

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**MEKANSAL ANALİZ TEKNİKLERİ İLE ÇOK KRİTERLİ
KARAR VERME YAKLAŞIMI KULLANILARAK
RAYLI SİSTEM GÜZERGAH ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Berna ÇALIŞKAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**MEKANSAL ANALİZ TEKNİKLERİ İLE ÇOK KRİTERLİ
KARAR VERME YAKLAŞIMI KULLANILARAK
RAYLI SİSTEM GÜZERGAH ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

**Berna ÇALIŞKAN
(501072401)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN

HAZİRAN 2023

İSTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**RAIL SYSTEM ROUTE ANALYSIS USING MULTI CRITERIA DECISION
MAKING WITH SPATIAL ANALYSIS TECHNIQUES**



PHD THESIS

**Berna ÇALIŞKAN
(501072401)**

Department of Civil Engineering

Transportation Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN

JUNE 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501072401 numaralı Doktora Öğrencisi Berna ÇALIŞKAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “MEKANSAL ANALİZ TEKNİKLERİ İLE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI KULLANILARAK RAYLI SİSTEM GÜZERGAH ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Murat ERGÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Ali Sercan KESTEN
Işık Üniversitesi

Prof. Dr. Hande DEMİREL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 27 Mayıs 2023
Savunma Tarihi : 08 Haziran 2023





Çocuklarım, Berke Yiğit, Kaan ve Emir'e..



ÖNSÖZ

Raylı sistem planlaması, her paydaşın kendi amaç ve gereksinimlerinin olduğu, çok kısıtlı bir karar verme problemidir. Paydaşların farklı gereksinimlerini dikkate alarak kabul edilebilir çözümlere izin veren bir yol bulmak üzere, raylı sistem ulaşımı planlamasında verimli ve etkin bir katılım süreci için ne tür bir sistem yapısının farklı paydaşların bakış açılarını yakalayabileceğini belirlemek ve doğru biçimde tanımlayabilmek çok önemlidir. Kentin gelecekteki gelişimini planlayan devlet kurumları, karar vericiler; ulaşım planlama sürecinde çok kriterli karar analizinin (MCDA) rolünü algılama ve metodların kullanılması yönünde bu alanda yapılan akademik çalışmalar yol göstericilik sağlaması anlamında büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma ile, MCDA (Çok Kriterli Karar Verme) metodları incelenerek, raylı sistem planlamasında amaç ve hedeflere en iyi şekilde cevap veren ‘yapılandırılmış, kolay uygulanabilir, çok boyutlu, işbirlikçi, güvenilir, üretken ve geliştirilebilir’ bir model yapısı elde etmek için çok kriterli karar verme çerçevesinin yenilikçi potansiyelini kapsamlı bir şekilde araştırarak optimum kent içi raylı sistem güzergahı ve istasyon yer seçimine uygulanmasını içermektedir.

Ulaşım yatırımlarının geliştirilmesi için yeni değerlendirme yöntemleri/yaklaşımları bulmak, karar verme yaklaşımları ve alternatif raylı sistem projelerine öncelik verme konusunda diğer ulaştırma modlarına göre rekabet edebilirliğini artırmak faydalıdır. Türkiye’de raylı sistem planlaması yerel, bölgesel ve ulusal düzeylerde yetkilere bölünmüştür. İstanbul metropolitan kenti karmaşık bir yönetim sistemine sahiptir. Karar alma süreçlerinde yetkili tüm kurumlar işbirliği ve koordinasyon içerisinde sistematik ve sürdürülebilir bir çalışma sistemi ile desteklenmelidir.

‘‘Mekansal Analiz Teknikleri ile Çok Kriterli Karar Verme ve Kural Tabanlı Bulanık Mantık Yaklaşımı Kullanılarak Optimum Raylı Sistem Güzergahı Planlaması’’ isimli bu çalışmada, en uygun yer seçimine karar vermede göz önünde bulundurulması gereken birden çok kriterle dayalı olarak raylı sistem geçiş koridorları veya raylı sistem istasyonları için en iyi konumu belirlemek hedeflenmektedir ve raylı sistem planlamasında çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin uygulanması için bir çalışma yöntemi ve uygulamasını sunmaktadır. Çalışmada iki farklı yaklaşım kullanılarak optimum raylı sistem güzergahı planlaması analiz edilmiştir. Bunlardan ilki, mekânsal analiz teknikleri ile çok kriterli karar verme yaklaşımı kullanılarak ikincisi ise kural tabanlı bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak ‘Kent içi Raylı Sistem Uygunluk Durumu’ tespit edilmiştir.

Çok kriterli analizi (MCA), çelişen ve ölçülemeyen kriterler temelinde karar alternatiflerini tasarlamak, değerlendirmek ve seçmek için bir dizi sistematik prosedürdür. GIS ve MCA'yı entegre etmenin ana motivasyonu, coğrafi bilgi teknolojisini karar (planlama, yönetim) problemlerini analiz etmek için daha uygun hale getirme ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinin, Coğrafi bilgi sistemleri ile birlikte kullanımında (GIS tabanlı MCA), karar vericilere mekânsal verilere ilişkin birden çok çözüm yolu sunarken aynı zamanda birbirinden farklı ve bağımsız ölçütleri birlikte yorumlama olanağı sağlamaktadır. Karar verme problemleri; kriterler, alternatifler, karar verici ya da

vericiler, kontrol edilemeyen değişkenler ve sonuçlardan oluşmaktadır. Karar probleminin tanımlanması, değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi, kriter katmanlarının hazırlanması ve standartlaştırılması, kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve karar analizinin uygulanması aşamalarından oluşur.

Çalışmada ikinci yöntem olarak, bulanık karar verme yöntemleri kullanılmaktadır. Bulanık mantığın temel amacı, insanların tam ve kesin olmayan bilgiler ışığında tutarlı ve doru kararlar vermelerini sağlayan düşünme ve karar verme mekanizmalarının modellenmesi olarak belirtilebilir. Bulanık kümelerden yararlanarak, bilginin daha doğal bir şekilde ifade edilebilmesi sayesinde birçok mühendislik ve karar problemi daha kolay modellenebilmektedir. Bu çalışmada da raylı sistem uygunluk durumuna karar verme sürecinde nicel ya da nitel kriterleri de kapsayan veri girdilerinin toplulaştırılmasıyla uygunluk değeri elde edilmiştir. Bulanık küme teorisinin kullanımına en uygun alanlardan biri karar analizidir. Genellikle çok kriterli karar problemleri içerdikleri karmaşık, değerleri sözel olabilen ancak çok iyi tanımlanamayan kriterler nedeniyle bulanık küme teorisi kullanılarak modellenmeye çok uygundur.

Çok büyük emek ve çaba sarf ettiğim bu çalışmamın tamamlanması sürecinde gerek bilimsel desteği veren ve gerekse de motivasyonum açısından her zaman yanımda olan değerli hocam Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda değerli fikir ve görüşlerini benden esirgemeyen Doç. Dr. Murat ERGÜN, Dr. Ali Sercan KESTEN ve Prof. Dr. Hande DEMİREL, Doç. Dr. Caner GÜNEY hocalarıma da en içten teşekkürlerimi iletiyorum.

Son olarak, hayatım boyunca bana olan sevgi, inanç ve desteklerini hep hissettiren aileme, çok sevgili anne ve babama, eşime, çocuklarımı büyütürken bana destek veren Sayın Öznur EROğLU'na bu süreçte yanımda oldukları için teşekkür ederim.

Haziran 2023

Berna ÇALIşKAN
(İnşaat Yük.Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR.....	xv
SEMBOLLER	xvii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET.....	xxv
SUMMARY.....	xxix
1. GİRİŞ.....	1
2. KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLER	5
2.1 Raylı Sistem Araçlarının Özellikleri ve Sınıflandırılması	6
2.1.1 Banliyö treni	8
2.1.2 Metro	8
2.1.3 Hafif raylı sistem (LRT)	9
2.1.4 Tramvay.....	10
2.1.5 Monoray	10
2.1.6 Lastik tekerlekli raylı sistem.....	10
2.1.7 Füniküler sistem	11
2.1.8 Teleferik.....	11
2.2 Kent içi Raylı Sistemlerle Yapılan Yolculuk Verileri	11
2.3 Kent içi Raylı Sistemlerin Planlanması.....	15
2.4 İstanbul'un Nüfus, Demografik Yapı ve Sosyo-Ekonomik Özellikleri.....	19
2.5 Raylı sistem güzergah seçimini etkileyen parametreler ve güzergah/istasyon seçimi karar verme süreçleri.....	28
2.6 Erişilebilirlik Bakımından Raylı Sistem İstasyonlarının Değerlendirilmesi.....	35
2.6.1 Hattın hizmet alanı ve ulaşım ağının bağlantısı (F1).....	40
2.6.2 Ulaşım modları arasındaki transferi desteklemek (F2).....	40
2.6.3 Gayrimenkulün ticari kullanımını kolaylaştırmak (F3).....	41
2.6.4 Kamusal mekan sağlamak (F4)	41
2.6.5 Çevrelediği bölgenin kimliğine katkıda bulunmak (F5).....	41
2.7 Ulaştırma Planlamasında Halkın Katılımı.....	42
3. RAYLI SİSTEM YATIRIMLARI.....	47
3.1 Kamu Yatırım Projelerinde Karar Analizleri	50
3.2 Raylı Sistem Yatırımlarının Özellikleri ve Değerlendirme Yöntemleri	51
3.2.1 Fayda maliyet analizi.....	53
3.2.1.1 Fayda maliyet analizlerinde kullanılan yöntemler	54
3.3 İstanbul'daki Raylı Sistem Yatırımları.....	56
4. KARAR VERME SÜRECİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME	65
4.1 Tanım, Kavramsal Çerçeve ve Karar Verme Süreci	66
4.2 Çok Kriterli Karar Verme Problemleri.....	67
4.2.1 ÇKKV problemlerinin ortak özellikleri.....	67
4.2.2 Karar verici	70

4.2.3 Alternatifler kümesi	70
4.2.4 Nitelik, amaç, hedef ve kriter kavramları	70
4.3 ÇNKV-ÇAKV Metodlarının Ayrımları.....	72
4.4 Çok Nitelikli Karar Verme ve Çok Nitelikli Ölçüm/Değer Teorisi	73
4.4.1 Çok nitelikli karar matrisi	73
4.4.2 ÇNKV çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması.....	74
4.5 Hiyerarşik Yapılar ve Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi	74
4.5.1 Analitik hiyerarşi süreci yöntemi.....	75
4.6 Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Ölçütlü Karar Analizi.....	75
4.6.1 Bilgi evresinde CBS.....	76
4.6.2 Tasarım evresinde CBS	76
4.6.3 Seçim evresinde CBS.....	77
4.7 Çok Kriterli Mekansal Karar Destek Sistemleri.....	77
4.7.1 Çok kriterli mekansal karar destek sistemlerinin bileşenleri	78
4.8 Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Kartografik Modelleme	79
5. MEKANSAL ANALİZ TEKNİKLERİ İLE ÇOK KRİTERLİ KARAR	
VERME YAKLAŞIMI İLE RAYLI SİSTEM PLANLAMASI	83
5.1 Çalışma Alanı, Metodolojisi ve Aşamaları	83
5.2 Uzman Görüşleri İçin Anket Çalışmasının Gerçekleştirilmesi	85
5.3 Anket Sonuçlarından Kriter Ağırlıklarının Elde Edilmesi	88
5.4 Mekansal Analiz Teknikleri İle Tematik Haritaların Oluşturulması.....	92
5.4.1 Eğim kriteri.....	93
5.4.2 Jeoloji kriteri	97
5.4.3 Nüfus kriteri.....	102
5.4.4 Yüzeysel akış kriteri	103
5.4.5 Arazi kullanımı kriteri	105
5.5 Ağırlıklı Bindirme Analizinin Kullanılması.....	107
5.6 İstasyon Tampon Bölge (Buffer) Analizi	110
5.7 Model Sonuçları ve Değerlendirme.....	112
6. BULANIK MANTIK.....	117
6.1 Bulanık Mantık Kavramı	117
6.2 Bulanık Sistem.....	119
6.2.1 Üyelik fonksiyonu	120
6.3 Bulanık Modelleme	122
6.3.1 Bulanıklaştırma.....	123
6.3.2 Kural tabanlı çıkarım	123
6.3.2.1 Mamdani tipi çıkarım sistemi.....	124
6.3.3 Durulaştırma	125
6.4 Bulanık Mantık Modeli Uygulaması	126
6.4.1 Uygulama yöntemi.....	126
6.4.1.1 Eğim kriteri	128
6.4.1.2 Jeoloji kriteri	130
6.4.1.3 Nüfus kriteri	131
6.4.1.4 Arazi kullanımı kriteri.....	131
6.4.1.5 Yüzeysel akış kriteri.....	135
6.4.1.6 Uygunluk değeri.....	137
6.4.2 Verilerin üretilmesi.....	146
6.4.3 Model sonuçları	151
6.5 Bulanık Mantık Hesaplamalarının Grafikselsel Arayüz Tasarımı ile Yapılması.....	154

6.6 Bulanık Mantık Matlab Ortamında Script Yazılması.....	159
7. İSTASYON BAZLI ‘YOLCULUK TALEPLERİ’ İLE RAYLI SİSTEM BULANIK MANTIK MODEL SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	161
7.1 İstasyonlar.....	163
7.2 Yolculuk Talep Değerleri	166
7.3 Ekonomik Fizibilite Sonuçları.....	172
7.4 Değerlendirme	178
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	185
KAYNAKLAR.....	191
EKLER.....	197
ÖZGEÇMİŞ.....	215





KISALTMALAR

AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
ÇNKV	: Çok Nitelikli Karar Verme
ÇAKV	: Çok Amaçlı Karar Verme
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
MCDA	: Multi Criteria Decision Analysis
NBD	: Net Bugünkü Değer
MKDS	: Mekansal Karar Destek Sistemleri
SES	: Sosyo-ekonomik Statü
TIN	: Triangulated Irregular Network



SEMBOLLER

B_t	: t.yıldaki nakit girişı
C_t	: t.yıldaki nakit çıkışı
R	: İskonto oranı
İ	: 1,2,...,n ve (n nitelik veya amaç)
W(x)	: x alternatifinin sonuç (birleşik veya bütüncül) önceliğı
w_i	: niteliklerin diğerk niteliklere göre ağırlıkları (öncelikleri)
f_i(x)	: her i. niteliğı için elde edilen lokal öncelikler vektörünün x-bileşeni
W_i	: i. Değerlendirme kriterinin ağırlığı;
f_i	: i. Değerlendirme faktörünün uygunluk puanı
n	: değerlendirme kriterlerinin sayısı
WLC	: Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme
POP	: Nüfus kriterini temsil eden kod
STREAM	: Yüzeysel su akışı kriterini temsil eden kod
GEO	: Jeoloji kriterini temsil eden kod
LAND	: Arazi Kullanımı kriterini temsil eden kod
SLOPE	: Eğim kriterini temsil eden kod
μ_A(x)	: Üyelik Fonksiyonu



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Kentiçi raylı sistem araçlarının türlerine göre özellikleri.....	8
Çizelge 2.2 : İstanbul raylı sistemler ile taşınan günlük ortalama yolculuk değerleri.....	11
Çizelge 2.3 : İstanbul raylı Sistemler ile 07:00-08:00 arasında taşınan toplam yolculuk değerleri.....	13
Çizelge 2.4 : Ön proje tasarım aşamaları.....	18
Çizelge 2.5 : SES ölçeği ölçümü.....	24
Çizelge 2.6 : Raylı sistem planlaması- ana ve alt kriterler.....	29
Çizelge 2.7 : Alternatifler tablosu.....	31
Çizelge 2.8 : Çevresel bileşenler.....	33
Çizelge 2.9 : Değerlendirme kriterleri.....	34
Çizelge 2.10 : Raylı sistem İstasyonlarının Fonksiyonları.....	39
Çizelge 2.11 : Beyaz Masa başvuruları.....	44
Çizelge 3.1 : Kamu yatırımlarının sektörlere göre dağılımı.....	48
Çizelge 3.2 : Toplu taşıma yatırımlarına ilişkin yöntemlerin güçlü ve zayıf yanları.....	52
Çizelge 3.3 : Fayda-maliyet analizine dâhil edilen ve edilemeyen değişkenler.....	56
Çizelge 3.4 : 2020-2024 İBB Stratejik amaç ve hedefleri-Ulaşılabilir İstanbul.....	57
Çizelge 3.5 : Ulaştırma Bakanlığı'na ait raylı sistem yatırımı projeleri.....	59
Çizelge 3.6 : İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne ait raylı sistem yatırımı projeleri.....	61
Çizelge 4.1 : ÇNKV ve ÇAKV karşılaştırma tablosu.....	73
Çizelge 4.2 : Karar Matrisi.....	73
Çizelge 5.1 : Çalışma Alanı nüfus, sosyo-ekonomik ve sosyo-demografik karakteristikleri.....	84
Çizelge 5.2 : Değerlendirme ölçeği.....	91
Çizelge 5.3 : Çalışma bölgesine ait jeolojik veriler.....	97
Çizelge 5.4 : Kriterlerin alt kategorilerine göre etki puanı ve etki ağırlığı değerleri.....	109
Çizelge 5.5 : Değerlendirme kriterleri.....	110
Çizelge 6.1 : Eğim kriteri için bulanık üye fonksiyonu parametreleri.....	128
Çizelge 6.2 : Jeoloji kriteri için bulanık üye fonksiyonu parametreleri.....	130
Çizelge 6.3 : Nüfus kriteri için bulanık üye fonksiyonu parametreleri.....	131
Çizelge 6.4 : Arazi kullanımı kriteri için bulanık üye fonksiyonu parametreleri....	133
Çizelge 6.5 : Yüzeysel akış kriteri için bulanık üye fonksiyonu parametreleri.....	135
Çizelge 6.6 : Uygunluk değeri için bulanık üye fonksiyonu parametreleri.....	137
Çizelge 6.7 : Kural matrisi.....	139
Çizelge 6.8 : Kural tablosu.....	139
Çizelge 7.1 : İstasyon isimleri, km ve derinlik bilgileri.....	166
Çizelge 7.2 : Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt raylı sistem hattı, projeli ve projersiz duruma göre zirve saat kesit trafikleri.....	167
Çizelge 7.3 : Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt raylı sistem hattı günlük yolcu sayıları.....	168
Çizelge 7.4 : Kabataş –Mahmutbey-Esenyurt raylı sistem hattı yıllık yolcu sayıları.....	169

Çizelge 7.5 : Çalışma alanı istasyon noktalarındaki ‘Bulanık Mantık’ modeli girdi ve çıktı Değerleri ile Yolculuk İndi-Bindi Değerleri	172
Çizelge 7.6 : Alternatif finansman seçeneklerinin karşılaştırılması.	173
Çizelge 7.7 : Mali fizibilite duyarlılık analizi sonuçları.	173
Çizelge 7.8 : 10*10 matrisinin ‘Bulanık Mantık’ model sonuçları.	180
Çizelge 7.9 : 10*10 deneme matrisi.....	182



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Tez Akış Diyagramı	4
Şekil 2.1: İstanbul geneli kentiçi raylı sistemler haritası	5
Şekil 2.2: Kentiçi ulaşımında sistem belirleme kriterleri.	6
Şekil 2.3 : Kent içi raylı sistemler.	7
Şekil 2.4 : Üsküdar-Çekmeköy metro hattı (M5).	9
Şekil 2.5 : Yenikapı- Atatürk Havalimanı (M1A).	9
Şekil 2.6 : Kabataş-Bağcılar tramvayı (T1).	10
Şekil 2.7 : Raylı sistemler ile yapılan yolculukların dağılımı (Hafta içi günlük ortalama).....	12
Şekil 2.8 : Sabah pik saati için raylı sistem yolculuk değerleri.	14
Şekil 2.9 : 1989-2019 yılları arasındaki metro-tramvay-teleferik yolculuk artışları.	14
Şekil 2.10 : Raylı sistem projesi yaşam döngüsü.	15
Şekil 2.11 : Ulaşım planlama sürecinin temel basamakları.	16
Şekil 2.12 : Yıllara göre İstanbul'un nüfusunun değişimi.	20
Şekil 2.13: İstanbul geneli nüfus dağılımı.	20
Şekil 2.14 : İstanbul ilçeler bazında sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması.	21
Şekil 2.15 : İstanbul ili motorlu kara taşıtları sayısı, TÜİK 2023.....	22
Şekil 2.16 : Yıllara göre otomobil sahipliği (adet/1000 kişi).	22
Şekil 2.17 : ArcGIS ortamında sosyo ekonomik statü verisi girişi.	25
Şekil 2.18: Mahalle bazlı sosyo ekonomik statü puanları.	25
Şekil 2.19: Altıgen harita sosyo-ekonomik statü (SES).	26
Şekil 2.20: Altıgen harita nüfus.	27
Şekil 2.21 : Sağlık ve eğitim kurumlarına yönelik Buffer analizi (1 km).	36
Şekil 2.22 : Yolcuların erişim modu olarak yürümeyi seçmesini etkileyen faktörler.	37
Şekil 2.23 : Maksimum raylı sistem hatları-eğitim/sağlık tesisi ilişkileri.	38
Şekil 2.24: Metro güzergahı ve İstasyon Alanları Koruma Sınırı.	42
Şekil 3.1 : Toplu taşıma yatırım kararı ölçüt havuzları.	47
Şekil 3.2: Kamu sektörleri proje Sayısı (%).	49
Şekil 3.3: Kamu sektörleri yatırımları toplam proje tutarı dağılımı (%).	49
Şekil 3.4: Proje türlerine göre kamu sektörleri yatırımları.	50
Şekil 3.5: İBB Raylı Sistem Daire Başkanlığı yatırım ve hizmetler tablosu.	57
Şekil 4.1: Karar verme süreci.	65
Şekil 4.2: Tipik çok amaçlı (kriterli) karar verme süreci aşamaları.	68
Şekil 4.3: Tipik bir ÇKKV problemi.	70
Şekil 4.4 : Amaçların tipik hiyerarşik gösterimi.....	71
Şekil 4.5 : ÇNKV yöntemlerinin genel sınıflandırılması.	74
Şekil 4.6 : Bilgi-tasarım-seçim.	76
Şekil 4.7 : Çok kriterli karar analizi adımları.	78
Şekil 4.8 : ÇK-MKDS'nin genel mimarisi (Malczewski, 1999).	79
Şekil 4.9 : GIS ile model gerçekleştirme şeması.	80
Şekil 5.1: Çalışma alanının gösterimi.....	83
Şekil 5.2 : Çalışma metodolojisi.....	85
Şekil 5.3: Otobüs ile toplu taşımacılık ihtiyacını karşılama kalitesinin hiyerarşik modeli.....	90

Şekil 5.4 : Amaç-ana kriterler-alt kriterler-alternatifler.....	90
Şekil 5.5 : Örnek AHP kriter ağırlık sonuçları.	92
Şekil 5.6 : Raylı sistem güzergah seçim parametreleri.	93
Şekil 5.7: TIN (Triangulated irregular network) verisi.....	94
Şekil 5.8 : TIN’den raster harita üretilmesi.	94
Şekil 5.9: Raster’den eğim haritası üretilmesi.	95
Şekil 5.10 : Beyoğlu ilçesi eğim verisinin elde edilmesi.	95
Şekil 5.11 : Grid_code<=5 olanlar seçimi yapılan eğim değerleri.	96
Şekil 5.12 : Şişli ilçesi için eğim değerleri (grid_code<=5 olanlar seçildiğinde).....	96
Şekil 5.13: İstanbul jeoloji haritası.	97
Şekil 5.14 : Çalışma alanı jeolojisi formasyonlarının yüzde dağılımı.	98
Şekil 5.15 : Çalışma bölgesine ait jeolojik veriler (poligon veri dosyası).....	101
Şekil 5.16 : Jeoloji kriterine ait verinin raster veri formatında gösterimi.....	101
Şekil 5.17 : İstanbul ilçe nüfus değerleri.	102
Şekil 5.18 : Çalışma alanına ait nüfus verileri.	102
Şekil 5.19 : Raster formatında nüfus verisi.....	103
Şekil 5.20 : Yeniden sınıflandırılan raster formatında nüfus verisi.	103
Şekil 5.21 : Stream Model Builder akış diyagramı.	104
Şekil 5.22 : Çalışma Alanı ‘stream’ veri dosyasının görünümü.	105
Şekil 5.23: Arazi kullanımı verisinin yeniden sınıflandırılması (ReClassify).	106
Şekil 5.24 : Yeniden sınıflandırılan arazi kullanımı verisinin görünümü.....	106
Şekil 5.25: Model görüntüsü (spatial analyst tools-overlay-weighted overlay).	108
Şekil 5.26 : Tampon bölge analizi için işlem penceresi.	111
Şekil 5.27 : Raylı sistem istasyonu tampon bölge analizi (1000m).....	111
Şekil 5.28: Ağırlıklı bindirme analizi.	112
Şekil 5.29: Kartografik modelleme-model builder akışı.	113
Şekil 5.30: Uygunluk sınıfları (S1-S7).	114
Şekil 5.31 : Buffer alanları için alan(m ²) ve grid kodu değerleri (1000 m).....	115
Şekil 5.32: Mevcut ve inşaatı devam eden raylı sistem hatları, metro/metrobüs hatlarını besleyen otobüs hatları.....	116
Şekil 6.1: Bulanık mantığın genel özellikleri (Karakaşoğlu, 2008).	118
Şekil 6.2: Bulanık mantık ve uygulamaları (Karakaşoğlu, 2008).....	119
Şekil 6.3 : Genel bulanık sistem.	119
Şekil 6.4 : Eğim kriteri için üyelik fonksiyonları.	122
Şekil 6.5: Bulanık çıkarım sistemleri.....	123
Şekil 6.6: Mamdani tipi bulanık sistem adımları (Ayçın, 2011).	125
Şekil 6.7: Mamdani tipi bulanık model yapısı (Konar, 2017).	125
Şekil 6.8: Model adımları.	127
Şekil 6.9: RFLM (Raylı sistem bulanık mantık modeli).	127
Şekil 6.10: Eğim_very_suitable.	128
Şekil 6.11 : Eğim_moderately_suitable.	129
Şekil 6.12: Eğim_unsuitable.	129
Şekil 6.13 : Jeoloji_unsuitable.	130
Şekil. 6.14 : Jeoloji_suitable.	131
Şekil 6.15 : Nüfus_low.	132
Şekil 6.16: Nüfus_medium.	132
Şekil 6.17: Nüfus_high.	133
Şekil 6.18: Arazi kullanımı_unsuitable.	134
Şekil 6.19 : Arazi kullanımı_suitable.	134
Şekil 6.20 : Yüzeysel akış_low.....	135

Şekil 6.21 : Yüzeysel akış_medium.	136
Şekil 6.22: Yüzeysel akış_high.	136
Şekil. 6.23 : Uygunluk değeri_poor.....	137
Şekil. 6.24: Uygunluk değeri_good.....	138
Şekil 6.25 : Uygunluk değeri_excellent.....	138
Şekil 6.26 : Kuralların girilmesi.	142
Şekil 6.27 : Kuralların görüntülenmesi (view rules).	142
Şekil 6.28 : Paralel görselleştirme diyagramı(mükemmel, iyi ve kötü).	144
Şekil 6.29: Nüfus ve eğim girdileri için yüzey görüntüleme.....	145
Şekil. 6.30 : Yüzey görüntüleme (iki girdi verisi ve çıktı-uygunluk puanı).....	145
Şekil. 6.31 : Text dosyasına dönüştürme işlemi.	146
Şekil 6.32: Nüfus matrisi excel dosyası (216 sütun*208 satır) hücre büyüklüğü:100.....	147
Şekil 6.33 : Jeoloji matrisi excel dosyası (216 sütun*208 satır) hücre büyüklüğü:100.....	147
Şekil 6.34 : Eğim matrisi excel dosyası (216 sütun*208 satır) hücre büyüklüğü:100.....	148
Şekil 6.35 : Arazi kullanımı matrisi excel dosyası (216 sütun*208 satır) hücre büyüklüğü:100.....	148
Şekil 6.36 : Yüzeysel akış matrisi excel dosyası (216 sütun*208 satır) hücre büyüklüğü:100.....	149
Şekil 6.37 : Model çıktı dosyası (208*216).....	150
Şekil 6.38: Çalışma alanının 3 boyutlu model çıktı değerleri.	151
Şekil 6.39 : Örnek seçilen matris verisi için 'heatmap' oluşturulması.	152
Şekil 6.40 : Sonuç uygunluk puanı haritası.	153
Şekil 6.41 : MATLAB GUI tasarım penceresi.	154
Şekil 6.42 : MATLAB GUI (Graphical user interface).	155
Şekil 6.43 : MATLAB editor penceresi.....	156
Şekil 6.44 : MATLAB GUI kodlama listesi.....	157
Şekil 6.45 : MATLAB GUI logo ve görüntü dosyası - kodlama listesi.	158
Şekil 6.46 : Arayüzde girilen verilerle bulanık çıkarım motoru'ndan alınan verilerin karşılaştırılması.....	158
Şekil 7.1 : Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt metro uzatma hattı.	163
Şekil 7.2 : Çalışma alanı sınırına giren istasyonlar.	165
Şekil 7.3: Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt metrosu, zirve saat kesit trafikleri (2023 yılı-yolcu/saat/yön).	170
Şekil 7.4 : Projeli durum, Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt metrosu, zirve saat kesit trafikleri (2023 yılı-yolcu/saat/yön).....	170
Şekil. 7.5 : Projeli durum, Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt metrosu, zirve saat kesit trafikleri (2045 yılı-yolcu/saat/yön).....	171
Şekil 7.6 : Zirve saat kesit trafikleri(2023 yılı-yolcu/saat/yön).	171
Şekil 7.7 : Mahmutbey-Esenyurt metro hattı model sonuçları.	174
Şekil 7.8 : Mahmutbey-Esenyurt hattı boyunca nüfus sınıflandırması.....	175
Şekil 7.9 : Mahmutbey-Esenyurt hattı boyunca jeolojik birim sınıflandırması.....	175
Şekil 7.10 : Mahmutbey-Esenyurt hattı boyunca eğim sınıflandırması.	176
Şekil 7.11: Mahmutbey-Esenyurt hattı boyunca arazi kullanımı sınıflandırması. ..	176
Şekil 7.12 : Mahmutbey-Esenyurt hattı boyunca yüzeysel su akışı sınıflandırması.....	177
Şekil 7.13 : Pik saatte raylı sistem yolculuk değerleri (2023/yolcu/saat/tek yön)...	179
Şekil 7.14 : Ağırlıklı bindirme analizi sonuç haritası(10*10).	183

Şekil 7.15 : Bulanık mantık sonuç haritası (10*10).....	184
Şekil 7.16 : Poster 1.	213
Şekil 7.17 : Poster 2.	214



MEKANSAL ANALİZ TEKNİKLERİ İLE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI KULLANILARAK RAYLI SİSTEM GÜZERGAH ANALİZİ

ÖZET

Dünyamızda şehirlerin gelişmesi ve nüfusun artışı, kentlerdeki ev-iş, ev-okul, ev-diğer amaçlı yolculukların günden güne artmasına neden olmaktadır. Şehirlerde kişilerin ulaşım ihtiyaçlarını karşılamının optimum çözümü, kent genelinde toplu taşıma sistem ağının dengeli ve homojen bir biçimde genişletilmesidir. Ulaşım-arazi kullanımı etkileşimlerinin karmaşıklığı, altyapının ve sürdürülebilir arazi kullanımının kenarındaki seçim olasılıklarının tüm avantajlarını ve dezavantajlarını değerlendirmek için karmaşık değerlendirme yöntemlerine ve net karar verme süreçlerine ihtiyaç duyulmasını sağlar. Ulaştırma yatırımları uzun dönemli etkileri olan yüksek maliyetli yatırımlardır. Bu nedenle, bu tür büyük altyapı projelerine ilişkin önceliklerin doğru belirlenmesi ve kısıtlı ekonomik kaynakların en fazla fayda getirecek nitelikte kullanılması büyük önem taşımaktadır. Raylı sistem planlaması, her paydaşın kendine özgü amaç ve gereksinimleri olan, çok amaçlı ve kısıtlı bir problemdir. Paydaşların farklı çıkarlarını dikkate alarak kabul edilebilir çözümlere izin veren bir yol bulmayı hedefleyen bir karar verme yaklaşımını içermektedir. Raylı sistem planlamasında verimli ve etkili bir katılım süreci için ne tür bir sistem yapısının farklı paydaşların bakış açılarını yakalayabileceğini belirlemek ve tam olarak anlamak çok önemlidir.

İstanbul'da toplu taşıma yolculuklarının türlerine göre dağılımı (hafta içi günlük-ortalama) incelendiğinde, %23 ile otobüs, %15 servis, %20 minibüs, %14 taksi-taksi dolmuş, %7 metrobüs, %5 hafif raylı sistemler, %10 metro, %4 marmaray ve %2 ile deniz yolculukları gerçekleşmiştir. Ana ulaşım türlerine göre toplu taşıma yolculuklarına bakıldığında ise, %79 ile karayolu ile yapılan toplu taşıma yolculukları, %19 ile raylı sistemler ile yapılan toplu taşıma yolculukları ve %2 ile deniz ulaşımı ile yapılan toplu taşıma yolculukları gerçekleşmiştir. (Eylül,2021) Buna göre, %19 ile gerçekleşen raylı sistemlerin oranının artması için mevcut raylı sistem ağının genişletilmesi, yeni güzergahlar ile mevcut olan güzergahların entegrasyonu ve toplu taşıma kullanımının teşvik edilmesi sağlanmalıdır. Günümüzde, ulaşım yatırımlarının geliştirilmesi için yeni değerlendirme yöntemleri/yaklaşımları araştırılmaya devam etmektedir. Karar verme ve alternatif raylı sistem projelerine öncelik verme konusunda raylı sistem taşımacılığının diğer altyapı türlerine rekabet edebilirliğini artırmak faydalıdır. Kent içi toplu taşımacılıkta yaygın olarak tercih edilen raylı taşımacılık türleri; Metro, Hafif Raylı Sistem, Füniküler, Tramvay, Teleferik, Banliyö Trenleri olarak sıralanmaktadır. Raylı sistemler, hız, güvenlik, konfor, ekonomiklik, çevreye duyarlılık ve sürdürülebilirlik yönünden diğer ulaşım modlarına göre daha verimli bir alternatiftir. Metropoliten kentlerde nüfusun fazla olmasından ötürü, özellikle pik saatlerde metro sistemleri taşıma kapasitelerinden ötürü daha verimli bir ulaşım modu olarak öne çıkmaktadır.

Türkiye'de ulaşım sistemleri içerisinde raylı sistem taşımacılığının payı halen olması gereken seviyelere gelememiştir ve karayolu taşımacılığının payı yüksek seviyede kalmaktadır. Türkiye'de raylı sistem planlaması yerel, bölgesel ve ulusal düzeylerde yetkilere bölünmüştür. İstanbul metropol kenti karmaşık bir yönetim sistemine sahiptir. Birbirleriyle örtüşen veya çakışan sorumlulukları içeren, farklı kurum ve kuruluşlardan dahil olan çok sayıda birim eş zamanlı olarak çalışmaktadır. Kent içindeki nüfus dağılımı, yoğunluğu, demografik yapı, gelir dağılımı, otomobil sahipliği, kentin gelişim yapısı, yolculuk talep tahminleri, arazinin topografik yapısı,

yatırım maliyetleri, diğer ulaşım türleriyle entegrasyon, raylı ulaşım türü seçimi, çevresel etmenler, vb. birçok faktör toplu taşıma ağının geliştirilmesinde etkili olmaktadır. Karar verme sürecinde kentin onaylanan imar ve ulaşım planları ile uyumlu olarak tüm paydaşlar işbirliği ve koordinasyon içerisinde detaylı ve etkin bir planlama yaklaşımı ile süreç takip edilmeli ve izleme kurulları ile uygulanan projelerin verimliliği test edilmelidir.

Ulaşım planlama sürecinde; Çok Kriterli Karar Verme metodlarının kullanımı ulaştırma yatırımlarının planlamasında, yer seçimi analizlerinde ve alternatif senaryoların seçiminde önemli bir karar destek sistemi olarak rol oynamaktadır. Bu araştırma, yer seçimine karar vermede göz önünde bulundurulması gereken birden çok kritere dayalı olarak raylı sistem geçiş koridoru veya raylı sistem istasyonu için en iyi konumu belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu tez çalışması, raylı ulaşım sistemi planlamasında 'Çok Kriterli Karar Verme' yöntemlerinin uygulanması için bir çerçeve sunmaktadır.

Bu araştırma ile, raylı sistem planlaması açısından oldukça faydalı olacağı düşünülen, Kartografik Çoklu Kriter Analizi (Cartographic Multi Criteria Analysis-CMCA) yöntemi ve Bulanık Mantık (Rail Fuzzy Logic Modelling-RFLM) modelleme teknikleri ortaya konmuştur. 'Raylı sistem Uygunluk Durumu' kullanılarak beş ana kriter (Jeoloji, Arazi kullanımı, Nüfus Yoğunluğu, Eğitim ve Yüzeysel Akış durumu) için değerlendirilmiştir. Çalışmamız bu yöntemin özellikle şehir içi raylı sistem planlamasında uygulanabilirliğine dikkat çekmeyi amaçlamaktadır. Kent içi raylı sistem uygunluk seviyeleri matris ölçeğinde hesaplanarak ağırlıklı bindirme analizi yapılmıştır. İstasyon tampon analizi yapılarak aday metro hattı için model sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca, halkın eğilimi, girişimleri, kent içi raylı ulaşımaya yönelik talepleri, sosyo-ekonomik koşullar, kentsel işlevler analizlerde dikkate alınmıştır. "Uzman ve hükümet yetkilisi katılımı" ile karşılaştırıldığında "Halkın Katılımı"nın da dahil olduğu bir planlama çerçevesinin olması gerekliliğini vurgulamaktadır.

Bu çalışma, 'yapılandırılmış, kolayca uygulanabilir, çok boyutlu, işbirlikçi, güvenilir, üretken ve genişletilebilir' bir model yapısı elde etmek için çok kriterli karar verme çerçevesinin yenilikçi potansiyelinin sistematik değerlendirmesini yapmanın yanı sıra, optimum ve uygun şehir içi raylı sistem güzergahı/istasyon yeri seçimi için benimsenen metodoloji kapsamlı bir şekilde detaylandırılmıştır. Raylı sistem planlaması, öncelikli hedeflerin, birden fazla faktöre ve kısıtlamaya dayalı optimum çözümü bulmaya yönelik bileşenlerin seçimine bağlıdır. Böyle bir planlama sürecinde, raylı sistem planlamasının ayırt edici özelliklerinin değerlendirilmesi önemlidir. Bu nedenle öne çıkan hedefler özetle şu şekilde sıralanmaktadır: 1-Planlama sürecinde halkın katılımının ve farkındalığının arttırılması 2-Dezavantajlı bölgelere hizmet verilmesi 3- Orman alanlarının seçim alanının dışında tutulması 4-Öncelikli arazi kullanım türleri 5-Jeolojik uygunluk 6-Yüzey akış yoğunluğu 7-Nüfus yoğunluğu ve Sosyo-ekonomik durum seviyesi 8-Arazinin eğim durumu 9-Mevcut raylı sistem hatları ile entegrasyonu.

Çok kriterli karar destek sistemleri, büyüyen bir araştırma alanıdır ve kapsamlı, uygulanabilir yöntemler sunar. Yeni hedef ve gereksinimlere yönelik değerlendirme kriterleri geliştirilerek daha farklı araştırmalar yapılabilir. Bu çalışma çerçevesi, yeni alternatifler ve senaryolar üretmek için her türlü ulaşım modu için uyarlanabilir. Her proje alternatifi benzersizdir ve mekansal bir çevreye sahiptir. Değerlendirme sürecinin aynı olamayacağı açıktır. Topluma faydayı artırmak için ek faktörler uygulanabilir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, kentiçi raylı sistem taşımacılığının genişletilmesinin planlama sürecini sistemleştirmek için bulanık mantık modelleme uygulamaları, bulanık kural tabanlı bir sisteme dayalı olarak gözden geçirilmiş ve değerlendirilmiştir. Bulanık çıkarım sisteminin geliştirilmesi, bulanık mantık tasarımı ve grafiksel kullanıcı ara yüzünün kullanılması, uygunluk verilerinin (uygunluk puanları) elde edilmesi sırasıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma, "Raylı Toplu Taşıma Bulanık Mantık Modeli (RFLM)" ile sürdürülebilir kent içi ulaşımı destekleyici raylı sistem ağının geliştirilebilmesini sağlayacak nitelikte; esnek, kolayca değiştirilebilir ve çeşitli karar değişkenlerine uygulanabilir özelliktedir. Model tasarımı, bulanık mantık teorisinin kavramlarına dayanmaktadır. Matlab™ yazılımı kullanılarak bir bulanık çıkarım sistemi geliştirilmiştir. 'Fuzzy Logic Designer' kullanılarak, beş girdi değişkeni (Eğim, Jeoloji, Nüfus, Arazi Kullanımı, Yüzeysel Su Akışı) ve bir çıktı değişkeni (Uygunluk Puanı) ile, üyelik fonksiyonu grafikleri bu değişkenlerin her biri için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Mamdani tipi bir bulanık mantık algoritma mekanizması kullanılmıştır. Bulanık Çıkarım değişkenlerinin belirlenmesi, doğal olarak sistemin tasarımcısına ve incelenen herhangi bir konu için veri kullanılabilirliğine bağlıdır. Girdi ve çıktı değişkenlerinin seçimi, demiryolu taşımacılığı planlamasının farklı yönlerini belirtmek için özenle hazırlamaya ihtiyaç duyar. Bu çalışmanın çerçevesi, çalışma alanının çevresel ve ekolojik veya sosyal etkileri gibi alternatif değerlendirme kriterlerine uygulanabilir. Bu metodoloji, toplu taşıma planlamacılarının değerlendirme sürecinde belirsizliği önlemesine ve bulanık mantık kullanarak 'ölçmesi zor' nitelikleri bir araya getirmesine yardımcı olur. Girdi değerleri arttığında, metodolojinin uygulanmasının analizi zorlaşır ve standardizasyon ve yorumlama kabiliyeti azalır.

Grafiksel kullanıcı arayüzü, program ortamında bulanık çıkarım sistemi arka planda çalışırken kullanıcı tarafından manuel olarak girdi parametrelerinin verilmesi ve sonuçların işlenmesi için GUIDE araç kutusu kullanılarak MATLAB'da tasarlanmıştır. RFLM modelinin yazılım uygulaması MATLAB R2021b geliştirilmiştir ve kaynak kodları kullanıcı tarafından açık kaynak formatında paylaşılabilir.

Çalışma, uzmanların Matlab yazılımını kullanarak çok büyük bir coğrafi veri kümesi içeren bulanık bir çıkarım modeli yürütmesine yardımcı olacak yenilikçi bir metodolojiye sahiptir. Çalışma alanı matris boyutunda 216 satır ve 208 sütundan oluşmaktadır. Beş girdi katmanı, CBS ortamında 100×100 m piksel boyutunda raster formatında saklanmıştır. Her hücre raster formatında 100 m grid çözünürlüğe sahiptir ve çalışma alanı yaklaşık 227 km²'lik bir alanı kaplamaktadır.

Bu çalışmanın genel amacı, bulanık mantık teorisinin, bulanık çıkarım sisteminin geliştirilmesi, sonuç uygunluk sınıfını bulmak için girdilerin birleştirilmesi, grafiksel kullanıcı arayüzünün belirlenmesi ve raylı ulaşım sistemi için çıktı verilerinin üretilmesi yoluyla planlama, özellikle yeniden geliştirme süreçleri için mekansal uygunluk değerlendirmesinde nasıl kullanılabileceğini anlamaktır.

Sonuç olarak, araştırma bulguları şehir içi ulaşım planının vizyonunu karşılar ve halkın ihtiyaçlarına odaklanarak yenilikçi bir planlama çerçevesi sağlar. Ek olarak, bu modelleme metodolojisi, karar vericiler için bir yol haritası sağlayarak entegre, gelişmiş sürdürülebilir kentsel ulaşım gelişimi için uygunluk seviyesini mekansal olarak görselleştiren pratik bir yaklaşım sunar. Bu çalışmanın üst ve orta ölçekli, kısa-orta ve uzun vadeli kentsel raylı ulaşım planlarına ve sürdürülebilir kentsel hareketlilik planlarına önemli katkılar sağlayacağı öngörülmüştür.



RAIL SYSTEM ROUTE ANALYSIS USING MULTI CRITERIA DECISION MAKING WITH SPATIAL ANALYSIS TECHNIQUES

SUMMARY

Rail transportation planning is a continuous, multi-phase, functioning scale that is based on reconstructing of the spatial system contributing to build a more quality-focused, long-term oriented and more balanced approach. It is worth noting that the 'Multi-criteria Decision Making' methods are an important research area in the field of transport, especially for the location analyses and the selection of alternatives/scenarios for the development of public transport systems. Under the view of the current state of the art regarding the new methodologies and techniques, Multi Criteria Analysis is a well acknowledged technique for the inclusion of several decision criterias and multiple stakeholders' opinions. In the light of these significant literature reviews, we categorized the scientific papers to learn about past experiences and compare them by study objectives, geographic extent, criteria assessment, shortcomings and study outcomes. With this review, we found that there is a few numbers of up-to-date and comprehensive research paper addresses 'Rail Transportation Planning' based on Multi Criteria Decision Making Techniques especially for Istanbul Metropolitan Area. Additionally, we examined what is already known pertaining to the opportunities of spatial multi criteria decision making strongly suggests that this method is practical, user friendly, cost-effective and performable tool by fulfilling especially for public expectations when carrying out the urban rail transport planning process.

Multi criteria techniques have been extensively used to aid in decision-making. Several terms that are commonly used when implementing MCDM are; the decision maker (DM) ; where experts are attempting to reach a decision by weighting conflicting issues. Goal ; what DM wants to achieve. Criteria or attributes; the alternatives to be compared with and evaluated. Alternatives ; the methods or decisions that are to be chosen or ranked. Weights ; representing the relative importance of the criteria. Decision makers (DMs) must approach a topic methodologically, precisely, and consistently while considering their preferences. Multi-criteria decision making (MCDM) is very helpful for increasing the effectiveness, clarity, rationality and quality of decisions. MCDM approaches can be divided into two sub categories, Multi-Attribute Decision Making (MADM) and Multi-Objective Decision Making (MODM). When there are predefined numbers of possibilities, MADM is used to solve the problem. A finite number of options must be chosen, prioritized, or ranked by the decision maker (DM). MODM, on the other hand, is related to issues where the alternatives aren't predefined. In MADM, DMs select, classify, rank or prioritise a finite number of alternatives and then obtain the best solution. MADM has three main approaches, namely, pairwise comparison, outranking and distance-based approaches. Pairwise comparison mainly involves assessing and comparing the importance of several criteria based on a fundamental scale. Pairwise comparisons often utilise Analytical Hierarchy Process (AHP) and Analytical Network Process (ANP). Meanwhile, outranking approaches provide several alternatives and check whether one alternative has any degree of dominance over another. These approaches are particularly suitable in cases with unclear and incomplete information. Some example outranking approaches include the ELECTRE and PROMETHEE. Distance-based approaches evaluate how far away a solution is from the ideal point, and the solution with the shortest distance to this point is considered optimal. Some well-known

distance based approaches include the TOPSIS and VIKOR. Meanwhile, MODM deals with situations involving multiple DMs and an infinite number of choices. In this approach, experts only take part at the end of the process and choose among several solutions. Some well-known MODM methods include Goal Programming (GP) and Genetic Algorithm (GA).

The site selection and site search challenges serve as an excellent example of the differences between multiattribute and multiobjective (as well as the discrete and continuous decision) difficulties. Finding the ideal location for a specific activity from a list of potential (viable) locations is the goal of site selection analysis. All of the potential sites' features, including their location, size, and pertinent properties, are known in this kind of study. The challenge is to grade (rank) the alternative sites according to their attributes in order to find the best site (or a group of sites). Site search analysis is the term used to describe the issue if a group of potential candidate sites is not predetermined. By addressing the problem, that is, determining the boundary of the best site, the features of the sites (i.e., their limits) must be determined (s). The site selection problem is often addressed in the GIS context utilizing multiattribute techniques, such as WLC (Weighted Linear Combination), AHP (Analytical Hierarchy Process), IP (Ideal Point) approaches, and outranking techniques. Heuristic/metaheuristic algorithms and mathematical programming techniques are used to tackle the site search problem, which is typically described as a spatial multiobjective optimization problem.

