgesi*, İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.
- Mahdi, A. J. ve Esztergár-Kiss, D. (2023). Supporting scheduling decisions by using genetic algorithm based on tourists' preferences. *Applied Soft Computing*, 148, doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110857.
- Malczewski, J. (2011). Local weighted linear combination. *Transactions in GIS*, 15(4), 439-455, doi.org/10.1111/j.1467-9671.2011.01275.x.
- Menzafou, A., Blagojevic, M. ve Dimitriou, E. (2021). A GIS-MCDA-based suitability

- analysis for meeting targets 6.3 and 6.5 of the sustainable development goals. *Sustainability*, 13 (8), 4153, doi.org/10.3390/su13084153.
- Nyimbili, P. H. ve Erden, T. (2020). GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey. *Socio-Economic Planning Sciences*, 71, doi.org/10.1016/j.seps.2020.100860.
- Paksoy, T., Yapıcı Pehlivan, N. ve Özceylan E. (2013). *Bulanık küme teorisi*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Palabıyık, S. (2004). *Kent ölçeğinde üniversite kampus arazileri seçimi: Bir bulanık küme yaklaşımı* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 149888).
- Palabıyık, S. (2011). *Mimari Tasarım Sürecinde karar verme: Bulanık AHS yöntemi* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 297189).
- Palabıyık, S. ve Alkılınç, E. (2020). Developing a web based software for the evaluation of architectural designs. *A|Z Itu Journal of the Faculty of Architecture*, 18 (2), 365-382, doi.org/doi:%2010.5505/itujfa.2021.26986.
- Palabıyık, S. ve Demircan, D. (2020). Mimarlıkta hesaplamalı tasarım yöntemlerine ait potansiyellerin yaşam döngüsü modeli üzerinden değerlendirilmesi. *Uluslararası Hakemli Tasarım Ve Mimarlık Dergisi*, 21, 91-123, doi.org/10.17365/TMD.2020.21.5.
- Paulavicius, R., Stripinis, L., Sutaviciute, S., Kocegarov, D. ve Filatovas, E. (2023). A novel greedy genetic algorithm-based personalized travel recommendation system. *Expert Systems with Applications*, 230, doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120580.
- Pomffyova, M. (Ed.). (2018). *Management of information systems*. InTech.
- Power, D. J. (2002). *Decision support systems: concepts and resources for managers*. Londra: Quorum Books.
- Pritchard, A. (1969). Statistical bibliography or bibliometrics? *Journal of Documentation*, 25(4), 348-349. Erişim Adresi: <https://www.researchgate.net/>
- Reddy, K. H. K., Luhach, A. K., Pradhan, B., Dash, J. K. ve Roy, D. S. (2020). A genetic algorithm for energy efficient fog layer resource management in context-aware

- smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 63, doi.org/10.1016/j.scs.2020.102428.
- Roberts, P. ve Sykes, H. (2008). *Urban regeneration: a handbook*. Londra: Sage Yayıncılık.
- O'Sullivan, D. ve Unwin, D. J. (2010). *Geographic information analysis*. Amerika Birleşik Devletleri: John Wiley & Sons.
- Örs Demir, G. (2008). *Kentsel Dış Mekân Kullanımlarının Değişim ve Dönüşüm Bağlamında İncelenmesi: Eskişehir Kent Merkezi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 238167).
- Saaty, T. L. (2008). The analytic hierarchy and analytic network processes: applications to decisions under risk. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 1 (1), 122-196, doi.org/10.29020/nybg.ejpam.v1i1.6.
- Sakawa, M. (2002). *Genetic algorithms and fuzzy multiobjective optimization*. Amerika Birleşik Devletleri: Kluwer Academic Publishers.
- Sarker, R. A. ve Newton, C. S. (2007). *Optimization modelling: a practical approach*. Londra: CRC Press.
- Satılmış, S. (2016). Osmanlı'da Bandırma-Soma demiryolu hattının kuruluşu. *Journal of History and Future*, 2 (2), 157-185, doi.org/10.21551/jhf.v2i2.5000196355.
- Shatnawi, N., Al-Omari, A. A. ve Al-Qudah, H. (2020). Optimization of bus stops locations using GIS techniques and artificial intelligence. *Procedia Manufacturing*, 44, 52-59, doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.204.
- Shaw, S. L. (1991). Urban transit accessibility analysis using a GIs: a case study of Florida's tri-rail system. *Southeastern Geographer*, 31, 15-30, doi.org/10.1353/sgo.1991.0005.
- Sivanandam, S. N. ve Deepa, S. N. (2008). *Introduction to genetic algorithms*. Hindistan: Springer.
- Small, H. (1999). Visualizing science by citation mapping. *Journal of the American Society for Information Science*, 50 (9), 799-813, doi.org/10.1002/(SICI)1097-4571(1999)50:9<799::AID-ASI9>3.0.CO;2-G