Multi criteria analysis can be utilized by including priority schemes or weights as a component of an evaluation analysis for investment projects. These methods won't always result in a single ending clarification, but they can make the structure and effects of disagreements among decision-makers more clear, allowing for a more complete analysis of the viable options. To sum up, no single method of assessment and evaluation can adequately and indisputably analyze all the intricate components of decision options. So, the characteristics of the problem at hand, the goals of the study, and the underlying data base all play a role in the selection of evaluation methods in every particular decision situation. The methodology assures compatibility between the assessment methods utilized and the real problem to be addressed by comprehensively arranging the evaluation process. It is vital to use an evaluation technique that can perform this kind of analysis because of development limits and nominated reference values.

This study presents 'Cartographic Modelling Multi Criteria Analysis (CMCA)' for the optimum route/station location in accordance with the selected criterias and constraints for rail transit system planning. The methodology is based on Overlay Analysis (Cartographic Model) to combine diversified criteria maps and AHP (Analytic Hierarchy Process) method for criteria weighting. 'Rail Transit Suitability' was evaluated using the Cartographic Modelling and Multi Criteria Analysis (CMCA) method for five primary criterias (Geology, Landuse, Population Density, Slope and Stream). This model applied to a candidate metro line referred to as 'M 18 (Başakşehir-Esenyurt-Beylikdüzü)' with 8 railway stations for the preliminary stage evaluation.

The flexible problem-solving approaches offered by the GIS-MCA methodologies can help improve collaborative decision-making processes by allowing those engaged in collaborative tasks to explore, comprehend, and redefine a decision problem. In this study, multi-criteria decision analysis and GIS were used in conjunction to conduct the analysis for choosing suitable locations. In numerous research pertaining to suitability

identification, the integrated methodologies of GIS-MCA are extensively employed as a tool for suitability analysis. A decision variable can be used to specify an option (for instance, a 0–1 variable can be connected to potential locations for facilities). Restrictions placed on the decision variables are known as constraints (alternatives). A group of options divide for decisions into two groups: acceptable (feasible) and unacceptable (infeasible). From a GIS perspective, the limitations exclude from consideration geographic objects with specific properties and/or values of attributes. If an alternative satisfies all requirements, it is said to be feasible; if not, it is referred to as an infeasible alternative. Suitability scores were assigned for categories that we determined for five input variables: Population, Land use, Slope, Geology and Stream. For instance, the Slope variable has three categories: low (0–5%); medium (6–10%); high (> 10%). The slope map layer was reclassified by these categories in a raster map format in a GIS environment. Raster reclassification was done for five thematic map layers, and then we created the weighted overlay map. Suitability scores of five evaluation factors were multiplied by the criterion weights and then summed to get a total suitability score in the GIS environment.

Our study aims to draw attention to this method's applicability especially for urban rail transit planning. Weighted overlay analysis were done by calculating the urban rail transit suitability levels as matrix of cells. Model results are evaluated for candidate metro line by doing station buffer analysis. Additionally, Public inclination, initiatives, requests towards urban rail transit, socio-economic conditions, urban functions were taken into consideration. This study underlies 'Public Involvement' as a disregarded research dimension in comparison with 'Expert and government authority involvement'. The study supposes the usage of multi criteria techniques and 'Multi criteria analysis' should have a statutory obligation in urban rail transit project's appraisal stages. The outcomes of this research will close the gap by utilising a novel suitability framework which can be used as a preliminary analysis for transforming and developing urban rail transit network.

Furthermore, The previous studies still have limitations and insufficient spatial coverage, incompleteness of assessment number of criterias and potential applicability for urban rail transit planning. The major contributions of this paper are as follows: (1) This study raises the issue of how to integrate and meet multiple study objectives during rail transit planning process and mentions how our model is applied for 'urban rail transit development' step by step. (2) This study has a novel 'Urban Rail Transit Suitability' framework for finding the best solution for the rail transit system planning problem. (3) This research deploys a combination of co-producing with the urban transport user's expectations and concerning areas with low socio-economic status points and thus introduces a new paradigm in multi-criteria decision-making.

We hope that our work will contribute to a better understanding of 'Rail Transportation Planning' and we identified clear and concise research questions. The following research questions enable to select the appropriate research methodology and design: a) Which subjects, problems or decision criterias are studied? b) What are the depictive MCDA methods used for urban rail transport project evaluation? c) What is the appropriate research methodology that best answer the research aims and objectives d) Are multiple actors or stakeholders included in the planning process?

Analytical decision support techniques are being emphasized more and more in contemporary assessment theory. Since the broad adoption of cost-benefit analysis and

associated financial-economic evaluation techniques, multi-criteria methods have gained popularity and utilized the opportunities. These techniques can handle the various aspects of evaluation problems and properly take into account stakeholder's interests and conflicts. These approaches often try to integrate assessment methods with judgement methods and provide a concrete analytical foundation for contemporary decision analysis. This study comprehensively explores the systematic assessment of the innovative potential of multi criteria decision making framework in order to obtain 'a structured, easily applicable, multi dimensional, collaborative, reliable, productive and extensible' model structure and this study effectively demonstrates the adopted methodology for the optimum and suitable urban rail transit route/station location selection.

In the second phase of our research, we have focused on the fuzzy logic model for evaluating the necessity of expanding the rail transit network to achieve sustainable transport development. It is essential to distinguish input parameters that can be obtained and updated frequently in a cost-effective way. Fuzzy logic has been applied into various areas in transportation engineering. In the area of transportation engineering it has been applied to model traffic flow, transportation planning, and traffic control and so on. In all of these applications fuzzy logic has proved to be successful in overcoming the drawbacks of other methods in the respective areas.

We shouldn't rely solely on our subjective knowledge or only our objective knowledge (formulas and equations) to solve real-world transportation and traffic issues (linguistic information). We must simply acknowledge the existence of linguistic information, or subjective knowledge. The concept of fuzzy logic is ideally suited for unifying subjective and objective knowledge. The simplest way of characterizing fuzzy logic is to say that is a logic of approximate reasoning. Subjectivity is a feature of many traffic and transportation issues, phenomena, and factors. It is difficult to ignore the reality that subjective judgement is involved when deciding on a route, mode of transportation, and carrier, as well as when establishing a quality of service, setting safety requirements, establishing criteria to rank alternative transportation plans and projects, etc.

This part of the thesis introduces a 'Rail Transit Fuzzy Logic Model (RFLM)' for the evaluation of the necessity to expand the rail transit network to achieve sustainable transport development. The model is flexible, easily modified and can be applied to various kinds of decision variables. The model design is based on the concepts of fuzzy logic theory. The study's framework provides a sufficient basis to afford the application of 'Fuzzy Logic Designer' by concerning the interactions of different input parameters. (Slope, Geology, Population, Landuse, Stream) Identifying the Fuzzy Inference variables is inherently linked to the designer of the system and data availability for any subject under consideration. A fuzzy inference system is developed by using MatlabTM software. A Mamdani-type fuzzy logic algorithm mechanism was utilized.

This study's framework provide a potential mechanism that can be applied by regulators, operators, transport planners, experts with different goals and requirements to all kinds of urban transport modes. It can be characterized as a spatial suitability oriented fuzzy approach by using five inputs (slope, geology, population, land use and stream), 1 output (Suitability Score) and 108 If-Then rules to assist in combining these data sources in the MATLAB environment. This study consists of three main steps: (i) development of a fuzzy inference system (FIS), (ii) design of the graphical user

interface (GUIDE toolbox), and (iii) suitability score database production for the study area.

Fuzzy rule-based systems have been applied with parameters represented by fuzzy diagrams that are integrated into an aggregate form to obtain a spatial suitability score. Rule base, database and reasoning mechanism are the basic structure components of the fuzzy inference system. A rule base contains a selection of fuzzy rules, database defines the membership functions used in the fuzzy rules, and a reasoning mechanism performs the inference procedure upon the rules and given facts to derive a reasonable output or conclusion. Each criteria of an MCE problem is described as an IF-THEN rule in a fuzzy rule-based inference system, where the IF part demonstrates the criteria to be met and the THEN part demonstrates the conclusion. Aggregation of the output from each rule gives the suitability score. Fuzzy rule-based inference systems make the process of evaluating several criteria easier by splitting the complex decision-making problem.

The graphical user interface is designed in MATLAB by using the GUIDE toolbox to contrive giving input parameters and processing the results by users manually while fuzzy inference system is working from background in the program environment. Software implementation of the RFLM model is developed MATLAB R2021b and source codes are available to share by user open-source format.

The study has an innovative methodology to assist experts to run a fuzzy inference model including a very large geographic dataset using Matlab software. The study area is composed of 208 rows and 216 columns that are uploaded and modelled in MATLAB R2021b as a 216-by-208 matrix. The five input layers were stored into the raster format with a pixel size of 100×100 m in the GIS environment. Every cell has a 100 m grid resolution in raster format and the study area occupies an area of approximately 227 km². This method commonly has not been employed and processed for a rail network that covers a large geographical area spanning several regions in a city. The proposed methodology offers systematic qualitative data available for decision-makers to be used in the evaluation of rail transportation investments.

The selection of input and output variables need elaboration in order to indicate different aspects of rail transport planning. This study's framework can be applicable to alternative evaluation criterias like environmental and ecological or social impacts of the study area. This methodology assists public transport planners to avoid the ambiguity during evaluation process and aggregate 'difficult to measure' attributes as well with the aid of using fuzzy logic. When the input values increase, the implementation of the methodology becomes more difficult to analyze and decreases the ability to standardisation and interpretation. The objective of the second part of the study is to understand how the fuzzy logic theory can be used in spatial suitability evaluation by development of fuzzy inference system, combining inputs to find the consequent suitability class, designation of graphical user interface and output data production for rail transit system planning, especially for redevelopment processes. A comprehensive review of previous studies, this methodology is not applied to a similar transport problem in this extent. Consequently, it was envisaged that this study would offer substantial contribution for the upper and medium scale, short-mid and long term urban rail transport plans and sustainable urban mobility plans. In conclusion, this study reveals that fuzzy logic modelling is an useful approach that can be processed in a compositional and interpretable mechanism by quantifying different evaluation criterias to establish a replicable, adaptable multi disciplinary model for Urban Rail Transport Development.



1. GİRİŞ

Ulaştırma projeleri toplumu etkileyen ve genellikle kamu kurumları tarafından finanse edilen projelerdir. Tüm toplumu önemli ölçüde etkileyen büyük projelerin değerlendirilmesi, halkın katılımını gerektirir. Ulaştırma projelerinin bu özel gerekliliği, toplumsal bakış açısı ile faydalar ve maliyetlerin değerlendirmesini gerektirmektedir. Birinci seviyedeki değerlendirmenin amacı, en iyi alternatif çözümü seçmektir. Uygulama aşamasına geçmeden önce projenin ön değerlendirme aşamasında, fizibilite analizi yapılır ve önerilen alternatif çözümler, senaryolar karşılaştırarak en iyi alternatif seçilir.

Raylı sistem yatırımları gibi büyük ölçekli ulaşım projelerinin değerlendirilmesinin ilk adımı, proje alternatifleri geliştirmektir. Bu alternatiflerin nasıl geliştirileceğine dair belirli bir kılavuz bulunmamaktadır. Bu durum ulaşım probleminin türüne göre farklı biçimlerde şekillenmektedir. Her proje kendine has özellikler içermesi sebebiyle değerlendirme süreçleri farklılaşabilmektedir.

İkinci adım, değerlendirme kriterlerini seçmektir. Bu kriterler değerlendirilecek alternatifler üzerinden tüm toplum (etkilenecek paydaşlar) ve karar verme organları için hedeflenen tüm hususları içermelidir.

Üçüncü adım, geliştirilen kriterleri kullanarak alternatifleri değerlendirmektir. Bu bölüm, talep ve trafik akımlarının ve seyahat kalitesinin tahmin edildiği yerdir. Ek olarak, ekonomik ve çevresel etkiler sayısallaştırılır. Ulaştırma modellemesi kapsamlı bir şekilde bu aşamada kullanılır.

Dördüncü adım ise, en iyi alternatifi seçmektir. Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri ile alternatifler arasından seçim yapılırken, birden fazla ve aynı anda uygulanan kriterlerin içerisinde en iyi tercihin seçilmesini sağlayarak karar vericiye, bir karar destek modeli sunması ile, değer yargılarının nesnel ve analitik metotlarla bir araya getiren bir yaklaşım ortaya koymaktadır. ÇKKV probleminin çıktısı bir ‘‘Karar’’dır. Bu çıktı, optimum uzlaşılan çözüm veya alternatifleri derecelendirmek üzere kullanılan kurallar setine bağlı olarak değerlendirilmektedir.

Tezin 2. Bölümünde; Kentiçi raylı sistemler ile ilgili genel tanımlar, özellikler ve sınıflandırmalar verilerek İstanbul ilinde raylı sistemler ile yapılan yolculuk değerleri hat bazında paylaşılmıştır. Kentiçi raylı sistem planlaması süreci açıklanmıştır. İstanbul'un nüfus, demografik yapı ve sosyo-ekonomik özellikleri tarif edilmiştir.

Bu bölümde ayrıca, raylı sistem güzergah seçimini etkileyen parametreler üzerinde durularak güzergah ve istasyon seçiminde karar verme süreçleri, literatür çalışmaları özetlenmiştir. Erişilebilirlik bakımından raylı sistem istasyonlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Son olarak Ulaştırma planlama sürecine halkın katılımına dikkat çekilerek bölüm tamamlanmıştır.

Tezin 3. Bölümünde; Raylı Sistem Yatırımlarının özellikleri ve değerlendirme yöntemleri açıklanarak kamu yatırım projelerinde karar analizlerinin nasıl yapıldığı açıklanmıştır. İstanbul'un 'Ulaşılabilir İstanbul' olma yönündeki hedeflerine ulaşmayı sağlayacak Raylı Sistemler 'Yatırım ve Hizmetler' listesi paylaşılmıştır.

Tezin 4. Bölümünde; Karar verme süreci ve Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı yer almaktadır. Tanımlar, kavramsal çerçeve, karar verme süreci aşamaları, çözüm yöntemleri ve sınıflandırmaları, hiyerarşik yapılar ve Analitik Hiyerarşi süreci yöntemi anlatılmıştır. Bu bölümde ayrıca, Coğrafi Bilgi sistemleri ve çok ölçütlü karar analizi ve Çok kriterli mekânsal karar destek sistemlerine değinilmiştir.

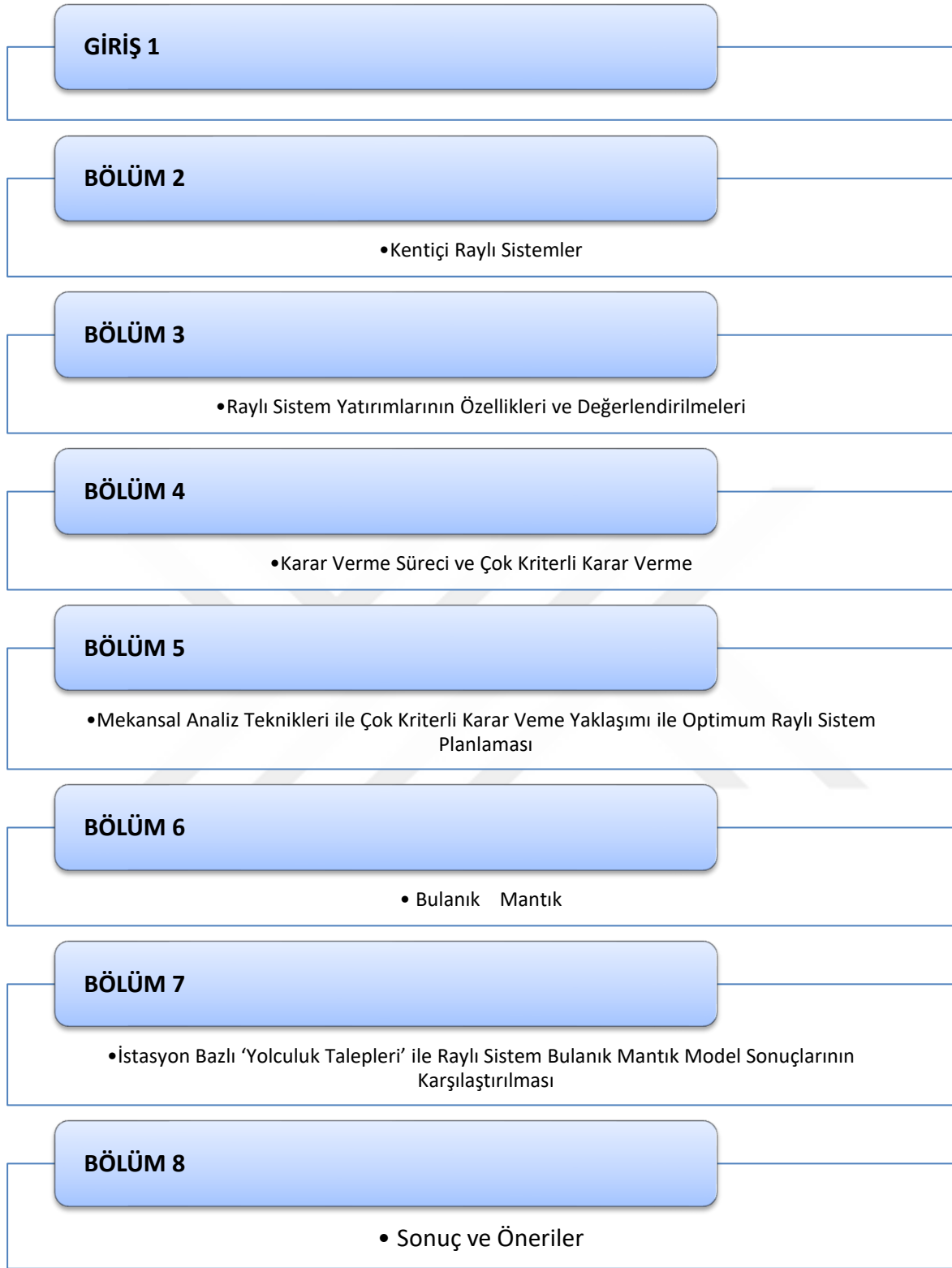
Tezin 5. Bölümünde; Çalışmanın birincil temel metodu olan 'Mekansal Analiz Teknikleri ile Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı ile Optimum Raylı Sistem Planlaması' konusu irdelenmiştir. Çalışma alanı, metodolojisi ve aşamaları paylaşılmıştır. Bu bölümde, 'Kentsel Raylı Sistem Uygunluk Durumu' modelini kullanarak raylı toplu taşıma sistemi planlama sorunu için en iyi çözümü bulmaya yönelik araştırma yöntemi özetlenmektedir. Uzman görüşleri alınarak Kriter Değerlendirme Anketi gerçekleştirilmiştir. Söz konusu anket formu tezin ek bölümünde verilmektedir. Bu tez kapsamında Coğrafi bilgi sistemleri destekli çok kriterli karar verme metodunu kullanarak 5 ana kriter için (Eğim, Jeoloji, Nüfus, Yüzeysel Su akışı, Arazi kullanımı) veri setleri ve tematik haritalar oluşturulmuştur. Ağırlıklı Bindirme Analiz (Weighted Overlay) metodu kullanılmıştır. İstasyon tampon bölge analizi (Buffer) yapılmıştır. İstasyon bazlı analiz kapsamında; Raylı ulaşım altyapısı, ön etap değerlendirmesi için 8 istasyonlu bu çalışma özelinde oluşturulan

aday metro hattı M 18 (Başakşehir-Esenyurt-Beylikdüzü) esas alınarak değerlendirilme yapılmıştır.

Tezin 6. Bölümünde; Çalışmanın ikincil temel metodu olan ‘Bulanık Mantık’ modellemesi açıklanmıştır. Raylı Sistem Bulanık Mantık modeli (RFLM) uygulama adımları paylaşılmıştır. Verilerin üretilmesi safhasında çalışma bölgesi olan (216 sütun * 208 satır) dan oluşan coğrafik verinin Matlab ortamına aktarımı yapılarak tez çalışması kapsamında MATLAB programındaki ‘Fuzzy Logic’-Bulanık Mantık aracı kullanılarak tüm hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bulanık mantık hesaplamalarının yapılabilmesi için, Grafiksel Arayüz tasarımı (GUI) gerçekleştirilmiştir. MATLAB GUI kullanıcı ara yüzü geliştirilirken Matlab programında yer alan editör penceresi üzerinden komut dosyaları yazılarak Bulanık Mantık hesabının arayüzde yer alan veri giriş noktalarına verilerin girilmesiyle işlemin arka planda tanımlanan bulanık mantık sistemi ile çıktı verisinin üretilmesi sağlanmıştır. Bu yöntem, uzman olmayan, farklı disiplinden olan kullanıcıların da sisteme veri girerek sonuç almasını sağlamak bakımından önem taşımaktadır.

Tezin 7. Bölümünde; Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt Raylı Sistem Hattı Mali ve Ekonomik Fizibilite Etüdü’nün İstasyon bazlı ‘Yolculuk Talepleri’ ile Raylı Sistem Bulanık Mantık Model sonuçları karşılaştırması yapılmıştır. Model dosyası üzerinden seçilen 10*10 büyüklüğündeki veri seti üzerinden Ağırlıklı bindirme analizi sonuç haritası ile Bulanık model sonuç haritası karşılaştırılmıştır.

Son bölümde ise ‘Sonuç ve Öneriler’ ile tez çalışması tamamlanmıştır. Özet olarak, Şekil 1.1’de tez akış diyagramında bölüm adları belirtilmektedir.



Şekil 1.1 : Tez akış diyagramı.

2. KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLER

Günümüzde ulaşım sistemleri arasında karayolu ile taşınan yolcu taşımacılığının payı yüksek olmasına karşın, toplu taşıma sistemi içerisinde raylı sistemler; güvenlik, hız, ekonomiklik, güvenilirlik, konfor seviyesi ve çevreyi koruma bakımından diğer toplu taşıma sistemlerine göre, kent içi toplu taşımının en verimli modlarından biridir ve son yıllarda teknolojik olarak da ciddi gelişme göstermiştir. Dünya genelinde, metropolitan kentlerde trafik sorununun hafifletilmesinde bir mihenk taşı olarak nitelendirilebilir.

İstanbul metropolitan alanı için toplu taşıma sisteminde kullanılan raylı sistemler; metro, tramvay, marmaray, tünel, nostaljik tramvay ve fönikülerden oluşmaktadır. 2022 yılı İstanbul geneli ‘Kentiçi Raylı Sistemler’ haritası Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: İstanbul geneli kentiçi raylı sistemler haritası.

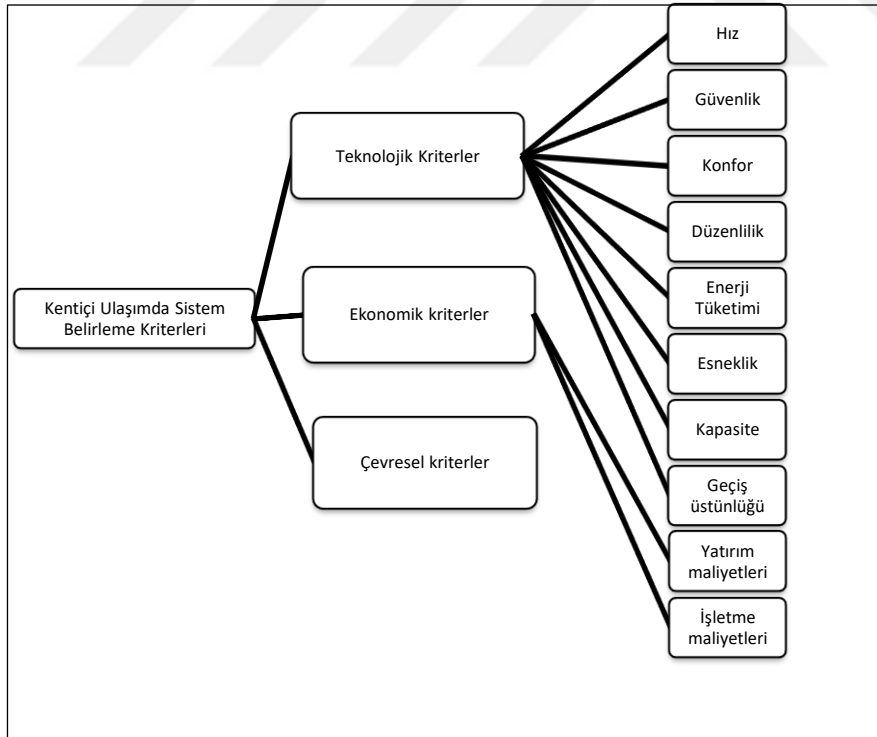
Sürekli olarak artan kentleşme düzeyi ile birlikte, kent içi ulaşımın hızlı, ekonomik, güvenli, güvenilir, çevreye duyarlı ve verimli biçimde sağlanması için, ‘Kent içi Raylı Sistemler’ ulaşım sisteminin önde gelen ulaşım modu olarak sistemin önemli bir yapı taşı oluşturulmaktadır. Toplu taşıma sisteminin raylı sistemlere ağırlık verilerek geliştirilmesi ve diğer ulaşım modları ile entegrasyonu ulaşım ana planı kararları arasında yer alan temel bir yaklaşımdır.

İstanbul’da toplu taşıma sistemleri ‘Lastik Tekerlekli’ toplu taşıma, ‘Raylı Sistemler’ ile toplu taşıma ve ‘Deniz yolları’ ile toplu taşıma olarak üç gruba ayrılmaktadır. Lastik tekerlekli toplu taşıma sistemleri, İETT, ÖHO, Otobüs A.Ş., ÖHO, Taksi, Minibüs ve Dolmuş ile hizmet vermektedir. Deniz yolları Şehir hatları, İDO ve Özel işletmeler ile hizmet vermektedir. Raylı Sistemler ise İETT (Nostaljik tramvay-Tünel), Metro İstanbul (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, T1, T3, T4, T5, F1, TF1, TF2, F4) ve Banliyö Treni (Marmaray, TCDD) ile hizmet vermektedir.

İstanbul genelinde toplu taşımada kullanılan raylı sistemler metro, hafif metro, tramvay, fönüküler, teleferik, tünel ve banliyö treninden oluşmaktadır.

2.1 Raylı Sistem Araçlarının Özellikleri ve Sınıflandırılması

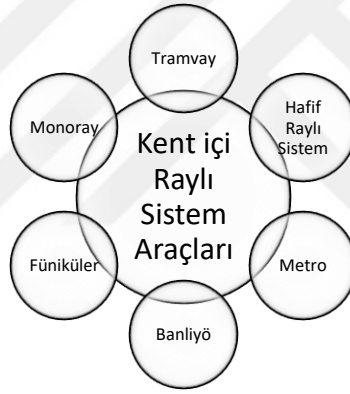
Toplu taşıma sistemleri; kapasite, yolcu sayısı, transfer sıklığı, seyahat süresi, istasyona erişim, vb. çeşitli faktörlere bağlıdır. Kent içi toplu taşıma sistemleri verimli, zamanında, hızlı, güvenli, düzenli ve sık olmalıdır. Kent içi ulaşımında sistem belirleme kriterleri, Şekil 2.2’de gösterildiği gibi teknik, ekonomik ve çevresel kriterler olmak üzere üç ana kriter altında gruplandırılabilir (Tutan, 2016).



Şekil 2.2: Kentiçi ulaşımında sistem belirleme kriterleri.

Raylı Sistemlerin diğer ulaşım sistemlerine göre avantajları şu şekilde sıralanabilir: Ekonomik açıdan verimli bir ulaşım türüdür. Teknolojik gelişmelere açıktır. Enerji tüketimi bağlamında daha az tüketim sağlar. Çevreye duyarlı bir ulaşım sistemidir. Daha güvenli bir ulaşım hizmeti sağlar. Yüksek kapasiteli taşıma hacmine sahiptir. Trafik problemine çözüm üreterek karayolu ağındaki yoğunluğu azaltır. Kaza olasılığı daha düşüktür. Hava koşullarından daha az etkilenir.

Şekil 2.3’de gösterilen kent içi raylı sistem araçları, toplu taşıma kullanıcılarının faydasını maksimize etmesi doğrultusunda hizmet veren ulaşım sistemleridir. Bu nedenle aynı anda taşınabilecek maksimum sayıda yolcuyu en hızlı, en güvenli ve en verimli şekilde taşınması gerekmektedir. Kent merkezinde yolcu yoğunluğundan ötürü istasyon mesafeleri kısadır. Buna göre araçlar sık olarak hızlanıp yavaşlamaya uygun şekilde tasarlanmaktadır. Yolcu transferinin en kısa sürede yapılabilmesi için iniş binişlerin kolaylık içinde gerçekleşmesine imkan tanıyan tasarımlar yapılmaktadır.



Şekil 2.3 : Kent içi raylı sistemler.

Çizelge 2.1’de Vuchic (2007) tarafından yapılan çalışma ile Dünya üzerindeki farklı şehirlerde 90 farklı araç modelinin incelenmesiyle ‘Tramvay’, ‘Hafif raylı sistem’, ‘Metro’ ve ‘Banliyö’ sistemlerinin boyutları, kapasiteleri, ağırlıkları vb. gibi performans değerleri saptanmasıyla elde edilen veriler gösterilmiştir.

Cizelge 2.1 : Kentiçi raylı sistem araçlarının türlerine göre özellikleri.

	Tramvay (4 akslı)			Hafif Raylı Sistem (6 akslı)			Hafif Raylı Sistem (6 aks ve üzeri)			Metro			Banliyö		
	Min.	Ort.	Maks.	Min.	Ort.	Maks.	Min.	Ort.	Maks.	Min.	Ort.	Maks.	Min.	Ort.	Maks.
Araç boyu(m)	13,6	14,1	20,0	19,1	25,0	30,0	23,5	30,0	54,0	14,6	18,0	22,9	17,5	25,9	25,9
Boji Aralığı(m)	6	6,4	11,8	6	9	10	6	6,5	7,1	8,2	12	16,5	10	17	18,2
Gövde Genişliği(m)	2,2	2,4	2,7	2,2	2,7	3	2,2	2,4	2,65	2,5	2,9	3,2	3,05	3,2	3,2
Motorlu aks sayısı	4	4	4	2	4	6	4	4	8	2	4	4	2	4	4
Tek taraftaki kapı sayısı	2	3	4	2	4	4	4	4	5	2	3	5	1	3	4
Koltuk Sayısı	20	35	60	30	45	90	44	64	90	35	60	83	70	100	175
Toplam Kapasite	100	110	170	117	160	210	160	185	240	137	170	300	140	160	250
Toplam güç (kw)	160	160	360	200	300	470	200	300	430	270	400	470	300	450	530
Boş araç ağırlığı (ton)	15,2	17	28,8	19,8	24	39	25,4	33	38,3	19	25	38	29	34	59
Mak. hızlanma ivmesi (m/s ²)	1	1,2	1,9	1	1	1,7	0,9	1	1,3	1	1,1	1,4	0,8	1	1,3
Acil fren ivmesi (m/s ²)	2	3	3,7	2	3	3	2	3	3	1,1	1,3	2,1	1	1,2	1,4
Mak.hız (km/sa)	60	70	125	65	80	100	65	80	80	70	85	130	100	120	160

2.1.1 Banliyö treni

Banliyö trenleri; genel olarak şehir dışındaki yerleşim yerlerinden şehir merkezlerine yolcu taşıyan metropoliten kentlerde işletilen raylı sistem araçlarıdır. Günümüz kentlerinde artan trafik yoğunluğu, otopark sorunu, hava kirliliği gibi sorunlara karşı banliyö taşımacılığı; kapasite, hız, konfor ve güvenlik açısından avantaj sağlar. İşletme gideri ve enerji tüketimi düşüktür.

2.1.2 Metro

Metro; genellikle yer altı tünellerinde işletilen ancak gerekmesi halinde yer altında da çalışabilen, tam sinyalizasyon ve korumalı kentiçi raylı sistem aracıdır. Metro sistemleri diğer ulaşım modlarına kıyasla en yüksek performansa (kapasite, hız ve güvenilirlik) sahiptir. Yüksek yatırım maliyeti gerektirirler, ancak uzun vadede büyükşehirlerde verimli bir işletme ve yüksek yolcu taşıma kapasitesi ile kaliteli hizmetin sağlanması

anlamında önem taşımaktadır. Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metro hattı (M5) Şekil 2.4'te gösterilmektedir.

Tipik bir metro aracı 16 m ile 23 m aralığında uzunlukları olan ve 2,50 m ile 3,20 m arasında değişen genişliğe sahiptir. Araçlar 4 akslı olup, 10'lu setlere kadar çalıştırılabilmektedir. Yüksek güvenliğe ve tek yönde saatte 60.000–70.000 yolcu taşıyabilen yüksek kapasiteli raylı sistem araçlarıdır. Araç kapasiteleri 120 kişi ile 250 kişi arasında değişen araç kapasiteleri vardır. Bu yolcu kapasitesinin maksimum oranda % 60'ını oturan yolcular oluşturur. Ortalama işletme hızı 25-60 km/saat, maksimum hız ise 80-110 km/saat'e ulaşabilir (Arı, 2021).



Şekil 2.4 : Üsküdar-Çekmeköy metro hattı (M5).

2.1.3 Hafif raylı sistem (LRT)

Hafif raylı sistem (LRT), yaklaşık 300 yolcu alabilen, platform yüksekliği yaklaşık 90 cm olan, bir sinyalizasyon sistemine göre sürücü tarafından kontrol edilen, hat genişliği genellikle 1435 mm olan, yolcu yükleme boşaltma boşaltma yapan bir dizi vagonudur. 600 ila 1000 metre mesafelerdeki özel istasyonlarda tek yönde saatte 10.000 ila 30.000 yolcu taşıyabilen, yalnızca bu sistem için ayrılan güzergahlarda çalışan ve ortalama hızı 60-80 km olan bir toplu raylı ulaşım sistemidir (Vuchic, 2015). Şekil 2.5'te Yenikapı-Atatürk Havalimanı hafif metrosu gösterilmektedir.



Şekil 2.5 : Yenikapı- Atatürk Havalimanı (M1A).

2.1.4 Tramvay

Tramvaylar nispeten düşük kapasiteli ve sık duraklamalara sahip, büyük ölçüde cadde boyunca çalışan ray tabanlı bir toplu taşıma sistemidir. Bu sistemdeki araçlar, elektrikli olup, 300–500 metre aralıklarla yolcu istasyonlarına sahip, toplam yolcu kapasitesi 80-300 yolcu arasında farklılaşan, raylarının ve kendine has araçlarıyla geniş iç hacim, konfora ve saatte ortalama 25-35 km/s hıza sahip raylı toplu ulaşım araçlarıdır (Vuchic 2015). Şekil 2.6’da Kabataş-Bağcılar tramvay hattı gösterilmektedir.



Şekil 2.6 : Kabataş-Bağcılar tramvayı (T1).

2.1.5 Monoray

Monoraylar iki paralel geleneksel rayın aksine, rayın tek bir raydan oluştuğu araç ve kılavuz yolu teknolojisi diğer sistemlere göre farklı olan hızlı toplu ulaşım sistemleridir (Vuchic 2015). Monoraylar “Alttan hatlı” ve “havai hatlı” olmak üzere iki türden oluşur. Metrodan daha düşük maliyetli ve diğer yer üstü taşıma sistemlerine göre daha hızlı olan monorayların son zamanlarda kolaylıkla uygulanabilir olan bir toplu taşıma aracı olarak kabul görmüştür (Sünbül, 2019).

2.1.6 Lastik tekerlekli raylı sistem

Lastik tekerlekli bir metro sistemi, geleneksel bir metro sistemleri ile aynı üst yapı düzenine sahiptir. Araç, kılavuz tekerlekler tarafından sola ve sağa yönlendirilir. Lastik tekerlekler daha iyi yol tutuşuna sahiptir, bu nedenle hızlanma ve frenleme sırasında hızı artırmak, tekerleklerden gelen gürültüyü azaltmak ve maliyetleri düşürmek amaçlanmıştır. Lastik tekerlekli sistemin klasik metro sistemine göre daha dezavantajlı olduğu anlaşıldığından bu sistem rağbet görmemiştir. Lastik tekerlekli bir aracın sürtünme direnci yaklaşık 10 kat daha fazladır. Bu nedenle, çelik tekerlekli

geleneksel metrolardan 30 daha fazla enerji tüketmektedir. Sistem karmaşıktıkça hem yatırım maliyetleri hem de bakım maliyetleri yaklaşık % 20 daha fazla olmaktadır (Arı, 2021).

2.1.7 Füniküler sistem

Füniküler sistem; şehir merkezlerindeki taşıyıcı rayın kılavuzluk ettiği yükseklik farklarının fazla olduğu bölgelerde halatlar vasıtasıyla çekilen bir kent içi raylı sistem taşıtıdır. Füniküler sistemi; erişimi zor bölgenin üst istasyonundaki tahrik kasnağına bağlanan ve çelik halat vasıtası ile bağlanan az iki araçtan oluşmaktadır. Hattın orta bölümlerde bulunan paralel raylar üzerinde araçlar manevrasını gerçekleştirir. Aynı sırada çekilen araçlar, hattın tam orta bölümünde karşılaşarak bitişik duruma gelirler. Belirli bir uzunluk katedildikten sonra bu iki hat tekrardan tek hatta düşer ve araçlar istasyona ulaşır (Arı, 2021).

2.1.8 Teleferik

Teleferikler, kablo ile havada asılı bir biçimde seyreden ve kablolar ile enerjisi sağlanan havai hat taşıma sistemleridir. İstanbul’da Maçka-Taşkışla arasında ve Eyüp-Piyyer Loti arasında olmak üzere 2 adet teleferik hattı mevcuttur.

2.2 Kent İçi Raylı Sistemlerle Yapılan Yolculuk Verileri

İstanbul ili raylı sistem hatlarına göre 2023 yılı Ocak ayında taşınan yolcu sayıları Çizelge 2.2’de gösterilmiştir. Toplamda hafta içi günlük taşınan yolcu sayısı 3.181.504’tür.

Çizelge 2.2 : İstanbul raylı sistemler ile taşınan günlük ortalama yolculuk değerleri.

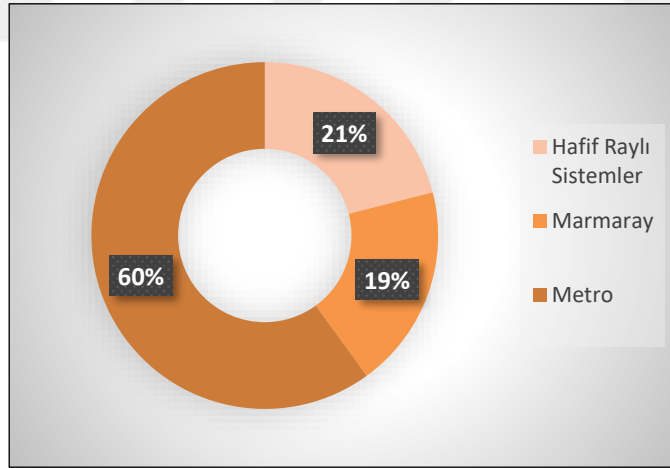
	Hat İsimleri	Günlük Ortalama	Hafta içi günlük Ortalama
BANLİYÖ TRENİ	MARMARAY	576.101	617.844
	TCDD - HALKALI-BASAKSEHIR	224	294
	TCDD-GAYRETTEPE İST HAVALİMANI	16975	17282
METRO-HAFİF METRO	M1-YENİKAPI-HAVALİMANI	358.146	386.447
	M2-YENİKAPI-HACIOSMAN	473.965	545.465
	M3-BASAKSEHIR-OLİMPİYATKOY	58.334	69.116
	M4-KADIKOY-TAVSANTEPE	293.238	326.835
	M5-USKUDAR CEKMEKOY METROSU	255.080	287.282

Çizelge 2.2 (devam) : İstanbul raylı sistemler ile taşınan günlük ortalama yolculuk değerleri.

	Hat İsimleri	Günlük Ortalama	Hafta içi günlük Ortalama
TRAMVAY-FÜNİKÜLER-TELEFERİK	M6-LEVENT - RUMELI HISARUSTU	16.279	19.681
	M7-KABATAS-MAHMUTBEY	190.386	218.091
	M8 DUDULLU - BOSTANCI	29.855	28.631
	M9 ATA KOY-İKİTELLİ METRO	19.021	20.695
	T1-KABATAS-BAGCILAR	366.413	398.109
	T3-KADIKÖY-MODA	3.124	3.564
	T4-TOPKAPI-MESCİD-I SELAM	177.930	198.508
	T5 EMINONU-ALİBEYKÖY	23.828	26.896
	F1-TAKSİM-KABATAS FÜNİKİLER HATTI	13.352	13.928
	TF1-TELEFERİK MACKA - TASKİSLA	981	1.048
	TF2-TELEFERİK EYUP PİYERLOTI	4.141	3.640
	F4 RUMELI HISARUSTU -ASİYAN	3.091	3.133
	IETT TUNEL	10.676	10.978
	IETT NOSTALJİK TRAMVAY	1.389	1.319
	TOPLAM	2.875.555	3.181.504

Kaynak: BELBİM A.Ş.

2023 yılı, Ocak ayında gerçekleşen raylı Sistem yolculuklarının dağılımı Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 : Raylı sistemler ile yapılan yolculukların dağılımı (Hafta içi günlük ortalama).

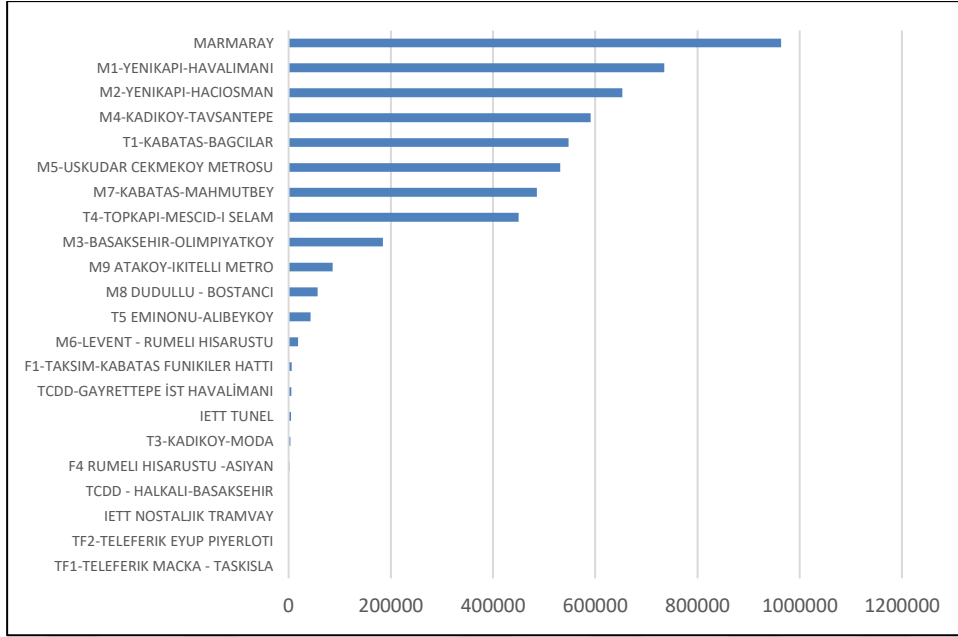
İstanbul ili raylı sistem hatlarına göre; 2023 yılı, Ocak ayı sabah pik saatte 07:00-08:00 arasında taşınan toplam yolculuk sayıları ise Çizelge 2.3’de gösterilmiştir. En yüksek yolculuk değerinden en düşük yolculuk değerine göre sırlama yapılarak Şekil 1.8’de elde edilmiştir. Buna göre en yüksek yolculuk değeri Anadolu-Avrupa yakalar arası geçişe imkan veren ‘Marmaray’ hattı 963.420 değeriyle en yüksek değeri almıştır.

Sırasıyla M1 Yenikapı-Havalimanı hattı 734.751 değeriyle ve M2 Yenikapı-Hacıosman 652.782 değeriyle en yüksek yolcu taşıyan hatlar olduğu görülmüştür.

Çizelge 2.3 : İstanbul raylı sistemler ile 07:00-08:00 arasında taşınan toplam yolculuk değerleri.

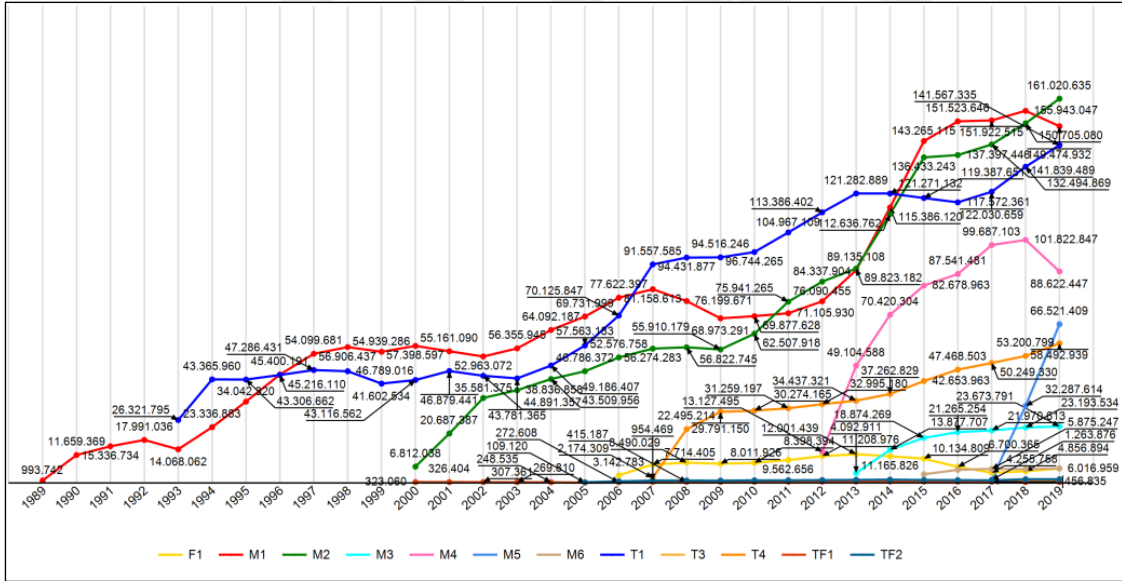
	HATLAR	07:00-08:00 Arası Pik saatte taşınan toplam yolcu sayısı
BANLİYÖ TRENİ	MARMARAY	963.420
	TCDD - HALKALI-BASAKSEHIR	612
	TCDD-GAYRETTEPE İST HAVALİMANI	5.454
	M1-YENIKAPI-HAVALIMANI	734.751
	M2-YENIKAPI-HACIOSMAN	652.782
METRO-HAFIF METRO	M3-BASAKSEHIR-OLIMPIYATKOY	184.314
	M4-KADIKOY-TAVSANTEPE	590.923
	M5-USKUDAR CEKMEKOY METROSU	531.685
	M6-LEVENT - RUMELI HISARUSTU	18.789
	M7-KABATAS-MAHMUTBEY	485.657
	M8 DUDULLU - BOSTANCI	56.650
	M9 ATA KOY-İKİTELLİ METRO	86.508
	T1-KABATAS-BAGCILAR	547.714
	T3-KADIKOY-MODA	3.756
	T4-TOPKAPI-MESCİD-I SELAM	450.274
TRAMVAY-FÜNİKÜLER-TELEFERİK	T5 EMINONU-ALİBEYKOY	42.977
	F1-TAKSİM-KABATAS FUNİKİLER HATTI	6.257
	TF1-TELEFERİK MACKA - TASKISLA	4
	TF2-TELEFERİK EYUP PİYERLOTI	207
	F4 RUMELI HISARUSTU -ASIYAN	1.560
	IETT TUNEL	5.058
	IETT NOSTALJİK TRAMVAY	454
	TOPLAM	5.369.806

Kaynak: BELBİM A.Ş.