- Sprague, R.H. ve Carlson, E.D. (1982). *Building effective decision support systems*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Steinberg, S. L. ve Steinberg, S.J. (2015). *GIS research methods: Incorporating spatial perspectives*. New York: Esri Press.
- Supçiller, A. ve Çapraz, O. (2011). AHP-TOPSIS yöntemine dayalı tedarikçi seçimi uygulaması. *Ekonometri ve İstatistik e-Dergisi*, 13, 1-22. Erişim Adresi: <https://www.researchgate.net/>
- Tapan, M. (2004). *Mimarlıkta değerlendirme*. İstanbul: İTÜ Yayınevi.
- Taşkın, Ç. ve Emel, G. G. (2002). Genetik algoritmalar ve uygulama alanları. *Bursa Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21 (2), 129-152. Erişim Adresi: <https://www.researchgate.net/>
- T. C. Balıkesir Valiliği. Erişim adresi: <http://www.balikesir.gov.tr/ilcelerimiz>, Erişim tarihi: 5 Ekim 2022.
- T. C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2018). *Ulaşan ve erişen Türkiye 2018*. Erişim adresi: <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/bakanlik-yayinlari/ulasan-ve-erisen-turkiye-2018.pdf>, Erişim tarihi: 8 Kasım 2022.
- TCDD. (2022). *Demiryolu medeniyeti*. Ankara: Emsal Matbaa.
- TCDD. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Bölge Haritası. Erişim adresi: <https://static.tcdd.gov.tr/webfiles/userfiles/files/genel/tcddharita.pdf>, Erişim tarihi: 20 Ekim 2022.
- Tomlinson, R. (2014). *Thinking about GIS: Geographic information system planning for managers*. California: Esri Press.
- Toms, S. ve Parker, B. (2022). *Phyton for ArcGIS Pro: Automate cartography and data analysis using ArcPy, ArcGIS API for Phyton, Notebooks, and pandas*. Birmingham: Packt Publishing.
- Tunga, S. (1997). *Balıkesir tarihi sit bölgesinde imar planına göre yapılan yapılaşmanın kent dokusu üzerine etkisi ve örnek çalışmalar* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 58545).
- Turban, E. (1995). *Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems*.

- Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Turban E., Aronson J. ve Liang, T. (2005). *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. New Jersey: Prentice Hall.
- Turoğlu, H. (2000). *Coğrafi bilgi sistemlerinin temel esasları*, İstanbul: Acar Yayıncılık.
- Udo, G.J. ve Guimaraes, T. (1994) Empirically assessing factors related to DSS benefit. *European Journal of Information Systems*, 3, 218–227, doi.org/10.1057/ejis.1994.22.
- Untermann, R. (1984). *Accommodating the pedestrian: adapting neighborhoods for walking and bicycling*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Urhan, Ö. M. ve Salihoğlu, T. (2021). Hafif raylı sistem (HRS) güzergâh problemi çözümlüne yönelik çok kriterli-CBS destekli yaklaşım: Gebze-Darıca HRS örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3 (2), 67-88. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/>
- Uysal, Y. (2006). İstanbul ve Ulaşım. *Mimar.ist*, 6 (20), 57-60.
- Gönenç Sorguç, A., Özgenel, Ç. F. ve Kruşaya Yemişcioğlu, M. (Eds.). (2017). *MSTAS 2017 İmkansız Mekanlar: Olanaksızın Olanadığı*. Sim Matbaa.
- Yıldırım, İ. (1996). Atatürk Dönemi Demiryolu Politikasına Bir Bakış. *Atatürk Araştırma Merkezi Dergisi*, 12 (35), 387-396. Erişim Adresi: <https://dergipark.org.tr/>
- Yücel, A. (2016). Mesafe kısıtlı çok yönlü kümelenmiş açık araç rotalama probleminin genetik algoritma ile çözümü ve bir uygulama (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 465573).
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353, doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- Zeren, D. ve Kaya, N. (2020). Dijital pazarlama: ulusal yazının bibliyometrik analizi. *Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17 (1), 35-52. Erişim Adresi: <https://www.acarindex.com/>
- Zhang, Z., Li, J., Liu, Y. ve Chen B. (2009). Application of GIS and spatial decision support system for affordable housing. *4th International Conference on Computer Science & Education* (s. 1110-1115), Nanning.

EKLER

EKLER

EK A: Python aracılığı ile yazılan, uygun istasyonların seçimini sağlayan kod bloğu

```
import arcpy

fc = 'C:/Users/alkil/Desktop/arcgis/arcgis_tez/calisma_tez/calisma_tez.gdb/t_istasyonlar'
fields = ['OBJECTID', 'P_Toplam_Puan']
istasyon_liste={}

with arcpy.da.SearchCursor(fc, fields) as cursor:
    for row in cursor:
        istasyon_liste[row[0]]=row[1]

baslangic=1
my_dict={}
istasyon_sayi=3120
a=0
b=0
for i in range(baslangic,istasyon_sayi):
    a=baslangic+100
    b=baslangic+200
    if(a>istasyon_sayi):
        a=istasyon_sayi
        break
    if(b>istasyon_sayi):
        b=istasyon_sayi
    for j in range(a, b):
        my_dict[j]=istasyon_liste[j]
    if(len(my_dict) != 0):
        max_value_id = max(my_dict, key=my_dict.get)
        if(my_dict[max_value_id]>40):
            max_dict_id = max_value_id
            baslangic=max_dict_id
            i=max_dict_id
            print(max_dict_id,my_dict[max_dict_id])
            my_dict.clear()
        else:
```

```
baslangic=a
i=a
my_dict.clear()
```

EK B: Revize edilen kod bloğu

```
import arcpy
fc = 'C:/Users/alkil/Desktop/arcgis/arcgis_tez/calisma_tez/calisma_tez.gdb/t_istasyonlar'
fields = ['OBJECTID', 'P_Toplam_Puan']
istasyon_liste={}
with arcpy.da.SearchCursor(fc, fields) as cursor:
    for row in cursor:
        istasyon_liste[row[0]]=row[1]
baslangic=1
my_dict={}
my_dict2={}
istasyon_sayi=3120
a=0
b=0
for i in range(baslangic,istasyon_sayi):
    a=baslangic+100
    b=baslangic+200
    if(a>istasyon_sayi):
        a=istasyon_sayi
        break
    if(b>istasyon_sayi):
        b=istasyon_sayi
    for j in range(a, b):
        my_dict[j]=istasyon_liste[j]
    if(len(my_dict) != 0):
        liste_toplam = sum(my_dict.values())
        liste_eleman = len(my_dict)
        ortalama = liste_toplam / liste_eleman
        my_dict.clear()
        print('ortalama', ortalama)
```

```

if(ortalama>160):
    b=baslangic+150
if(120<ortalama<160):
    b=baslangic+200
if(80<ortalama<120):
    b=baslangic+300
if (ortalama<80):
    baslangic=a
    i=a
else:
    print('a',a)
    print('b',b)
    if(a>istasyon_sayi):
        a=istasyon_sayi
        break
    if(b>istasyon_sayi):
        b=istasyon_sayi
    for k in range(a, b):
        my_dict2[k]=istasyon_liste[k]
    if(len(my_dict2) != 0):
        max_value_id2 = max(my_dict2, key=my_dict2.get)
        max_dict_id2 = max_value_id2
        baslangic=max_dict_id2
        i=max_dict_id2
        print('max_id',max_dict_id2,my_dict2[max_dict_id2])
        my_dict2.clear()












```

EK C: Mesafeleri 300 m’den az olan istasyon noktalarının uygunluk puanı düşük olanın elenmesini sağlayan kod bloğu.




```
import arcpy
fc = 'C:/Users/alkil/Desktop/arcgis/arcgis_tez/calisma_tez/calisma_tez.gdb/duraklar'
fields = ['id', 'puan']
istasyon_liste={}
with arcpy.da.SearchCursor(fc, fields) as cursor:
    for row in cursor:
        istasyon_liste[row[0]]=row[1]
baslangic=0
my_dict={}
keys=[]
values=[]
for i in range(baslangic,len(istasyon_liste)):
    istasyon_liste
for k, v in istasyon_liste.items():
    keys.append(k)
    values.append(v)
mesafe=0
mesafe_id1=0
mesafe_id2=0
for i in range(baslangic,len(istasyon_liste)-1):
    mesafe = keys[i+1]-keys[i]
    mesafe_id1 = keys[i]
    mesafe_id2 = keys[i+1]
    mesafe = mesafe*6
    if mesafe <300:
        if istasyon_liste[int(mesafe_id1)]>istasyon_liste[int(mesafe_id2)]:
            print("elenen : ", "id: ",mesafe_id2, "puan: ",istasyon_liste[mesafe_id2])
        else:
            print("elenen : ", "id: ",mesafe_id1, "puan: ",istasyon_liste[mesafe_id1])
```


EK D: Kriter Verilerine İlişkin Haritalarda Kullanılan Lejant



A. Eylem alanlarına yakınlık (yoğunluk)


-  Konut alanlarına
-  Konut + Ticaret alanları
-  Yurtlar ve eğitim kurumları
-  Kamu kurumları
-  Sağlık birimleri (hastane vb.)
-  Alışveriş merkezleri ve ticari alanlar
-  Sosyal ve spor tesisleri
-  Sanayi alanları
-  Havaalanı, terminal, gar yapıları
-  Kent pazarları
-  Gelecek projeksiyonunda nüfus yoğunluğunun artacağı öngörülen alanlar


B. İstasyonlara ulaşım kolaylığı


-  Açık/kapalı otoparklara yakınlık
-  Otobüs, minibüs ve taksi duraklarına yakınlık
-  Geçiş yardımcılara (yaya geçidi, üst geçit vb.) yakınlık

C. İstasyon Çevresinin Nitelikleri

-  Konfor öğelerine (yeşil alan, rekreasyon / dinlenme alanları vb.) yakınlık
-  Çekici alanlara (kentteki referans noktası olan öğeler vb.) yakınlık

 Mevcut tren hattı

 Modelin uygulanması ile elde edilen en uygun istasyon noktaları

 İncelenen istasyonun en yakınındaki diğer istasyon noktaları