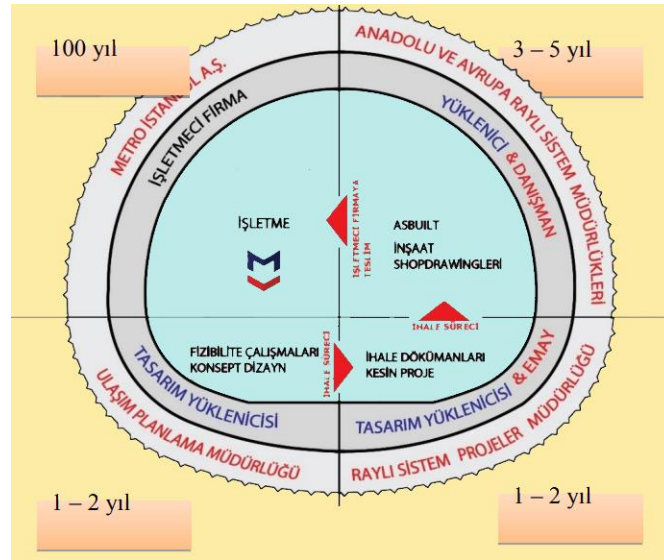
Şekil 2.8 : Sabah pik saati için raylı sistem yolculuk değerleri.

Şekil 2.9’da 1989-2019 yılları arasındaki Metro, Tramvay ve Teleferik hatlarında görülen yolculuk artışları verilmektedir.



Şekil 2.9 : 1989-2019 yılları arasındaki metro-tramvay-teleferik yolculuk artışları.

İBB tarafından Raylı sistem uygulamaya esas proje ve imalat yapım işleri yürütülürken sorumlu birimler, proje, yapım ve işletme süreleri Şekil 2.10’da gösterilmektedir (Araç,2018). İBB ve Ulaştırma Bakanlığı’na ait Raylı Sistem Yatırımı Projeleri ile ilgili detaylı bilgilere Bölüm 2’de yer verilmiştir.



Şekil 2.10 : Raylı sistem projesi yaşam döngüsü.

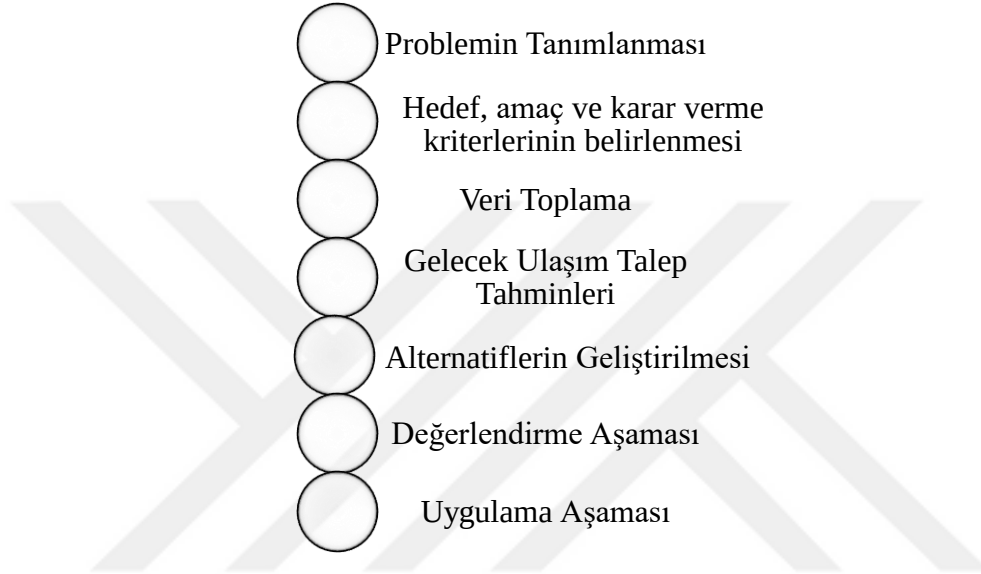
2.3 Kentiçi Raylı Sistemlerin Planlanması

Raylı sistemler ile yapılan yolculuk diğer toplu taşıma sistemlerine göre; hız, kapasite, güvenlik, ekonomiklik, konforlu, uzun ömürlü hizmet verebilecek nitelikte olması ve çevreyi koruması bakımından çok daha verimlidir. Bunun sonucunda ise raylı sistem yatırımları diğer ulaşım sistemlerine entegre edilerek, karar vericiler tarafından doğru biçimde planlanması gerekmektedir ve halkın katılımı ile paydaşların etkin karar verme mekanizması kurularak proje önceliklendirilmesi gerçekleştirilmelidir. Raylı sistemlerin kendilerine has özel yola sahip olmaları sebebi ile pik saatlerde yaşanan trafik yoğunluğu ile oluşan artan yolculuk talebini karşılayabilmesi, çevreye duyarlı, ekonomik gelişmeyi destekleyici, erişilebilir bir kent yaşamını sağlaması bakımından büyük önem taşımaktadır.

Kentin nüfus yoğunluğu, nüfus dağılımı, nüfus artış oranı ve nüfusun demografik yapısı, gelir dağılımı ve düzeyi, otomobil sahipliği, kentin gelişim seviyesi ve yapısını da dikkate alan kentin hedef ve strateji kararlarına uygun olarak, gelişme alanları, ulaşım, enerji, sanayi, tarım, turizm gibi sektörlerle ilişkin genel arazi kullanım kararlarını veren, yerleşme ve sektörler arasında denge sağlayan 1/100.000 veya 1/50.000 ölçekteki çevre düzeni planları ile uyumlu olması gerekmektedir. Bununla birlikte, şehrin coğrafi, sosyal ve ekonomik özelliklerine göre ulaşım ihtiyaçlarına cevap verecek nitelikte ulaşım sistemini kurgulayan, tüm ulaşım türlerini dikkate alarak toplu ulaşım ağırlıklı kısa, orta ve uzun dönemli ulaşım sorunlarına çözüm

önerileri getiren Ulaşım ana planı kararları ile uyumlu raylı sistem yatırımları gerçekleştirilmelidir.

Planlama “süreçler olarak gözlemlenebilir, yani, belirli bir zaman diliminde, amaca yönelik bir dizi etkinlik olarak nitelendirilebilir. Karar vericilerin ve planlama yapan birimlerin, kurumların daha sürdürülebilir bir ulaşım altyapısı için doğrudan karar vermektense işbirliği ve koordinasyon içerisinde daha idealleştirilmiş bir planlama sürecini yapılandırılması gerekmektedir.



Şekil 2.11 : Ulaşım planlama sürecinin temel basamakları.

Temel ulaşım planlama süreci Şekil 2.11’de gösterildiği, Uzun vadeli hedeflere ve stratejilere karar vermek, Mevcut ulaşım alışkanlıklarını ve seyahat davranışlarını araştırmak, Gelecekteki ulaşım taleplerini analiz etmek ve tahmin etmek, alternatif senaryolar belirlemek, Alternatiflerin potansiyel sonuçlarını analiz etmek, Alternatiflerin ekonomik analizini yapmak, Halkın katılımı ile alternatifleri değerlendirmek, Proje alternatiflerini önceliklendirmek, Tercih edilen projenin uygulama aşamasına geçilmesi olarak özetlenebilir.

- Problemin tanımlanması: Toplumun karşı karşıya olduğu temel ulaşım, ekonomik ve arazi kullanımı sorunları ve sorunları nelerdir? Bu adım aynı zamanda incelenecek bir alanın boyutunun tanımlanmasını, çalışmanın kapsamının belirlenmesini ve planlama sürecini denetlemek için bir yönlendirme komitesi yapısı veya forumunun oluşturulmasını içerebilir.
- Amaç, hedef ve kriterleri tanımlama: Seçilmiş yetkililer ve vatandaşlar tarafından toplumun geleceği ve ulaşım sistemi hakkında bir fikir birliği geliştirilmelidir.

Hedefler, ulaşım hizmetinin kalitesi, çevresel etkiler ve maliyetler için geliştirilir ve genellikle birbiriyle çelişir. İyi bir planlama çabası, açık ve öz bir şekilde karar vermeye yardımcı olacak alternatifler arasındaki bu faktörler arasındaki seçim ağırlıklarını belirleyecektir.

- **Veri toplama:** Ulaşım sisteminin mevcut durumu ve kullanımı hakkında veriler derlenmelidir. Buna trafik verileri, toplu taşıma yolcu istatistikleri, nüfus sayımı bilgileri ve hanehalkı seyahat zincirini toplayan anket verileri de dahildir. Arazi kullanımı, gelişme eğilimleri, çevresel faktörler ve finansal kaynaklar hakkında da veriler toplanır. Bu, problem tanımlamada ve gelecekteki seyahat modellerini tahmin etmek için yöntemler geliştirmede yardımcı olacaktır. Doğru ve güvenilir veriler, planlama süreci için çok önemlidir. Veri güvenilirliği olmadan, planlama sürecinin sonuçlarının çok az gerçek anlamı vardır ve yanlış proje seçimine ve bölge için uygun olmayan bir kalkınma yönüne yol açabilir.

- **Gelecek Tahminleri:** Mevcut seyahatten elde edilen veriler, seyahat talep modellerini kullanarak gelecekteki seyahat tahminlerini yapmak için kullanılır. Bu, gelecekteki nüfus, arazi kullanımı ve ekonomik koşulların tahminlerinin yanı sıra insanların seyahat seçimlerini nasıl yaptıklarının anlaşılmasını gerektirir. Tahmin, büyük miktarda veri gerektirir ve eğilimleri belirlemek için kıyaslama, duyarlılık kontrolleri ve takip anketlerine dayanan birçok varsayım altında gerçekleştirilir.

- **Alternatiflerin Geliştirilmesi:** Tahminler, gelecekteki alternatif arazi kullanımı ve ulaşım sistemlerinin performansını belirlemek için kullanılır. Alternatifler normalde farklı karayolu ve toplu taşıma hizmetleri ve tesislerinin farklı karışımları ile farklı arazi kullanımı ve ulaşım modellerini içerir. Arazi kullanımı seyahati etkilediğinden ve seyahat arazi kullanımını etkilediğinden, her ikisi de dikkate alınmalıdır.

- **Değerlendirme:** Tahminlerin sonuçları, amaçları, hedefleri ve kriterleri karşılamada alternatiflerin performansını karşılaştırmak için kullanılır. Bu bilgiler, ilgili vatandaşlar, seçilmiş yetkililer, farklı devlet kurumları ve özel sektör tarafından kapsamlı bir şekilde tartışılabilir. Nihayetinde kararlar, uygun seçilmiş veya atanmış görevliler ve gruplar tarafından alınır.

- **Planların uygulanması:** Kararlar verildikten sonra, planlar daha da geliştirilmeli ve uygulama projeleri hazırlanmalıdır. Bu, yukarıdakine benzer bir süreci takip eden tasarım ve değerlendirme için daha ayrıntılı analizleri içerebilir (Heyns ve Jaarsveld, 2017).

Raylı sistem ağı ve istasyon lokasyon analizi açısından proje aşamalarındaki eksikliklerin neler olduğunu gerçek vaka örnekleri ile gözlem gerçekleştirilmiştir. Buna göre, Raylı sistem proje güzergahı değerlendirme sürecinde, raylı sistem koridoru saha gezisinin ardından proje yüklenicisi ile idare arasında ilerleme toplantıları yapılmaktadır. Proje danışmanları, optimum istasyon yerlerine karar vermek için uydu görüntülerinden yararlanarak karar vermekte ve önerilerde bulunmaktadır. Tespit edilen istasyon alanları kamulaştırma açısından incelenmektedir. Farklı disiplinlerden oluşan karar grubu tarafından kullanılacak birden fazla kriteri aynı anda değerlendirebilen mekansal tabanlı veri analizi ve modelleme aracı olmadığı için bu çalışmalar yetersiz kalmaktadır. Çizelge 2.4 İstanbul metropoliten bölgesindeki raylı sistem projeleri için tipik ön Proje tasarım aşamalarını göstermektedir.

Çizelge 2.4: Ön proje tasarım aşamaları.

	Mevcut verilerin ve tasarımın toplanması ve gözden geçirilmesi
A	Saha araştırması ve ön topografik incelemeler Mevcut verilerin değerlendirilmesi ve yeni veri faaliyetlerine olan ihtiyacın tanımlanması
A1	Raporun hazırlanması için ulaşım zemin ve güzergah etüdü
A2	Tasarım el kitabı, yol ve istasyon ön tasarımının hazırlanması
A3	Fizibilite çalışmasının hazırlanması
B	Kesin Proje Tasarım İşleri

Kentlerde yaşayan insanların yolculuk hareketleri ve seçimleri incelenerek ulaşım modelleri geliştirilir. Kentlerin ulaşım davranışlarını temsil eden bir yolculuk talep tahmin modeli oluşturmak için, verilerin toplanması ve iyi bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Veriler sosyo-ekonomik veriler, ulaşım sistemi verileri ve yolculuk verileri olarak üç grupta incelenmektedir. Ulaşım modeli oluşturulduktan sonra karayolu ve toplu taşıma atamaları yapılır ve kısa, orta ve uzun dönemde yapılması gereken projeler önceliklendirilir. Ulaşım modellemesi; Yolculuk üretimi, yolculuk dağıtımı, türel ayırım ve yolculuk atamasından oluşan dört aşamalı bir model sürecini kapsar. Mevcut toplu taşıma sistemlerine ait duraklar, güzergahlar, hatlar, yolculuk

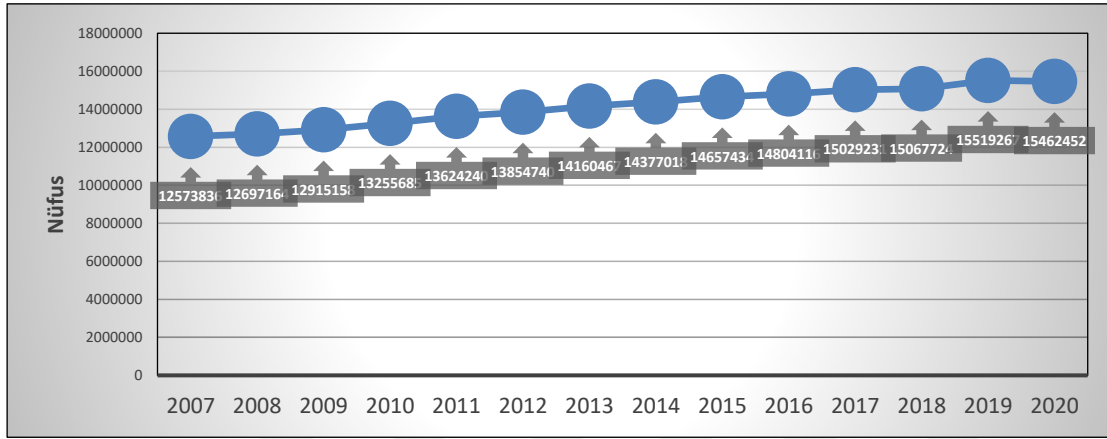
süreleri, bilet ücretleri, terminal alanları, yolculuk pik saatleri ve ulaşım modellemesinin girdilerini oluşturmaktadır (Aydın, 2021).

Bu tez kapsamında, her bir trafik analiz bölgesi için tüm bireylerin toplam yolculuklarını hesaplayan bir yolcu tahmin modeli veya toplu taşıma modeli kullanılmamıştır. İstanbul Ulaşım Ana Planı çalışmaları devam etmekte olup, henüz resmi olarak onaylanmamıştır. Toplu taşıma talep tahminleri teknik ve açık kaynaklı özgün bir belge olarak yayınlanmamış ve paylaşılmamakta olduğundan dolayı, bu araştırma bulguları çalışmamızın dışında tutulmaktadır. İstanbul Ulaşım ana planı resmi olarak 2011 yılında UKOME kararı alarak onaylanmıştır. Ayrıca İstanbul metropolitan bölgesi için Lojistik Ana Planı 2018 yılında ve Toplu Taşıma Ana Planı 2019 yılında tamamlanmıştır. Son olarak İngiltere Dışişleri, Milletler Topluluğu ve Kalkınma Ofisi (FCDO) tarafından yürütülen Küresel Gelecek Şehirler Programı (GFCP) kapsamında, BM-Habitat ile ortaklaşa İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından Eylül 2019-Mart 2022 tarihleri arasında İstanbul Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planı (SUMP) geliştirilmiştir. Geniş bir paydaş yelpazesi ile güçlü iletişim sağlanarak geliştirilen planın vizyonu şu şekilde tanımlanmaktadır: “Güvenli, entegre, erişilebilir ve uygun fiyatlı ulaşım alternatiflerinin doğru entegre sağlayan, insana ve çevreye odaklanan, kapsayıcı ve yenilikçi bir ulaşım sistemi, sürdürülebilir ve dirençli bir gelecek için İstanbul'un eşsiz coğrafyası ve tarihi değerleriyle uyumlu”. İstanbul SUMP, üç tema altında gruplandırılmış bazı projeler önermektedir. İkinci gruplandırma için ana başlıklar şu şekilde sıralanmıştır: Kesintisiz Transfer ve Entegrasyon: Raylı Sistem Ağının Genişletilmesi, Minibüs İşletmelerini İçerecek İstanbulkart Genişletme, İstanbul Ağ Yönetim Kontrol Merkezi (INMMC), Otobüs Yolları, Minibüs Besleme Güzergahları, Yolcu Deniz Taşımacılığı-Filo Yenileme, Transfer Merkezlerinin Genişletilmesi, Gerçek Zamanlı Yolcu Bilgilerinin ve Açık Verilerin Genişletilmesi, Otobüs Hizmeti İyileştirme Programı (BSIP), Park Et ve Devam Et Tesisleri.

2.4 İstanbul'un Nüfus, Demografik Yapı ve Sosyo-Ekonomik Özellikleri

İstanbul ili üretim ve çekim merkezlerinin odak noktası, konut, ticaret, sanayi, turizm, lojistik sektörleri vb gelişmişlik düzeyi ile birlikte istihdam sağlamak bakımından nüfusun bu alana kaymasına neden olarak yıllar içerisinde yüksek nüfus ve yapı yoğunluğu ile metropoliten bir kent olması ile sonuçlanmıştır. İstanbul genelinde nüfus

yoğunluğu 2020 yılında 2.976 değerini almıştır. İstanbul ilinin yüz ölçümü 5 bin 196 km²'dir. Hanehalkı büyüklüğünün ilçelere göre dağılımı incelendiğinde, 2020 yılı için İstanbul ilinde ortalama hanehalkı büyüklüğünün en yüksek olduğu ilçe 269.482 kişi ile Esenyurt ilçesidir. Esenyurt ilçesinin 230.231 kişi ile Küçükçekmece ilçesi ve 212.139 kişi ile Pendik ilçesi izlemektedir. İstanbul'daki yıllara göre değişen nüfus değerleri Şekil 2.12'de ve 2020 yılı İstanbul geneli nüfus dağılımı ise Şekil 2.13.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.12 : Yıllara göre İstanbul'un nüfusunun değişimi.



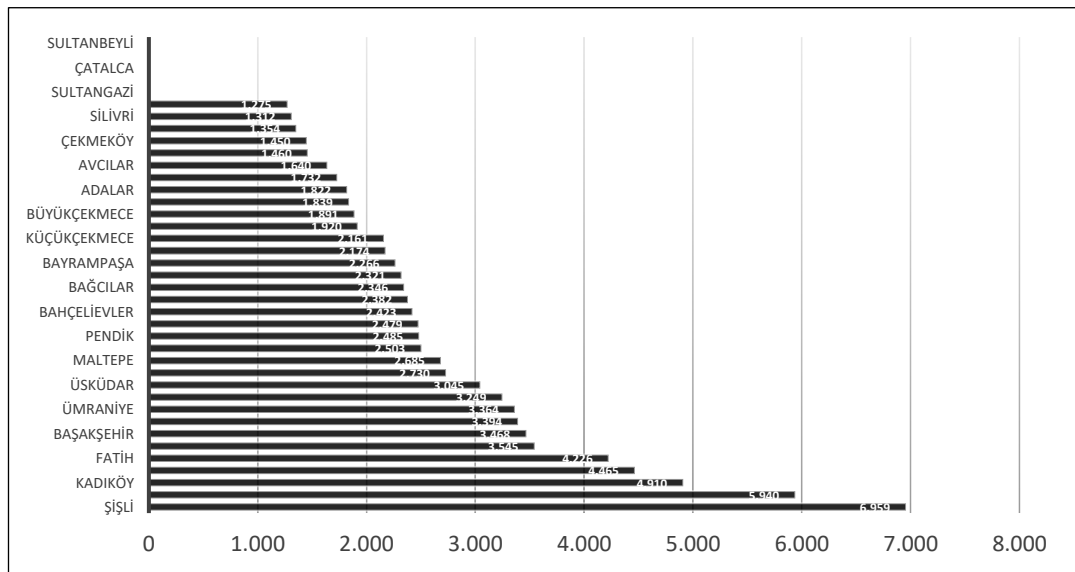
Şekil 2.13: İstanbul geneli nüfus dağılımı.

2020 yılı için İstanbul ilinde yıllık hane halkı gelirin en düşük olduğu ilçe 44.808 ile Arnavutköy ilçesidir, en yüksek olduğu ilçe ise 233.088 ile Beşiktaş ilçesidir.

2020 yılında TÜİK verilerine göre, İstanbul ilinde işgücüne katılım sayısına bakıldığında işgücüne katılan kişi sayısı bir önceki yıla göre % 7,35 azalarak, 6.289.000 kişiye gerilemiştir. İstanbul ilinde işgücüne katılma oranı, kadınlarda % 33,6, erkeklerde % 71,9 olarak gerçekleşmiştir. İstanbul'un Esenyurt, Bağcılar, Küçükçekmece, Sultangazi ve Pendik ilçelerinde okuma yazma bilmeyen kişi sayısı diğer ilçelere göre daha yüksektir.

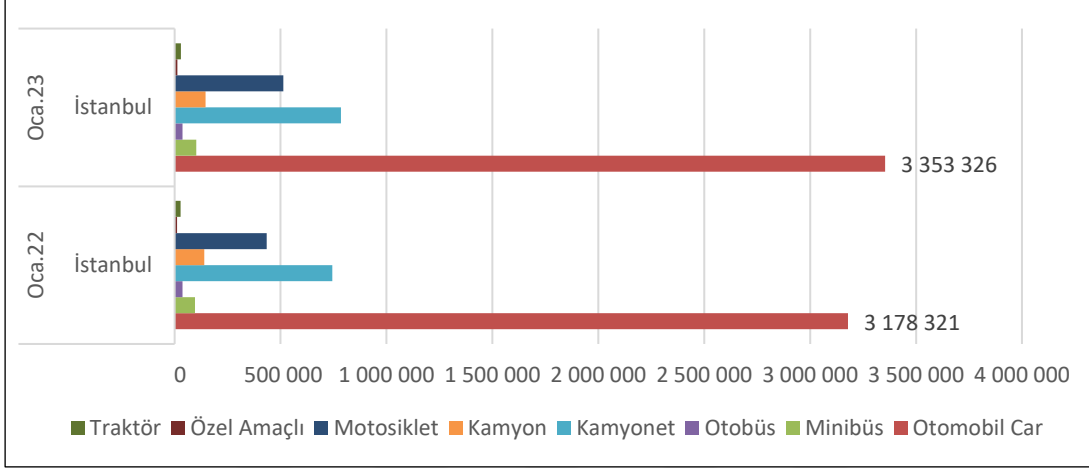
Sosyal veya demografik yapı göstergeleri, bir şehrin, bölgenin veya ülkenin demografik yapısı ve bu bölgede yaşayan nüfusun istihdamı, eğitimi, sağlığı ve ekonomisi gibi unsurlardan oluşur. Sosyal yapı, bölgede yaşayan nüfusun sosyal gelişimini ve yaşam kalitesini anlatmakta ve bölgenin sosyal, kültürel ve ekonomik yapısını tanımlayan faktörleri içermektedir. Ekonomik yapı ise bölgelerin, ülkelerin ve toplumların sosyo-kültürel yapısıyla birçok farklı yönden ilişkilidir. Tarım, yatırım, hizmetler, inşaat ve sanayi sektörleri ekonomik yapının temel göstergeleri olarak tanımlanabilir (Uçkan, 2019).

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü'nün 2022 yılı İstanbul İli Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması'na göre, Şekil 2.14'de görüldüğü üzere, Şişli ilçesi 6.959 değeriyle en yüksek değeri alan ilçe olmuştur. Beşiktaş, Kadıköy ve Bakırköy ilçeleri ile sıralama devam etmektedir. En düşük değeri alan ilçe ise 0.684 değeriyle Sultanbeyli ilçesi olmuştur.



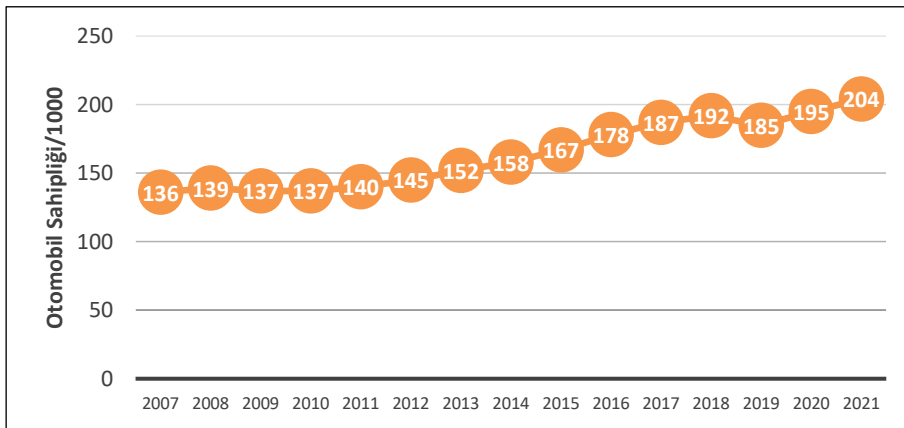
Şekil 2.14 : İstanbul ilçeler bazında sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması.

İstanbul'daki motorlu taşıt sayısı Ocak 2022 ve Ocak 2023 verileri Şekil 2.15.'de gösterilmiştir. Araç sayısının artması ile trafik sıkışıklığı artarak yolculuk süreleri uzamakta ve buna göre, konforlu, güvenli, hızlı ulaşım ihtiyacı doğmaktadır. Toplu taşıma sisteminin başta raylı sistemler olmak üzere, geliştirilerek yatırım planlarında öncelik verilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.15 : İstanbul ili motorlu kara taşıtları sayısı, TÜİK 2023.

İstanbul'daki otomobil sahipliği değişimi Şekil 2.16'da gösterilmektedir. İstanbul'un nüfus yoğunluğu ve artarak devam eden otomobil sahipliği ile birlikte özel otomobil kullanımından kaynaklanan trafik yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Ulaşım sisteminin verimli olarak hizmet verebilmesi dengeli ve yeterli düzeyde toplu taşıma ağının oluşturulmasıyla mümkündür. Türkiye'nin % 18,49'unun ikamet ettiği İstanbul'da 2020 yılı nüfus değeri 15.462.452 kişidir. İstanbul'da çalışma çağındaki nüfus (15-64 yaş aralığı) oranı % 71,2 oranındadır. Çocuk yaş grubu % 21,42, 65 yaş ve üzeri nüfusun oranı ise %7,37'dir.



Şekil 2.16 : Yıllara göre otomobil sahipliği (adet/1000 kişi).

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 'Türkiye'deki İlçelerde Nüfus Yoğunluğu ve Kentsel Fonksiyonlara Göre Kentleşme Düzeyinin Ölçülmesi' (Ağustos 2019) Türkiye ulusal çalışma raporuna göre, kentsel işlev ve kentsel yoğunluğunu 4 sınıf olarak kategorize etmişlerdir.

Kentsel nüfus yoğunluğu ve kentsel işlevler dikkate alınarak oluşturulan kategoriler, yalnızca kentlerin tanımlanmasına yönelik ihtiyaçlar ve çözüm önerileri açısından değil, kentleşmeye ilişkin politika tercihleri için de önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Nüfus Yoğunluğu ve Kentsel Fonksiyonlara Göre Türkiye İlçelerinde Kentleşme Düzeyinin Ölçülmesi Ulusal Çalışma Raporuna göre, yoğun nüfuslu ve kentsel işlev düzeyi düşük olan ilçeler, kentsel yığılmayı olumsuz etkilemektedir ve bu alanlar kentsel yaşam kalitesini artırmamaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilir kent planlaması ve kent hizmetlerinin etkinliğinin artırılması temel bir unsur olarak ele alınmalıdır.

İstanbul'da, Kategori-4'te yer alan Arnavutköy, Bağcılar, Esenler, Esenyurt, Sancaktepe, Sultanbeyli ve Sultangazi olarak adlandırılan 7 ilçe bulunmaktadır.

Kentsel işlev, kentsel alanın çeşitli insan faaliyetleri tarafından fiilen kullanılmasını ifade eder. Kentsel işlev, yalnızca kentlerdeki kentsel yığılmaları değil, aynı zamanda sosyo-ekonomik faaliyetlerin yoğunluğunu da inceleme olanağı sağlar. Kentsel yerleşmelerin sosyo-ekonomik özelliklerine ilişkin çalışmalar, kentsel işlevlere ilişkin değerlendirmeler için de temel oluşturmaktadır. Kentsel işlevlerin derinlemesine anlaşılması, kentsel yapının optimizasyonu ve kentsel mekanın sürdürülebilir gelişimi için temel oluşturur.

Bu çalışmanın bulguları, İstanbul'un sosyo ekonomik puanlarıyla örtüştürmek ve karşılaştırmak için incelenmiştir. Dengeli ve bütünleşik bir kentsel raylı sistem geliştirme arayışında, bu sınıflandırmalar, büyük ve gelişmekte olan metropoliten alanlar için alternatif proje alanlarını ortaya çıkarmak için yararlı olabilmektedir. İstanbul'daki kentleşme düzeylerine özel olarak yapılmış az sayıda çalışma bulunmaktadır, çalışma hedeflerimizi destekleyici bir bulgu olarak değerlendirilmiştir.

İBB, Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından 2018 yılında İstanbul ili genelinde afetler karşısında sosyal hasar görebilirlik analizi yapılmıştır.

Sosyal Statü Değeri, eğitim düzeyi, mesleki prestij, gelir düzeyi, yaşam alanı, tüketim normları, yaşam tarzı tercihleri gibi birçok değişkeni içermektedir.

Sosyal Statü Değeri ölçümü, tabakalaşma araştırmaları için en tahmin edici tekniklerden biridir ve bu ölçümler, sosyal bilimcilerin farklı ilgi alanlarına dayanmaktadır.

Sosyo ekonomik durum, yukarıda listelenen değişkenlere göre bireylerin ve/veya hanelerin sosyal mesafeleri olarak tanımlanabilir. Öte yandan, Sosyal Ekonomik statünün belirlenmesi oldukça tartışmalı bir konudur.

SES ölçeği, sosyal statüyü ölçmek için bir analiz birimi olarak haneyi, SES ölçeği ise birleşik sınıflandırma yöntemiyle tüm hane halkının sosyo-ekonomik durumunu ölçmeyi amaçladı.

Anket formu kullanılarak SES (Sosyo-ekonomik statü) belirlenmiştir. SES ile sosyal kırılganlık arasındaki ilişki kurulmuş ve SES azaldıkça sosyal kırılganlığın artacağı varsayılmıştır. Bu çalışma kapsamında SES'in nasıl ölçüldüğü Çizelge 2.5'de gösterilmiştir.

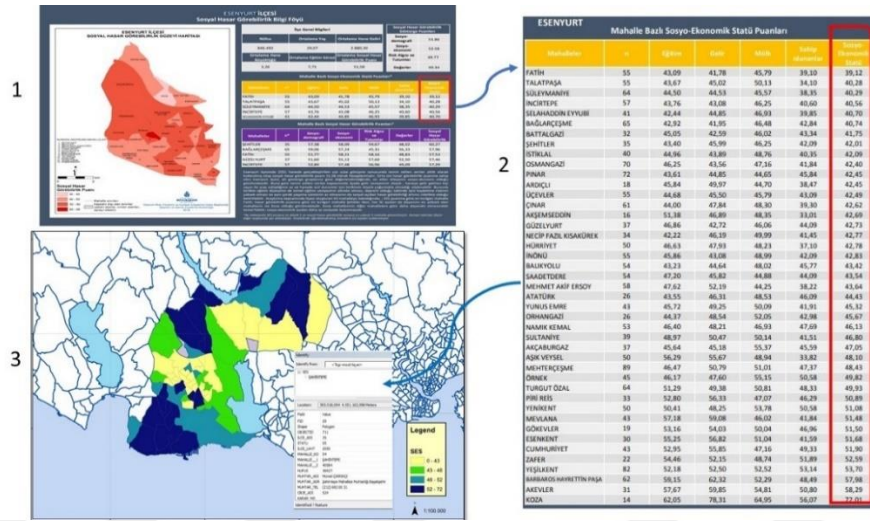
Çizelge 2.5: SES ölçeği ölçümü.

Gruplar	İçerik/Göstergeler	Factor Load Value
Eğitim	Hanede yaşayan bireylerin ortalama eğitim süresi	Ortalama eğitim süresi azaldıkça SES daha düşük değer almaktadır.
Gelir Düzeyi	Haneye herhangi bir kaynaktan gelen gelirin toplam kişi sayısına bölünmesi ve ortalama hane gelirine dönüştürülmesi	Gelir düştükçe SES değeri düşmektedir.
İş sahipliği	Hane halkını ve düzenli/düzensiz gelirli bir işi olan kişileri dahil ederek kapsayıcı bir hane meslek statüsü oluşturmak ve oluşturulan puanın iş/meslek beyan eden kişi sayısına bölünmesi ve ardından elde edilen hane meslek durumu puanı	Eğitim ve gelir dikkate alındığında meslek durum puanı düştükçe SES değeri azalmaktadır.
Ev sahipliği	Hanede yaşayan üyelerden birinin sahip olduğu mülkler (mülkün haneye ait olduğu varsayılır)	Özellikler azaldıkça SES daha düşük değer alır

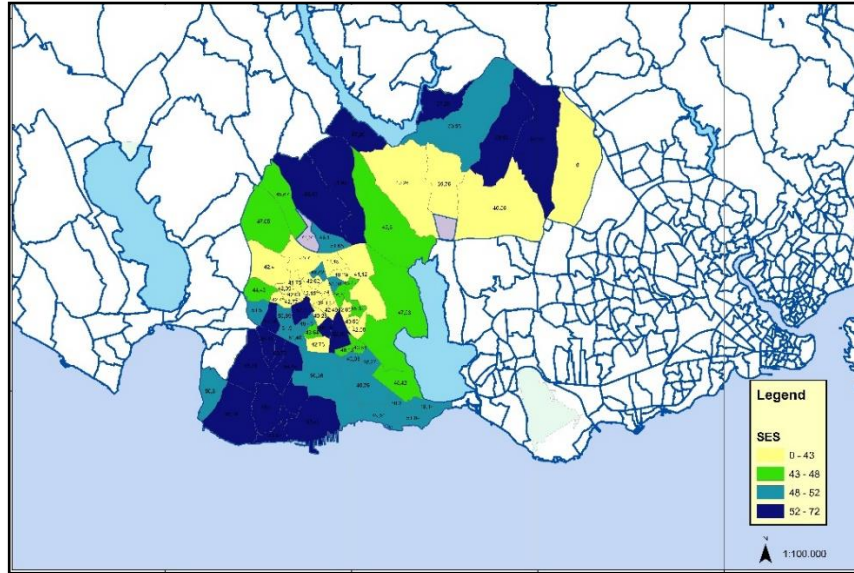
Sosyo-Ekonomik Durum Puanının elde edilmesi için kullanılan değişkenlerin nasıl hesaplandığına dair detaylı bilgiler, İstanbul İli genelinde Afetler Karşısında Sosyal Hasar Görebilirlik Araştırması raporundan 'Sosyo-Ekonomik Statü Analizi' bölümünden incelenebilir.

Çalışmamız kapsamında, Arc GIS'te shape dosyası formatında saklanan özellik verilerini oluşturup düzenlendi. Öznitelik tablosunda düzenlenen tüm SES değişkenleri ve farklı dolgu rengiyle sembolize edilen ve Şekil 2.17'de gösterildiği gibi bir harita katmanı olarak değerlendirilmek üzere Sosyo ekonomik verileri

görselleştirilmiştir. Ek olarak, Şekil 2.18’de gösterildiği gibi SES puanları girilerek düzenlenmiş harita dosyası gösterilmektedir. Bu çalışma için SES shape dosyası oluşturularak veri dosyası olarak kaydedilmiştir. Bu veri seti, mekansal analiz aracı olan Üst üste bindirme analizi için 5 ana kritere sahip harita katmanları oluşturmak için kullanılmamıştır. Bu çalışmada çalışma alanı seçimi, Sosyo-Ekonomik Durum puanı düşük mahalleler/ilçeler dikkate alınarak yapılmıştır, çünkü çalışma amaçlarımızdan biri de İstanbul metropoliten bölgesindeki ekonomik olarak dezavantajlı bölgelere hizmet veren bir raylı sistem hattı sağlamaktır.

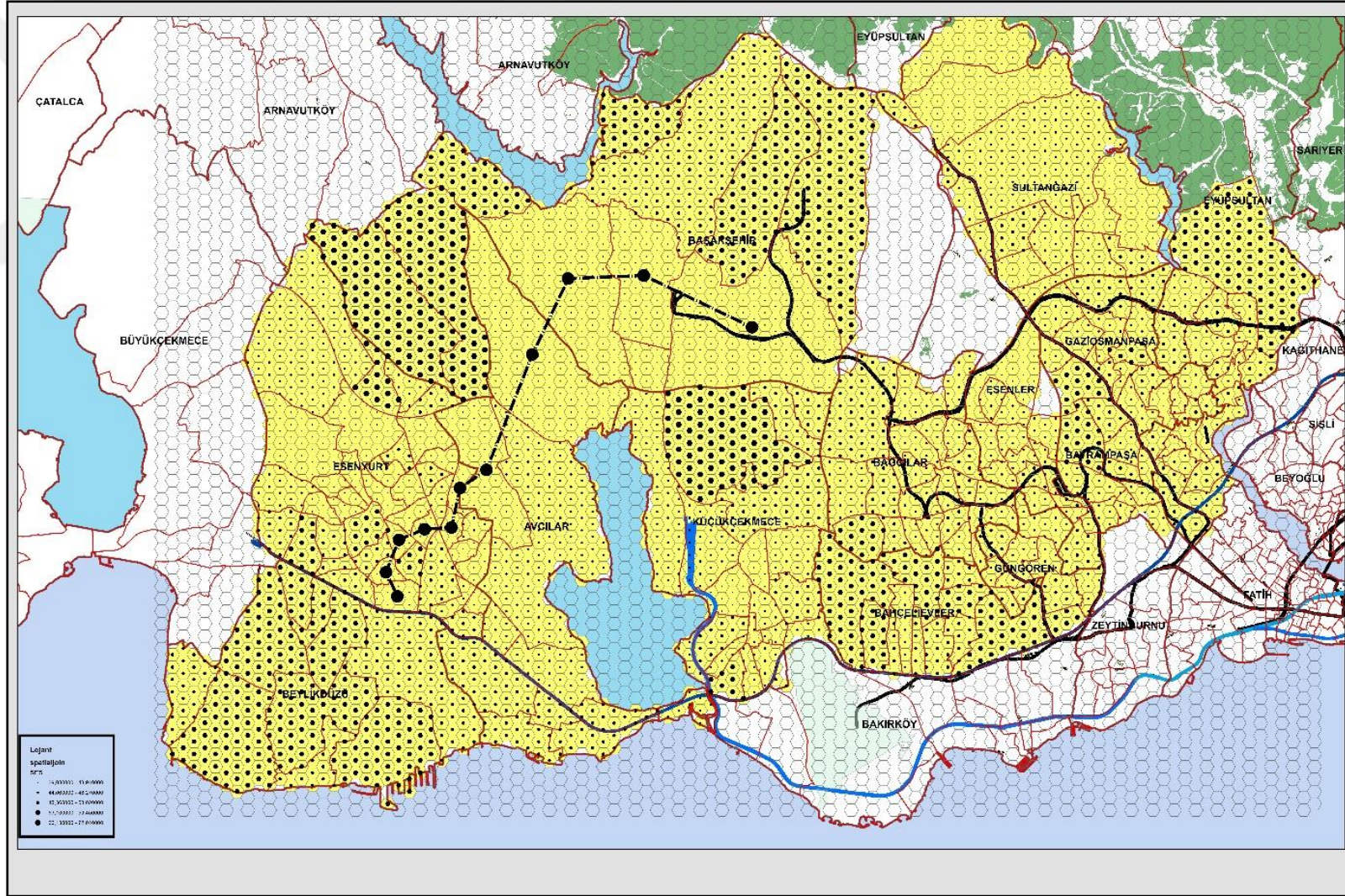


Şekil 2.17 : ArcGIS ortamında sosyo ekonomik statü verisi girişi.

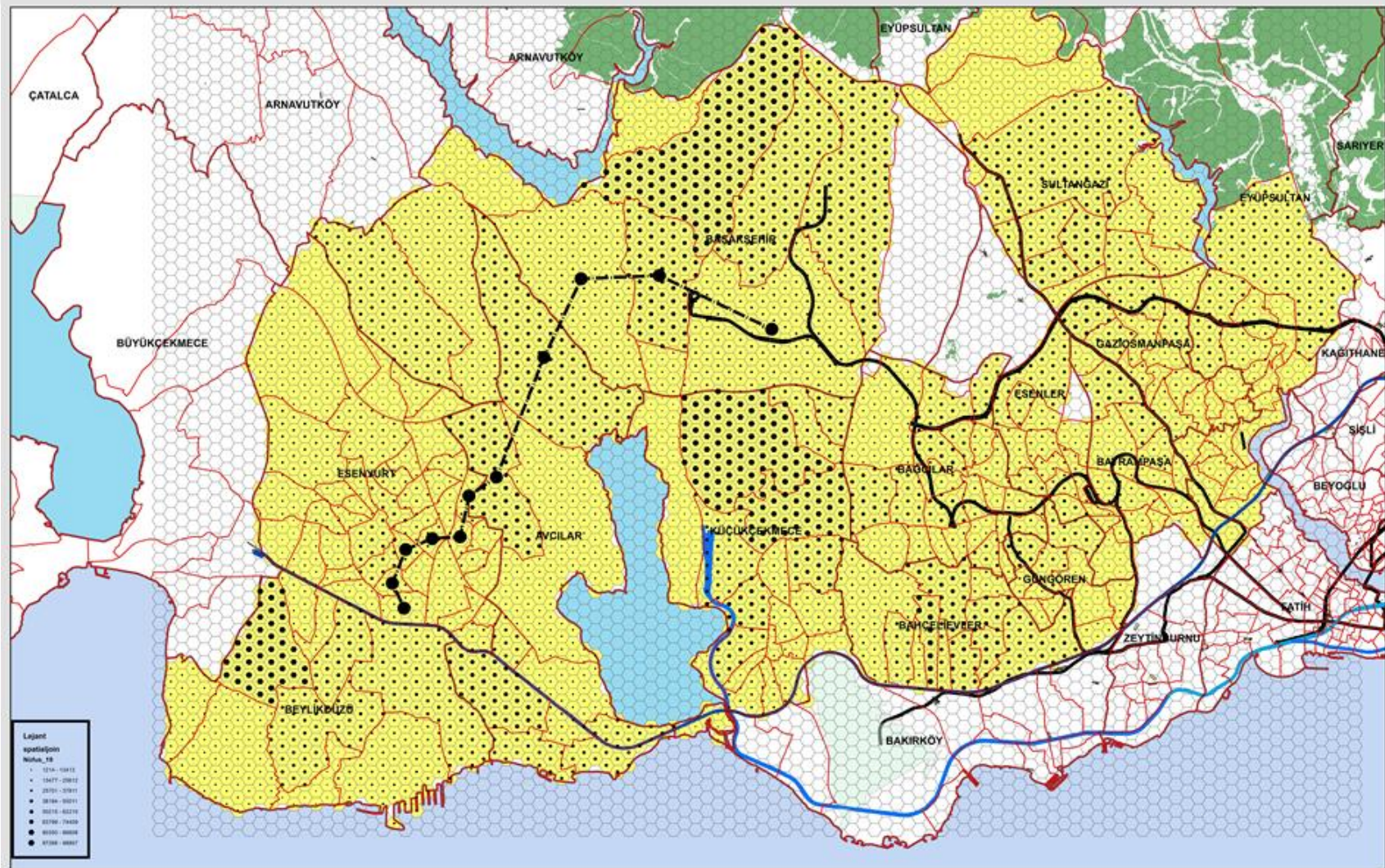


Şekil 2.18: Mahalle bazlı sosyo ekonomik statü puanları.

Şekil 2.19. Sosyo-Ekonomik Durum (SES) için hazırlanan altıgen haritayı ve Şekil 2.20 ise Nüfus için hazırlanmış altıgen haritayı göstermektedir.



Şekil 2.19: Altın harita sosyo-ekonomik statü (SES).



Şekil 2.20: Altınözü harita nüfus

2.5 Raylı Sistem Güzergah Seçimini Etkileyen Parametreler ve Güzergah/İstasyon Seçimi Karar Verme Süreçleri

Kentsel raylı sistem planlaması için, önceki çalışmalarda potansiyel uygulanabilirlik, yetersiz mekansal kapsam, değerlendirme sayısı kriterinin eksikliği gibi hala sınırlamalar bulunmaktadır. Bu çalışma, raylı sistem ulaşımı planlama sürecinde çoklu çalışma hedeflerinin nasıl entegre edileceği ve karşılanacağı konusunu gündeme getirmekte ve çalışmamızın kentsel raylı ulaşım gelişimi için çözümleri nasıl ele alacağından bahsetmektedir.

Çeşitli araştırmalar, ulaşım sistemlerinin değerlendirilmesine yönelik geleneksel yaklaşımlarla ilgili sınırlamaları tanımlamıştır. Transit sistemler hakkında karar vermeye yönelik geleneksel yaklaşımlar, çeşitli gerçekçi olmayan varsayımlara dayanmaktadır. Örneğin, karar verme probleminin iyi yapılandırılmış olduğu varsayılır; değerlendirme hedeflerinin bağımsız olduğu varsayılır; değerlendirme kriterlerinin ölçülebilir olduğu varsayılır; karar vericilerin tutarlı bir bireyler grubundan olduğu varsayılır; tüm olası alternatiflerin açıkça tanımlandığı varsayılır; karar vericiler, ulaşım alternatiflerini analiz ederken ihtiyaç duyulan bilgilere ilişkin eksiksiz bilgiye sahiptir; ve maksimum faydayı sağlayan alternatifin optimal çözüm olduğu varsayılır. Ancak gerçekte çoğu transit karar vericisi, 'doğru' kararı vermek için ne tam bilgiye ne de katı karar kurallarına sahiptir. Buna ek olarak, geleneksel yaklaşımlar karmaşık toplu taşıma sistemini şu yollarla aşırı derecede basitleştiriyor gibi görünmektedir: – performans ölçümlerini bir araya getirerek ve bir sistemi bir bütün olarak değerlendirerek; – analiz yapanların belirsizliğini göz ardı etmek. Bununla birlikte, gerçekte analizciler alternatifleri değerlendirdiklerinde, genellikle belirsiz, eksik, çelişkili ve dağınık olan veriler, bilgiler, görüşler ve eleştiriler biçimindeki kanıtlarla karşılaşılır.

Günümüzün başlıca ulaşım sistemlerinin politika yapıcıları, yeni bir ulaşım sisteminin mi yoksa mevcut bir ulaşım sisteminin genişletilmesinin mi gerektiği, hangi ulaşım teknolojilerinin dikkate alınması gerektiği, yerel olarak hangi ulaşım alternatifinin tercih edilmesi ve hangi toplu taşıma sistemlerinin uygulanması gerektiği konusunda tartışmalarla karşı karşıya kalmaktadır. Farklı bakış açılarından amaç ve ihtiyaçları karşılayan ve aynı zamanda, belirsiz bilgiler altında birden çok amaç ve hedefi tatmin

eden en arzu edilen ulaşım sisteminin mantıklı bir şekilde nasıl değerlendirileceği, sunulacağı ve önerileceği araştırılmaktadır. Araştırmacılar bir ulaşım sistemini birbiriyle etkileşime giren birçok öge ile karakterize olan büyük ölçekli bir sistem olarak görmektedirler.

Ulaştırma yatırımları, söz konusu coğrafi alandaki arazi kullanım kararları ve arazi değerleri anlamında değişime yol açabileceği gibi, sosyo-ekonomik ve demografik değişimler de söz konusu olabilmektedir (Uçar, 2020). Ulaşım altyapı yatırımlarından kaynaklanan gelişmeler, mekânın kullanım ve değişim değerlerini etkileyecek ve ekonomik gelişme sağlayacaktır. Kentin yolculuk üretim ve çekim merkezleri arasındaki yolculuklarda erişilebilirliğinin artması ile kişi başına düşen hareketlilik sayısı artacaktır.

Raylı sistem güzergahının geçeceği bölgelerin ve istasyon noktalarının yer seçimi için kullanılan faktörler ve ağırlıklar çalışma bölgesine ve tercih edilen önem sırasına göre değişiklik gösterebilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında mekansal analiz ve bulanık mantık tekniklerinin uygulanması 5 ana kriter üzerinden gerçekleştirilmiştir. (A-Arazi topolojisi, eğim (%) B- Arazi jeolojisi, litolojik oluşum C- Yüzeysel Su Akışı Yoğunluğu D-Nüfus Yoğunluğu E-Arazi kullanımı) Bölüm 4'te mekansal analiz teknikleri ile çok kriterli karar verme, Bölüm 5'te ise bulanık mantık yaklaşımı ile raylı sistem optimum güzergah planlaması gerçekleştirilmiştir. Anket çalışmasının detayı 4.2. bölümde verilirken, anket formu ise tezin ek kısmında paylaşılmıştır. Anket içeriğinin 2. bölümünde ikili karşılaştırmalar Çizelge 2.6'da verilen 7 ana kriter ve alt kriterler üzerinden yapılmıştır.

Çizelge 2.6: Raylı sistem planlaması- ana ve alt kriterler.

A	Hat Uzunluğu ve İstasyon Sayısı	Hattın uzunluğu ve hattın hizmet ettiği alansal büyüklük İstasyon sayısı ve istasyonlar arası mesafe Diğer raylı sistemler ile yaklaşma durumu, mesafesi
B	Sosyo-Ekonomik Durum	Hattın geçtiği zon/mahalle nüfusunun büyüklüğü Hattın hizmet edeceği halkın gelir düzeyi Hattın hizmet edeceği halkın eğitim durumu Ev-iş, ev-okul yolculukları kapsamında mevcut ve gelecekteki talebin karşılanabilirliği
C	Arazi Kullanımı	Hattın sanayi bölgelerine olan yakınlığı Hattın eğitim kurumlarına olan yakınlığı, etki mesafesindeki kurum sayısı ve kapladığı alan(m ²)

Çizelge 2.6 (devam) : Raylı sistem planlaması- ana ve alt kriterler.

		Hattın sağlık kurumlarına olan yakınlığı, etki mesafesindeki kurum sayısı ve kapladığı alan (m ²)
D	Çevre	Hattın yapılması ile çevreye olacak etkinin düzeyi (tarım ve orman alanlarının etkilenmesi bakımından) Hattın yapılması ile çevreye olacak etkinin düzeyi (sit alanlarının etkilenmesi bakımından) Hattın taşkın risk bölgelerine olan yakınlığı Hattın dere akslarına olan yakınlığı Hattın havza sınırlarına olan mesafesi
E	Ulaştırma Altyapısı	Hattın havalimanlarına olan yakınlığı Hattın otogarlara olan yakınlığı Hattın hızlı tren proje güzergahlarına olan yakınlığı
F	Ekonomi	Hattın jeolojik durumu Hattın geçtiği güzergahın eğim durumu Hattın kamulaştırma açısından uygun arazilerden geçmesi durumu Hattın inşaat yapım tekniği
G	Entegrasyon ve Erişilebilirlik	Hattın transfer merkezlerine olan yakınlığı İstasyon noktası veya noktalarında park et-devam et uygulamasının yapılabilirliği Seyahat süresini kısaltma İstasyon noktasına yürüme mesafesi İstasyonlardaki bilet fiyat farkı uygulamaları (kentiçi yüksek, uzaklaştıkça düşen ölçekte) Hattın mevcut hatlar ve gelecekteki raylı sistem projeleriyle entegre olabilme özelliği Hattın iskelelere olan mesafesi, deniz ulaşımı ile olan entegrasyonu

Yücel ve Taşabat (2019) çalışmalarında, İstanbul için raylı sistem projelerini seçiminde çok kriterli karar verme metodlarını uygulayarak Çizelge 2.7’de verilen alternatifler tablosundaki ‘Yolcu hizmetleri’, ‘Çevre’, ‘Ekonomi’ ve ‘Mimarlık ve Şehircilik’ ana kriterlerini kullanarak raylı sistem projelerini AHP (Analitik Hiyerarşi Metodu) ve BWM (Best Worst Metodu) metodlarını kullanarak test etmişlerdir.

Çizelge 2.7: Alternatifler tablosu.

Ana Kriter Kodu	Ana Kriter	Alt Kriter Kodu	Alt Kriter
C1	Yolcu Hizmetleri	C11	Kapasite
		C12	Güvenlik
		C13	Konfor
		C14	Seyahat Süresi
		C15	Diğer şehirlerarası ulaşım sistemlerine en elverişli erişim imkanı
		C16	Gelecekte raylı sistem hatları oluşturma ve geliştirme imkanı
		C17	Erişilebilirlik
C2	Çevre	C18	Seyahat Talebi
		C21	Şehrin imajıyla uyum
		C22	Çevre ile uyum (Gürültü/hava/görüntü kirliliği)
		C23	Mevcut yararlı arazi kullanımlarını koruma olasılığı
C3	Ekonomi	C31	Yatırım maliyeti
		C32	Araç maliyeti
		C33	İşletme maliyeti
		C34	Yatırım maliyetinin getirisi için potansiyeller
		C35	Bölge için katma değer yaratma imkanı
		C36	Seyahat maliyetlerinin düşürülmesi olasılığı
		C37	Kamulaştırma maliyeti
C4	Mimarlık ve Şehircilik	C41	Nüfus yoğunluğu
		C42	Nüfus artışı
		C43	İmar planları ile koordinasyon
		C44	Gelecekteki gelişme potansiyelinin varlığı
		C45	Üretim sahasına yakınlık

“Çok Kriterli Karar Verme” yöntemlerinin, özellikle toplu taşıma sistemlerinin geliştirilmesi için konum analizleri ve alternatiflerin/senaryoların seçimi için ulaşım alanında önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Dünya örnekleri incelendiğinde, bilimsel literatürüne dayalı değerli derleme çalışmaları bulunmaktadır. Yannis ve diğ. (2020) ulaşım endüstrisindeki Çok Kriterli Karar Verme metodları ile ilgili detaylı literatür incelemesi sunmuştur. Uygulanan ÇKKV metodolojileri önemli ölçüde farklılık gösterebilir; örneğin karar alma sürecinde amaç, hedefler, kriterler ve göstergeler tanımlanmalıdır. Broniewicz ve Ogrodnik (2020), ‘Ulaşım Altyapı Projelerinin Çok Kriterli Analizi’ adlı çalışması ile, ulaşım ile ilgili projelerde uygulanan çok kriterli yöntemlere ilişkin kapsamlı bir literatür taraması yapmıştır.

Kriter setleri, verilen bir karar problemi için tamamlayıcı ve temel olarak gereksinim duyulan parametrelerdir. Aynı karar verme problemleri, farklı kriterler kullanılarak çözülebilir. Araştırmacılar, genellikle daha önceki literatür çalışmalarında sıklıkla kullanılan veya alanında uzman kişilerden alınan ölçüt listelerini kontrol etmişlerdir. Ahmed (2016) 'Potansiyel Toplu taşıma İstasyon Konumlarının Belirlenmesi' başlıklı tezinde dört ana kriter (nüfus büyüklüğü, şehrin yapısı, raylı ulaşım sisteminin mevcudiyeti ve coğrafi özellikler) önermiştir. Parry ve diğ. (2018) uygunluk değerlendirmesi için değişkenleri eğim, yükseklik, arazi kullanımı ve hizmet statüsü olarak seçmiştir. Özceylan ve diğ. (2019), akademik dergilerde 2005 ile 2019 yılları arasında yayınlanan bilimsel makalelerden CBS tabanlı ÇKKV modellemesine dayalı saha uygunluk analizlerini incelemiştir. Bu çalışma, kullanım sıklığına göre ana kriterleri sınıflandırması ile bir adım öne çıkmaktadır. Yüzey suyu/sulak alan, Kentsel alanlara uzaklık, Yola uzaklık, Eğim, Arazi kullanımı, Jeoloji ve Yer altı suyu en sık görülen alt kriterlerdir. Kriter analiz sonuçları, yüzey suyu, jeoloji, arazi kullanımı ve eğim kriterlerinin diğerleri arasında en sık kullanılan kriter grupları olmasıyla tez çalışmamızda seçilen kriterlerle benzerlik göstermektedir.

Luca ve diğ. (2012) ‘Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Kriterli Analizler kullanılarak Yüksek Hızlı Tren Yolu Tasarımı’ adlı çalışmalarında, üç farklı bakış açısı ele alınarak değerlendirildi. Geleneksel bakış açısında, çevresel ve sosyal kriterlere ağırlık verilmiştir. 2. bakış açısı Uzlaşmada ise, çevresel, teknik ve sosyal teknikler arasında eşit uzlaşma sağlanan bir çözüm üretilmiştir. 3. yenilikçi bakış açısında ise, çevresel ve sosyal boyutları ikinci planda tutarak, altyapının teknik ve fonksiyonel özellikleri dikkate alınmıştır. Luca ve diğ. (2012) çalışmaları kapsamında belirlenen faktör ve

göstergeler, raylı sistem ağının geliştirilmesi ve değerlendirilmesi için temel alınan kriter yapısını oluşturmaktadır (Çizelge 2.8).

Çizelge 2.8 : Çevresel bileşenler.

Kategori	Faktör	Göstergeler
Arazi Stabilitesi	Jeolojik	A1-Heyelan Riski
		A2-Sismik ve Volkanik Risk
	Hidrolik	A3-Jeolitolojik Bileşim
		B1-Suyun akışı
Biyolojik ve doğal etkiler	Doğal kaynaklar	B2-Hidrolik risk
		C1-Dahili park alanının yüzdesi(yüksek çevresel değer)
		C2-Park zonlama
		C3-Görsel etki
		C4-Peyzaj değeri
		C5-Doğallık derecesi
Sosyal ve Çevresel bileşenler	Arazi kullanımı	C6-Biyolojik çeşitlilik derecesi
		D1-Genel müdahale
	Gelecek arazi kullanımı	D2-Yollara erişim
		D2-Kentsel alanlara erişim
Geometrik ve Fonksiyonel faktörler	H	E1-Geçilen alanların özellikleri (kentsel, tarım, vb.)
		H1-Ortalama tren hattının hızı
		H2-Hat uzunluğu
		H3-Ara durak ekleme imkanı

Uygulanan bu yöntemlerin dışında, Ahmed ve diğ. (2020), coğrafi bilgi sistemini kullanarak, aday istasyonlar kümesinden ve bağlı olduğu hattın istasyonlarının konumlarını optimize etmek için Genetik algoritma tabanlı bir çözüm önermiştir. Çalışma, ulaşım sektörü paydaşlarından gelen çoklu planlama gereksinimlerini göz önünde bulundurarak optimizasyon sürecinden önce istasyon alanlarının fizibilitesini analiz etmektedir.

Tarko (2004) tarafından hazırlanan Ulaştırma Mühendisliği'nin El Kitabı, 3.6 bölümde Ulaştırma Sistemlerinin Değerlendirilmesi aktarılmıştır. Cincinnati, Ohio bölgesinde karayolu kavşak çalışması için Çizelge 2.9'da listelenen kriterler üzerinden değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 2.9 : Değerlendirme kriterleri.

Kategori	Değerlendirme Kriteri
Maliyet Etkinliği	Bu ulaşım sistemine ne ölçüde uygun maliyetli bir yatırımı temsil ediyor? Bu ulaştırma sistemiyle ilgili uygulamaya hazırlamak adına proje başlangıç maliyetleri ve zaman var mı? Bu ulaştırma sisteminin yerleşiminden kaynaklanan ikincil maliyetler (kamu hizmetleri, yararları) ne kadar büyük? olası yerlerde sistem ve yapıları? Bu teknolojinin teknik ömür beklentisi nedir? Bu ulaşım sistemi ne ölçüde makul bir yıllık maliyet düzeyine işaret ediyor? Bu teknolojiyle ilişkili olağan dışı güç gereksinimleri var mı? Bu ulaşım sisteminin çalıştırılması ve bakımı yoğun iş gücü gerektiriyor mu? Bu teknoloji ile araç arızası veya aksama süresinin göreceli derecesi nedir? Hangi düzeyde araç yedek parçaları tedbir olarak gösteriliyor?
Eşitlik	Ulaştırma sistemi maliyetleri ve faydaları kentin tüm kesimlerine eşit olarak dağıtacak mı? Ulaşım sistemi o bölgedeki nüfusa hizmet edecek mi? Ulaşım sistemi düşük gelirli bireylere uygun fiyatlı ulaşım sağlayacak mı?
Güvenlik/ Erişim	Taşıma sistemi yangın/can güvenliği gerekliliklerini karşılıyor mu? Araç içinde ve istasyonlarda can güvenliği algısı var mı? Yapı yönetmeliği gerekliliklerini karşılamada zorluklar yaşanacak mı? Ulaşım sistemi tüm kullanıcılara kolay erişim sağlıyor mu? Ulaşım sistemi, kullanıcı olmayanlar için bir güvenlik tehlikesi oluşturuyor mu?
Verimlilik	Ulaşım sisteminin, istasyonda kalma dahil, noktadan noktaya kabul edilebilir seyahat süreleri var mı? Sistem güvenilir hizmet seviyeleri sağlıyor mu? Ulaşım sistemi, çalışma alanı destinasyonlarına hizmet sıklığı ve coğrafi kapsam açısından yeterli ulaşım hizmeti sağlıyor mu? Ulaşım sistemi, öngörülen yolcu sayısına yeterince hizmet edecek mi ve/veya yatırımı doğrulayacak yeterli miktarda yolcu bindi değeri sağlayacak mı? yatırımı haklı çıkarmak için binicilik? Ulaşım sistemi programı sürdürmede ne kadar güvenilir? Bu ulaşım sistemi, toplu taşıma araçları arasında intermodal transfer hareketlerini kolaylaştırıyor mu?

- ✓ Düzgün tanımlanmış ulaşım sorunu. Yanlış tanımlanmış ulaşım sorunları, değerlendirme çalışmasının amacını derhal ortadan kaldırır. Mevcut ulaşım sorunları tipik olarak açıktır ve rutin olarak ulaşım ile ilgili kurumlar veya kullanıcıların şikayetleri ile belirlenen özel çalışmalar yoluyla toplanan ve analiz edilen verilerle tanımlanır. Gelecekteki ulaşım sorunlarının tanımlanması, modelleme gerektirir, proje aşamasında gelecekteki koşulların tahmin edilmesini içerir.

- ✓ Yeterince ve etraflıca geliştirilmiş alternatifler. Belirlenen ulaşım sorununu çözmek için Alternatif projeler geliştirilir. Önerilen alternatifler geniş bir alanı, olasılıklar yelpazesini kapsamalıdır.
- ✓ Ulaşılabilecek en iyi kalitede veri girişi sağlanmalıdır. Veri miktarı büyük olabilir ve toplamak maliyetli olabilir. Mevcut ihtiyaç duyulan verilerin neden kullanılmadığını açıklamak zordur. Yeni verilerin toplanması bütçeye ve zaman çerçevesine bağlıdır.
- ✓ Verilerin eksik olduğu durumlarda doğru varsayımlar yapılmalıdır. Gerekli tüm verilere sahip olmak mümkün olmayabilir. Bu gibi durumlarda varsayım tek yol olabilir, ancak bu varsayımlar benzer vakalarla, ortak bilgiyle veya katılımcıların fikir birliği ile sağlanabilir.
- ✓ Yerel koşullar için kalibre edilmiş yeterli model gereksinimi vardır. Yetersiz veya yeterince kalibre edilmemiş bir modelin yanlış ve hatta yararsız sonuçlar üretir. Model seçimi, zaman veya finansman bulunmadığı bir durumdan kaçınmak için model kalibrasyonu için gereken kaynakları dikkate almalıdır.
- ✓ Yeterli ve kapsamlı değerlendirme kriterleri içermelidir. Değerlendirme kriterleri, paydaşların tercihlerini yansıtmalı ve alternatifler tarafından neden olabilecek öngörülebilir tüm fayda ve kayıpları dikkate almalıdır. Bu nedenle, söz konusu ulaşım sistemi kamuya açıksa veya toplumu önemli ölçüde etkiliyorsa, halkın katılımı sağlanmalıdır.
- ✓ Değerlendirme sürecinin uygun şekilde belgelenmesi ve sonuçların sunumu gereklidir. Bu sonuç raporu, tüm veri kaynaklarını, yapılan varsayımları ve kullanılan araçları açıkça belirtmelidir.

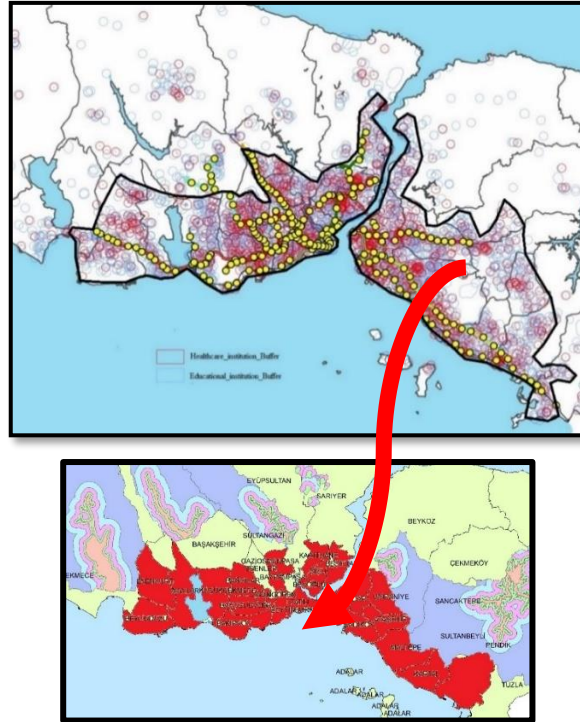
Bu önemli literatür taramaları ışığında, geçmiş deneyimler hakkında bilgi edinmek için bilimsel makaleler kategorize edildi ve bunları çalışma hedefleri, coğrafi kapsam, ölçüt değerlendirme, eksiklikler ve çalışma sonuçlarına göre karşılaştırıldı. Bu derleme ile, özellikle İstanbul Metropoliten Alanı için Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerine dayalı özellikle 'Raylı Sistem Planlaması'nı ele alan güncel ve kapsamlı az sayıda çalışma olduğu tespit edildi. Ek olarak, mekansal çok kriterli karar verme fırsatlarına ilişkin geçmiş çalışmalar incelendi; Tez kapsamında değerlendirilen çalışma çerçevesinin, kentsel raylı sistem planlama sürecini yürütürken özellikle halkın

beklentilerini karşılayarak nitelikte; pratik, kullanıcı dostu, ekonomik ve gerçekleştirilebilir bir planlama aracı olduğu ortaya konmaya çalışılmıştır.

2.6 Erişilebilirlik Bakımından Raylı Sistem İstasyonlarının Değerlendirilmesi

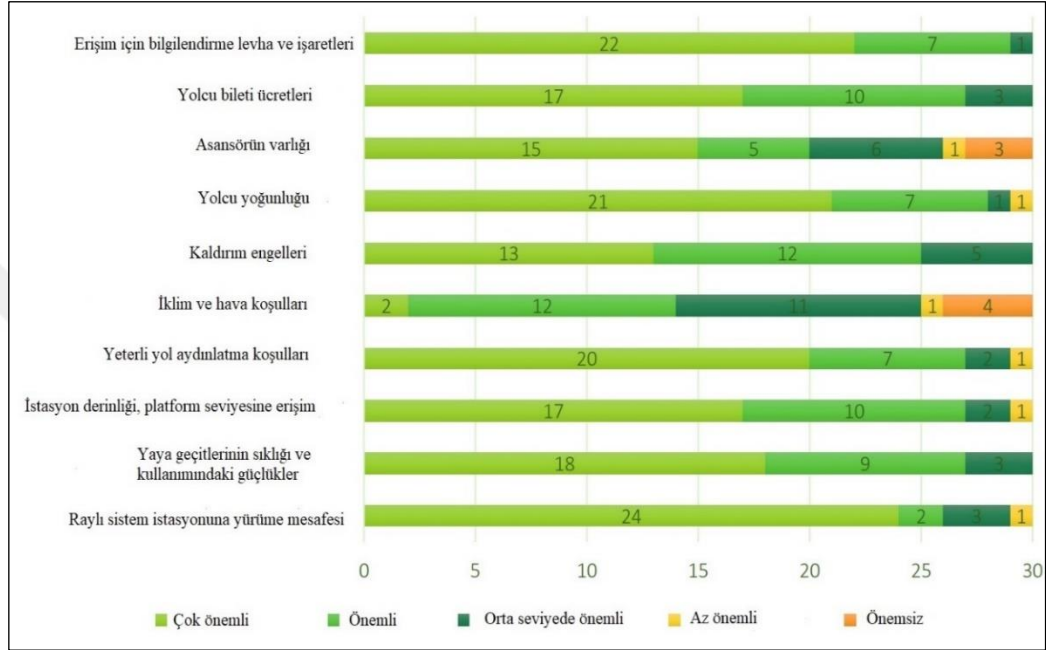
Raylı sistem planlanmasında, yolcuların potansiyel sayısını tahmin etmek için genellikle durakların hizmet alanları dahil edilir. İstenen ayrıntı düzeyine bağlı olarak CBS tabanlı hizmet alanı analizlerine yönelik farklı yaklaşımlar vardır. Dairesel Tampon yaklaşımı temel, aynı zamanda en basit yaklaşımdır. CBS tabanlı hizmet alanı analizleri, toplu taşıma hatlarının, durakların ve duraklara erişilebilirliğin planlanması için çoklu karar destek aracıdır. Şekil 2.21, 1 km için dairesel tampon alanları göstermektedir.

Eğitim ve Sağlık Kurumlarına erişim; öğrenci yaş grupları, sağlık problemleri vb. hususlardan ötürü önemlidir. Sağlık kurumlarına erişim için durakların yer seçimi en uygun uzaklıklarda seçilmelidir. Böylelikle hasta ve yorgun bir bireyin sağlık kurumuna erişimi uygun hale getirilmiş olacaktır. Farklı bir açıdan da, eğitim kurumları özellikle giriş-çıkış saatlerinde bireylerin topluluklar halinde yolculuk hareketi gerçekleştirdiği noktalardır. Raylı sistem durakları bu noktalara en kısa yürüyüş mesafesinde bulunmalı ve bu noktalarda gerekli işaretlendirmeler yapılarak önlemler alınmalıdır.



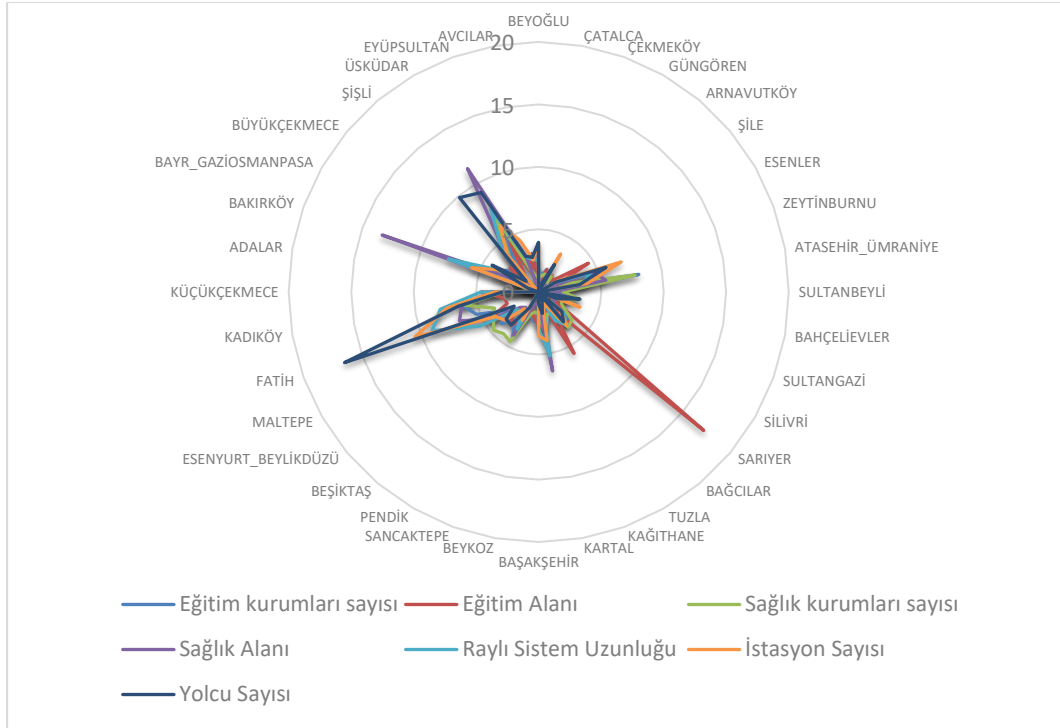
Şekil 2.21 : Sağlık ve eğitim kurumlarına yönelik Buffer analizi (1 km).

Bu tez kapsamında, İstanbul'da Beyoğlu ilçesinde görev yapan 30 çalışana, yolcuların tren istasyonlarına yürümeyi tercih etmelerinde etkili olan faktörlere göre anket yapılmıştır. İstasyonlara yürüme mesafesinin en önemli faktör olduğu görülmüştür. Anket sonuçları, 24 kişinin 'tren istasyonuna yürüme mesafesinin çok önemli olduğunu', 22 kişinin 'Erişim için bilgi levhaları'nın çok önemli olduğunu ve 21 kişinin 'yolcu yoğunluğu' nun çok önemli olduğunu seçtiğini göstermiştir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 : Yolcuların erişim modu olarak yürümeyi seçmesini etkileyen faktörler.

Eğitim ve sağlık tesislerinin yoğunlaştığı alanlara göre, arazi kullanım tipi yoğunluk analizi, bu tür alanların geniş yelpazesini gösteren siyah çokgen çizgilerle çerçevelenmiştir. Avrupa yakasında Esenyurt, Beylikdüzü, Avcılar, Küçükçekmece, Bağcılar, Bahçelievler, Güngören, Bayrampaşa, Gaziosmanpaşa, Zeytinburnu, Fatih, Beyoğlu, Şişli, Beşiktaş, Kağıthane ilçeleri ve Anadolu yakasında Üsküdar, Kadıköy, Ataşehir, Ümraniye, Maltepe, Kartal, Pendik ilçelerinde Eğitim ve sağlık yoğunlaşma alanları İstanbul'un mevcut raylı ulaşım sistemine erişim için elverişli olacak şekilde yayılmıştır. Devam eden ve gelecekte yapılacak olan raylı sistem gelişimine göre, İstanbul'un diğer dış bölgeleri ve semtleri toplu ulaşım elverişli hale getirilmesi sağlanarak entegrasyonu sağlanacak ve yayalar, öğrenciler, sağlık çalışanları için daha erişilebilir bir kent gelişimi sağlanacaktır. Bu çalışmada, Şekil 2.23'te gösterilen raylı sistem hat uzunluğu, yolcu sayısı, istasyon sayısı ile tüm ilçelerde eğitim ve sağlık kurumu sayıları ve kapsanan alan karşılaştırması yapılmıştır. Örnek olarak Beyoğlu, Başakşehir, Beşiktaş, Ataşehir-Ümraniye semtleri için radar grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.23 : Maksimum raylı sistem hatları-eğitim/sağlık tesisi ilişkileri.

Fatih, Kadıköy, Bakırköy ve Üsküdar ilçeleri daha uzun raylı sistem uzunluğuna sahiptir ve genel olarak bu ilçeler çok daha erişilebilir eğitim ve sağlık kurumları

sayısına sahiptir. Esenyurt-Beylikdüzü, Pendik, Ataşehir-Ümraniye ilçelerinde eğitim ve sağlık kurumları sayısı fazla, buna karşılık yayalar için yürünebilir raylı sistem istasyonları daha az sayıdadır.

Zemp ve diğ. (2011) tarafından hiyerarşik bir şekilde her bir fonksiyon altında gruplanan birkaç alt fonksiyonla tren istasyonlarının beş temel fonksiyonu geliştirilmiştir (Çizelge 2.10). Fonksiyonlar, konuya (ulaşım veya arazi kullanımı) ve mekansal ölçeğe (makrodan mikroya) göre yapılandırılmıştır.

Çizelge 2.10 : Raylı sistem istasyonlarının fonksiyonları.

Fonksiyon	Alt Fonksiyon	Konu	Mekansal Ölçek
F1 Hat güzergahı etki alanı ve ulaşım ağı	F1,1 Toplu taşıma talebini lokalize etmek	Ulaşım	Makro
	F1,2 Toplu ulaşım arzını sağlamak		
F2 Ulaştırma modları arasında entegrasyonun sağlanması	F2,1 Araçların girişi, yüklenmesi ve bekleme sırasında güvenliği	Ulaşım	Mikro
	F2,2 Hareket kabiliyetini desteklemek		
	F2,3 Güvenli Mekansal uyum sağlama		
	F2,4 Beklemeyi destekleme		
	F2,5 Ulaşım hizmetlerini bilgilendirme		
	F2,6 Biletlemeyi sağlama		
F3 Gayrimenkulün ticari kullanımını kolaylaştırmak	F3,1 İş ve perakende satışın işletimi	Arazi Kullanımı	Micro
	F3,2 Reklam ve tanıtım alanı işletimi		
	F3,3 Kurumsal imaj aktarımı		
F4 Mekansal alan sağlamak	F 4,1 Kamusal mekan sağlamak	Arazi Kullanımı	Mikro
	F4,2 Kullanıcıların buluşmasını kolaylaştırmak		
F5 Çevreleyen bölgenin kimliğine katkıda bulunmak	F5,1 Yapısal alan	Arazi Kullanımı	Mezo
	F 5,2 Mekansal uyumu sağlama		
	F5,3 Kültürel miras ve tarihi dokuyu destekleme		

2.6.1 Hattın hizmet alanı ve ulaşım ağının bağlantısı (F1)

Raylı sistem istasyonları, belirli bir ulaşım talebini içeren ulaşım arzı ve hizmet alanları sağlayan ulaşım ağları arasındaki bağlantılardır. Raylı sistem ağı perspektifinden (ve kısmen de hafif raylı sistem veya otobüs hizmetleri gibi diğer ulaşım ağlarından), bir raylı sistem istasyonu toplu taşıma talebini lokalleştirmek zorundadır (F1,1), yani bir hizmet alanı tanımlamalıdır.

Dolayısıyla, hizmet alanının boyutu, raylı sistem istasyonu tesislerinin erişilebilirliğine bağlıdır. Hizmet alanı açısından bakıldığında, tren istasyonu toplu taşıma arzı sağlamalıdır (F1,2), burada ‘demiryolu ağı’ en önemlisidir, ancak diğer toplu taşıma modları ile tamamlanabilir.

- ✓ Hizmet alanının ulaşım talep potansiyeli (F1,1) (erişilebilirliği sağlanan sakinlerin, işyerlerinin, alışveriş, turistik ve boş zaman etkinliklerinin sayısı)
- ✓ Ulaşım hizmetlerinin kalitesi (F1,2) (diğer ulaşım modlarına göre en yakın merkezlere raylı sistem ile ortalama seyahat süreleri)

2.6.2 Ulaşım modları arasındaki transferi desteklemek (F2)

İstasyon binasında, yolcular ulaşım modları arasında (veya aynı moddaki araçlar arasında) yaya olarak değişim yaparlar. Bu transferleri desteklemek için, istasyonlarda tüm modlardaki araçların durması veya park edilmesi için araçların erişimi, yüklenmesi ve bekleme yapması sağlanmalıdır (F2,1), ulaşım servisleri arasında hareket kabiliyeti desteklenmeli (F2,2), ulaşım servisleri arasında güvenli mekansal yönelimi sağlamalıdır. (F2,3), yolcuların bağlantılar için beklemesini destekler (F2,4), ulaşım hizmetleri hakkında bilgi verir (F2,5), ayrıca yolcuların ihtiyaçlarına göre biletleme (ve kayıp eşya hizmetleri gibi ulaşım ile ilgili daha fazla hizmet) sağlar (F2,6).

- ✓ bisiklet park etme kapasiteleri (F2,1);
- ✓ hareket eforu (F2,2) (mesafeler, merdiven sayısı, gereken transfer süresi);
- ✓ bilişsel çaba ve başarılı uyum oranı (F2,3);
- ✓ güvenlik, temizlik ve öznel refah (F2,4);
- ✓ bilgi kalitesi ve etkili bilgi oranı (F2,5);
- ✓ satış hacimleri (F2,6).

2.6.3 Gayrimenkulün ticari kullanımını kolaylaştırmak (F3)

Raylı sistem istasyonları ticari amaçlar için cazip yerlerdir. Alışveriş, iş ve eğlence fırsatları hem yolcular hem de yerel halk tarafından talep edilir ve sağlanabilir. İstasyon işletmecileri, bu nedenle, bir iş ve perakende alanını (F3,1) işletirken veya istasyon tesislerinde bir reklam ve tanıtım alanını (F3,2) işletirken ek gelir elde edebilir. Ek olarak, başarılı istasyon işletimi, tasarımı ve mimarisi, ulaşım operatörlerinin, istasyon sahiplerinin veya çevredeki yerleşim bölgesinin kurumsal bir imajını (F3,3) iletmek için kullanılabilir.

- ✓ perakende alanlarının iş hacimleri ve nakliye yolcuları için perakende satış tekliflerinin çekiciliği (F3,1);
- ✓ reklam alanlarının iş hacimleri (F3,2);
- ✓ katma değer (F3,3).

2.6.4 Kamusal mekan sağlamak (F4)

Raylı sistem istasyonları genel olarak kamusal alan sağlar (F4,1). Bu alan, çok sayıda sosyal etkinlik ve fuarlar, pazarlar veya sergiler gibi halka açık etkinlikler için yer olarak hizmet edebilir. Ek olarak, kullanıcıların buluşmasını kolaylaştırmak için (F4,2), belirli özel buluşma noktaları olabilir (hem yolcular hem de sakinler tarafından kullanılır).

- ✓ metrekare, erişim özgürlüğü ve kullanım yoğunluğu (F4,1);
- ✓ ayırt edicilik ve aşinalık derecesi (F4,2).

2.6.5 Çevrelediği bölgenin kimliğine katkıda bulunmak (F5)

Raylı sistem istasyonları, iç içe geçmiş üç alt işlev aracılığıyla çevredeki alanların imkanlarına, olanaklarına ve kimliğine katkıda bulunur: İstasyon binası ve bağlantılı demiryolu hatları, çevredeki alanın zamansal ve mekansal yapısına katkıda bulunan sınırlar oluşturur (yapı alanı, F5,1). Ortaya çıkan yapılar, olası işaretlerle ("istasyona") birlikte mekansal yönelim sağlar (F5,2). İstasyon binası ve mimarisi ayrıca bir kültürel miras ve tarihi referans işlevi görebilir (F5,3).

- ✓ ayırma seviyesi ve bariyer oluşturma (F5,1) (yani üst ve alt geçitler arasındaki mesafe, görüş bariyerinin gücü);
- ✓ görünürlük ve ayırt edicilik (F5,2);
- ✓ mimari kalite ve miras koruma düzeyi (F5,3).

Şekil 2.24'te İstanbul İli, Beşiktaş İlçesi, Levent Hisarüstü metro güzergahında istasyon alanları koruma sınırı gösterilmektedir. 1/5000 ölçekli nazım imar planı

toplu taşıma kullanıcılarına 'Beyaz Masa e-hizmet' bilgileri alınmıştır. Başvuru formunda başvuru numarası, tarih, kişi iletişim bilgileri, kurum, konu, ilçe, başvuru detayları ve diğer açıklamalar yer almaktadır. Raylı sistem hattı talepleri ağırlıklı olarak Beylikdüzü, Esenyurt, Sultangazi, Başakşehir ve Beykoz ilçelerinden alınmıştır. Çalışmamızın birinci amacı, toplu taşıma ihtiyaçlarını karşılayan ve seyahat talebini sürdürülebilir yaşam çevresi ile ulaşım talebini karşılayan bir raylı sistem hattı sağlamaktır. Bu çalışmadaki karar modeli çerçevesi, raylı sistem taşımacılığı planlama sürecinde toplu ulaşım kullanıcılarının beklentilerinin kavranılması ile diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Raylı sistem proje aşamalarında, tüm topluluk katılımcıları ve odak grupları için kapsamlı bir planlama yaklaşımı sağlamak esastır. Yeni bir raylı sistem hattına yönelik kamu ihtiyaçlarının daha iyi anlaşılması amacıyla, toplu taşıma kullanıcılarının yeni raylı sistem hatlarına ilişkin beklentileri, istekleri ve görüşleri Ocak-Mart 2021 tarihleri arasında İstanbul Büyükşehir Belediyesi e-hizmetler uygulama platformundan alınmıştır. Raylı ulaşım altyapısı ile ilgili 230 toplu taşıma kullanıcısının talep bilgileri toplanmış ve daha sonra bu değerler gruplandırılarak yapılandırılmıştır. Başvuru formu, başvuru numarası, tarih, kişi iletişim bilgileri, kurum, konu, ilçe, başvuru detayları ve diğer açıklamaları içermektedir. Birçok toplu taşıma kullanıcısı, erişilebilir ve entegrasyonu olan yeni raylı sistem hatları talep etmektedir. Yürüme mesafesi ve süresi, bireylerin toplu taşımayı kullanıp kullanmamaya karar verirken göz önünde bulundurdıkları çok önemli faktörlerdir. Tren istasyonuna olan mesafe, yolcuları en çok ilgilendiren faktördür. Raylı sistem istasyonuna ulaşım mesafesinin yakın olmasını beklemektedirler. Toplu taşıma kullanıcıları, raylı sistem hatlarının devam eden ve planlanan projeleri hakkında güncel, güvenilir ve doğru bilgilere isteklidir. Raylı sistem hattı talepleri büyük ölçüde Beylikdüzü, Esenyurt, Sultangazi, Başakşehir ve Beykoz ilçelerinden alınmıştır. Çalışmamızın amaçlarından biri, toplu taşıma ihtiyaçlarını karşılayan ve seyahat talebini sürdürülebilir yaşam ortamı ile karşılayan bir raylı sistem ağını oluşturmaktır. Bu çalışmadaki karar modelleme çerçevesi, raylı sistem taşımacılığı planlama sürecinde kamu kullanıcılarının beklentilerinin alınması ve değerlendirmeye alınması ile halkın katılımının önemini vurgulama yönüyle diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Tischler (2017)'in çalışmasında belirtildiği gibi, ulaşım projeleri yeni değerlendirme yöntemleriyle değerlendirilmeli ve ulaşım kullanıcıları, mega ulaşım altyapı

projelerinin sosyal ve çevresel etkilerine ilişkin kamuoyu farkındalığını artırmak için proje planlama ve tasarım geliştirme aşamalarına dahil edilmelidir. Çok kriterli analiz araçları, disiplinler arası sorunları ele alma yeteneğine sahip olup, açık ve daha güçlü bir şekilde oluşturulmuş karar vermeye kavramını destekler. Çok kriterli analizi destekleyen uygulamalar, kamuoyunun karar alma sürecinde daha etkin kullanımını sağlamaya ve geliştirmeye devam edecektir (Gamper ve Turcanu, 2007).

Ulaşım ile ilgili karar vermede farklı bir bakış açısı olarak, Giuffrida ve ark., performans ve mutabakata dayalı kararlar için üç bileşen tanımladı ve ulaşım projelerinin değerlendirilmesi için 'Halkın Katılımı CBS-MCDA' tabanlı bir çerçeve önerdi. Bu çerçeve, iyi bir sosyal kabul edilebilirliği ve kararların sağlamlığını teşvik etme potansiyeline sahiptir. Hem teknik performanslar hem de uzlaşma derecesi için alternatiflerin değerlendirilmesini desteklemektedir. Daha sonra Quick, "ulaşım planlamasına halkın katılımı" konusuna vurgu yaparak, bu yaklaşımın halka bilgi vermek, öncelikleri belirleyerek sürece dahil olmak ve karar alma parametrelerini işbirlikçi bir şekilde belirlemek açısından önemli avantajlar sergilediğini belirtmiştir. Ulaştırma politikası paydaşları, coğrafi konumlarında belirli ilgi alanlarına sahip farklı ulaşım ihtiyaçları olan genel halktan oluşur. Halkın katılımı, kıt kamu kaynaklarının daha adil bir şekilde dağıtılmasına yol açabilir. Çizelge 2.11'de İBB Beyaz Masa başvurularından alınan başvuruların ilk 10 işlem kaydı gösterilmiştir.

Çizelge 2.11 : Beyaz Masa başvuruları.

	İlçe	Tarih	Başvuru Açıklaması
1	Başakşehir	5.03.2021	Galvano Teknik Sanayi Sitesi Kirazlı Metrokent Hattı Üzerinde Turgut Özal ve Siteler Metro İstasyonları arası buraya yeni bir istasyon yapılmasını talep ediyorum burası yoğun bir nokta
2	Esenyurt	28.02.2021	Sizlere Bir Sorum Olacak Havaray Projeleri Ne Durumdadır Umarım İptal Olmamıştır...Zira Çok Ama Çok Önemli Projeler
3	Bayrampaşa	3.03.2021	T4 Metro Hattının son uzantısı Piriçlik olarak görüyorum. Trafik Yoğunluğunu almak ve havalimanı metrosuna bağlantı kurulması için yer altı ya da yer üstünden uzantı olacak şekilde Fenertepe'ye bağlanmasını talep ediyorum.
4	Üsküdar	1.03.2021	Ferah mah. altunuzade metro
5	Beylikdüzü	28.02.2021	Acil beylikdüzü metrosu yapılmalı metrobüsle olacak iş değil metro bir an önce başlanıp bitirilmeli bu bölgede yoğun nüfus yaşıyor
6	Bahçelievler	25.02.2021	Kirazlı Halkalı metro inşaatı ne zaman başlayacak bir de Beylikdüzü metro inşaat durumu hakkında son bilgi nedir
7	Beyoğlu	24.02.2021	Beylikdüzü Silivri arasına metro düşünüyor musunuz?
8	Gaziosmanpaşa	23.02.2021	Ulaşım fakiri olan Küçükköy semtine Mecidiyeköy-Mahmutbey Metrosuna entegreli Küçükköy merkezden (Yenimahalle Metro İstasyonuna Entegreli) veya alt yapı bakımından müsait olan bir yerden insanların ulaşımı için yer altından giriş çıkış yolu
9	Fatih	20.02.2021	Yenikapı incirli Sefaköy hattının sefaköy beylikdüzü ile birlikte bu iki hattın tek hat olmasını istiyorum devamı olarak bu hattın beylikdüzünden çorlu havalimanına uzatılıp çorlu merkeze entegre edilip son durak yapılmasını talep ediyorum bunu başarılırsanız istanbulla Trakya bölgesel sosyo ekonomik ticaret hattını kurup katkı sağlayıp artı çorlu havalimanına metro ile direk bağlantı kurulması vesile olmuş oluruz bir taşla bir sürü kuş vurmuş oluruz Marmaray hattına besleme yapmış oluruz ne kadar çok hizmet o kadar çok oy ve kofte demektir Marmaray gibi 10 vagonlu trenler veya İstanbul metrosu gibi 8 vagonlu çalıştırınız Eski Edirne Asfaltı Üzerinde Bulunan T4 (Topkapı-Mescidi Selam)Tramvay hattının yeni havalimanı'na kadar uzatılmasını ve bu konuda bir proje yapılmasını talep ediyorum
10	Sultangazi	23.02.2021	
...	...	...	...
.....			

2016 yılında Ataköy-İkitelli Metro hattı, 2019 yılında ise Ümraniye-Ataşehir-Göztepe Metro Hattı, imalat aşaması için uygulanan bu çalışmalar paydaş katılımı örneği olarak incelenmiştir.

Paydaş Katılım Planı ile ilgili yapılan çalışmalarla, Projeden etkilenen kullanıcılara ve diğer paydaşlara, zamanında ve erişilebilir bilgi sağlamak amaçlanmıştır. Bu, paydaşlara proje, etkileri ve hafifletme önlemleri hakkındaki düşüncelerini ve endişelerini dile getirme fırsatı verir. Paydaş katılım süreci aşağıdaki konularda destek sağlamaktadır:

- Paydaşların projeden ne ölçüde ve nasıl etkileneceğinin belirlenmesi ve süreçlere katılımlarının sağlanması,
- Paydaşlara Proje ile ilgili bilgi verilerek doğru şekilde anlaşılmasının sağlanması,
- Proje'nin erken aşamalarında Proje veya paydaşları için risk oluşturabilecek problemlerin tanımlanması,
- Etki azaltma önlemlerinin yeterli seviyede olmasının sağlanması (uygulanabilir, etkili ve verimli),
- Proje ile toplum arasında, ilgili herkesin yararlandığı uzun vadeli bir iletişim sisteminin oluşturulması,
- Proje'nin inşaat ve işletme faaliyetleriyle ilgili bir anlaşma yolu yaklaşımı ile tanımlanması,
- Paydaş Katılım programının uygulanması ve izlenmesi için kaynakların ve sorumlulukların belirlenmesi,
- Yorum, talep, şikayet ve önerilerin ele alınması dâhil olmak üzere, paydaşlar için bir 'Beyaz Masa' platformu gibi başvuru mekanizmasının oluşturulması.

Mevcut ya da gelecekteki projelerden etkilenebilecek paydaşlar aşağıda listelenmektedir:

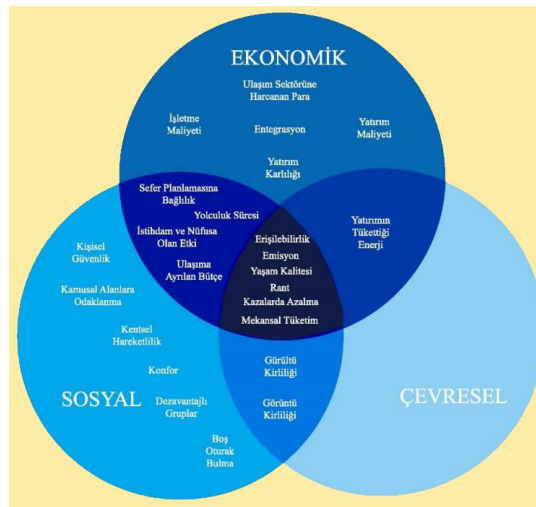
- Proje tarafından etkilenebilecek olan bölgesel topluluklar ve işletmeler
- Yolcular
- Özel sektör çalışanları
- Yükleniciler, Alt yükleniciler ve Müşavirler
- Bakanlıklar ve bağlı kamu kuruluşları dahil olmak üzere Devlet kurumları
- Sivil toplum kuruluşları
- Yerel yönetimler



3. RAYLI SİSTEM YATIRIMLARI

Raylı sistem yatırımlarının değerlendirilmesinde mevcut yaklaşım tüm ölçülebilir fayda ve maliyetleri dâhil etmeye yöneliktir. Raylı sistem yatırımlarının değerlendirmesi, genellikle finansal analiz ve fayda-maliyet analizi olarak iki ayrı şekilde yürütülmektedir. Raylı sistem yatırımlarını sadece finansal analiz (ticari değerlendirme) veya ekonomik analiz (kamusal değerlendirme) dâhil olduğu bir fayda-maliyet analizi üzerinde değerlendirmek yanında çok kriterli değerlendirme yöntemleri ile destekleyici metodlar kullanılmalıdır.

Ulvi ve diğ. (2019) çalışmalarında ulaşım yatırımlarında karayolu ağırlıklı planlama yerine toplu ulaşım ağırlıklı sistemlerin yaygınlaştırılması gerekliliğine dikkat çekerek, yatırım kararlarını etkileyecek karar ölçütlerini Şekil 3.1’de gösterdiği gibi, ekonomik, sosyal ve çevresel ölçüt havuzları olarak ifade etmiştir. Toplu taşıma sistemlerinin bu faydalarını gerçekleştirebilmek ve daha sürdürülebilir bir kentsel ulaşım sistemi oluşturmak için, ulaşım yatırımları tek başına yolcu sayısı ve hat uzunluğu gibi temel ölçütlerle değerlendirilmemelidir. Gelişmekte olan ülkeler, bu yatırımları değerlendirirken, kent içi ulaşım sorunlarını toplu taşıma sistemi ile çözebilen ülkelerde kullanılan karar verme kriterlerini dikkate alarak değerlendirmeye esas bir ölçüt havuzu geliştirmelidir.



Şekil 3.1 : Toplu taşıma yatırım kararı ölçüt havuzları.

Ulaşım projelerinin maliyet-fayda analizi, ulaşım projelerine yapılan yatırım miktarının çok büyük olması ve proje sürelerinin çok uzun olması nedeniyle kamu ekonomisi açısından oldukça önemlidir. Havalimanları, köprüler, otoyollar ve demiryolları gibi yatırımların proje ömrü boyunca sağlayacağı fayda ve maliyetler hesaplanmalı ve karşılaştırılmalıdır. Bu analizler yapılmadan büyük bir yatırıma başlamak ekonomi için çok büyük kayıplara yol açabilir (İşler, 2018).

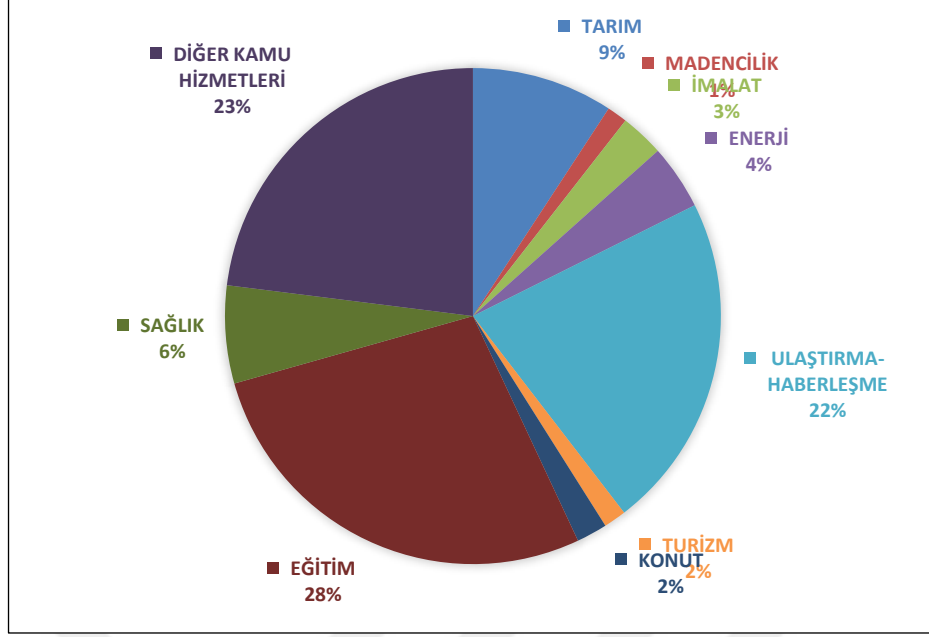
T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından hazırlanan 2023 yılı yatırım programı, On Birinci Kalkınma Planında, 2023-2025 Orta Vadeli Programında ve 2023 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programında öngörülen hedefler doğrultusunda hazırlanmıştır. Buna göre Çizelge 3.1’de 2023 yılına ait Tarım, Madencilik, İmalat, Enerji, Ulaştırma-Haberleşme, Turizm, Konut, Eğitim, Sağlık ve Diğer Kamu Hizmetleri sektörlerine göre yatırım proje tutarları ‘etüd proje işleri’, ‘devam eden projeler’, ‘yeni projeler’ ve 2023 yatırım toplam değerleri olarak verilmiştir. Ulaştırma-Haberleşme sektöründe 2023 yılı yatırım değeri 121.664.619.000’dir.

Çizelge 3.1 : Kamu yatırımlarının sektörlere göre dağılımı.

SEKTÖRLER	Proje sayısı	Yüz de oran	Toplam Proje Tutarı	Yüzde oranı	Etüd Proje Toplamı	Devam Eden Projeler	Yeni Projeler	2023 Yatırımı Toplamı
TARIM	327	9	583.168.397.272	14	425.200.000	35.189.824.000	7.952.238.000	43.567.262.000
MADENCİLİK	47	1	240.947.258.502	6	77.966.000	56.963.120.000	21.842.614.000	78.883.700.000
İMALAT	101	3	82.802.026.819	2	100.428.494	2.216.252.894	1.911.010.612	4.227.692.000
ENERJİ	150	4	297.134.182.668	7	171.706.000	41.191.470.000	3.218.638.000	44.581.814.000
ULAŞTIRMA-HABERLEŞME	778	22	2.060.564.283.982	50	868.299.240	104.218.824.556	16.577.495.204	121.664.619.000
TURİZM	52	1	4.383.351.696	0	39.181.000	943.868.000	189.557.000	1.172.606.000
KONUT	71	2	3.563.930.633	0	13.390.000	620.951.000	658.243.000	1.292.584.000
EĞİTİM	978	28	251.855.701.195	6	245.658.000	46.310.212.000	14.562.973.000	61.118.843.000
SAĞLIK	226	6	313.214.895.128	8	205.777.000	29.691.341.000	9.206.658.000	39.103.776.000
DİĞER KAMU HİZMETLERİ	816	23	265.462.274.588	6	189.134.000	35.023.780.841	23.336.431.159	58.549.346.000
	3546	100	4.103.096.302.483	100	2.336.739.734	352.369.644.291	99.455.857.975	454.162.242.000

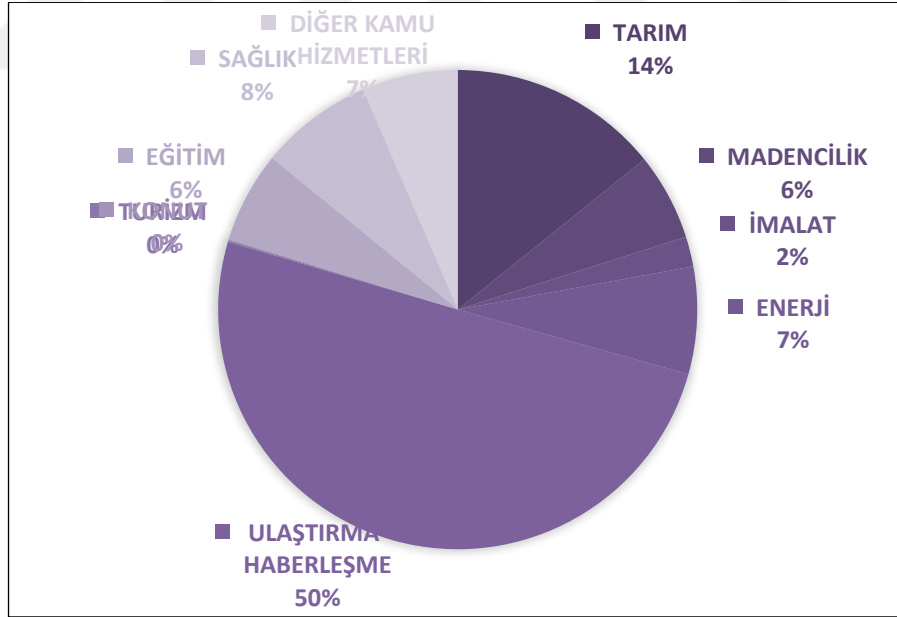
Kaynak: T.C. Strateji Bütçe Başkanlığı, 2023 Yılı Yatırım Programı

Şekil 3.2’de Kamu sektörlerine göre proje sayılarının yüzdelere bakıldığında, Eğitim %28, Diğer kamu hizmetleri %23 ve Ulaştırma-Haberleşme % 22 oranları ile en yüksek değerleri almıştır.



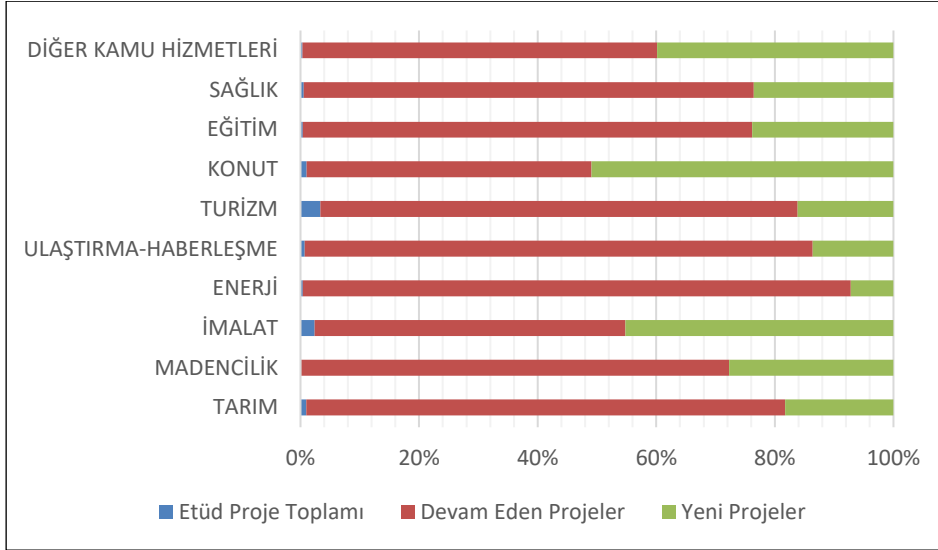
Şekil 3.2: Kamu sektörleri proje sayısı (%).

Şekil 3.3’de gösterildiği gibi, Kamu sektörleri yatırımları toplam proje tutarı yüzde dağılımlarına bakıldığında ise, Ulaştırma-Haberleşme sektörü % 50 oranı ile tüm sektörler arasında yarı yarıya pay aldığı görülmektedir.



Şekil. 3.3: Kamu sektörleri yatırımları toplam proje tutarı dağılımı (%).

Şekil 3.4’de ‘Etüd Proje’ ,’Devam eden Projeler’ ve ‘Yeni Projeler’ bazında kamu sektörleri dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Proje türlerine göre kamu sektörleri yatırımları.

3.1 Kamu Yatırım Projelerinde Karar Analizleri

Proje, önceden belirlenmiş bir amaç için belirli bir süre içinde kaynakları en uygun şekilde kullanarak orta ve uzun vadeli başarıya ulaşmayı amaçlayan stratejik bir çalışma, planlama ve faaliyettir.

Bir faaliyetin proje olabilmesi için; proje başlangıcı (hazırlık süreci) , proje tasarım süreci, proje organizasyonu, projenin uygulanması (bitiş süreci) aşamalarından geçmesi gereklidir. Projenin başarısı ise zaman, maliyet ve kalite kavramları ile ilişkilendirilir.

Proje analizi, minimum maliyetle en iyi seçeneği seçmeyi amaçlar. Bu bağlamda, kamu projelerinin ticari, ekonomik ve sosyal açılardan uygulanabilir olmaları gerekmektedir. Bu projelere kaynak sağlanabilmesi için kalkınma planları ve programlarıyla uyumlu hale getirilmelidir. Kamu projeleri, uzun vadeli yıllık plan ve programda yer alan kalkınma amaç, hedef, strateji ve politikalarla, sektörel hedeflerle uyumlu hale getirilmelidir.

Ulaştırma projelerine (köprü, asma köprü, tünel, tüp geçit, demiryolu, karayolu, liman, havalimanı) yatırım yapmak bir ülkenin yapması gereken büyük ölçekli kamu yatırımlarıdır. Bu yatırımlar sosyal faydaların özel faydalardan yüksek olduğu mal ve hizmetler sınıfında değerlendirilmektedir (İşler, 2018).

Proje karar verme sürecinde iki durum ortaya çıkabilir. Bunlardan birincisi, sadece tek bir projenin verimli olup olmadığı kararı, ikincisi ise birden çok projeyi karşılaştırma

ve önceliklendirme kararıdır. Sınırlı kaynaklar nedeniyle tüm uygun projeler gerçekleştirilemeyeceği için proje seçimi ve sıralaması yapmak gereklidir. Bir projenin sağlayacağı faydaların ve maliyetlerinin tahmin edilebilmesi için öncelikle, projenin ekonomik ömrünün belirlenmesi gerekmektedir. Yatırım projeleri analizleri, “Pazar Analizleri”, “Teknik Analizler”, “Finansal Analizler”, “Ekonomik ve Sosyal Analizler” şeklinde yapılmaktadır. Ekonomik ve sosyal analiz, özel sektörden farklı olarak, bir yatırımın faydalarını ve bu yatırımın maliyetlerini toplumsal bir bakış açısıyla inceler. Faydaların ve maliyetlerin değerinin sosyal olarak hesaplandığı bir analiz, sosyal fayda-maliyet analizi olarak adlandırılır. Kamu projeleri, geniş bir bakış açısı gerektiren uzun vadeli uygulamalardır. Maliyet-fayda analizi, uzun dönemli kamu projeleri için tercih edilen ve pratik bir yöntemdir ve uygulanacak bir kamu projesiyle ilgili tüm faydaların ve maliyetlerin değerlendirilmesi ve nicelleştirilmesi anlamına gelir.

3.2 Raylı Sistem Yatırımlarının Özellikleri ve Değerlendirme Yöntemleri

Her proje kendi içinde özeldir ve farklı amaçlara göre yapılandırılır. Fayda/Maliyet analizi (Cost-Benefit analysis), Çok Kriterli Analiz (Multi-Criteria analysis), Maliyet Etkinlik Analizi (Cost-effectiveness analysis), Yaşam Döngüsü etki değerlendirmesi (Life-Cycle assessment), Yaşam Döngüsü maliyet analizi (Life-cycle cost analysis) ve Toplam sahiplik maliyeti (Total cost of ownership) metodları yatırım değerlendirme, karşılaştırma ve herhangi bir projenin yarar ve maliyetlerini belirlemede kullanılmaktadır. Çizelge 3.2, Ulaştırma yatırımlarını analiz etmek için kullanılan bu yöntemlerin avantajlarını ve dezavantajlarını göstermektedir. Buna göre, tabloda gösterilen metodlar birbirleri arasında üstünlük taşımaktan ziyade, karar verme sürecini destekleyen tamamlayıcı araçlar olarak görülmelidir.

Çizelge 3.2 : Toplu taşıma yatırımlarına ilişkin yöntemlerin güçlü ve zayıf yanları.

Araç/Metod	Analizin Temel Avantajları	Analizin Temel Dezavantajları	Analizin Temel Amacı	Analiz için	Analizin Sonucu
Fayda/Maliyet Analizi (CBA)	Finansal bir değer kullanarak çevresel ve diğer dış etkileri de içeren tüm etkileri değerlendirir. Diğer analizlere nazaran daha az subjektiftir. Örneğin, maliyet etkinlik analizi, maliyet-fayda analizi ve çok kriterli analiz. Paranın zaman içerisindeki değerini dikkate alarak, çok farklı türde yatırımların karşılaştırılmasına izin verir.	Bazı faydaları ölçmek ve değerlendirmek zordur. Sadece seçili grupları ilgilendiren fayda tahminlerinde problem yaşanabilir. Dış etkilerin değerlendirilmesinde kullanılan farklı yöntemler farklı tahminler ortaya çıkarabilir.	Ulaşım yatırımının topluma faydasını maksimize etmek	Nitel veri	Yatırımın net bugünkü değeri
Çok Kriterli Analiz (MCA)	Kompleks bir problemin değerlendirilmesi için bir yapı oluşturabilir. Yatırım kararlarını etkileyen tüm faktörleri dikkate alabilir (sadece parasal değerler değil)	Doğası gereği ağırlık atama süreci subjektiftir. Tüm populasyon yerine nispeten küçük karar verici grupları ve paydaşların tercihlerini hesaba katar.	Farklı yatırım seçenekleri için miktar tayini ve nicel ve nitel kriterler için puanlama	Nitel ve/veya Nitel	Kabul edilen kriterlere göre yatırımın optimal değişimi
Maliyet etkinlik Analizi (CEA)	Aynı sonuca ulaşan yatırımların karşılaştırılmasına izin verir. Doğal birim başına sonucun maliyetini temsil eder.	Farklı çıktıları üreten yatırımlar arasında karşılaştırma yapmak kolay değildir	Birim etki elde etmek için maliyeti en aza indirmek (örnek, araç-km veya yolcu-km)	Nitel veri	Birim maliyet başına yatırımların etkisi (örnek, araç-km veya yolcu-km)
Yaşam Döngüsü etki değerlendirilmesi (LCA)	Yetersizlik, kıtlık içeren kompleks bağımlılıkları ve çevresel etkileri dikkate alır. Yatırımlar arasında karşılaştırmaya ve yatırım üzerindeki en düşük çevresel etkisi olan yatırımı seçmeye imkan tanır.	Çevresel öncelikler hakkında değer yargısı gerektirir.	Yatırımın çevresel etkisini minimize eder.	Nitel veri	Araç yaşam döngüsünün her aşaması için çevresel sonuçların değerlendirilmesi
Yaşam Döngüsü maliyet analizi (LCCA)	Çeşitli yatırım varyasyonları için yaşam döngüsü maliyetlerini karşılaştırmaya izin verir. Düşük başlangıç maliyetleri ve uzun vadeli maliyetler arasındaki iniş çıkışları keşfetmeyi sağlar.	Bazı yaşam döngüsü maliyetleri net olamayabilir. Faydalar dahil edilmez. Bazı maliyetler zaman içerisinde büyük ölçüde değişir. Büyük ölçüde tahminlere dayanır.	Yatırım ve araç ömür döngüsündeki işletme maliyetleri optimizasyonu	Nitel veri	Araç yaşam döngüsü boyunca toplam maliyet değerlendirilmesi
Toplam sahiplik maliyeti (TCO)	Araçın kazanımı yerine gerçek satın alma ve sahiplik maliyetini yansıtır. Yatırımın iyileşmesini sağlayan maliyet tasarrufunu etkinleştirir.	Bazı sahiplik maliyetleri net olmayabilir. Faydalar dahil edilmez. Büyük ölçüde tahminlere dayanır. Bazı maliyetler zaman içerisinde büyük ölçüde değişir.	Yatırımlar içinde en ekonomik seçimi yapabilmek için satın alma, işletme, sermaye ve bertaraf maliyetlerini birleştirir.	Nitel veri	Araç sahiplik toplam maliyetinin değerlendirilmesi

Kaynak: Marcin Wołek , Aleksander Jagiełło and Michał Wolanski / Multi-Criteria Analysis in the Decision-Making Process on the Electrification of Public Transport in Cities in Poland: A Case Study Analysis

3.2.1 Fayda maliyet analizi

Yatırım projeleri gerçekleştirilmeden önce, fayda ve maliyetlerin neler olacağı, kaynakların verimli kullanılmasını sağlayacak en az girdi ve en fazla çıktı üretiminin gerçekleşmesini sağlayacak değerlendirmelerin sistematik bir düzende gerçekleşmesini sağlayan bir analiz sürecidir. Fayda maliyet analizi, alternatiflerin faydalarını ve maliyetlerini mali olarak ölçmek için kullanılan, hem özel sektörde hem de kamu sektöründe kaynakların, yatırımlara yönlendirmek için kullanılan bir karar verme tekniğidir. Diğer bir ifadeyle, bu analiz türü, karar vericilerin kaynakları topluma en fazla net faydayı elde edecek şekilde yönetmesine yardımcı olur. Fayda maliyet analizlerinde faydalar olumlu etkiler olarak, maliyetler de olumsuz etkiler olarak kabul edilir. Fayda maliyet analizleri dört safhadan meydana gelir; Birinci Aşamada, Alternatiflerin belirlenir. İkinci Aşamada, Alternatiflerin maliyetlerinin belirlenmesi ve hesaplanması gerçekleştirilir. Üçüncü Aşamada, Alternatiflerin faydalarının hesaplanır, Dördüncü Aşama ise, Tercih aşamasıdır.

Uygulama safhasına geçecek olan projelerin piyasa fiyatları üzerinden yapılan analiz türüne finansal analizler; toplum için fayda ve maliyetleri hesaplayan analiz türüne ise ekonomik ve sosyal analizler denilmektedir. Ekonomik ve sosyal analizlerde, bir projenin topluma sağladığı katma değer olan faydalara odaklanılır. Bu katma değerler; Projenin İstihdama Etkisi, Projenin Döviz Getirisine Etkisi, Projenin Bölgesel Kalkınmaya Etkisi, Projenin Toplumun Gelir Dağılımına Etkisi, Projenin Kamu Finansmanına Etkisi, Projenin Dışsal Etkileri (Çoğaltan Etkisi) şeklinde sıralanabilir (İşler, 2018).

Kamu yatırım harcamalarına uygulanan ekonomik ve sosyal analiz yöntemleri üç ana başlık altında toplanabilir. Bunlar; “Fayda Maliyet Analizi”, “Maliyet Etkinlik Analizi” ve “Maliyet Minimizasyonu”dur. Fayda maliyet analizi, faydaları toplumla ilişkili olarak inceleyen sosyo-ekonomik analizlerde yaygın olarak kullanılan bir analiz şeklidir. (Cost-Benefit Analysis).

İlk olarak Amerika Birleşik Devletleri’nde mega ölçekte kamu yatırımlarından olan su projelerine karar vermede yürütülen fayda maliyet analizinin teorik temelleri Dupuit tarafından 1844 yılında bayındırlık işlerinin faydasını ölçmeye ilişkin makalesinde tanıtılmasıyla birlikte, ilk “Marjinal Maliyet ve “Fayda Maliyet Analizi” teorisyeni olarak kabul edilmiştir. Fayda Maliyet analizinin kullanımı 1950’lerden sonra yaygınlaşmıştır (İşler, 2018).

Fayda maliyet analizleri ulaştırma projeleri (havaalanı, metro, köprü, liman, karayolu vb.), enerji projeleri, altyapı projeleri, şehir planlama projeleri ve çevre yönetiminde kullanılmaktadır.

3.2.1.1 Fayda maliyet analizlerinde kullanılan yöntemler

Fayda maliyet analizi; Net Bugünkü Değer Yöntemi (Net Present Value), Fayda-Maliyet Oranı (Cost Utility Ratio), İçsel Getiri Oranı (Internal Rate Of Return). “Net Bugünkü Değer”, “Fayda Maliyet Oranı”, ve “İçsel Getiri Oranı” yöntemleri ile bir projenin fayda ve maliyetlerinin bugünkü değere indirgenerek karşılaştırılması ile gerçekleştirilir.

Bu teknikler çerçevesinde yapılan analizlerin sonuçlarına göre projelerin kabul ve red edilme ölçütleri ; $i < i_r - NBD > 0 - F/M > 1$ (Kabul) (3.1)

$i = i_r - NBD = 0 - F/M = 1$ (Kabul&Red Sınırında)

$i > i_r - NBD$ (Red)

Net bugünkü değer yöntemi, önceden belirlenen bir iskonto miktarı üzerinden yatırım harcamalarını ve yatırımın sağlayacağı nakit girişlerinin aynı döneme indirgenmesiyle aralarındaki farkın mukayese edilmesi şeklinde tanımlanabilir. Gelecek dönemdeki fayda ve maliyetlerin bugünkü değerlerini belirlemek için kullanılan iskonto oranının seçimi önemlidir. Düşük iskonto oranının seçilmesi, sosyal olarak verimli olmayan proje uygulanmasına neden olarak toplumsal faydanın olmadığı yüksek maliyetli proje imalatına neden olmaktadır. Yüksek iskonto oranı seçildiğinde ise, kısa ömürlü projeler, ekonomik ömrü uzun olan büyük ölçekli projelere göre daha ön plana çıkabilmektedir (Bağdatlı ve Akbıyıklı, 2015).

Fayda maliyet analizlerinde en sık kullanılan karar verme parametresi, net bugünkü değer yöntemidir. Bu yöntem ile, projenin net bugünkü değeri bulunur. Bu değer eğer pozitif ise ($NBD > 0$) proje verimli olarak kabul edilmektedir. Negatif çıkması ($NBD < 0$) halinde ise proje verimsiz olarak kabul edilmektedir. Birden fazla proje karşılaştırıldığında ise, net faydaların net bugünkü değerleri pozitif ve en yüksek olan proje kabul edilmektedir. Yöntemin formülasyonu “ $NBD = FBD - MBD$ ” şeklinededir. Formülde NBD =Net Bugünkü Değeri, FBD =Faydaların Net Bugünkü Değerini, MBD =Maliyetlerin Net Bugünkü Değerini göstermektedir.

Formülün matematiksel formülasyonu ise şu şekildedir;

$$NBD = \sum_{t=0}^n B_t / (1 + r)^t - \sum_{t=0}^n C_t / (1 + r)^t \quad (3.2)$$

B_t =t.yıldaki nakit girişi, C_t =t.yıldaki nakit çıkışı, $n=1,2,3,\dots,n$ r =İskonto oranı

Fayda Maliyet Oranı (Cost Benefit Ratio) sık kullanılan karar verme yöntemlerinden biridir. Faydaların bugünkü değeri, maliyetlerin bugünkü değerinden büyükse, tek başına yatırımın kararı alınabilir. Maliyetlerin bugünkü değeri, faydaların bugünkü değerinden büyükse, yatırımın uygulanabilir olmadığına karar verilmektedir. Söz konusu karar, iki proje arasında olduğunda ise Faydaların Net Bugünkü Değeri /Maliyetlerin Net Bugünkü Değeri oranı daha büyük olan projenin yatırıma daha elverişli olduğu sonucuna varılmaktadır.

İçsel getiri oranı, net bugünkü değeri sıfıra eşitleyen iskonto oranı olarak tanımlanmaktadır. “İçsel Getiri Oranı” yöntemi, yatırım yapılacak projenin nakit giriş ve çıkışlarını birbirine eşitleyen iskonto oranının belirlenmesine dayalı bir metottur. Alternatif projeler arasındaki bir seçimde ise, İçsel getiri oranı en yüksek olan projeye öncelik verilmektedir.

Kamu yatırım projelerinde fayda maliyet analizlerinin uygulanabilmesi durumu, mal ve hizmetin türüne bağlı olarak değişmektedir. Bu da mal ve hizmetlerin aynı türde faydalar sağlamamasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla iç güvenlik, milli savunma, eğitim, sağlık, ve ulaştırma gibi alanlarda uygulanabilecek etkinlik analizlerinin birbirinden farklı olması gerekmektedir. Fayda maliyet analizi uygulamalarına çeşitli kamusal mal ve hizmet üretimlerinde rastlamak mümkündür. Genellikle metro, tünel, köprü, karayolu yapım ve onarım projeleri, havaalanı, otogar, liman vb. yatırımlar fayda maliyet analizlerinin sıklıkla kullanıldığı alanlardandır.

Ulaşım projelerinde yatırım tutarı çok büyük ve projelerin süresi çok uzun olduğu için ulaşım projelerinin maliyet-fayda analizinin yapılması kamu ekonomisi açısından oldukça önemlidir. Havalimanları, köprüler, otoyollar ve demiryolları gibi yatırımların proje ömrü boyunca sağlayacağı fayda ve maliyetler hesaplanmalı ve karşılaştırılmalıdır. Bu analizler yapılmadan büyük bir yatırıma başlamak ekonomi için çok büyük kayıplara yol açabilir (İşler,2018).

Raylı sistem yatırımlarının seyahat süresi tasarrufu, seyahat talebindeki artış ve dışsalılıkların azaltılması gibi faydalarını değerlendirmek için fayda-maliyet analizi sıklıkla benimsenmiş olsa da, analiz farklı sektörler üzerindeki daha geniş ekonomik

etkiyi ölçmek için sınırlı bir kapasiteye sahiptir. Etki değerlendirmesi, arz veya talep tarafında yoğunlaşan bir denge çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Arz ve talep arasındaki eşzamanlı etkileşimin göz ardı edilmesi, raylı sistem yatırımından elde edilen makroekonomik faydaların hafife alınmasına ve dolaylı olarak ortaya çıkacak etkilerin değerlendirilmemesine neden olabilir. Chen ve diğ. (2016) çalışmalarında değerlendirdikleri hızlı raylı sistemi ile (HSR), demiryolu taşımacılığı arzını genişletme, taşıma verimliliğini artırma ve sera gazı emisyonunu azaltma gibi potansiyelleri göz önüne alındığında çok önemli bir etkiye sahip olması beklendiği belirtilmektedir. Aşağıdaki Çizelge 3.3’de geleneksel fayda-maliyet analizi ile dâhil edilen ve edilemeyen ekonomik etki değerlendirme değişkenleri gösterilmiştir (Uçar, 2020).

Çizelge 3.3: Fayda-maliyet analizine dâhil edilen ve edilemeyen değişkenler.

Dahil Edilen	Dahil Edilmeyen
İş ve iş amaçlı olmayan yolcuların yolculuk süresindeki değişiklikler, araç işletme maliyetleri, ücretler ve diğer değişiklikler	Kişi ve yük güvenliği etkileri
Özel sektör sağlayıcılarının gelirleri ve maliyetleri üzerindeki etkiler	Diğer ulaşım kavşak kalite faktörleri
Kaza sayısındaki değişiklikler	Yolculuk ortamının etkileri
Gürültünün etkileri	Seçenek değerleri
Sera gazları üzerindeki etkiler	Peyzaj, şehir manzarası, tarihi kaynakların mirası, biyolojik çeşitlilik ve su ortamı üzerindeki etkiler
Kısmen erişilebilirlik etkileri	Daha geniş ekonomik etkiler
Yerel hava kalitesi üzerindeki etkiler	

3.3 İstanbul’daki Raylı Sistem Yatırımları

İBB 2020-2024 Stratejik Plan Amaç ve Hedeflerinden ‘Ulaşılabilir İstanbul’ başlığı altında Sürdürülebilir Hareketlilik kapsamında kentsel ulaşımı geliştirmek amacıyla, Raylı sistem ağını ve toplu ulaşım içindeki payını arttırmak ve toplu taşımada entegrasyonu, erişilebilirliği ve kaliteyi arttırmak hedeflenmektedir. Çizelge 3.4’te 2020-2024 İBB Stratejik Amaç ve Hedefleri-Ulaşılabilir İstanbul hedefleri listelenmiştir. 2022 yılı Performans esaslı yatırım/hizmet programına göre, İBB Raylı sistem daire başkanlığı tarafından faaliyet sayısı 45 ile toplamda 9.190.436.000 TL’lik harcama öngörülmüştür.

Çizelge 3.4 : 2020-2024 İBB Stratejik amaç ve hedefleri-Ulaşılabilir İstanbul.

KOD	AMAÇ	KOD	HEDEF
A2	Sürdürülebilir Hareketlilik	H1	Raylı Sistemin Ağını ve Toplu Ulaşım İçindeki Payını Artırmak
	Kapsamında Kentsel Ulaşımı Geliştirmek	H2	Toplu Taşımada Entegrasyonu, Erişilebilirliği ve Kaliteyi Artırmak
		H3	Deniz Yolu Taşımacılığının Kapasitesini ve Toplu Ulaşım İçindeki Payını Artırmak
		H4	Akıllı Ulaşım Sistemlerini ve Ulaşım Altyapı Uygulamalarını Artırarak Trafığı Etkin Yönetmek
		H5	Altyapı Kazı İşlerini En Aza İndirmek İçin Yeni Yöntem - Teknoloji Uygulamalarını ve Altyapı Yönetiminde Entegrasyonu Geliştirmek
		H6	Karayolu Sistemleri Altyapısını Güçlendirmek ve Sürdürülebilir Kılmak

Kaynak: İBB, Performans Esaslı Yatırım & Hizmet Programı

Yatırım ve Hizmetlerin faaliyet alanı, temalara göre harcama ve proje faaliyet sayısı dağılımı incelendiğinde, ‘Ulaşılabilir İstanbul’ teması ile maliyet tutarı olarak diğer temalar arasında % 37’lik bir orana sahiptir. Faaliyet sayısı olarak ise % 23,3’lük oranla 139 adet faaliyet içermektedir. 2022 yılına ait İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan Performans Esaslı Yatırım & Hizmet Programı’na göre, Raylı Sistem Daire Başkanlığına ait Yatırım ve Hizmetler listesi Şekil 3.5’te verilmiştir.

Müdürlük Adı	SIRANO	AMAÇ-HEDEF KODU	FAALİYET KODU	FAALİYET ADI	BİTİŞ YILI	2022 TUTARI (BİN TL)
AVRUPA YAKASI RAYLI SİSTEM MÜDÜRLÜĞÜ	1	A2H1	Y199801050U10002	UNKAPANI - YENİKAPI ARASINDA METRO İNŞAATI	2022	5.000
	2	A2H1	Y200501050U10003	TAKSİM - YENİKAPI ARASINDA ELEKTROMEKANİK SİSTEMLERİN MONTAJ VE İŞLETMEYE ALIMI	2022	2.000
	3	A2H1	Y201401050U11001	MECİDİYEKÖY - MAHİMUTBEY METRO HATTI DEPO - BAKIM SAHASI VE DEPO BAĞLANTI HATLARI İNŞAATI	2022	1
	4	A2H1	H201501150U11003	BAĞCILAR/KIRAZLI/KÜÇÜKÇEKMECE HALKALI METRO HATTI İNŞAAT ELEKTROMEKANİK İNCE İŞLER VE ARAÇ ALIMI MÜŞAVİRLİK HİZMETİ	2024	24.780
	5	A2H1	H201501150U11005	MAHİMUTBEY HALKALI/BAHÇEŞEHİR METRO HATTI İNŞAAT ELEKTROMEKANİK VE İNCE İŞLER VE ARAÇ ALIMI MÜŞAVİRLİK HİZMETLERİ	2024	14.868
	6	A2H1	Y201501150U11012	KABATAŞ/MECİDİYEKÖY/MAHİMUTBEY RAYLI ULAŞIM TOPLU TAŞIMA SİSTEMİ 300 ADET METRO ARACI TEMİNİ VE İŞLETMEYE ALIMI	2023	525.000
	7	A2H1	Y201501150U11013	BAĞCILAR/KIRAZLI/KÜÇÜKÇEKMECE HALKALI METRO HATTI İNŞAAT ELEKTROMEKANİK VE İNCE İŞLERİ YAPIMI	2025	750.000
	8	A2H1	Y201501150U11010	KABATAŞ/MECİDİYEKÖY/MAHİMUTBEY METRO HATTI MECİDİYEKÖY/KABATAŞ KESİMİ VE DEPO SAHASININ İNŞAATI İŞLERİ İLE ELEKTROMEKANİK SİSTEMLERİN MONTAJ VE İŞLERİ YAPIMI	2022	389.400
	9	A2H1	Y201501150U11011	MAHİMUTBEY HALKALI/BAHÇEŞEHİR METRO HATTI İNŞAAT ELEKTROMEKANİK VE İNCE İŞLER YAPIMI	2025	800.002
	10	A2H1	H201501150U11016	İKİTELLİ/ATAKÖY METRO HATTI İNŞAAT VE ELEKTROMEKANİK İŞLER KONTROLÜK, MÜHENDİSLİK VE DANIŞMANLIK HİZMETİ	2022	3.846
	11	A2H1	Y201501150U11018	ATAKÖY/BASIN EKSPRES/İKİTELLİ METRO HATTI İNŞAAT ELEKTROMEKANİK VE İNCE İŞLER VE ARAÇ ALIMI	2022	528.000
	12	A2H1	PY201750011	YENİKAPI/OTOĞAR/HAVALİMANI/KIRAZLI/KALKALI METRO HATTI SİNYALİZASYON VE PERON AYIRICI KAPISİSTEMİ TEMİNİ VE İŞLETMEYE ALMA	2025	40.000
	13	A2H1	PY201650002	EMİNÖNÜ/ALIBEYKÖY RAYLI SİSTEM HATTI YAPIM VE 30 ADET ARAÇ TEMİNİ	2022	343.289
	14	A2H1	PY201750002	KIRAZLI-HALKALI RAYLI TOPLU TAŞIMA SİSTEMİ 272 ADET METRO ARACI TEMİNİ VE İŞLETMEYE ALMA	2025	1
	15	A2H1	PY201750003	RUMELİHİSARÜSTÜ - AŞIYAN SAHİL FÜNKÜLER HATTI İNŞAAT, ELEKTROMEKANİK VE ARAÇ ALIMI	2022	1
	16	A2H1	PH201750001	EMİNÖNÜ - ALIBEYKÖY TRAMVAY HATTI İNŞAAT VE ELEKTROMEKANİK İŞLERİ KONTROLÜK, MÜHENDİSLİK VE DANIŞMANLIK HİZMET ALIMI [Şİ]	2022	302
	17	A2H1	PY201750010	KABATAŞ-MAHİMUTBEY METRO HATTI DEPO SAHASI VE BAĞLANTI TUNNELERİ YAPIMI	2022	1
	18	A2H1	PY201850004	EDİRNEKAPI/SULTANÇİFTLİĞİ/HASİBLER TRAMVAY HATTI YENİLEME YAPIMI İŞLERİ	2022	49.517
	19	A2H1	PY202150003	İTÜ-İSTİNYE FÜNKÜLER HATTI	2023	1
	20	A2H1	PY201850003	SEFAKÖY-AVCILAR-BEYLÜKDÜZÜ METROSU	2025	340.927
	21	A2H1	PY201850005	YENİKAPI-HAVALİMANI HATTI KAPASİTE ARTIRIMI İNŞAAT İŞLERİ İSTASYON YENİLEME VE ESENLER YERLEŞKE REVİZYONLARI YAPIMI [Şİ]	2022	41.778
	22	A2H1	PY201850009	EDİRNEKAPI/SULTANÇİFTLİĞİ/HASİBLER TRAMVAY HATTI TRAMVAY ARAÇ ALIMI	2024	1
	23	A2H1	PH201950007	SEFAKÖY-AVCILAR-BEYLÜKDÜZÜ METRO HATTI KONTROLÜK, MÜHENDİSLİK VE DANIŞMANLIK HİZMET ALIMI	2025	3.221
	24	A2H1	PY202150001	ŞİŞHANİE-TOPHANE FÜNKÜLER HATTI	2025	1
	25	A2H1	PY202150002	AVCILAR-SAHİL FÜNKÜLER HATTI	2025	1
	26	A2H1	PY202250001	ESEN YURT-SAADETDERE METRO HATTI	2025	1
	27	A2H1	PY202250002	ORTAKÖY-YILDIZ FÜNKÜLER HATTI	2025	1
	28	A2H1	PH202250003	105 ADET M1 ARACI İYİLEŞTİRME	2024	188.173

Şekil 3.5 : İBB Raylı Sistem Daire Başkanlığı yatırım ve hizmetler tablosu.
(1) Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Müdürlük Adı	SIRA NO	AMAC-HEDEF KODU	FAALİYET KODU	FAALİYET ADI	Bitiş Yılı	2022 TUTARI (BİN TL)
ANADOLU YAKASI RAYLI SİSTEM MÜDÜRLÜĞÜ	1	A2H1	Y201301149U11001	126 ADET ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE-ÇEKMEKÖY RAYLI ULAŞIM TOPLU TAŞIMA SİSTEMİ METRO ARACI TEMİNİ VE İŞLETMEYE ALMA	2024	145.384
	2	A2H1	Y201001050U10009	ÜSKÜDAR-ÜMRANİYE-ÇEKMEKÖY METROSU İNŞAAT VE ELEKTROMEKANİK İŞLERİ	2022	2
	3	A2H1	Y201201050U11001	ÜMRANİYE-ATAŞEHİR - GÖZTEPE RAYLI SİSTEM YAPIMI	2024	1.759.380
	4	A2H1	Y201501149U11008	DUDULLU - KAYIŞDAĞI - İÇERİBKÖY - BOŞANCI METRO HATTI YAPIMI	2022	1.123.100
	5	A2H1	Y201501149U11014	ANADOLU YAKASI RAYLI SİSTEM HATLARINDA KULLANILACAK 120 ADET METRO ARACI TEMİNİ VE İŞLETMEYE ALMA İŞİ	2025	17.245
	6	A2H1	PY201691001	KAYNARCA MERKEZ/PENDİK/ TUZLA TERSANE METROSU VE PENDİK MERKEZ/KAYNARCA MERKEZ METRO HATLARI YAPIMI	2024	690.980
	7	A2H1	PY201691002	ÇEKMEKÖY-SANCAKTEPE/SULTANBEYLİ METROSU İLE SARIĞAZI (HASTANE) TAŞDELEN-YENDOĞAN METROSU İNŞAAT VE ELEKTROMEKANİK İŞLERİ	2024	1.256.092
	8	A2H1	PY202191001	ÜSKÜDAR/HAREM NOSTALJİK TRAMVAY HATTI İNŞAAT VE ELEKTROMEKANİK İŞLERİ	2025	1
	9	A2H1	PY202291001	ÇEKMEKÖY-SANCAKTEPE-SULTANBEYLİ RAYLI ULAŞIM TOPLU TAŞIMA SİSTEMİ 150 ADET METRO ARACI TEMİNİ VE İŞLETMEYE ALMA İŞİ	2025	1
	10	A2H1	PY202291002	KADIKÖY-KAYNARCA-SABİHA GÖKÇEN VE PENDİK-SABİHA GÖKÇEN RAYLI ULAŞIM TOPLU TAŞIMA SİSTEMİ 150 ADET METRO ARACI TEMİNİ VE İŞLETMEYE ALMA İŞİ	2025	1
	11	A2H1	PY202291003	ALTUNİZADE-BEYLERBEY FÜNKÜLER HATTI İNŞAAT, ELEKTROMEKANİK İŞLERİ VE ARAÇ ALIMI	2025	1
	12	A2H1	PY202291004	HIZRAY=BEYLİKDÜZÜ-SABİHA GÖKÇEN HIZLI METROSU İNŞAAT, ELEKTROMEKANİK SİSTEMLER TEMİN, MONTAJ VE İŞLETMEYE ALMA İŞLERİ İLE ARAÇ ALIMI İŞİ	2026	2
	13	A2H1	PH202291005	HIZRAY=BEYLİKDÜZÜ-SABİHA GÖKÇEN HIZLI METROSU İNŞAAT, ELEKTROMEKANİK KONTROLLÜK, DANIŞMANLIK VE MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ	2026	1

Şekil 3.5 (devam) : İBB Raylı Sistem Daire Başkanlığı yatırım ve hizmetler tablosu.
(2) Anadolu Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü

Müdürlük Adı	SIRA NO	AMAC-HEDEF KODU	FAALİYET KODU	FAALİYET ADI	Bitiş Yılı	2022 TUTARI (BİN TL)
RAYLI SİSTEM PROJELER ŞUBEMÜDÜRLÜĞÜ	1	A2H1	PH2018104009	RAYLI SİSTEM PROJELER MÜDÜRLÜĞÜ BÜYESİNDE YÜRÜTÜLEN RAYLI SİSTEM PROJELERİNİN DANIŞMANLIK VE MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ İŞİ	2022	2.500
	2	A2H1	PY2021104001	İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ'NE AİT İŞLETİLMEKTE OLAN RAYLI SİSTEM HATLARI VE MÜŞTEMLATLARINA MAL ALIMI İŞİ	2022	35.633
	3	A2H1	RY2018104001	İSTANBUL GENELİ RAYLI SİSTEM HATLARI REVİZYON, İKMAL VE YENİLEME YATIRIMLARI	-	90.000
	4	A2H1	RY2016104001	RAYLI SİSTEM HATLARI ETÜD VE UYGULAMA PROJELERİ HAZIRLANMASI	-	20.000

Şekil 3.5 (devam) : İBB Raylı Sistem Daire Başkanlığı yatırım ve hizmetler tablosu.
(3) Raylı Sistem Projeler Müdürlüğü

2023 Yılı Yatırım Programı, On Birinci Kalkınma Planında, 2023-2025 Orta Vadeli Programında ve 2023 Yılı Cumhurbaşkanlığı Yıllık Programında öngörülen hedefler doğrultusunda hazırlanmış olup, yatırım projeleri; "etüd proje işleri", "devam eden projeler" ve "yeni projeler" olarak ayrılmıştır. Her proje için; proje numarası, adı, yeri, karakteristiği, başlama ve bitiş yılı, proje tutarı, 2022 yılı sonuna kadar tahmini harcama tutarı ve 2023 yılı ödeneğini içermektedir. Buna göre 'Ulaştırma-Haberleşme' kent içi ulaşım sektöründe Ulaştırma Bakanlığı ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yürütülen projelere ait listeler Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Ulaştırma Bakanlığı'na ait raylı sistem yatırımı projeleri.

PROJE NO	PROJE ADI	KARAKTERİ STİĞİ	BAŞLA MA-BİTİŞ YILI	PROJE TUTARI	2022 YILI SONU KÜMÜL ATIF HARCA MA	2023 YILI YATIRIMI
2007E06-147196	Sabiha Gökçen Havalimanı Metro Bağlantıları	Müşavirlik, Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (7,40 km), TBM Tünel (1,18 km)	2007-2024	7.680.369.000	7.672.486.000	7.882.000
	Kaynarca - Sabiha Gökçen Havalimanı Metro Hattı	Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (7,40 km)	2007-2024	5.316.047.000	5.308.174.000	7.872.000
	Biten İşler	Müşavirlik	2007-2022	87.821.000	87.821.000	
	Yaya Bağlantı Tünelleri ve Kuyruk Tüneli	TBM Tünel (1,18 km)	2020-2023	2.276.501.000	2.276.491.000	10.000
2013E06-1789	Bakırköy-Bahçelievler-Kirazlı Metro Hattı	Metro Aracı (72 adet), Müşavirlik, Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (8,90 km)	2013-2026	10.767.923.000	6.022.959.000	1.821.644.000
	İnşaat+Elektromekanik	Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (8,90 km)	2013-2024	7.587.679.000	5.795.493.000	1.792.184.000
	Araç Alımı	Metro Aracı (72 adet)	2013-2026	2.923.317.000		1.000
	Mühendislik-Müşavirlik	Müşavirlik	2013-2024	256.927.000	227.466.000	29.459.000
2015E06-2316	Yenikapı-İncirli-Sefaköy Metro Hattı	Müşavirlik, Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (14,22 km)	2015-2026	18.685.996.000		2000
	İnşaat+Elektromekanik	Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (14,22 km)	2015-2026	18.627.583.000		1000
	Mühendislik-Müşavirlik	Müşavirlik	2015-2026	58.413.000		1000
2016E06-2650	İstanbul Yeni Havalimanı Raylı Sistem Bağlantıları	Metro Aracı (176 adet), Müşavirlik, Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (69 km)	2016-2024	73.866.016.592	64.161.946.000	5.004.642.000
	Gayrettepe-İstanbul Yeni Havalimanı Metro Hattı	Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (37,50 km)	2016-2024	33.933.700.000	31.592.973.000	2.340.725.000
	Halkalı-İstanbul Yeni Havalimanı Metro Hattı	Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (31,50 km)	2017-2024	31.511.512.000	29.243.851.000	2.267.659.000
	Araç Alımı	Metro Aracı (176 adet)	2016-2024	7.147.737.640	2.269.504.000	312.650.000
	Mühendislik-Müşavirlik	Müşavirlik	2016-2024	1.273.066.952	1.055.618.000	83.608.000

Çizelge 3.5 (devam) : Ulaştırma Bakanlığı'na ait raylı sistem yatırımı projeleri.

PROJE NO	PROJE ADI	KARAKTERİS TİĞİ	BAŞLA MA-BİTİŞ YILI	PROJE TUTARI	2022 YILI SONU KÜMÜL ATIF HARCA MA	2023 YILI YATIRIMI
2017E06-154966	Başakşehir-Kayaşehir Metro Hattı	Müşavirlik, Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (6 km)	2017-2024	8.229.309.000	7.940.312.000	288.994.000
	İnşaat+Elektromekanik	Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (6 km)	2017-2024	8.098.353.000	7.821.202.000	277.150.000
	Mühendislik-Müşavirlik	Müşavirlik	2017-2024	130.956.000	119.110.000	11.844.000
2021E06-170107	Altunizade-Ferah Mahallesi-Çamlıca Raylı Sis.Hattı	Metro Aracı (10 adet), Müşavirlik, Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (4,53 km)	2021-2024	3.892.208.851	1.015.990.000	2.054.503.000
	İnşaat+Elektromekanik+Araç Alımı	Metro Aracı (10 adet), Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (4,53 km)	2021-2024	3.853.642.487	992.457.000	2.040.038.000
	Mühendislik-Müşavirlik	Müşavirlik	2021-2024	38.566.364	23.533.000	14.465.000
2021E06-170110	Kazlıçeşme-Sirkeci Kentsel Ulaşım ve Rekreasyon	Bisiklet yolu (6,20 km), Müşavirlik, Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (8,30 km), Yürüyüş/gezinti yolu (6,60 km)	2021-2024	1.563.545.000	892.302.000	665.600.000
	İnşaat+Elektromekanik	Bisiklet yolu (6,20 km), Raylı Sistem İnşaat+Elektro mekanik (8,30 km), Yürüyüş/gezinti yolu (6,60 km)	2021-2024	1.547.916.000	892.302.000	655.600.000
	Mühendislik-Müşavirlik	Müşavirlik	2021-2024	15.629.000		10.000.000

Çizelge 3.6 : İstanbul Büyükşehir Belediyesi 'ne ait raylı sistem yatırımı projeleri.

2023 YILINDA BİTENLER									
PROJE NO	PROJE ADI	KARAKTERİSTİĞİ	BAŞLAMA-BİTİŞ YILI	PROJE TUTARI		2022 YILI SONU KÜMÜLATİF HARCAMA		2023 YILI YATIRIMI	
				DIŞ KREDİ	TOPLAM	DIŞ KREDİ	TOPLAM	DIŞ KREDİ	TOPLAM
2015 E06-1490 77	Dudullu-Bostancı Metro Hattı	Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (14,30 km)	2015-2023	3.19 7.70 3.80 3	14.6 05.3 55.6 00	733.31 9.171	11.374 .620.8 14	2.46 4.38 4.63 2	3.23 0.73 4.78 6
2016 E06-1527 38	Eminönü-Alibeyköy Tramvay Hattı	Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (10,10 km), Tramvay Aracı (30 adet)	2016-2023	3.94 5.20 1.16 2	4.65 5.33 7.27 1	3.291. 151.05 7	3.883. 558.14 7	654. 050. 105	771. 779. 124
2023 YILINDAN SONRAYA KALANLAR									
2007 E06-855	Üsküdar-Altunizade-Ümraniye-Dudullu Metro Hattı	Metro Aracı (150 adet), Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (20 km)	2007-2024	18.1 25.8 11.0 79	20.8 23.4 99.1 74	17.959 .205.8 87	20.656 .893.9 82	59.4 67.1 28	59.4 67.1 28
	İnşaat+Elektromekanik	Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (20 km)	2007-2019	14.9 87.1 56.0 79	17.6 84.8 44.1 74	14.987 .156.0 79	17.684 .844.1 74		
	Araç Alımı	Metro Aracı (150 adet)	2007-2024	3.13 8.65 5.00 0	3.13 8.65 5.00 0	2.972. 049.80 8	2.972. 049.80 8	59.4 67.1 28	59.4 67.1 28
2008 E06-905	Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro Hattı	Metro Aracı (300 adet), Raylı Sistem (24,50 km), Raylı Sistem Elektromekanik (24,50 km)	2008-2025	17.2 15.8 25.9 26	19.1 97.5 17.1 91	9.644. 642.96 0	11.380 .678.6 92	1.98 3.64 7.76 1	2.13 2.60 1.38 7
	Mecidiyeköy-Mahmutbey	Raylı Sistem (18 km)	2013-2023	1.21 2.34 5.81 6	1.43 0.56 8.06 2	1.158. 465.67 1	1.366. 989.49 1	53.8 80.1 45	63.5 78.5 71
	Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey	Raylı Sistem (6,50 km), Raylı Sistem Elektromekanik (24,50 km)	2015-2024	9.79 7.05 0.11 0	11.5 60.5 19.1 29	8.486. 177.28 9	10.013 .689.2 01	773. 640. 000	912. 895. 200
	Araç Alımı	Metro Aracı (300 adet)	2015-2025	6.20 6.43 0.00 0	6.20 6.43 0.00 0			1.15 6.12 7.61 6	1.15 6.12 7.61 6
2015 E06-2312	Ataköy-İkitelli Metro Hattı	Metro Aracı (72 adet), Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (13,40 km)	2015-2026	9.32 6.74 9.23 0	10.6 53.2 56.4 91	5.355. 845.27 1	6.319. 901.29 2	1.48 3.82 5.30 6	1.75 0.91 3.68 5
	İnşaat+Elektromekanik	Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (13,40 km)	2015-2024	7.49 2.72 9.23 0	8.81 9.23 6.49 1	5.355. 845.27 1	6.319. 901.29 2	1.48 3.82 4.30 6	1.75 0.91 2.68 5
	Araç Alımı	Metro Aracı (72 adet)	2019-2026	1.83 4.02 0.00 0	1.83 4.02 0.00 0			1.00 0	1.00 0
2015 E06-2319	Ümraniye-Ataşehir-Göztepe Metro Hattı	Metro Aracı (56 adet), Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (13 km)	2015-2025	17.2 93.0 72.5 04	20.1 49.0 62.7 54	3.038. 978.59 5	3.585. 994.74 2	2.00 0.02 1.49 0	2.36 0.02 1.49 0

Çizelge 3.6 (devam) : İstanbul Büyükşehir Belediyesi 'ne ait raylı sistem yatırımı projeleri.

PROJE NO	PROJE ADI	KARAKTERİSTİKİ	BAŞLA-MA-BİTİŞ YILI	PROJE TUTARI	2022 YILI SONU KÜMÜLATİF HARCAMA		2023 YILI YATIRIMI		
				DIŞ KREDİ	TOPLAM	DIŞ KREDİ	TOPLAM	DIŞ KREDİ	TOPLAM
	İnşaat+Elektromekanik	Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (13 km)	2016-2025	15.866.612.504	18.722.602.754	3.038.978.595	3.585.994.742	2.000.000.000	2.360.000.000
	Araç Alımı	Metro Aracı (56 adet)	2015-2025	1.426.460.000	1.426.460.000			21.490	21.490
2015E06-23	Kaynarca-Pendik-Tuzla Metro Hattı	Metro Aracı (240 adet), Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (11,90 km)	2015-2026	16.480.428.747	18.346.493.920	2.570.497.252	2.673.645.287	1.177.103.357	1.326.503.357
	İnşaat+Elektromekanik	Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (11,90 km)	2016-2026	10.367.028.747	12.233.093.920	573.044.638	676.192.673	830.000.000	979.400.000
	Araç Alımı	Metro Aracı (240 adet)	2016-2026	6.113.400.000	6.113.400.000	1.997.452.614	1.997.452.614	347.103.357	347.103.357
2015E06-23	Çekmeköy-Sultanbeyli Metro Hattı	Metro Aracı (150 adet), Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (10,90 km)	2015-2026	12.810.042.678	14.428.092.859	1.577.849.442	1.861.862.342	1.750.021.490	2.065.021.490
25	Çekmeköy-Sultanbeyli Metro Hattı	Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (10,90 km)	2016-2026	8.989.167.678	10.607.217.859	1.577.849.442	1.861.862.342	1.750.000.000	2.065.000.000
	Araç Alımı	Metro Aracı (150 adet)	2016-2026	3.820.875.000	3.820.875.000			21.490	21.490
2015E06-23	Kirazlı-Halkalı Metro Hattı	Metro Aracı (272 adet), Raylı Sist. Siny. (36,50 km), Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (9,70 km)	2015-2025	28.648.023.112	31.521.386.211	2.588.918.342	3.054.923.644	4.175.554.145	
28	İnşaat+Elektromekanik	Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (9,70 km)	2017-2025	15.509.938.328	18.301.727.227	2.583.989.792	3.049.107.955	4.175.552.145	
	Araç Alımı	Metro Aracı (272 adet)	2018-2025	12.684.894.784	12.684.894.784			1.000	1.000
	Yenikapı-Havalimanı-Kirazlı-Halkalı Sinyalizasyon İşleri	Raylı Sist. Siny. (36,50 km)	2018-2025	453.190.000	534.764.20	4.928.550	5.815.689	1.000	1.180
2016E06-26	İstanbul Metroları Araç Alımı	Metro Aracı (320 adet)	2016-2026	7.085.330.800	7.085.330.800	539.130.892	539.130.892	17.245.680	17.245.680
38	Yenikapı - İncirli - Sefaköy - Metro Hattı	Metro Aracı (256 adet)	2018-2026	6.520.960.000	6.520.960.000			1.000	1.000
	Dudullu - Bostancı Metro Hattı	Metro Aracı (64 adet)	2016-2025	564.370.800	564.370.800	539.130.892	539.130.892	17.244.680	17.244.680

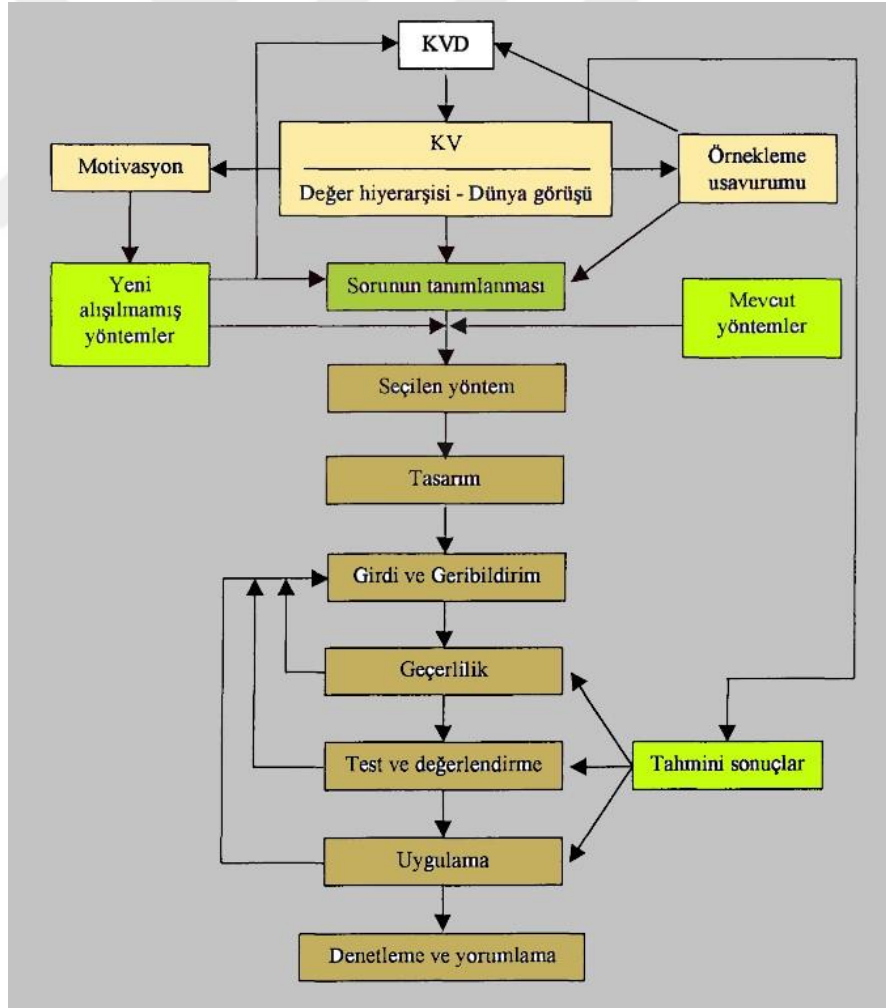
Çizelge 3.6 (devam) : İstanbul Büyükşehir Belediyesi 'ne ait raylı sistem yatırımı projeleri.

PROJE NO	PROJE ADI	KARAKTE RİSTİĞİ	BAŞLAMA-BİTİŞ YILI	PROJE TUTARI		2022 YILI SONU KÜMÜLATİF HARCAMA		2023 YILI YATIRIMI	
				DIŞ KREDİ	TOPLAM	DIŞ KREDİ	TOPLAM	DIŞ KREDİ	TOPLAM
2016E06-2642	Başakşehir-Kayaşehir Metro Hattı	Metro Aracı (64 adet)	2016-2026	1.630.240.000	1.630.240.000			1.000	1.000
	Araç Alımı	Metro Aracı (64 adet)	2018-2026	1.630.240.000	1.630.240.000			1.000	1.000
2016E06-2645	Mahmutbey - Bahçeşehir-Esenyurt Metro Hattı	Metro Aracı (220 adet), Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (18,60 km)	2016-2026	25.196.891.589	28.723.621.073	1.423.527.670	1.679.762.651	3.211.964.188	3.790.117.561
	İnşaat+Elektromekanik	Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (18,60 km)	2017-2025	19.592.941.589	23.119.671.073	1.423.527.670	1.679.762.651	3.211.963.188	3.790.116.561
	Araç Alımı	Metro Aracı (220 adet)	2017-2026	5.603.950.000	5.603.950.000			1.000	1.000
2018E06-22664	Vezneciler - Arnavutköy Metro Hattı	Metro Aracı (105 adet), Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (32,65 km), Revize Fizibilite Etüdü	2018-2026	28.147.112.500	32.732.162.500			2.696	3.000
	Vezneciler - Sultangazi Metro Hattı	Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (17,35 km), Revize Fizibilite Etüdü	2019-2026	16.612.500.000	19.602.750.000			848	1.000
	Sultangazi - Arnavutköy Metro Hattı	Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (15,30 km), Revize Fizibilite Etüdü	2019-2026	8.860.000.000	10.454.800.000			848	1.000
	Araç Alımı	Metro Aracı (105 adet)	2019-2026	2.674.612.500				1.000	1.000
2018E06-24051	Tramvay Aracı Alımı	Tramvay Aracı (51 adet)	2018-2025	1.920.405.000	1.920.405.000				
2022E06-197958	İstanbul SKHP Aşama II - Uygulama AB Hibesi (IPA)	Uygulama Projesi			66.981.000		26.792.000		429.131
					56.934.000		22.773.000		2.431.744



4. KARAR VERME SÜRECİ VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Karar verme sürecine ilişkin üç temel adım ile gerçekleştirilir. Bunlardan ilki, sorunun yapılandırılmasıdır. Başlangıç belirsizliğini azaltmak için sorunun dikkatle incelenip araştırılması ve konu ile ilgili kriterlerin ve değerlendirilecek seçeneklerin ortaya çıkarılmasını içerir. 2. adım da ise, karar modeli kurulması yer alır. Üçüncü adımda sorunun çözülmesidir. Kurulan model kullanılarak farklı bakış açılarını yansıtan seçeneklerin kriterlere göre uygun bir değerlendirme yöntemi ile karar verme problemine uygun çözümün üretilmesi ile sonuca ulaşılır. Şekil 4.1’de karar verme süreci gösterilmektedir (Topçu, 2000).



Şekil 4.1: Karar verme süreci.

Çok kriterli karar verme (ÇKKV), birden fazla kriter içerisinde en optimum seçeneğin seçilmesini sağlayan metoddur. Çok fazla sayıda birbirinden bağımsız faktörün etkili olma düzeyini hesaba katarak, probleme ve faktörlere göre en doğru kararın verilmesine imkan tanıyan yöntemlerdir. Kriterlerin birbiri ile çelişmesi durumunda veya kriterlerin matematiksel bir değerle tanımlanıp tanımlanmayacağı durumlarda ortak bir dilde çıktılar oluşturarak değerlendirme yapılabilen tekniklerdir (Hamurcu ve Eren, 2016).

4.1 Tanım, Kavramsal Çerçeve ve Karar Verme Süreci

Karar verme, bir amaca ulaşmak ve bir amaca ulaşmak için alternatif davranış kalıpları arasında seçim yapma eylemidir. Karar verme, yaşam ve liderlik işlevinin merkezinde yer alır. Hayatın her aşamasında, hayatın her yeni aşamasında insanlar ve liderler seçenekler arasından en uygun olanı belirlemeye çalışırlar.

Karar verme süreçleri "Sezgisel" ve "Analitik" olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sezgisel kararlar, verilerle desteklenmeden keyfi bir şekilde verilirler. Bazı yüzeysel, detay içermeyen karar durumlarında sezgisel yaklaşım başarılı olabilir. Buna karşılık, bilgi gerektiren karmaşık karar durumları ile karşılaşıldığında, karar vericiler sonuç aşamasında kendi değer yargılarından saptığını görebilirler. Bu sapmaların görülmediği durumlar için "iyi karar verme" ifadesi kullanılmaktadır.

Bir kararın başarılı sayılabilmesi için, birbiriyle çelişen faktörlerin eş zamanlı değerlendirilmesiyle birlikte tatmin edici sonuçlara ulaştırarak geçerliliğini ilerleyen süreçte de koruması gerekmektedir. Bu bağlamda, değer yargılarını hem nesnel olarak hem de analitik olarak birleştiren yöntemler geliştirilmiştir.

Karar vericiler "iyi sonuçları olan" kararlar ile ilgilenirler. Analistler veya akademisyenler ise bilimsel teori çerçevesinde iyi oluşturulmuş ve kararı etkileyen faktörlerin tümünü dikkate alan bir karar verme sürecinin "iyi" karar vermeye yol açacağını savunurlar. Ancak ortak payda olarak, amaca en iyi hizmet eden kararın doğru karar olduğu vurgulanabilir.

Karar verme problemlerinde iyi kararlar verebilmek için yeni alternatif yollar ve araçlar geliştirilmektedir. Çok Kriterli Karar Verme süreçleri, karmaşık karar problemlerini bilimsel ve analitik bir çerçevede ele alarak karar vericiye en çok arzu ettiği çözüme ulaşmasında destek vermeye çalışan prosedürler bütünü olarak ortaya çıkmıştır. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) (Multiple Criteria Decision Making-

MCDM), en kısa tarifiyle; "Çoklu ve birbiriyle çatışan amaçların (kriterlerin) gerçekleştirilmek istendiği problemlerin çözümü"ne verilen genel isimdir.

Çok kriterli karar problemi, aynı veya çelişen kriterlerden ziyade birden çok kriterle karakterize edilebilecek bir problemle karşılaşan insanların aşağıdakilere göre karar verdiği bir yaklaşımı ve bir meta-kavramı temsil eder: Yardımcı olmayı amaçlayan teknikleri veya yöntemleri içerir. kararlar verirken. kendi değer yargısı. Son yıllarda yöneylem araştırmasının en hızlı büyüyen alanı olarak kabul edilen ÇKKV, alanın temel özelliklerini yenileyen ve canlandıran bir alandır: sistem düşüncesini, problem çözmeye disiplinler arası ve bilimsel bir yaklaşımı temsil eder (Çınar, 2004).

4.2 Çok Kriterli Karar Verme Problemleri

İnsanlar günlük hayatlarında karşılaştıkları problemleri tek bir kritere bağlı olarak değil de, birden fazla kriter üzerinden değerlendirerek yorumlamak, karşılarına çıkan seçenekleri, seçim kriterlerine göre karşılaştırmak, sıralamak ve seçmek durumunda kalırlar. Örnek olarak, bir toplu ulaşım modunun performans değerlendirmesi yapıldığında : 1. Ekonomi (Bilet ücretinin ekonomik oluşu) 2. Güvenlik (Güvenli seyahat imkanı) 3. Konfor (Daha konforlu bir seyahat) 4. Güvenilirlik (Seyahat çizelgesi zaman diliminin güvenilir olması) 5. Seyahat Süresi (Seçilen ulaşım modu ile gidilen güzergahın başlangıç ve bitiş noktası arasındaki seyahatin süresi). Farklı ulaşım modlarında belirtilen bu maddelerin toplu taşıma kullanıcıları tarafından değerlendirilmesi farklı olacak ve buna bağlı olarak tercihleri kişisel yargılarına göre ağır basan kriter üzerinden tercih yapmaları yoluyla sonuca ulaşacaktır. Kamu yararı sağlanması açısından, sorumlu kuruluşlar da ulaştırma süresini, indi ve bindilerde meydana gelecek gecikmeleri, ücreti vb. minimize edecek bir yol bulmalıdır. Bunun için, gelişmiş bir toplu taşıma sistemi oluşturulmalı, kentin gelişimi göz önüne alınarak geliştirilmeli, gelecek ulaşım talep tahminleri ile uyumlu, kullanıcı faydasını maksimize eden alternatifler üzerinde seçimler yapılmalıdır.

4.2.1 ÇKKV problemlerinin ortak özellikleri

ÇKKV problemleri için ortak özellikler aşağıda sıralanmaktadır.

- ÇKKV probleminin çoklu amaçlara/niteliklere sahip olmasıdır.

ÇKKV problemi için birden çok amaca veya niteliğe ilişkin olarak karar vericinin uygun amaçları üretmek veya probleme has nitelikleri belirlemesi gerekmektedir.

- Kriterler arasında çatışma durumunun olmasıdır.

Bir problemde birçok kriter söz konusu olduğunda, bunlar arasında sıklıkla çatışmalar ortaya çıkar. Eğer kriterlerden birinin tatmini artarken diğerinin tatmini azalıyorsa kriterler arasında çatışma vardır.

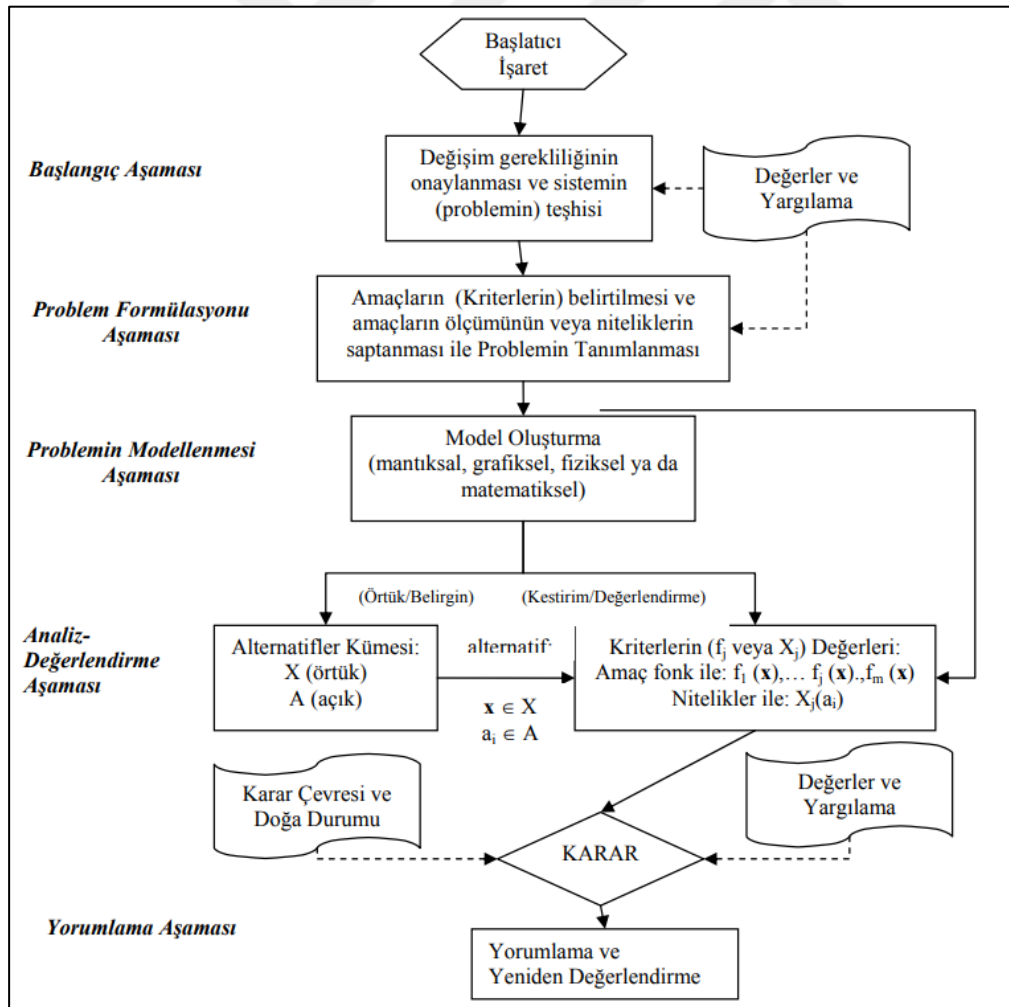
- Aynı ölçü ile ölçülemeyen birimler (incommensurable units) içermeleridir.

Her amaç veya nitelik farklı bir ölçü birimine sahiptir.

- Bir seçim ya da tasarım problemi olmalarıdır.

Bir ÇKKV problemi sonsuz sayıda, önceden bilinmeyen alternatiflerden en iyisini tasarlamak yolu ile veya önceden belirlenmiş, sınırlı bir alternatif kümesi içerisinde en iyisini seçmek yolu ile çözüme ulaştırılır.

Çok Kriterli Karar Verme Süreci terimi, problem çözmenin aşağıdaki Şekil 4.2’de gösterilen ve beş aşamadan oluşan bütüncül yapısını tanımlar.



Şekil 4.2: Tipik çok amaçlı (kriterli) karar verme süreci aşamaları.

Başlangıç aşaması: Karar verici ilgilendiği sistemin akışını değiştirmeye ihtiyaç duyması ile süreç başlar. Durum tespiti yapılır ve amaç belirlenir.

Problemi Formüle Etme aşaması: Bu aşamada soyut olarak ortaya konan üst amacın daha işlevsel ve özelleştirilen amaçlar halinde ifade edilerek alt amaçlar (kriterler) kümesi oluşturulur. Sistem için tüm gerekli elemanların, problemin sınırlarının ve sistemin çevresel koşullarının açıkça ortaya konulması gerekir.

Model Oluşturma Aşaması: Probleme uygun modeller sistemin çevresi ve amaçlar kümesi net biçimde tanımlandığında oluşturulabilir. "Model", birlikte etkin ve anlamlı bir biçimde sistemin ilgili yönlerinin bütünsel bir analizine imkan verecek anahtar değişkenlerin ve bunların mantıksal (veya fiziksel) ilişkilerinin birleştirilmesi ile oluşan yapıdır. Modeller; basit mantıksal modeller, grafik modeller, karmaşık fiziksel modeller, matematiksel modeller vb. olarak biçimlenebilir.

ÇKKV problemlerinde, amaçlar/kriterler için bir ölçüm seti olan nitelikler net bir biçimde tariflenmelidir. Bu ölçüm seti, “performans ölçümleri/kriterleri/endeksi” ya da “amaç (kriter) fonksiyonu” gibi çeşitli isimler almaktadır. Niteliklerin ölçüm düzeyleri, uygun bir ölçekte belirlenir. Ölçüm düzeyleri bir önceki aşamada belirlenmiş olan amaçlara ulaşma derecesi olarak atanırlar. Belli bir alternatif için ilgili niteliklerin ölçüm değerleri modelden çıkarılma yoluyla veya kişiye özel yargıların değerlendirilmesi yoluyla doğrudan belirlenir.

Analiz ve Değerlendirme Aşamaları: Her alternatif diğerlerine göre, önceden tanımlanmış ve alternatifleri derecelendirmek için kullanılan bir karar kuralı veya kurallar setine göre değerlendirilir. Karar kuralına göre en üst dereceyi alan alternatif yorumlanmak üzere seçilir.

ÇKKV probleminin çıktısı bir “Karar”dır. Bu çıktı, optimum ulaşılan çözüm veya alternatiflerin listesinin derecelendirilmesi şeklinde olabilir. Problemin girdileri ise, “karar verici”ye bir kararın verilmesi gerekliliğini anlatan ve karar verme sürecini başlatan bir işaret ve “karar durumu”nun açıklanmasına yardımcı olan verilerden oluşur. Tipik bir ÇKKV problemi aşağıdaki Şekil 4.3’deki gibi şematize edilebilir:



Şekil 4.3: Tipik bir ÇKKV problemi.

4.2.2 Karar verici

Karar Verici için, "Doğrudan veya dolaylı olarak uygun alternatifleri sıralamada kullanılacak son değer yargısını ortaya koyan ve "en iyi" seçimin saptanmasını sağlayan birey veya bireyler grubu" ifadesi kullanılabilir. Karar veren birey, kurum ya da topluluğun, tercihleri ve değer sistemleri ile kararı doğrudan etkilediklerini tanımlamak üzere, "paydaş (stakeholder)" ismi verilebilir. Paydaşlar ile verilen cevapların bileşenleri, kararı belirgin kılar ve sürecin değerlendirilmesi ile paydaşın değer ve yargı sistemi ile amaçları arasında bir denge oluşmasını sağlar.

4.2.3 Alternatifler kümesi

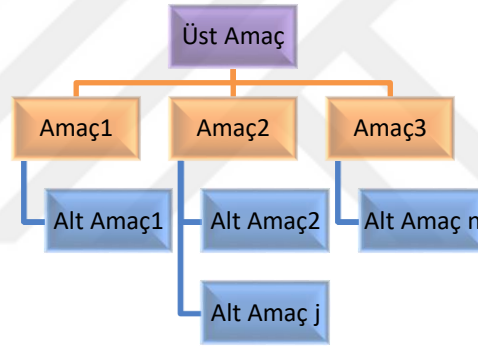
"Alternatifler kümesi", karar süreci boyunca araştırılan muhtemel kararlar kümesi; "karar" bir alternatifin seçilmesi anlamına gelirken; "aksiyon" ya da "hareket tarzı" kavramı, kararın uygulanmasından gelir. Alternatifler kümesinin tanımlanması çözülecek probleme ve karar süreci içinde yer alan aktörlere bağlı olmasının yanı sıra; kriterlerin tanımlanması, tercih yapısının modellenmesi, problemin tarif edilmesi ve uygulanacak yöntemin tercihi gibi adımlarla da güçlü bir bağ içindedir.

4.2.4 Nitelik, amaç, hedef ve kriter kavramları

ÇKKV probleminin yapısının oluşturulması ile farklı türde yöntem ve yaklaşımların ifade edilmesinde "Nitelikler", "Amaçlar", "Hedefler", "Kriterler" terimleri ile karşılaşılacaktır. Nitelikler, Amaçlar ve Hedefler arasındaki en temel farklılık, insan arzu ve ihtiyaçlarını somutlaştırma ve kapsama seviyeleridir. Kriterler ise diğerlerini kapsayıcı bir terimdir.

"Nitelikler"; "Performans parametreleri", "bileşenler", "unsurlar/etkenler", "karakteristikler" veya "özellikler" ile aynı anlamı olarak kullanılmaktadır. Karar verici tarafından "Nitelikler" tanımlandıktan ve ölçüldükten sonra, niteliklerin maksimize ve minimize edileceği seviyelere karar verilir ve alternatifler arasından seçim yapılır. Amaç, nitelikler doğrultusunda ulaşılması istenen gelişmenin doğrultusunu gösterir. "Değer" (values) kavramı ile, Karar vericinin istek, beklenti ve ihtiyaçları ifade edilir. Tüm amaçların temelinde belirli değerler yatar. Buna bağlı olarak, Değerler, (çoklu) amaçların belirlenmesini sağlar ve belirlenen her bir amaç alt-amaçlar (veya kriterler) ile temsil edilir. Bir nitelik ise, değeri o niteliğe karşılık atanan belirli bir amacın başarıma seviyesini ifade eden, ölçülebilir bir büyüklüktür.

İyi tanımlanmış ve listelenmiş bir amaçlar kümesini, hiyerarşik bir yapıda değerlendirmek faydalıdır. Amaçların hiyerarşik yapısı genel gösterimiyle aşağıdaki Şekil 4.4'deki gibidir:



Şekil 4.4 : Amaçların tipik hiyerarşik gösterimi.

Üst amaç, ÇKKV probleminin başlangıç noktasını simgeler. Hiyerarşik yapıda, alt düzeylere inildikçe alt bölümdeki amaçlar üst bölümdakilere göre daha detaylandırılmış olarak ifade edilirler. Alt amaçlar, üstteki amaçlar tarafından temsil edilen sonuçlara ulaşılabilmesi için birer vasıta olarak belirtilirler. Bu ilişkiye "araç - amaç (sonuç) ilişkisi" denir.

Hedefler, karar vericinin istek ve ihtiyaçlarına bağlı olarak amaca ulaşmak üzere önceden belirlediği değer ve seviyeleri ifade eder.

Kriterler, "karar verme" süreci boyunca yapılan tüm ölçümler, kullanılan standartlar veya oluşturulan kurallara verilen genel isimdir. Karar verme, farklı niteliklerin, amaçların ve hedeflerin seçimi ve herhangi bir düşüncüyü bir ifade kalıbına oturtmak ile gerçekleşir. Belirli bir karar problemi için en uygun karar durumunun seçilmesi için

hazırlanmış biçimsel bir kılavuz yoktur. Karar verme, olası "en iyi" alternatifin seçilmesi çabasıdır. Karar durumunun belirlenmesi seçilen problemin doğasına, deneyime, yeteneğe ve yargılamaya bağlıdır.

Karar kuralı, karar vericinin kendi perspektifinden en çok tercih edilen alternatif ulaşması için, değerler/sonuçlar kümesinde kurulan tercih ilişkileri ile alternatifler kümesi için bir sıralama üretmek için işletilen analitik anlatım, belirli bir amaca ulaşmak için tasarlanan yol ya da söze dayanan ifadeler olarak tanımlanabilir.

4.3 ÇNKV-ÇAKV Metodlarının Ayrımları

Çok Nitelikli Karar Verme; sonlu sayıda seçenek arasından seçme yoluyla, sıralama ve sınıflandırma yaparak, önceliklendirme işlemi ya da elenme amacıyla genel olarak ağırlıklandırılmış, nitel değerler de alabilen ve aynı ölçü birimini kullanmayan çok sayıda ölçüt kullanılarak analiz edilmesi işlemidir.

ÇNKV seçenek sayısının az/çok olması, kriter sayısının az/çok olması, kriter değerlerinin kesin olarak bilinmesi/bilinmemesi, seçeneklerin önceden bilinmesi/bilinmemesi, kriterlerin açıkça/dolaylı olarak belirlenmesi durumlarına bağlı olarak sınıflandırılmaktadır.

Çok Amaçlı Karar Verme'yi seçeneklerin bir matematiksel programlama yapısı ile endirekt olarak tanımlandığı ve sonsuz sayıda olduğu koşullarda karar verme olarak tanımlanmaktadır.

Çok amaçlı Karar Verme yöntemleri temeli oluşturan modelin doğrusal olması/olmaması, değişkenlerin sürekli olması/tamsayı olması, kriter sayısının az/çok olması, kısıt ve/veya değişken sayısının büyük/küçük olması, değişkenler arası ilişkinin sayısal/sözel olması, seçeneklerin önceden bilinmesi/bilinmemesi durumlarına bağlı olarak sınıflandırılmaktadır (Topçu, 2000).

Çok Kriterli Karar Verme problemleri, "Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKV)" (Multiple Attribute Decision Making_MADM) ve "Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV)" (Multiple Objective Decision Making_MODM) olarak iki büyük kategoriye ayrılmaktadır.ÇNKV ve ÇAKV karşılaştırması Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : ÇNKV ve ÇAKV karşılaştırma tablosu

	Çok Nitelikli Karar Verme	Çok Amaçlı Karar Verme
Kriterlerin	Nitelikler tarafından	Amaçlar tarafından
Tanımlanması		
Amaçların	Örtük olarak	Açık olarak
Tanımlanması		
Niteliklerin	Açık olarak	Örtük olarak
Tanımlanması		
Kısıtlılıklar	Aktif değil	Aktif
Alternatifler	Sonlu sayıda, ayrık (önceden tanımlanmış)	Sonsuz sayıda, sürekli (süreç sırasında belirir)
Karar Verici ile Etkileşim	Çok fazla değil	Çoğunlukla
Kullanım Amacı, Problem Türü	Seçim/Değerlendirme	Tasarım

Bu tez kapsamında, Çok Nitelikli Karar Verme (veya Çok Nitelikli Karar Analizi) yaklaşımı kullanılmıştır.

4.4 Çok Nitelikli Karar Verme ve Çok Nitelikli Ölçüm/Değer Teorisi

Çok Nitelikli Karar Verme yöntemleri için seçeneklerin ölçütlere göre performans değerlerini yansıtan bir karar matrisi kullanılır.

4.4.1 Çok nitelikli karar matrisi

ÇNKV problemi, veri olan alternatifleri, belirlenen nitelikleri, her alternatifin her niteliğe göre performanslarını ve bir niteliğin arzu edilen gelişim yönü için belirteç içeren bir karar tablosu gösterimi yardımıyla ifade edilebilir (Çınar, 2004). Çizelge 4.2’de karar matrisi örneği verilmiştir.

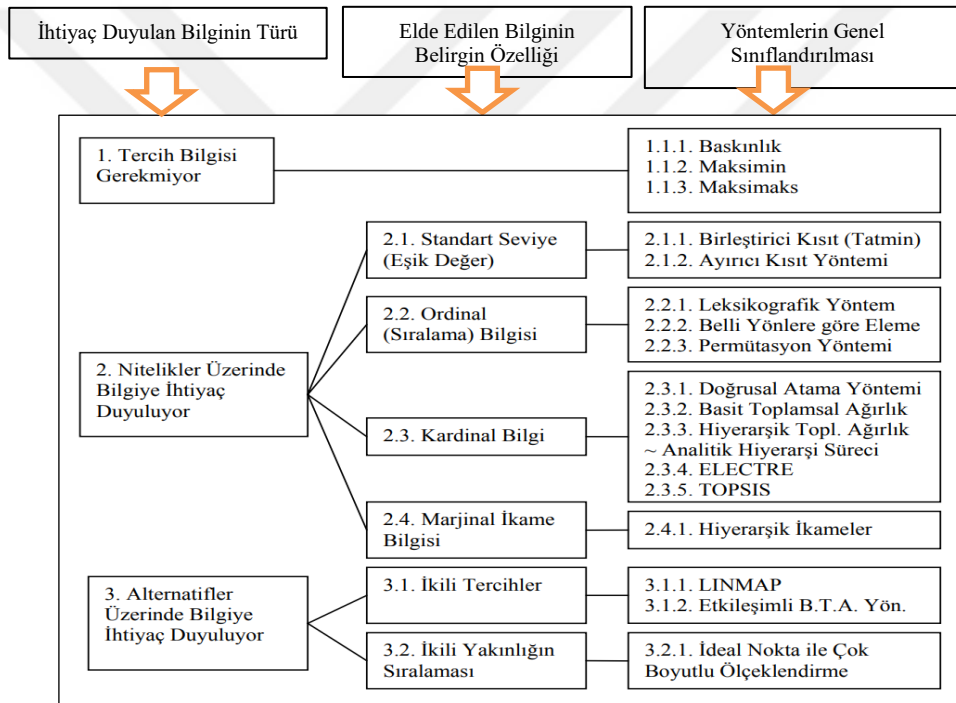
Çizelge 4.2 : Karar matrisi

	Kriterler				
	K_1	K_2	K_3		K_n
Alternatifler	(w_1)	(w_2)	(w_3)		(w_n)
A_1	a_{11}	a_{12}			
A_2	a_{21}	a_{22}			
A_3	a_{31}	a_{32}			
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
A_m	a_{m1}	a_{m2}	a_{m3}		a_{mn}

4.4.2 ÇNKV çözüm yöntemlerinin sınıflandırılması

Karar vericiler yargılarını farklı biçim ve derecelerde ifade edebilirler. Karar verici tarafından tercih belirtme veya belirtmeme durumuna göre, birinci olarak tercih bilgisi gerekmeden, ikinci olarak nitelikler üzerinde bilgiye ihtiyaç duyularak, üçüncü olarak ise alternatifler üzerinde bilgiye ihtiyaç duyularak elde edilmesi gereken bilginin türü farklılaşmaktadır.

ÇKNV yöntemlerinin ilk adımında, yöntemin uygulanması için ihtiyaç duyulan bilginin türüne göre bir ayırım yapılmıştır. İkinci adımda, ihtiyaç duyulan bilginin en belirgin özelliği, Üçüncü adımda ise yöntemlerin genel sınıflandırılması listelenmiştir (Çınar, 2004). Şekil 4.5'te bu sınıflandırma şema halinde gösterilmektedir:



Şekil 4.5 : ÇNKV yöntemlerinin genel sınıflandırılması.

4.5 Hiyerarşik Yapılar ve Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi

Hiyerarşik yapılar, üst düzeyde genel ilgi alanı (üst-amaç), orta düzeylerde alt-amaçlar ve alt düzeyde bu amaçlara özgü değerlendirme kriterleri (nitelikler) halinde yapılandırılması ile oluşur. En alt seviyede yer alan nitelikler, üst seviyede yer alan Karar Verici'nin değer ve ilgi alanlarını temsil eden amaçları açıklar ve işlevsel hale getirirler. Böyle bir hiyerarşik yapı aynı zamanda, "Değer Ağacı" (Value Tree) ya da "Amaçlar Hiyerarşisi" (Objectives Hierarchy) olarak da tanımlanır. Hiyerarşik yapılar,

"yukarıdan aşağıya"- "analitik yaklaşım" ile ve "aşağıdan yukarıya"- "sentezleme yaklaşımı" olarak iki yaklaşım ile oluşturulabilir (Çınar, 2004).

4.5.1 Analitik hiyerarşi süreci yöntemi

Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process) Yöntemi, özel bir hiyerarşik toplamsal ağırlıklandırma işlemi ve çok nitelikli karar problemleri için bir düzenleme, ölçme işi ve sentez durumuna getirme yöntemidir. Bu yöntem, 1970'lerin sonlarında Saaty tarafından geliştirilmiştir. AHP yöntemi, bir ölçüm teorisi olarak, amaçlar, kriterler, nitelikler ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik yapıda, bu elemanlar arasında Karar Verici'nin "ikili karşılaştırmalar" biçiminde tariflediği tercihlerinden, karşılaştırma ölçeği ağırlıklarının çıkarılması temeline dayanır.

AHP'de tercihlerin toplulaştırılması için aşağıdaki model kullanılır:

$$W(x) = \sum_{i=1}^n w_i * f_i(x) \quad (4.1)$$

Burada, $i=1,2,\dots,n$ ve n nitelik veya amaç olmak üzere

$W(x)$: x alternatifinin sonuç (birleşik veya bütüncül) önceliği,

w_i : niteliklerin diğer niteliklere göre ağırlıkları (öncelikleri),

$f_i(x)$: her i . niteliği için elde edilen lokal öncelikler vektörünün x -bileşenidir.

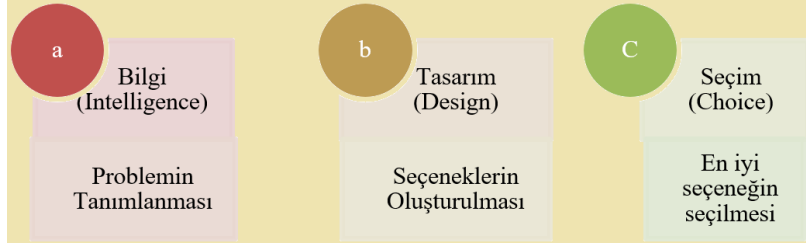
($i=1,2,\dots,m$ ve m alternatif sayısı).

Çok nitelikli bir problemin Ayırıştırma, Tercihlerin ikili karşılaştırılması ve sentezleme kuralına dayanarak AHP ile çözümlenmesi gerçekleştirilir: (Çınar, 2004)

Sonuç olarak, Çok Kriterli Karar Verme yaklaşımını anlatan yukarıdaki bölümler ışığında, Raylı sistem planlama sürecinde birçok alternatif proje ve senaryo söz konusudur. Kaynakların optimum kullanımı, proje ve yatırım alternatiflerinin iyi bir şekilde değerlendirilmesi, karmaşık faktörler içeren önemli bir karar verme sürecidir. Bu tez kapsamında, Çok nitelikli karar modellerinin bu alanda etkin bir araç olarak kullanımı öne çıkarılmıştır.

4.6 Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Çok Ölçütlü Karar Analizi

CBS'nin temel amacı mekansal karar verme sürecini desteklemektir. Bir CBS'nin yetenekleri karar verme süreci bağlamında değerlendirilebilir. Karar verme sürecinin analizinde kullanılabilecek yaklaşımlardan biri, Simon (1960) temelli karar analizi literatüründe kabul gören yaklaşımdır. Simon (1960), karar verme sürecini üç aşamada incelemiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Bilgi-tasarım-seçim.

Karar verme sürecinin herhangi bir aşamasında geri bildirim gerekebilmektedir. Örneğin, tasarım aşamasında birçok seçenek planı oluşturulur, ancak bu planlar karar probleminin gereksinimlerini karşılamayabilir. Bu, sorun hakkında ek bilgi gerektirebilir. Karar vermenin bu üç evresi alt başlıklarda detaylandırılmıştır (Gökkaya, 2014).

4.6.1 Bilgi evresinde CBS

Karar verme süreci, bir karar verme probleminin sunulmasıyla başlamaktadır. Mekansal karar problemi genellikle mevcut bulunan ve arzu edilen mekansal gerçek hayat problemleri arasındaki farkla ilgilenir. Bilgi aşamasında karar verme ortamının incelenmesi için, karar problemini tanımlamaya yönelik ham veriler elde edilir, saklanır ve işlenir. Veri toplama, depolama, tekrar elde etme ve verinin yönetilmesi bileşenleri gerçek hayat probleminin bir CBS veritabanı içerisinde yapılandırılmasına izin verir. Bu durumda, gerçek hayat varlıklarının hangilerinin gözlemlendiği, seçildiği, elendiği, sınıflandırıldığı ve veri olarak kaydedildiği önemlidir. Ek olarak, bu verilerden hangisinin mekansal karar problemi ile ilgili olduğuna dair kararlar da bu aşamada verilmektedir.

CBS, karar verme sürecinin bilgi aşamasını destekler. CBS, coğrafi verilerin toplanmasında ve analiz edilmesinde olası sorunların etkin ve etkili bir şekilde üstesinden gelir. Coğrafi bilgi sistemleri, özellikle mekansal karar vermenin ilk safhalarında büyük miktarda veri ve bilgiyi depolamak ve yönetmek için kullanılır.

4.6.2 Tasarım evresinde CBS

Tasarım aşaması, bilgi aşamasında belirlenen sorunlara olası çözümlerin geliştirilmesini ve analiz edilmesini içerir. Bu aşama tipik olarak, karar vericilerin karar vermelerini destekleyen seçenekler oluşturmaya olanak tanıyan modeller oluşturur. Bu model, gerçekliğin basitleştirilmesi veya soyutlanmasıdır. Mekansal karar verme bağlamında, bir model bir veri tabanıdır, alınan kararlarla ilgili

özelliklerin modele dayalı bir temsildir. Bu aşamada, karar verme problemi ile ilgili mevcut veriler ve bilgiler, karar verme durumuna uyacak şekilde yapılandırılmalıdır. Mekansal karar seçenekleri, CBS'de saklanan veri ve bilgilerin seçimi, eklenmesi ve silinmesi yoluyla yapılan değişiklikler ve analizlerden elde edilir.

CBS genel olarak mekansal karar seçeneklerinin tasarım sürecini destekleyen bir sistem olarak tanımlanabilir. CBS'nin karar seçenekleri oluşturmaya katkısı, bağlantı, süreklilik ve yakınlık gibi mekansal ilişkilere bağlıdır.

4.6.3 Seçim evresinde CBS

Seçenekler tasarım aşamasında oluşturulur, ancak seçenekler seçim aşamasında değerlendirilir. Seçim aşaması, karar vericilerin karar verdiği aşamadır. Her şey, birçok olası seçenek arasından en uygun olanı seçmekle ilgilidir. Her seçenek, tanımlanmış karar kurallarına göre değerlendirilir ve analiz edilir. Karar kuralları, seçenekleri önem derecesine göre sıralamak için kullanılır. Sıralama süreci, karar vericilerin tercihlerine göre tasarlanmaktadır. Bu aşamada Coğrafi Bilgi Sistemleri, karar verici tercihlerini karar verme sürecine dahil etmede kilit bir rol oynar. Bu bağlamda, bir karar destek sistemi olarak CBS'den yararlanmak için karar verme teknolojisinin CBS'ye dahil edilmesi gerekmektedir. Bu durumda CBS'nin karar vermedeki başarısı, sürece dahil olan sistemlerin mekansal karar destek sistemleri olarak ne kadar iyi tasarlandığına bağlıdır.

4.7 Çok Kriterli Mekansal Karar Destek Sistemleri

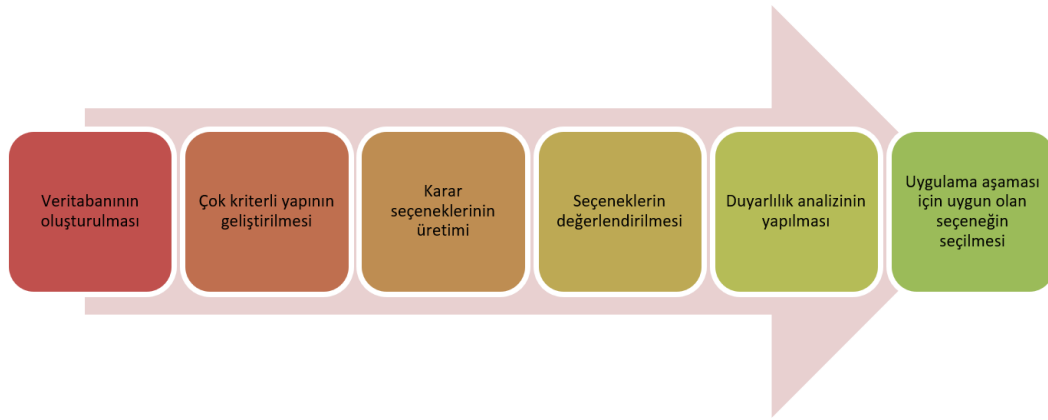
Karar destek sistemi (KDS), çeşitli kaynaklardan elde edilen bilgileri düzenleyerek, verilecek kararları modelleyerek ve değerlendirme sonuçlarını analiz ederek ve sunarak karar vericilerin en uygun kararları vermelerine yardımcı olur. Karar vermeye farklı açılardan yaklaşırlar, daha iyi seçenekler üretirler, karmaşık problemlere çözüm bulurlar, daha fazla seçeneği düşünürler, farklı analizler kullanırlar, etkili ve verimli modeller geliştirirler.

Karar verme sürecine mekansal bir bileşen dahil edildiğinde, karar destek sistemi mekansal karar destek sistemi (MKDS) olarak adlandırılır (Erden, 2009). Mekansal uygulamalar için hesaplama desteği Coğrafi Bilgi Sistemleri tarafından sağlanmaktadır. KDS'nin tüm tanımları incelendiğinde, çok kriterli karar verme süreçlerini desteklemeye yönelik olduğu görülmektedir. Bu bağlamda çok kriterli mekansal karar destek sistemleri (ÇK-MKDS) mekansal karar destek sistemleri olarak

da anılmaktadır. ÇK-MKDS mekansal karar vermenin çok kriterli yapısını ele almaktadır (Gökkaya, 2014).

4.7.1 Çok kriterli mekansal karar destek sistemlerinin bileşenleri

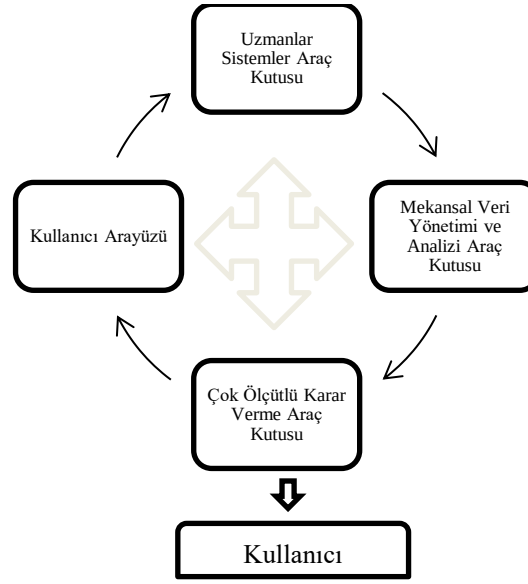
Son yıllarda Çok Kriterli Mekansal Karar Destek Sistemleri (ÇK-MKDS) için birçok genel çerçeve tanımlanmıştır. ÇK-MKDS bileşenleri çok kriterli mekansal karar analizi bileşenleri bağlamında incelenmektedir. Roy (1996)'un çok kriterli karar analizi tanımı şu şekildedir: 'Karar vericinin adil kararlar verebilmeleri için birçok kriteri göz önüne bulundurmalarına ve seçenekleri veya senaryoları karşılaştırılmalarına olanak tanıyan bir karar destek aracıdır'. Şekil 4.7.'de çok kriterli karar analizi adımları gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : Çok kriterli karar analizi adımları.

Tüm bu eylemler karar verme aşamalarının (bilgi, tasarım ve seçim) birer alt kümeleri olarak kategorize edilmektedir. Bu üç fazın her biri, bağımsız bir teknoloji olarak bilgi işlem ortamında bulunur. Bu bağımsız teknolojiler, problem çözme sürecinin her aşamasında kullanımı kolay arayüzler aracılığıyla ÇK-MKDS ortamına entegre edilir. Sistem, belirli görevler için kullanılan araç kutularının (toolboxes) bütünleştirilmesinden oluşmaktadır. Her araç kutusu çok kriterli mekansal karar vermeyi destekleyen araçlar içerir. Şekil 4.8'de ÇK-MKDS'nin genel mimarisinin üç ana bileşeni vardır.

- Mekansal Veri Yönetimi ve Analizi Araç Kutusu (CBS-Uzaktan algılama teknolojisi, veritabanı yönetim sistemi, istatistiksel analiz, simulasyon, kartoğrafik modelleme, veri analizi, vb.)
- Çok Kriterli Karar Verme Araç Kutusu (tercih modelleme, çok kriterli karar verme kuralları, vb.)
- Kullanıcı Arayüzü.



Şekil 4.8 : ÇK-MKDS'nin genel mimarisi (Malczewski, 1999).

4.8 Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Kartografik Modelleme

Kartografik modelleme, "gerçekliğin uzamsal-işaret modelleri olarak haritaların derlenmesi" ve "araştırılan nesne hakkında yeni bilgi edinme" şeklinde tanımlanır. Haritaların derlenmesi ve bilimsel araştırmalarda uygulanması ile gerçekleştirilir. Kartografik modelleme üründen çok sürece yöneliktir. Asıl ilgilenilen konu, verilerin nasıl aktarıldığı, toplandığı, saklandığı veya iletildiğinden ziyade verilerin kullanılma şeklidir.

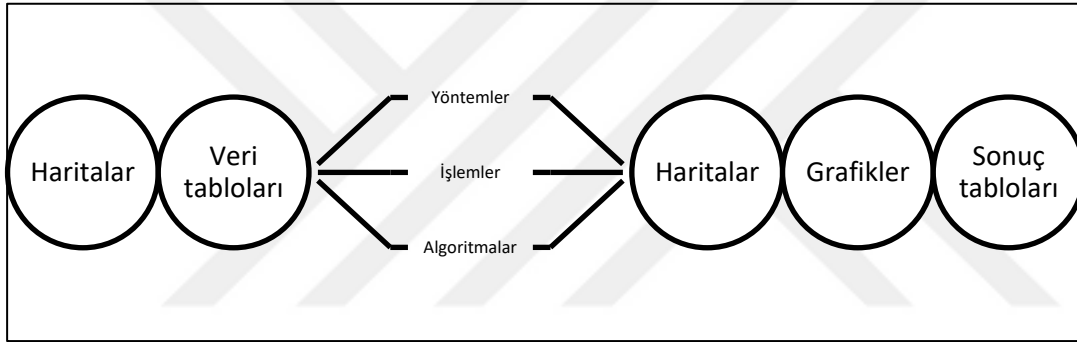
Karmaşık bir uzay modeli olarak harita, klasik bir kartografik modeli temsil eder. Bu kartografik modelin evrensel karakteri şu özelliklerle belirlenir: soyutluk, benzersizlik, görünümün sentetik karakteri, ölçülülük, yeterlilik ve belirsizlik ile görünümün sürekliliği, görsellik, geometrik benzerlik, coğrafi yeterlilik, yenilikçilik, reaksiyonun çabukluğu.

Kartografik modellerin incelemesinde en yaygın kullanılan yöntemler: (Ramonas, 2012)

- 1- görsel (görsel işaretlerin analizine dayanır, nesneler ve olaylar arasındaki ilişkileri ve karşılıklı konumlarını belirlemek, formu tahmin etmek vb),
- 2- kartometrik (niceliksel özelliklerin belirlenmesi: koordinatlar, mesafeler, yükseklikler, alanlar, hacimler vb), grafik (haritalar incelemeler için özel olarak dönüştürülür; örneğin, 3D görünümün 2D'ye dönüştürülmesi),
- 3- matematiksel-istatistiksel analiz (uzayda değişen bir veri dizisi), matematiksel modelleme (bir kartografik modelden elde edilen verilerle yapılan işlem).

Verilerin toplanması ve düzenlenmesi için çeşitli veri tabanı yönetim sistemleri kullanılmaktadır. Modellemede, verilerin araştırılan mekan ile ilgili olması gerekir. Veri işlemede, bilgilerin mekan ve çevresi ile ilgili olmasını sağlayacak belirli yöntemler gerektirir, parametrelerin değerlerini ve özelliklerini temin eder. Bu tür bilgilerin toplanması ve işlenmesi için coğrafi bilgi sistemleri kullanılmaktadır. Belirli bir yerdeki olayların ve süreçlerin özelliklerini yansıtan, öznitelik ve mekânsal bilgi aktarımının bütünleşik işlenmesini ve kullanımını sağlar.

Belirli bir noktada veya poligonda kaydedilen tüm veriler bir bilgi sistemi içinde onları haritalarda yansıtılan uzamsal nesnelerle ilişkilendirilerek toplanır. Bu şekilde bir veritabanı, belirli bir işlemle yeniden ilgili modellerin gerçekleştirilmesi için gerekli olan süreç yaratılır. Bu Modelin genel olarak gerçekleştirilmesi Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9 : GIS ile model gerçekleştirme şeması.

Şekil 2.8'de görüldüğü gibi CBS modelleme açısından üçe ayrılabilir: *veri girişi* (dijital haritaların derlenmesini ve CBS veritabanlarının oluşturulmasını, öznitelik veri tabloları tasarlamayı), *eylem* (yöntemleri, işlemleri, algoritmaları içerir; modellemenin kendisi tüm bağlantıları ve aşamaları dahil olmak üzere yapılır), *çıkı* (kartografik tasarımı içeren sonuçların grafikler ve tablolar halinde gösterilmesi, sonuçların istatistiksel olarak işlenmesi, grafiklerin oluşturulması).

Metodolojik olarak CBS içindeki analiz, klasik kartografik yöntemlere dayanmaktadır. CBS analizinin işlemleri, klasik yönetime göre gruplandırılabilir: görsel, kartometrik, grafik, matematiksel-istatistiksel sınıflandırmalar.

Biçimsel karakter, herhangi bir diğer bilgisayar sistemi gibi CBS için de gereklidir (somut ve kesin veriler, açık ve net bir şekilde tanımlanmış ölçekler). Bu nedenle bazı klasik yöntemlerle yapılan tetkikler, CBS tarafından otomatik olarak gerçekleştirilemez. (örn. görsel) Ancak, CBS' nin kendine has özelliği birçok yeni yöntemin gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır.

CBS, kartografik model analizinin aşağıdaki işlemlerini içerir: ölçümler ve hesaplamalar, haritaların topolojik yerleşimi, tampon oluşturma, yeniden seçim ve unsurların ortadan kaldırılması, öznitelik ve grafik verilerinin birleştirilmesi ve birleştirilmesi, tampon bölge üretimi, elemanların elenmesi, öznitelik ve grafik verilerinin birleştirilmesi, ayrılması, yüzey üretimi, enterpolasyon, değişim ve zaman serisi analizi, görüş alanı ve panoramik görünüm analizi, ağ analiz vb.

Bu işlemlerin grubu, kartometrik araştırmaları içerir. Kartografik modelin metrik karakteri (modelin matematiksel bir temeli, ölçeği olması koşuluyla), koordinatlar, mesafeler, uzunluklar, alanlar ve çevre vb. çeşitli ölçümler yapmaya yarar. Tüm coğrafi bilgi sistemlerinde (hem vektör hem de raster) gerçekleştirilen bir araştırma yöntemidir.

Vektör CBS'de topoloji oluşturulurken, bazı kartometrik parametreler öznitelik tablolarına dahil edilmiştir. (örneğin, Arc/Info sistemi: aat.dbf dosyasındaki yayın uzunluğu, pat.dbf dosyasındaki poligonun alanı ve çevresi). Diğer parametreler, ekran üzerinde yapılan ekstra hesaplamalar veya ölçümler ile çıkarılabilir.

Raster CBS'de, kartometrik parametreler ekstra hesaplamalar veya ölçümler yoluyla çıkarılır. ekranda. Ölçülen segmentin uzunluğu, raster hücrelerin koordinatları arasındaki farkı temsil eder.

CBS yeteneklerinden biri de, araştırılan bölge için CBS ile ilişkilendiren matematiksel formüllerin entegrasyonudur. Bu modeller, başka bir deyişle, matematiksel bilginin gerçekleşmesi olarak ifade edilebilir. Bölgesel olarak düzenlenmiş nesnelerin öznitelik özellikleri (her iki nicel özellik ve uzamsal koordinatlar) değişkenler olarak formüllere eklenir ve hesaplamalara katılır. Elde edilen sonuçlar, nesnelerin koordinatları aracılığıyla onları birbirine bağlayan bir bölge üzerinde düzenlenir.

İki haritanın kapsamı üst üste yerleştirildiğinde, yeni bir kapsam alanı elde edilir. Her yeni kapsamın unsurları kendi içlerinde birleştirilir ve yeni bir kapsamın diğer unsurları oluşturur. Bu işlem sırasında içeriklerin grafik öğeleri mekansal olarak birbirine bağlanmış, ancak nitelikleri birleştirilmiştir. Bu sadece bir grafik kombinasyonu ve öznitelik bilgisi değildir, aynı zamanda yeni topolojik ilişkilerin oluşumudur. Bu nedenle bu işleme topolojik üst üste bindirme (overlay) denir. Haritaların birleştirilmesi, kartografik modelleme grafiksel yöntemler kategorisine atfedilebilir.

CBS vektöründe, topolojik üst üste bindirme, girdi kapsamlarının bilgisinin değişken kombinasyonları VE ve VEYA mantıksal işlemlerinin gerçekleştirilmesi ile elde

edebilir. Aynı zamanda poligonlar, yaylar, noktalar gibi farklı türde kaplamaları üst üste bindirmek mümkündür. İki poligon katmanının üst üste bindirilmesi, doğal ortamların - çoğu durumda doğal sürecin bileşenlerinin değişimi üzerine ilgili özellikleri yansıtan türev haritaların derlenmesi için kartografik modellemesinde çok faydalıdır.

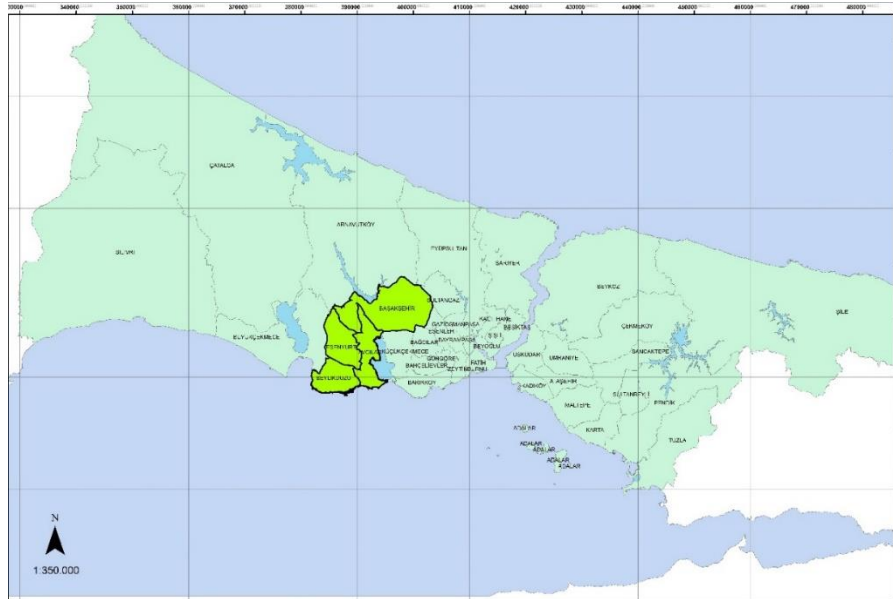
1. Kartografik modelleme, nesneler ve işlemler hakkında yeni bilgiler elde etmek için kartografik ürünlerin nesnelerin ve süreçlerin modelleri olarak derlenmesi, analizi ve dönüştürülmesidir.
2. Kartografik modellemenin ana problemleri çıkarılma ve genelleme ile bütünleyici bir süreç içerir.
3. Bunlar, kartografik modellerin incelenmesinde kullanılan temel yöntemlerdir: görsel, kartometrik, grafik, matematiksel-istatistiksel analiz, matematiksel modelleme.
4. Coğrafi bilgi sistemleri, modellemede yaygın olarak kullanılmaktadır çünkü araştırılan bölge ile ilgili veri tabanı toplama (veritabanı yönetim sistemleri) ve bilgi işleme araçları içerir.
5. Modelleme açısından CBS üç bağlantıya ayrılabilir: veri girişi (dijital haritaların derlenmesi ve CBS veritabanlarının oluşturulması, ek veri tabloları), eylem (yöntemler, işlemler, algoritmalar), çıktı (sonuçların sunumu, istatistiksel işleme).
6. CBS analizi metodolojik olarak kartografik incelemenin klasik yöntemlerine dayanmaktadır.
7. CBS, kartografik model analizinin aşağıdaki işlemlerini içerir: ölçümler ve hesaplamalar, haritaların topolojik üst üste bindirilmesi, tampon üretimi, yeniden seçim ve elemanların elenmesi, grafik ve öznitelik öğelerinin birleştirilmesi, yüzey modellerin oluşturulması, enterpolasyon, değişim ve zaman serisi analizi, görüş alanı ve panoramik görünüm analizi, ağ analizi vb.
8. CBS - modern kartografyanın "yıldızı" olarak – nesnelere, süreç ve olaylara ilişkin daha derin bir kavrayış olanağı sağladı. Klasik kartografik modelleme, kendine özgü sunum şekli ile farklı ilgi ve eğitim seviyelerine sahip kişiler için kolayca erişilebilir hale gelerek CBS analizi ile sağlanan orijinal işlemler nedeniyle yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Ancak, yeni teknoloji klasik kartografyanın kaynakları ile teması kaybetmemiştir.

5. MEKANSAL ANALİZ TEKNİKLERİ İLE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI İLE RAYLI SİSTEM PLANLAMASI

5.1 Çalışma Alanı, Metodolojisi ve Aşamaları

İstanbul Toplu Taşıma Sistemi, Eylül 2021'de günlük (hafta içi ortalama) 11.243.226 yolcu ağırlamaktadır. Toplu taşımanın hafta içi ortalama günlük yüzde istatistikleri İstanbul Ulaşım ve Hareketlilik Raporu'ndan alınmıştır. Otobüs, minibüs, metrobüs, servis otobüsü ve taksi sistemi gibi lastik tekerlekli araçlarla ulaşım yüzdesi %79, demiryolu taşımacılığı (metro ve hafif metro sistemleri) ile yolculuk yüzdesi %19 ve deniz yolu ile yolculuk yüzdesi %2'dir. İstanbul, 5340 km² yüzölçümü ile Türkiye'nin en kalabalık şehri olup, Avrupa'nın mega şehirlerinden biridir. Çalışma alanı 227.23 km²'dir (Şekil 4.1).

Çalışma bölgesi seçimi yapılırken, sosyo ekonomik statü değerleri, kentsel işlev düzeyi, kent halkının raylı sistem talepleri açısından uygunluğunun en yüksek olması durumu dikkate alınarak oluşturulmuştur. Örnek olarak orman alanlarının kapladığı alansal büyüklüğün fazla olduğu ve kent dışı ilçe/mahalle birimleri dışarıda tutulmuştur.



Şekil 5.1: Çalışma alanının gösterimi.

Çalışma alanı, 4 ilçe (Beylikdüzü, Esenyurt, Avcılar ve Başakşehir) ve 73 ilçeyi kapsamaktadır. Beylikdüzü, Esenyurt, Avcılar ve Başakşehir ilçeleri için nüfus, ortalama gelir, ortalama hane halkı büyüklüğü, ortalama eğitim süresi, sosyo-demografik gösterge puanı, sosyo-ekonomik gösterge puanı ve ortalama sosyo-ekonomik durum puanı değerleri Çizelge 5.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1: Çalışma alanı nüfus, sosyo-ekonomik ve sosyo-demografik karakteristikleri.

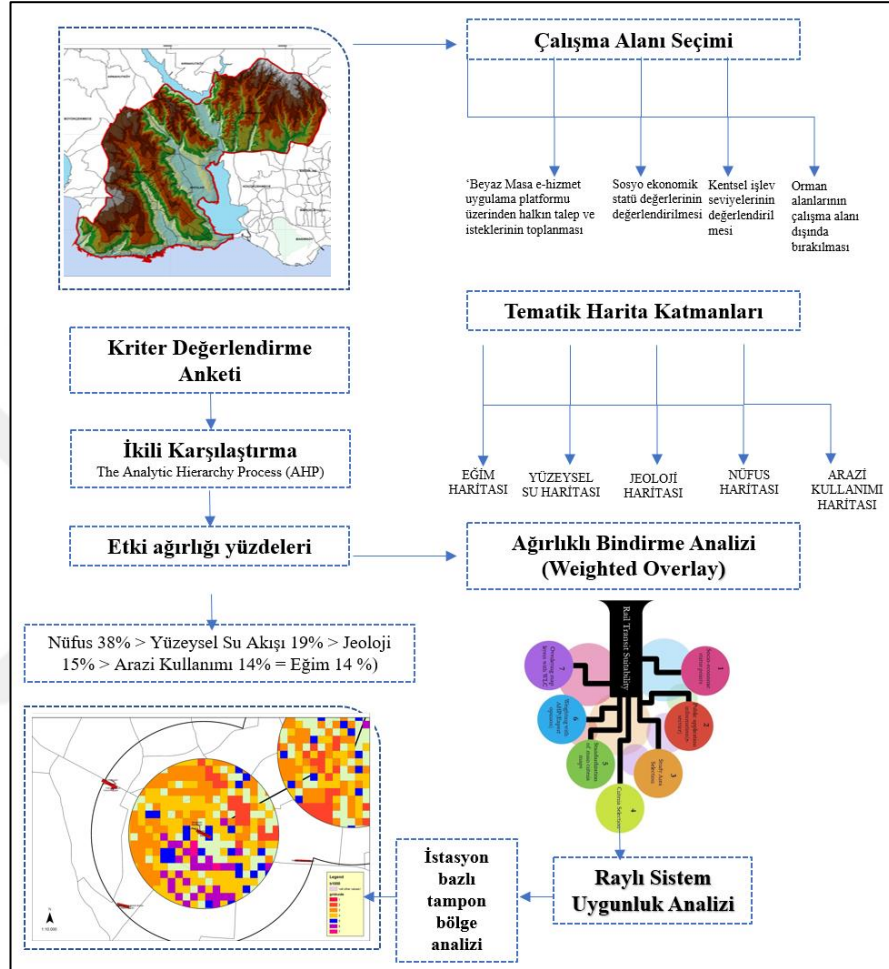
İlçe Adı	Nüfus (2019)	Ortalama Gelir (\$)	Ortalama Hanehalkı Büyüklüğü	Ortalama Eğitim Süresi (yıl)	Sosyo- Demografik statü puanı	Sosyo- ekonomik statü puanı	Ortalama Sosyo- ekonomik statü puanı
BEYLİKDÜZÜ	352412	401,34	3,48	9,87	47,02	46,1	54,74
ESENYURT	954579	344,53	3,26	7,71	51,86	52,58	46,49
AVCILAR	448882	295,21	3,78	8,56	49,4	53,39	47,52
BAŞAKŞEHİR	460259	424,69	3,51	9,22	48,19	47,34	52,13

[^] 1\$=8,36 TL Source: İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin Etüt Müdürlüğü, Sosyal hasar görülebilirlik araştırma raporu (2018) and Türkiye İstatistik Enstitüsü Veri Portalı (2019)

Sosyo Ekonomik Durum verileri 'İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin Etüt Müdürlüğü'ne aittir. İstanbul'da Afetlere Karşı Sosyal Hasar Görebilirliği Anlamak Anket Sonuçları, 2018. İstanbul Büyükşehir Bölgesi için sosyo ekonomik puanlar, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Açık Veri Portalı'ndan Excel formatında indirilebilir.

Bu çalışma bölgesi, artan 'verimlilik', 'rekabet gücü' ve 'ekonomik büyüme' açısından mevcut darboğazları çözmek için seçilmiştir. Ayrıca çevresel ve sosyal etkileri de kapsamaktadır. Örneğin ormanlık alanlar, taşkın yatakları çevresel açıdan hariç tutulmuştur. Sosyal etkiler açısından, sosyo-ekonomik durum değerlerine göre önceliğe sahiptir. Seçilen çalışma alanı, kalite odaklı, uzun vadeli ve daha dengeli planlama yaklaşımı gibi potansiyel olarak çelişen birkaç hedefi birleştirir. Çalışmamızda ilk aşamada bu hususlar dikkate alınarak çalışma alanı seçimi yapılmıştır.

Bu bölümde, yeni bir 'Kentsel Raylı Geçiş Uygunluğu' çerçevesi kullanarak raylı toplu taşıma sistemi planlama sorunu için en iyi çözümü bulmaya yönelik araştırma yöntemi özetlenmektedir. Bu çerçeve, ilgili seçim kriterlerinin toplanmasını mekansal olarak ayırt edici bir şekilde gerçekleştirir. Adım adım benimsenen metodolojinin akış şeması Şekil 5.2'de sunulmaktadır.



Şekil 5.2 : Çalışma metodolojisi.

5.2 Uzman Görüşleri İçin Anket Çalışmasının Gerçekleştirilmesi

Anket formu uzmanların (Raylı sistemler mühendisliği alanında uzman) görüşlerini almak için tasarlanmış ve doldurulmuştur. Uzmanlardan, iki kriterin göreceli derecesini vermek için her bir kriterin önemini dokuz noktalı bir Saaty ölçeğinde değerlendirmeleri istenmiştir. Raylı sistem hattının/istasyon alanının optimal konumu için hangi kriterin daha önemli olduğunu belirtmeleri istenmiştir. Ayrıca anket formu 4 bölüme ayrılmıştır. Birinci bölüm beş ana kriter ikili karşılaştırma matrisinden oluşmaktadır (A-Arazi topolojisi, eğim (%) B- Arazi jeolojisi, litolojik oluşum C- Yüzeysel Su Akışı Yoğunluğu D-Nüfus Yoğunluğu E-Arazi kullanımı).

Bölüm 2, yedi ana kriter ve alt kriterler ikili karşılaştırma matrisinden oluşur:

A-Hat Uzunluğu ve İstasyon Sayısı (A1-Hattın uzunluğu ve hattın hizmet ettiği alansal büyüklük, A2-İstasyon sayısı ve istasyonlar arası mesafe A3-Diğer raylı sistemler ile yaklaşma durumu, mesafesi)

B-Sosyo-Ekonomik Durum (B1-Hattın geçtiği zon/mahalle nüfusunun büyüklüğü B2-Hattın hizmet edeceği halkın gelir düzeyi B3-Hattın hizmet edeceği halkın eğitim durumu B4- Ev-iş, ev-okul yolculukları kapsamında mevcut ve gelecekteki talebin karşılanabilirliği)

C-Arazi Kullanımı (C1- Hattın sanayi bölgelerine olan yakınlığı C2- Hattın eğitim kurumlarına olan yakınlığı, etki mesafesindeki kurum sayısı ve kapladığı alan(m2) C3- Hattın sağlık kurumlarına olan yakınlığı, etki mesafesindeki kurum sayısı ve kapladığı alan (m2))

D-Çevre (D1-Hattın yapılması ile çevreye olacak etkinin düzeyi (tarım ve orman alanlarının etkilenmesi bakımından), D2- Hattın yapılması ile çevreye olacak etkinin düzeyi (sit alanlarının etkilenmesi bakımından), D3- Hattın taşkın risk bölgelerine olan yakınlığı, D4- Hattın dere akslarına olan yakınlığı, D5- Hattın havza sınırlarına olan mesafesi)

E-Ulaştırma Altyapısı (E1-Hattın havalimanlarına olan yakınlığı, E2- Hattın otogarlara olan yakınlığı, E3- Hattın hızlı tren proje güzergahlarına olan yakınlığı)

F-Ekonomi (F1- Hattın jeolojik durumu, litolojik tür açısından uygunluk durumu, F2- Hattın geçtiği güzergahın eğim durumu, F3- Hattın kamulaştırma açısından uygun arazilerden geçmesi durumu, F4- Hattın inşaat yapım tekniği)

G-Entegrasyon ve Erişilebilirlik (G1- Hattın transfer merkezlerine olan yakınlığı, G2- İstasyon noktası veya noktalarında park et-devam et uygulamasının yapılabilirliği, G3- Seyahat süresini kısaltma, G4- İstasyon noktasına yürüme mesafesi, G5- İstasyonlardaki bilet fiyat farkı uygulamaları (kentiçi yüksek, uzaklaştıkça düşen ölçekte), G6- Hattın mevcut hatlar ve gelecekteki raylı sistem projeleriyle entegre olabilme özelliği, G7- Hattın iskelelere olan mesafesi, deniz ulaşımı ile olan entegrasyonu)

3. Bölümde Uzmanlardan ana ve alt kriterler ve dikkate alınmayan kriterlerde eksiklikler varsa görüşleri sorulmuştur. Ayrıca ‘Raylı Sistem Güzergahı/İstasyon Yeri

Seçimi' için değerlendirmeye alınması gereken kriter/kriterler konusunda herhangi bir önerileri olup olmadığı sorulmuştur. Katılımcılar, herhangi bir öneride veya katkıda bulunulmamıştır.

Uzmanlara, hükümet altyapı projeleri için 'Yatırım Programı' hazırlarken, çok kriterli tekniklerin kullanılmasına ilişkin herhangi bir düzenleme olup olmadığı veya gelecekteki projeler için proje değerlendirme sürecinde bu tür teknikleri uygulayacak pilot projeler olup olmadığı sorulmuştur. Devlet kurumu yöneticileriyle yapılan anketlere göre, MCDA tekniklerinin Türkiye'deki kurumlarda planlama mekanizmasının bir parçası olmaya başlamadığını belirtilmiştir.

4. Bölümde, Kent halkının büyük ölçekli altyapı yatırımlarına karar vermede katılım sürecine dahil olmasının planlanması ve uygulanarak sonuçlarının değerlendirilmesi konusunda geçmişte uygulanan, devam eden veya planlanan bir proje olup olmadığı konusunda kurumlardan bilgi istenmiştir. Resmi kurumlara anket formları resmi yazıyla gönderilmiştir. Gönderilen kurumlar; TÜİK Yöntem Araştırmaları Daire Başkanlığı (TÜİK Yöntem Araştırmaları Daire Başkanlığı, Veri Analiz Teknikleri Grup Başkanlığı), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mekansal Planlama Genel Md (Mekansal Stratejiler ve Çevre Düzeni Planları Dairesi Başkanlığı, Yer Bilimsel Etüt Dairesi Başkanlığı, Harita ve Emlak Dairesi Başkanlığı), T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı Sektörler ve Kamu Yatırımları Genel Müdürlüğü (Yatırım Programlama İzleme ve Değerlendirme Dairesi, Ulaştırma ve Lojistik Dairesi, Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Dairesi), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Stratejik Çevresel Değerlendirme Şube Müdürlüğü, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Stratejik Araştırmalar ve Verimlilik Genel Md. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Araştırma Dairesi Başkanlığı, Kentiçi Raylı Sistemler Yapım Dairesi Başkanlığı, Plan Proje Dairesi Başkanlığı, TCDD Taşımacılık A.Ş.Genel Müdürlüğü, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı (Stratejik Planlama Şube Md, Yatırım ve Sabit Tesisler Şube Md), Maden Tetkik ve Arama Genel Md (Fizibilite Etütleri Dairesi Bşk, Jeoloji Etütleri Dairesi Bşk). Ulaştırma Bakanlığı dışında, Liste olarak sıralanan hiçbir kurumdan anket formuna cevap gönderilmemiştir.

Devlet kurumlarına bilimsel çalışma kapsamında gönderilen anket formlarına dönüş yapılmaması bilimsel araştırmalara olan desteğin zayıf olduğunun bir göstergesidir. Bu durum, aynı zamanda anket formunu cevaplayacak nitelikli personel

bulunmadığını göstermektedir. Devlet kurumlarının bilimsel faaliyetleri destek ve teşvik hususunda geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

5.3 Anket Sonuçlarından Kriter Ağırlıklarının Elde Edilmesi

Akademik personel, üst düzey kamu yöneticisi ve uzmanlardan oluşan karar vericilerin kriterlere verdikleri ağırlıkların toplulaştırılması ile, farklı uzmanlıklardan edindikleri bilgi birikiminden yararlanılarak 5 farklı kriter için ağırlıkları elde edilmiştir.

Kriter ağırlıklarını tahmin etmek için AHP (Analitik hiyerarşi süreci) uygulanmıştır. Bu bağlamda Broniewicz ve Ogrodnik (2020), ilgili karar verme konularını taşımak için MCDM yöntemlerinin kullanımı için en sık AHP yönteminin kullanıldığını belirtmiştir. Bir sonraki adımda AHP ile beş ana kriter arasındaki ilişki test edilmiştir. 5 ana kriter arasında ikili karşılaştırma, karşılaştırmalı yargı toplamak için bir anket yapılmıştır. Uzmanların tasarlanan anketi doldurması için örneklem büyüklüğü 10 olarak seçilmiştir. Yanıtlayanların sonuçları alındıktan sonra, AHP Excel Şablonu kullanılarak kriterler düzenlenerek ortalaması alınmıştır. Tüm karar matrisleri, tutarlılık oranı kullanılarak tutarlılık testi için kontrol edilir. 2 adet anket formu oranlar uygun olmadığı için elenmiştir. AHP sonuçlarına göre, Ağırlıklar, Nüfus Yoğunluğu %38 > Yüzeysel Su Akışı %19 > Jeoloji %15 > Arazi Kullanımı %14 = Eğim %14 şeklinde sıralanmıştır.

Karar vermede, seçeneklerin değerlendirilmesinde birden fazla kriterin olması ve bu kriterlerin verilecek karara etkilerinin birbirinden farklı ağırlıklarda olması durumunda, analitik hiyerarşi süreci ile karar seçeneklerinin ikili karşılaştırmaları yapılarak seçeneklerin sıralamasını yapmak mümkündür. Bu yöntem, karar vericiye kendi karar verme sınırlarını boyutlandırabilme imkânı sağlamaktadır. Kriterlerin belirlenmesi aşamasında karar vericilerin deneyim ve uzmanlıkları önemli rol oynar (Can, 2012).

AHP, karar vericilere olası en iyi sonuca ulaşmada problemleri yapılandırabilecekleri ve problemle ilgili hedef ve alternatifleri değerlendirebilecekleri bir çerçeve çizmektedir. AHP doğrusal cebir ve grafik teorisi üzerine kurulmuştur. AHP üç prensibi temel almaktadır. Bunlardan ilki, hiyerarşi oluşturulma prensibidir. Nesneler, düşünceler arasında ilişkiler ortaya konulmaktadır. İkinci yaklaşım önceliklendirme prensibidir. Kriterlerin birbirine göre öncelikleri ortaya konulmaktadır. Üçüncü yaklaşım ise tutarlılıktır. Buradaki amaç karşılaştırmalarda tutumlu bir ilişki

kurabilmektir. Yöntemin Adımları ise; 1. Amacı etkileyen faktörler ve alt faktörler belirlenir ve problem tanımlanmış olur. 2. Karar problemi hiyerarşik bir yapıda tanımlanır. Hiyerarşik yapıya bakıldığında alt seviyelere inildikçe kriterler ve alt kriterler yer almaktadır (Can, 2012).

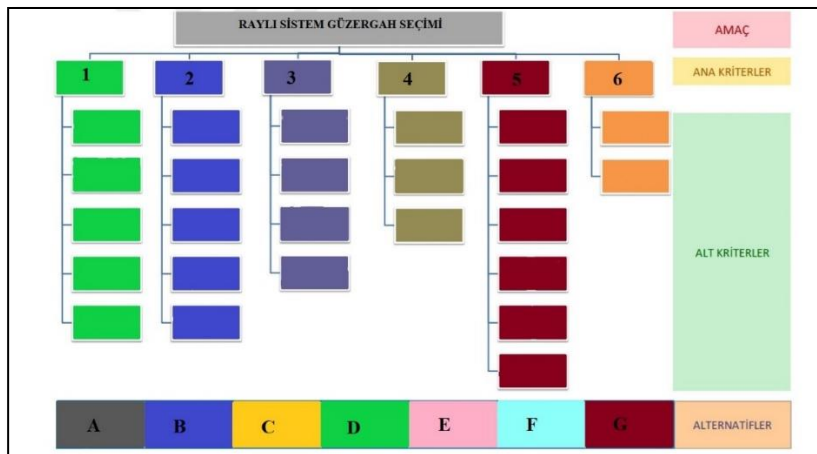
Dördüncü (2018) transit merkezlerin çok kriterli karar destek sistemi ile performans değerlemesi adlı çalışması ile İstanbul 3. Havalimanı örneği ile yer seçim problemi analiz edilmiştir. AHP, TOPSIS ve ELECTRE karar verme yöntemleri ile analizler yapılmıştır. Ana ve alt kriterler belirlendikten sonra kriter ağırlıklarının belirlenmesi için bulanık AHP yöntemi kullanılarak 5 ana kriterin ağırlıkları belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları sırası ile Ekonomi (0,259) ve Çevre (0,225) diğer ana kriterlere göre daha önemli olduğu, Demografi (0,177) ve Altyapı (0,191) ana kriterlerinin diğer ana kriterlere göre daha az önemli olduğu tespit edilmiştir.

Duleba (2018) tarafından kamu tercihlerini dikkate alarak toplu taşımanın geliştirilmesi kapsamındaki karar verme problemi için, AHP ve ISM (Yorumlayıcı Yapısal Modelleme) metodları birleştirilerek Şekil 5.3'de gösterilen sistem elemanları ile anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Ulaştırma sistemi yönetim stratejileri oluştururken, kullanıcıların tercihlerini göz önünde bulundurmanın öneminin algılanmasıyla birlikte, özel araç kullanımından toplu taşımaya geçişi teşvik edilmesi, ancak yolcuların toplu taşıma gereksinimlerinin karşılanması ile mümkün olabilir. Bu da doğru, yeterli ve uygulanabilir veri toplama ile gerçekleştirilmelidir.



Şekil 5.3: Otobüs ile toplu taşımacılık ihtiyacını karşılama kalitesinin hiyerarşik modeli.

Tez çalışmamız kapsamında ‘Raylı sistem Güzergah Seçimi’ kapsamında belirlenen amaç, ana kriterler, alt kriterler ve alternatiflerin şematik gösterimi Şekil 5.4’te yapılmıştır.



Şekil 5.4 : Amaç-ana kriterler-alt kriterler-alternatifler.

Değerlendirmeye alınan kriterlerin ikili karşılaştırılması neticesinde kullanılacak çok kriterli karar verme yaklaşımı çerçevesinde kriterler için önem seviyesi ve öncelik değeri belirlenecektir.

Kriter değerlendirmeleri için kullanılacak 1-9 skalasındaki ölçek aşağıdaki Çizelge 5.2'deki gibidir.

Çizelge 5.2 : Değerlendirme ölçeği.

Önem Derecesi	Tanımı	Açıklaması
1	Eşit Önemli	Her iki kriter de amaca eşit katkıda bulunur
3	Orta Önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir kriter diğerine göre daha fazla tercih edilir
5	Güçlü Önemde	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir kriter diğerine göre çok daha fazla tercih edilir
7	Çok Güçlü Önemde	Bir kriter diğerine göre çok güçlü bir şekilde tercih edilir. Uygulamada üstünlüğü ispat edilmiştir.
9	Son Derece Önemli	Bir kriter diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2,4,6,8	Yukarıdaki değerler arasında ara değerler	İki yargı arasında kalındığında, sayısal değerlerin ortasındaki ara değerler verilir.

Kriter karşılaştırmaları yapılırken örnek olması açısından, ölçek üzerinde işaretlemelerin nasıl yapılacağına ilişkin açıklama EK A Anket Formu 'Kriter Değerlendirme Anketi'nin giriş bölümünde yer almaktadır.

AHP şablon excel dosyası üzerinde anket verileri sisteme girilerek ağırlık yüzdeleri ve tutarlılık oranı elde edilmiştir. Her bir anket yapılan uzman için ayrı çalışma dosyalarında hesap yapıldıktan sonra, tüm sonuçlar tek bir dosyada toplulaştırılarak her bir kriter satırının geometrik ortalamaları alınmıştır. Elde edilen değerler normalize edilerek ağırlık yüzdeleri elde edilmiştir.

Örnek olarak aşağıdaki Şekil 5.5'de verisi girilen ikili karşılaştırma matrisi ve çıkan sonuçlar gösterilmektedir. Arazi kullanımı kriterinin etki ağırlığı % 3,3, Yüzeysel akış kriterinin etki ağırlığı % 42,1, Jeoloji kriterinin etki ağırlığı % 23,1, Eğitim kriterinin etki ağırlığı % 25,3, Nüfus kriterinin etki ağırlığı % 6,1 olarak elde edilmiştir. Tutarlılık oranı ise % 4 olarak çıkararak tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler deneme amaçlı girilen değerlerdir.

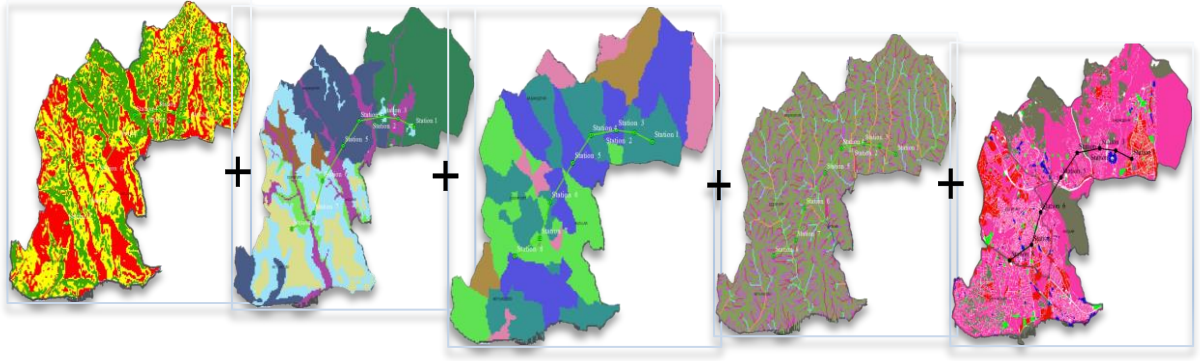


Tutarsızlık (inconsistency) oranının ‘0’ olması karar vericinin yargılarında tümüyle tutarlı olduğunu göstermektedir. Bu oranın % 10 ve daha aşağı olması genellikle kabul edilebilir bulunmaktadır. Ancak AHP teorisi mükemmel bir tutarlılık talep etmediği için bu durumlarda % 10’dan daha yüksek tutarsızlık oranları kabul edilebilir (Ünal, 2012).

5.4 Mekansal Analiz Teknikleri İle Tematik Haritaların Oluşturulması

Bu tez kapsamında Coğrafi bilgi sistemleri destekli çok kriterli karar verme metodunu kullanarak Şekil 5.6’da gösterilen 5 ana kriter için (Eğim, Jeoloji, Nüfus, Yüzeysel Su akışı, Arazi kullanımı) veri setleri ve tematik haritalar oluşturulmuştur.

Nüfus, arazi kullanımı, yüzeysel su akışı, jeoloji ve topografik durumu kapsayan mekansal özellik verilerini planlamak, yönetmek ve kullanmak için çalışma alanı için bir veri tabanı oluşturulmuştur. Mekansal analiz, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin daha ilginç ve dikkate değer yönlerinden biridir. Uzamsal analizi kullanarak, birçok bağımsız kaynaktan gelen bilgileri birleştirebilir ve geniş, zengin ve gelişmiş bir uzamsal operatörler kümesi uygulayarak yeni bir bilgi kümesi (sonuçlar) elde edebilir. Bu uzamsal işlemlerin tümü, coğrafi işleme araçları paketinin bir parçasıdır.

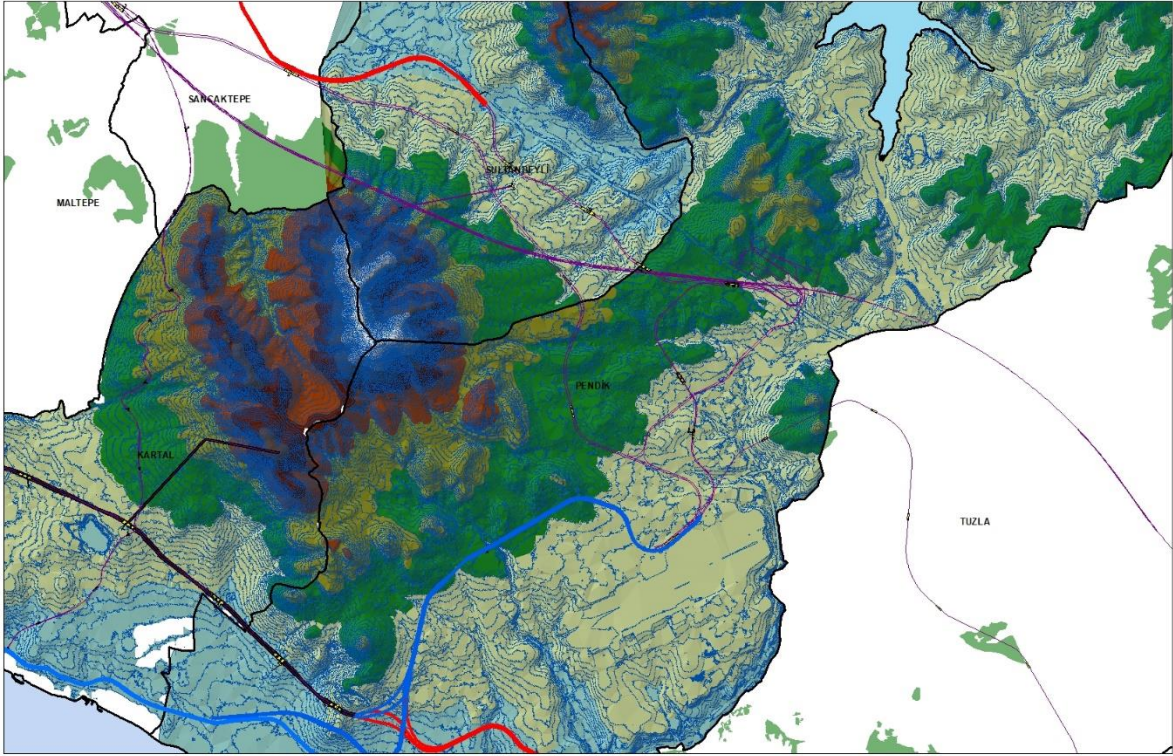


Şekil 5.6 : Raylı sistem güzergah seçim parametreleri.

5.4.1 Eğim kriteri

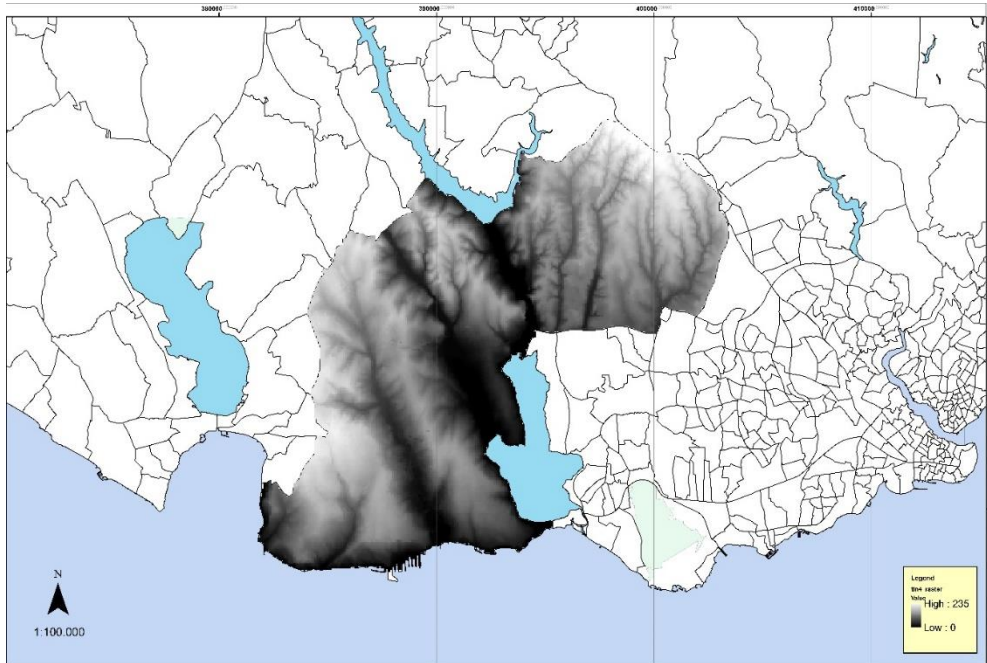
Eğim verisinin elde edilebilmesi için temel veri tabanı eş yükselti verileridir. Topoğrafik haritalar üzerindeki eş yükselti eğrileri sayısallaştırılarak Sayısal Yükseklik Modeli üretimi için gerekli veriler elde edilmiştir. Birinci aşama olarak eş yükselti eğrilerinden TIN verisi oluşturulmuştur. TIN modeli oluşturmak için, ArcMap 10.8 programında, Arc Toolbox—3D Analyst---Data Management---TIN----Create TIN işlemi gerçekleştirilmiştir.

Sayısal Yükseklik Modeli; ABD Jeolojik Ölçmeler Dairesi (USGS) tarafından; “arazinin yükseklik bilgisinin, kullanılan ortak bir düşey datumda X ve Y yönündeki düzenli aralıklarla sayısal gösterimi” olarak tanımlanmıştır. Sayısal Yükseklik Modeli verileri farklı formlarda modellenebilir. Bu yapılar TIN yani düzensiz üçgen ağı, grid yapı ya da yükseklik eğrisi ile temsil edilebilirler. Şekil 5.7’de TIN (Triangulated Irregular Network) verisinin gösterimi verilmiştir. Arazinin temsil edilmesinde TIN yapı oldukça sık kullanılmaktadır. Günümüzde Sayısal yükseklik modeli her bilim alanında analiz ve görselleştirme amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır ve bu ihtiyaç çerçevesinde gelişimini sürdürmektedir. Bu bölümde, eğim haritalarının yapımında kullanılmıştır.



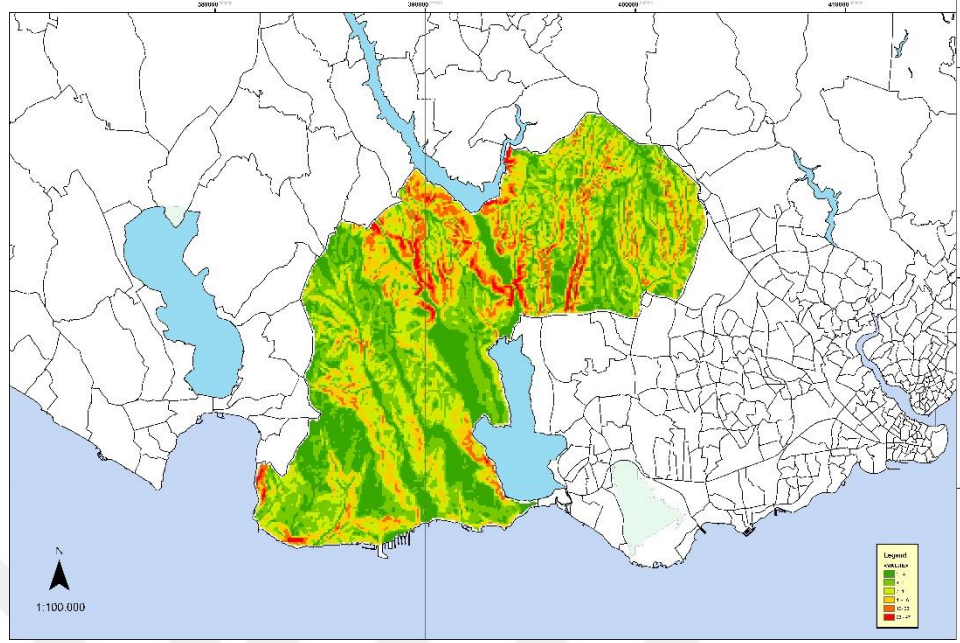
Şekil 5.7: TIN (Triangulated irregular network) verisi.

2. aşamada ise TIN verilerinden Raster veri elde edilmiştir. ArcMap 10.8 programında, Arc Toolbox—3D Analyst---Conversion—From TIN—TIN to Raster işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.8’de gösterilen raster harita gri kodlanmış sayısal yükseklik modeli olarak tanımlanabilir.



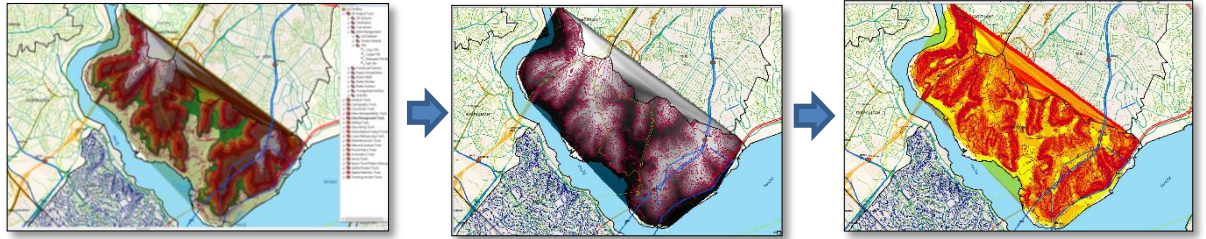
Şekil 5.8 : TIN’den raster harita üretilmesi.

3. aşamada ise Raster veriden Eğim verisi elde edilmiştir (Şekil 5.9) .



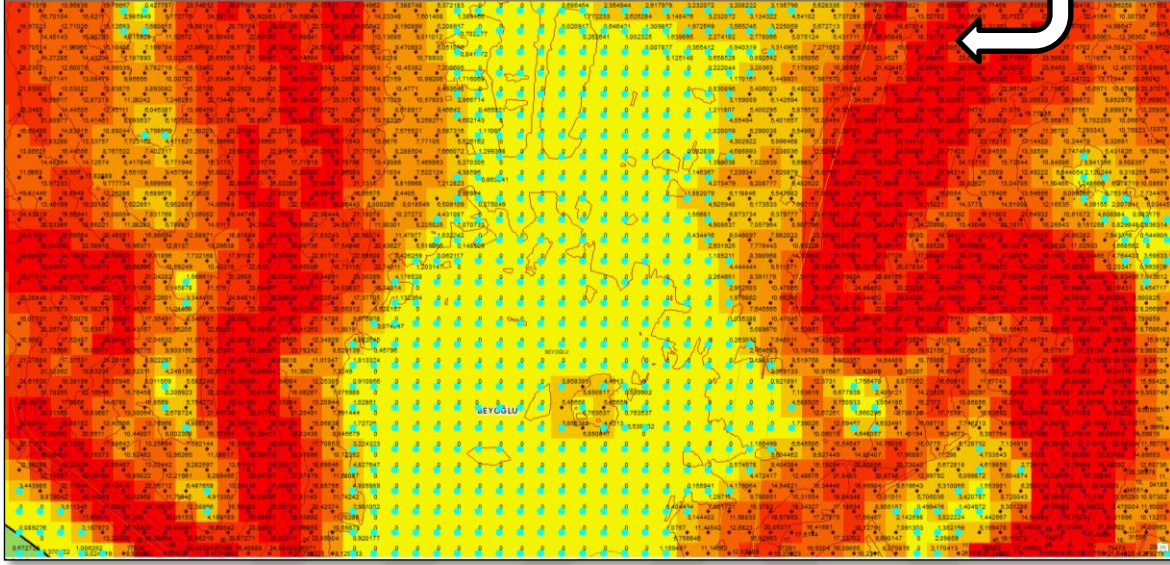
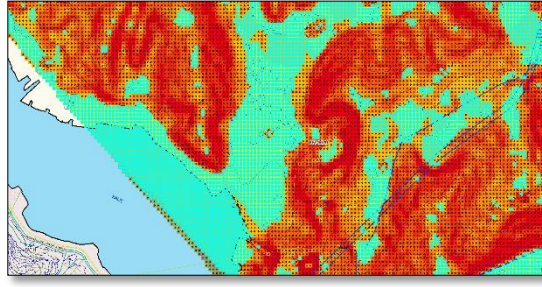
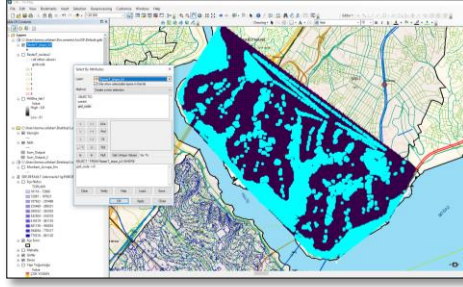
Şekil 5.9: Raster’den eğim haritası üretilmesi.

Çalışma kapsamında, noktasal şekil dosyası veritabanı yerine raster tabanlı veriler temel alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Çalışma alanında oluşturulan tüm veriler, öncelikle test amaçlı olarak, Beyoğlu ilçesi üzerinde tüm kriterler bazında elde edilerek hazırlanmıştır. Şekil 5.10’da eğim kriterine ait veri tabanı hazırlanırken üretilen haritalar gösterilmektedir.

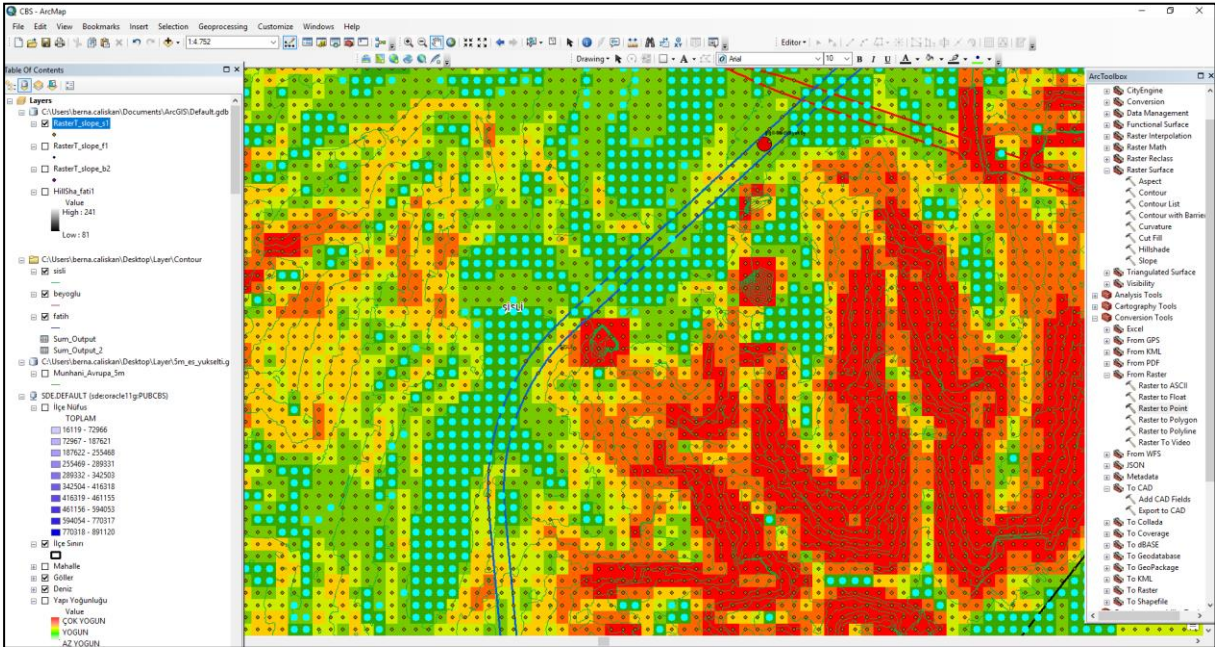


Şekil 5.10 : Beyoğlu İlçesi eğim verisinin elde edilmesi.

Eğim verilerinin noktasal bazlı veri şeklinde üretmek amacıyla, Arc Toolbox—Conversion Tools—From Raster—Raster to Point dönüşümü yapılarak Beyoğlu ve Şişli ilçelerinde eğimin düşük ve yüksek olduğu noktalarla ilgili değerlendirme ve gözlemler yapılmıştır. Şekil 5.11’de Beyoğlu ilçesi için eğim değeri 5 ve 5’in altında olan değerlerin seçimi gösterilirken, Şekil 5.12 de ise, Şişli ilçesi için eğim değeri 5 ve 5’in altında olan değerlerin seçimi gösterilmektedir.



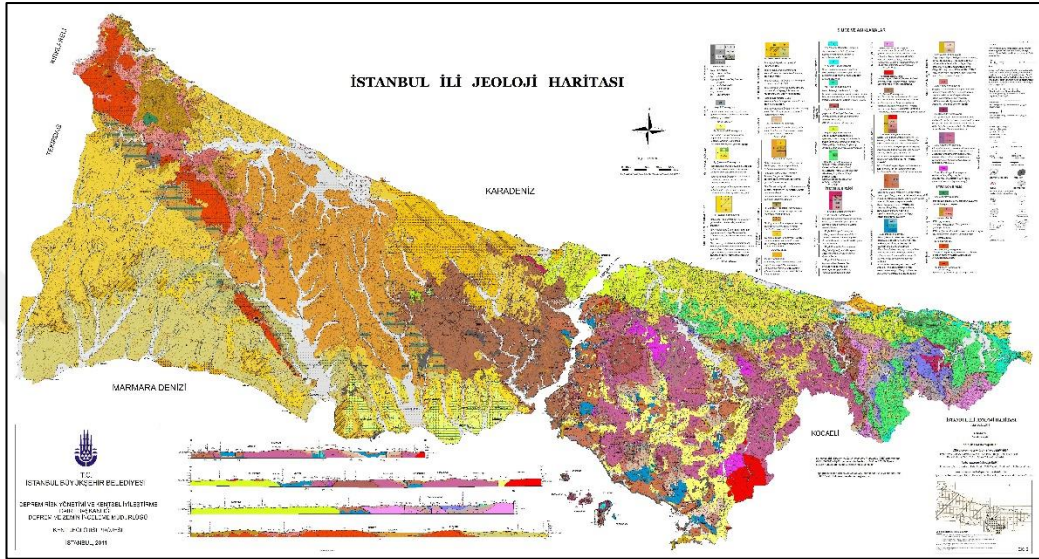
Şekil 5.11 : Grid_code<=5 olanlar seçimi yapılan eğim değerleri.



Şekil 5.12 : Şişli İlçesi için eğim değerleri (grid_code<=5 olanlar seçildiğinde).

5.4.2 Jeoloji kriteri

İstanbul Jeoloji Haritası (1/100 000) jpeg formatındaki veri (Şekil 5.13) , Deprem ve Jeoteknik Etüt Müdürlüğü'nden alınarak georeferencing (coğrafi referanslandırma) yöntemi ile koordinatlandırılmıştır. Coğrafi referanslandırma, Uydu görüntülerini ya da raster verileri, yer kontrol noktaları yardımıyla seçilen koordinat sistemi ve harita projeksiyonuna göre doğru konumuna getirme işlemidir.

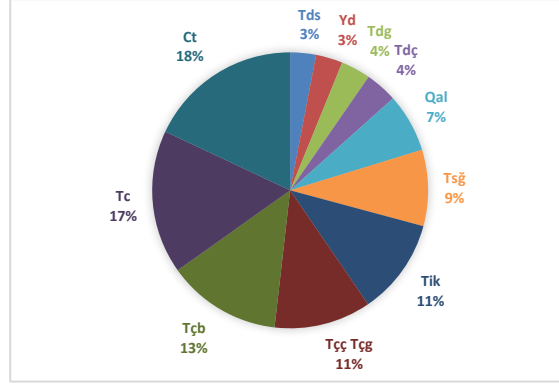


Şekil 5.13: İstanbul jeoloji haritası.

Tez kapsamında seçilen çalışma alanına ait jeolojik veriler aşağıdaki Çizelge 453.'de gösterilerek, çalışma alanındaki jeolojik formasyon dağılımı hesaplanarak Şekil 5.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 : Çalışma bölgesine ait jeolojik veriler.

Jeolojik Formasyon		Alan(m ²)	%
Danişmen formasyonu	Tds	6832064	3
Yapay Dolgu	Yd	7107159	3
Danişmen formasyonu	Tdg	7880015	3
Danişmen formasyonu	Tdç	8500594	4
Alüvyon birikintisi	Qal	15555219	7
Sultanbeyli formasyonu	Tsg	20240295	9
İstanbul formasyonu	Tik	25513887	11
Çekmece formasyonu	Tçç Tçg	25721519	11
Çekmece formasyonu	Tçb	30265632	13
Ceylan formasyonu	Tc	38126950	17
Trakya formasyonu	Ct	40777833	18
		226521167	100



Şekil 5.14 : Çalışma alanı jeolojisi formasyonlarının yüzde dağılımı.

Kırlangıçoğlu (2014)'nın Litolojik Yapıya Uygunluk Faktörü değerlendirmesine göre,

- 1-Alüvyon: Yapılaşmaya uygun değildir ve depreme dayanıklılığı yoktur. Taşıma kapasitesi genellikle çok düşüktür.
- 2-Kuşdili formasyonu: Taşıma gücü zayıf olmakla birlikte tedbir alınarak bina yapılabilir bir zemindir.
- 3-Alüvyon yelpazeleri: Deprem direnci zayıftır. Yüksek ve yoğun yapılar için uygun değildir. Ancak az katlı binalar inşa edilebilir.
- 4-Bakırköy formasyonu: İyi zemin olarak kabul edilir ve yapılaşma için uygundur. Fakat zeminde bölgesel sorunlar olabilir. Problemlı bölgelerde yapı yapılmamalıdır.
- 5-Güngören formasyonu: Depreme karşı dayanıklı değildir. Yapılaşma için uygunsuz bir zemindir. Zemin, 14-15 derecelik bir eğime ulaştığında heyelan meydana gelebilir.
- 6-Çukurçeşme formasyonu: Taşıma kapasitesi iyidir ve bina yapılabilir. Yamaç olan bölgelerde su tutar ve bu yüzden akışkanlık kazanır. Eğimli bölgelerde risk taşımaktadır.
- 7- Gürpınar, Karaburun ve Ceylan formasyonları: Üçü de aynı özellikleri göstermektedir. Depreme dayanıklı değildir.
- 8- Soğucak formasyonu: Sağlam zemin olarak nitelendirilmektedir. Taşıma kapasitesi yüksektir ve depreme dayanıklıdır.
- 9- Hamamdere formasyonu: Soğucak formasyonu ile genel olarak aynı özellikleri gösterir ama taşıma kapasitesi daha düşüktür.

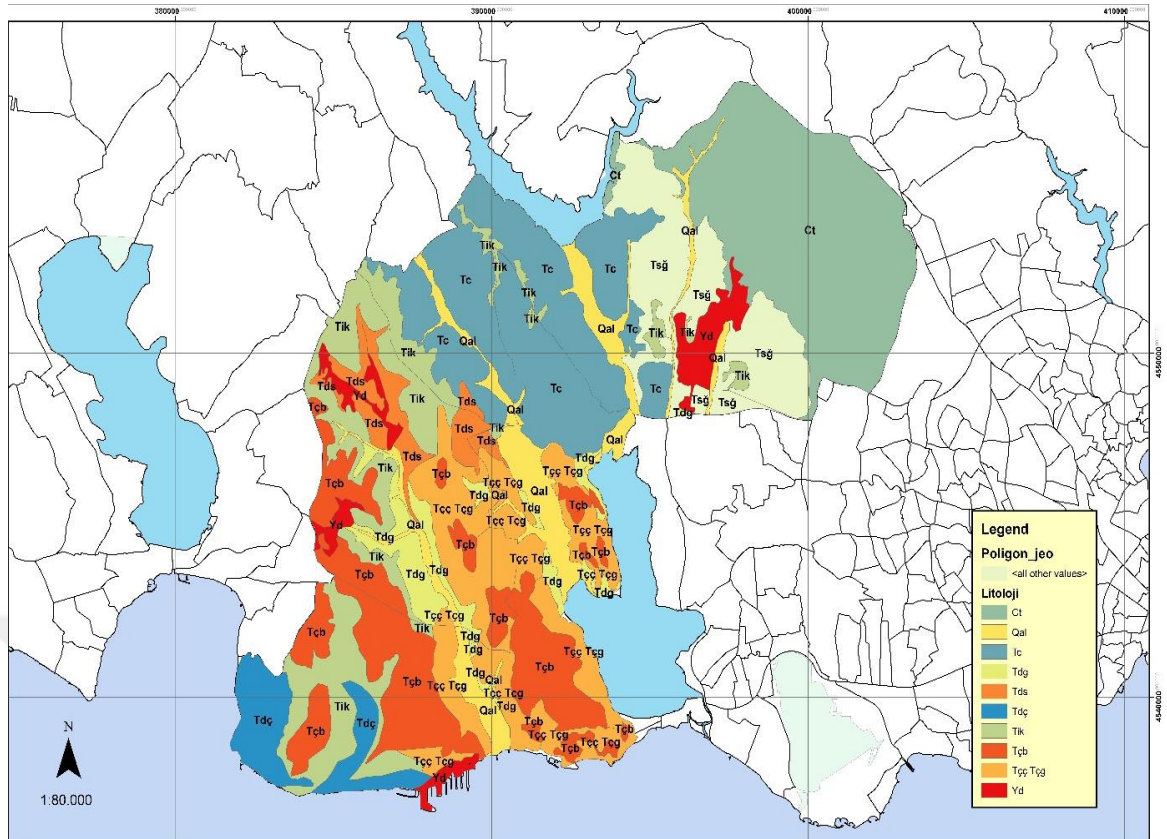
- 10- Sarıyer formasyonu: Volkanik kayalardan oluşmaktadır. Yapılaşmaya uygun ve depreme dayanıklıdır.
- 11- Kutluca, Hereke, Tepecik, Erikli, Kapaklı, Kocatarla formasyonları ve Tavşantepe Kuvarslı diyoriti: Aynı özellikleri göstermektedirler. Taşıma kapasiteleri yüksek olduğu için yapılaşmaya uygundurlar. Depreme dayanıklıdırlar.
- 12- Çavuşbaşı giyandoriti: Magmanın yüzeye çıkmasıyla oluşmuş sağlam bir kayadan oluşmaktadır. Yapılaşmaya uygun ve depreme son derece dayanıklıdır.
- 13- Trakya formasyonu: Genel olarak sağlam bir zemindir. Ama kırılma, çatlama ve faylanma gibi özelliklere sahiptir. Bu nedenle düzlük bölgeleri yapılaşmaya uygun ve depreme dayanıklıyken eğimli bölgelerde çok güvenilir değildir.
- 14- Baltalimanı ve Tuzla formasyonları: Yüksek taşıma kapasitesine sahiptir. Yapılaşmaya uygun ve depreme dayanıklı bir kayadan oluşmaktadır.
- 15- Kartal formasyonu: Trakya formasyonu ile benzer özelliklere sahiptir. Zemin yapılaşmaya uygun ve dayanıklı deprem direncine sahiptir.
- 16- Dolayoba, Gözdağı, Aydos ve Kurtköy formasyonları: Anadolu yakasının önemli bir bölümü bu zemine sahiptir. Taşıma kapasitesi çok yüksektir. Deprem açısından sağlam bir zemindir.

Kırlangıçoğlu (2014)'nın uzmanlarla yaptığı görüşmeler ve incelenen raporlar neticesinde; raylı sistem için uygun olmayan ve bu nedenle en düşük puanlı litolojik yapıların genellikle çakıl, kum ve kil ağırlıklı Kuşdili, Domuzderesi, Kırac vb. formasyonlar ile alüvyon ve dolgu alanlar olduğu belirlenmiştir. En uygun ve en yüksek puanlı litolojik yapılar ise; granit, granodiyorit, kireçtaşı ve kuvarsit ağırlıklı Aydos, Kurtköy, Pınarhisar, Ballıkaya, Demirciler formasyonları ile Sancaktepe graniti ve Çavuşbaşı granodiyoriti olarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda, Litolojik yapıların raylı sistem güzergahı için uygunluk sıralaması da bu çalışma kapsamında incelenerek değerlendirmeye alınmıştır.

İstanbul ili alanının jeolojisi hakkında daha detaylı bilgi alabilmek ve İstanbul ili geneli jeolojik formasyonların detay bilgilerine 2011 yılında hazırlanan İBB Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı , Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, İstanbul Kent Jeoloji projesi raporu 4.bölümünden ulaşılabilir.

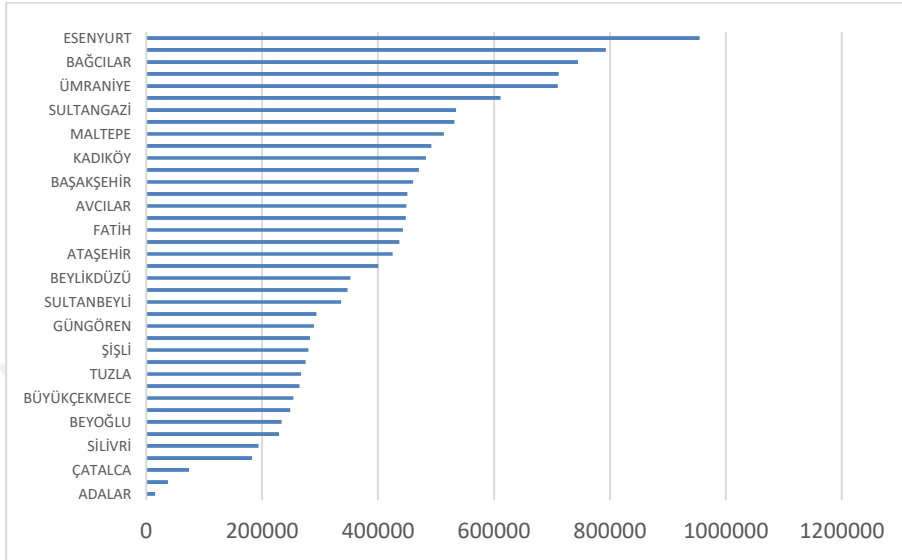
Hepdeniz ve Soyaslan (2019)'ın mermer atık sahası seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) esaslı çok kriterli bir yer seçim çalışması yaparak, Yerleşim birimleri, yollar, akarsular, kuyular, su depoları, mermer ocakları, mermer fabrikaları, eğim, arazi kullanımı ve jeoloji parametreleri kullanılmışlardır. Yer seçim analizi çalışmasında, jeoloji kriteri de hesaba katılarak çalışma alanlarına ait jeolojik birimler ve ağırlık değerleri atanarak uygunluk durumları Uygun değil, Biraz uygun, Orta Uygun, Çok Uygun, En Uygun olarak sınıflandırılmıştır. “Ağırlıklandırılmış doğrusal kombinasyon” (Weighted Linear Combination) yöntemi kullanılarak uygun alanlar tespit edilmiştir. Bu sistem, çoklu kriterler kullanan konularda nihai değerlerin hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Litoloji türleri Qal:1 Yd:1Tdg:2 Tik:4 Tçç Tçg:4 Tds:5 Tc:6 Tdç:6 Ct:7 Tsğ:7 Tçb:8 puan değerleri verilerek jeolojik uygunluk durumları sınıflandırılmıştır. İstanbul Jeoloji Haritası (1/100 000) jpeg formatındaki dosya Deprem ve Jeoteknik Etüt Müdürlüğü'nden koordinat sistemi bilgileri doğru olarak alınmıştır. Tematik jeolojik tarama haritası oluşturmak için, görüntü sınıflandırma teknikleri Arc GIS yazılımı 10.8 kullanılarak 'denetimli' ve 'denetimsiz' sınıflandırmalar olarak test edilmiştir. Girdi veri dosyasının düşük çözünürlüğü ve heterojen alanlar nedeniyle, sınıflandırma doğrulukları litolojik birimlerin ayrıştırılması için yeterli olmamıştır. Bu nedenle Sınır çizgilerinden manuel olarak jeolojik formasyon veri tabanı oluşturma işlemi poligon çizgileri çizilerek oluşturulmuştur. Arc GIS programında ‘geo_poligon’ şekil dosyası oluşturulup düzenlendikten sonra (Şekil 5.15), litolojik formasyon verilerinin tip ve kalite skoru girilmiştir ve ardından poligon veri dosyası Şekil 5.16'deki raster veri formatına dönüştürülmüştür.

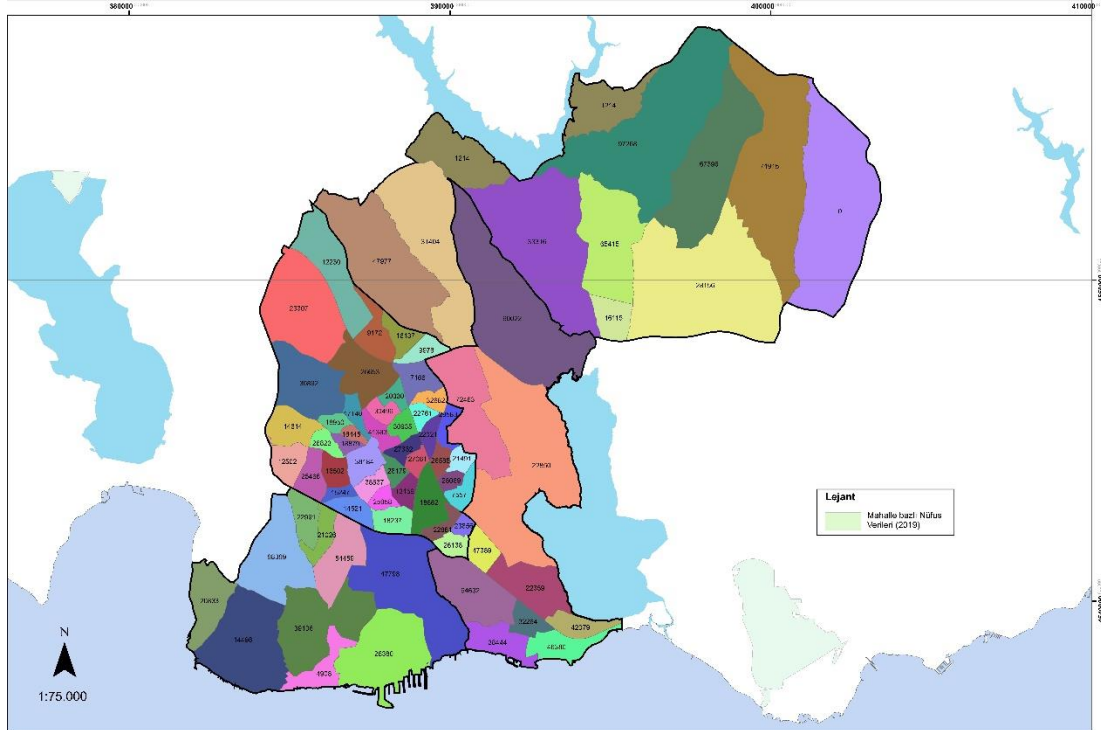


5.4.3 Nüfus kriteri

İstanbul ili nüfus değerleri 2019 yılı, Türkiye İstatistik Kurumu verilerinden elde edilmiştir (Şekil 5.17). Şekil 5.18’de gösterilen 2019 yılı mahalle bazlı nüfus verileri poligon dosyası olarak ArcGIS programında oluşturulmuştur.



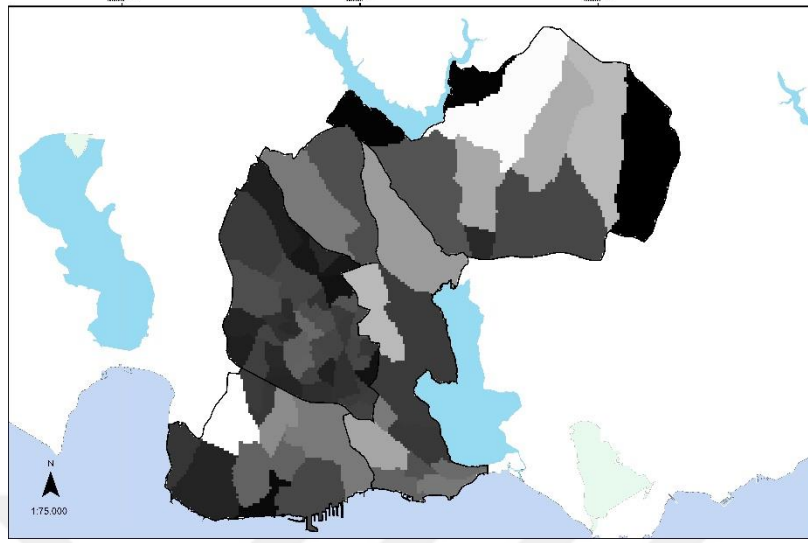
Şekil 5.17 : İstanbul ilçe nüfus değerleri.



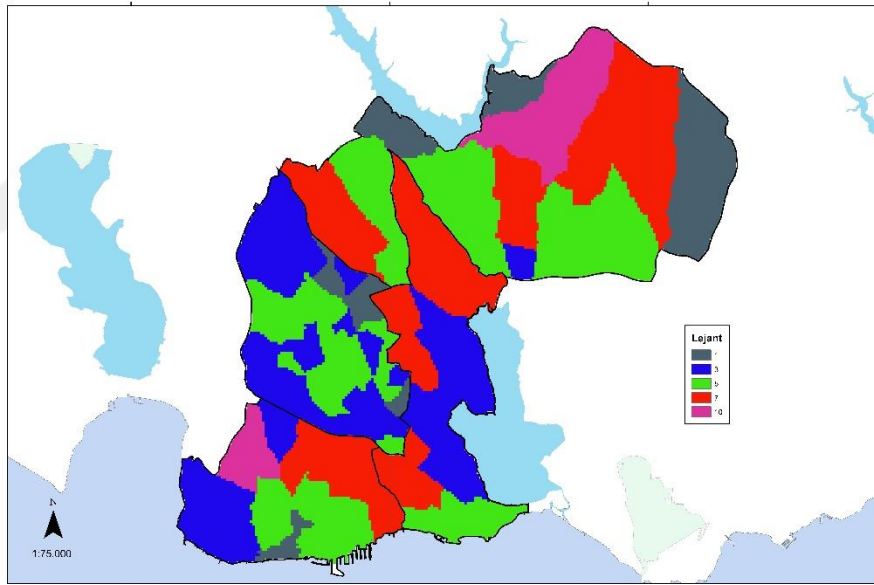
Şekil 5.18 : Çalışma alanına ait nüfus verileri.

Şekil 5.18’de gösterilen poligon verisi raster veri formatına dönüştürüldü. (Arc Toolbox—Conversion Tools—To Raster—Polygon to Raster) (Şekil 4.19) Raster veri

dosyası yeniden sınıflandırma yoluyla kategorilere ayrıldı. (Arc Toolbox—3DAnalyst Tools—RasterReclass—Reclassify) (Şekil 5.20)



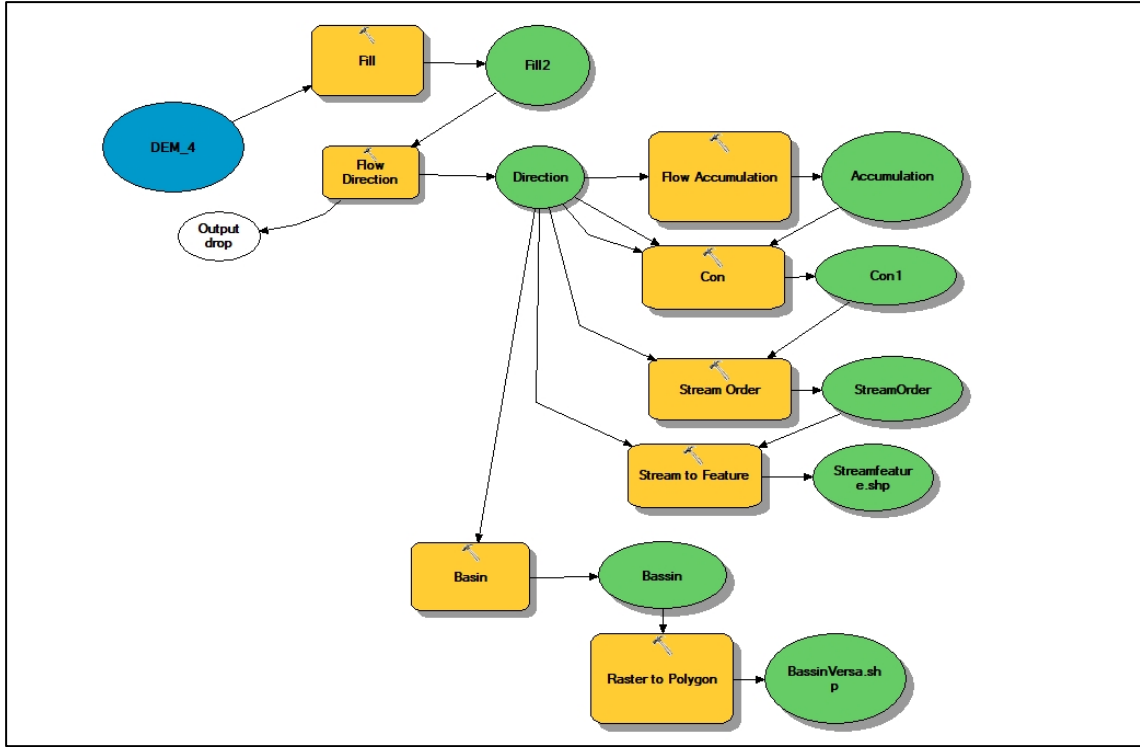
Şekil 5.19 : Raster formatında nüfus verisi.



Şekil 5.20 : Yeniden sınıflandırılan raster formatında nüfus verisi.

5.4.4 Yüzeysel akış kriteri

Çalışma bölgesi için Arc GIS programında Arc Toolbox—3D Analyst---Conversion—From TIN—TIN to Raster ile oluşturulan raster verisi ile "Akış modeli"ne veri girdisi elde edilmiştir. Arc GIS- Arc Hydro araçları kullanılarak, çalışma alanı için havza, akarsu ağlarını içeren coğrafi ve hidrografik verileri içeren coğrafi referanslı bir veri tabanı oluşturulmuştur. Aşağıdaki Şekil 5.21’de akış diyagramı gösterilen model süreci Arc GIS ModelBuilder aracı ile oluşturulmuştur.



Şekil 5.21 : Stream Model Builder akış diyagramı.

✓ Flow Direction=Akış Yönü

ArcGIS programındaki ArcToolbox'ın içindeki Hydrology (Hidroloji) aracının altında bulunmaktadır.

Akış yönü raster haritalara uygulanabilir bir özellik olup eğime göre akış yönlerini belirten raster haritaları oluşturmak için kullanılmıştır.

✓ Flow Accumulation=Akış Birikimi

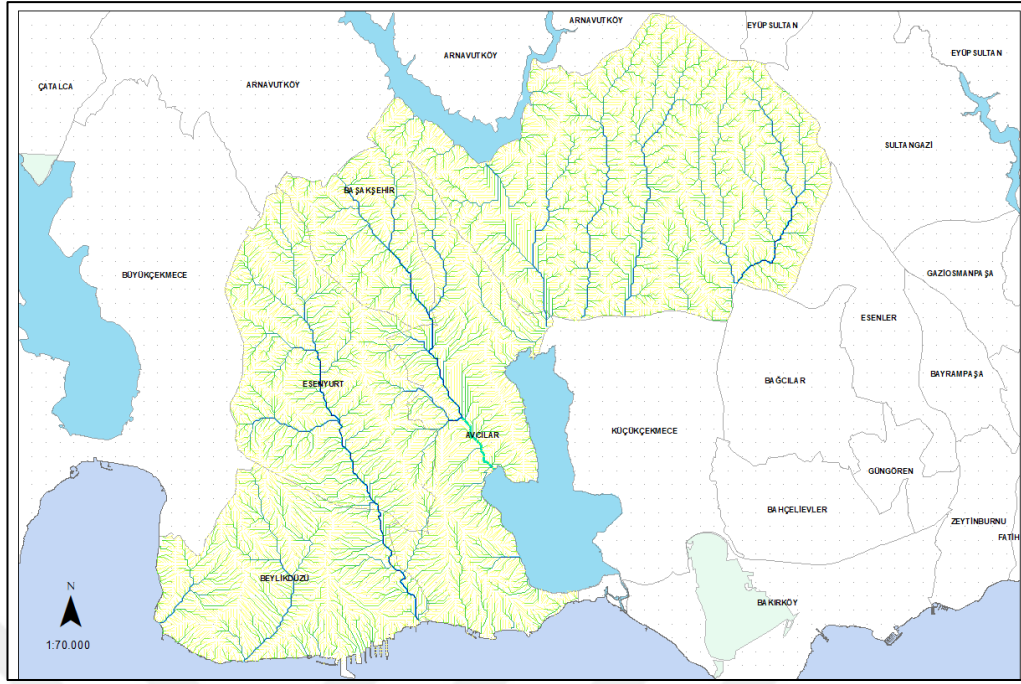
Akış yönü işleminde elde ettiğimiz raster kullanılır. Bu işlem sonucunda akış raster'ındaki birikimlerin hesaplandığı bir raster elde edilir. Bu şekilde nehir yataklarına benzer görüntüler elde edilen haritalar oluşur.

✓ Stream Order=Nehir düzenlemesi

Stream to Feature= Vektör formatında çizgisel bir harita oluşturulur.(Nehir ağı vektör verisi)

Basin = Havza alanını polygon olarak gösteren bölgelerdir.

Şekil 5.22'de çalışma alanı için elde edilen yüzeysel su akışı (stream) veri dosyası gösterilmektedir.



Şekil 5.22 : Çalışma alanı 'Stream' veri dosyasının görünümü.

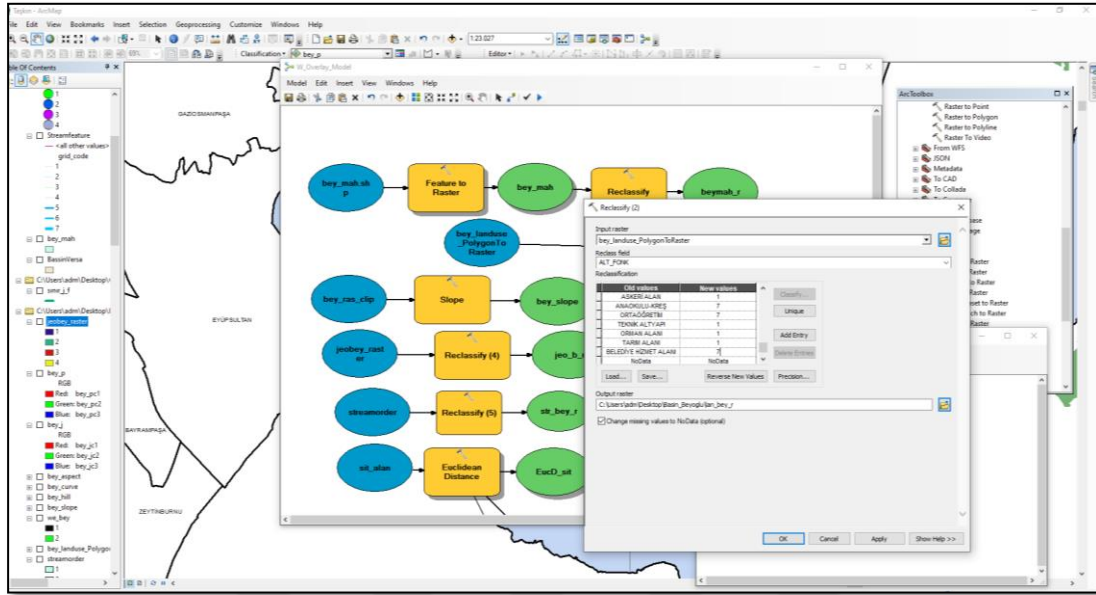
5.4.5 Arazi kullanımı kriteri

Çalışmamızın amaçlarından biri, çalışma bölgesi veya planlanan bölgeye yeni raylı sistem hattı ve istasyonlarının hizmet vereceği 'Birincil arazi kullanım bölgeleri' sağlamaktır. Bu parametre, önerilen aday güzergahı ve istasyonları yüksek yoğunluklu konut alanları, okullar, hastaneler ve ticari arazi kullanım bölgelerinin yoğun olduğu bir alana yerleştirmek için kullanılır. Harita katmanları yeniden sınıflandırılırken tercih edilen yüksek puanlı bölgeler, tarım alanı, askeri bölge gibi diğer bölgeler düşük puanlara sahiptir.

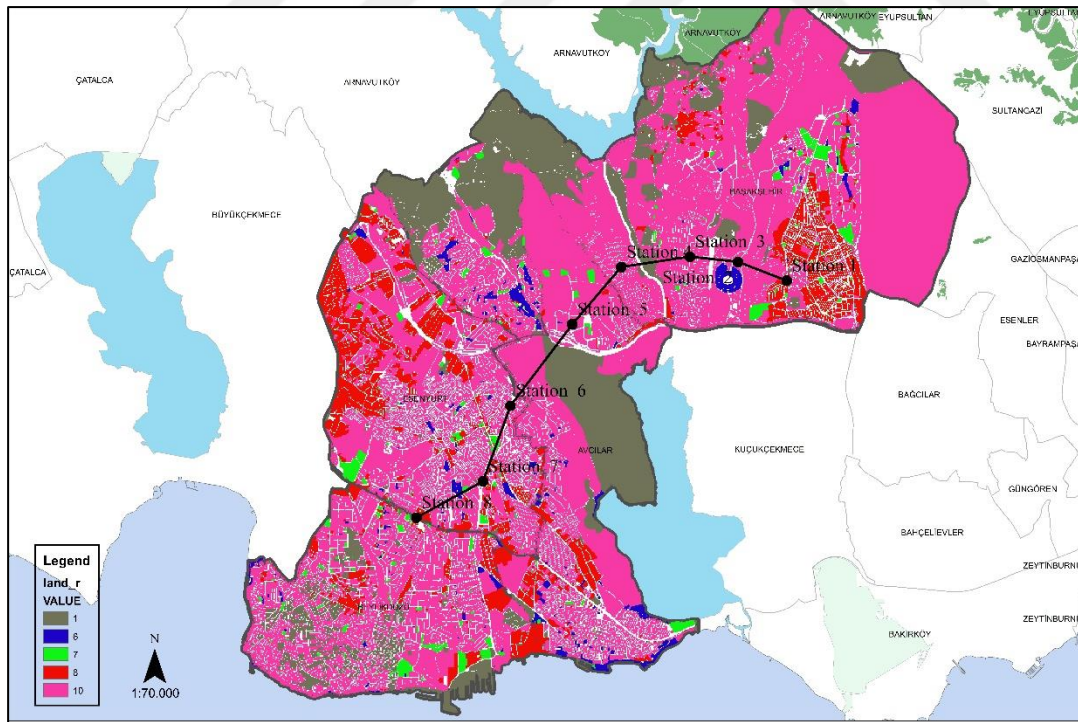
Pacheco-Raguz (2010) 'a göre, ulaşım altyapısındaki değişiklikler, belirli alanların göreceli çekiciliğine dayalı olarak kentsel arazi kullanımında farklılıklara neden olacaktır. Daha erişilebilir olan alanlar, karşılaştırmalı bir üstünlüğe sahip olabileceğinden daha yüksek bir etkileşim potansiyeline sahip olabilir.

Arazi kullanım kriterleri, sosyal etkilerin değerlendirilmesinde demiryolu ulaşım planlamasının önemli bir yönüdür. Örneğin, okullara ve hastanelere erişim düzeyi, dezavantajlı gruplar, engelliler, yayalar, çocuklar ve yaşlılar üzerindeki etkiler. Ahmed (2016) seyahat modellerinin, arazi kullanım gelişiminin, ekonomik, sosyal ve çevresel özelliklerin gelişmekte olan demiryolu ulaşım ağı ile etkileşime girdiğini belirterek bu kriteri desteklemiştir.

Şekil 5.23’de gösterilen model akışı yardımıyla veriler yeniden sınıflandırıldı. (Arc Toolbox—3DAnalyst Tools—RasterReclass—Reclassify) Yeniden sınıflandırılan arazi kullanımı verisi ise Şekil 5.24’de gösterilmektedir.



Şekil 5.23: Arazi kullanımı verisinin yeniden sınıflandırılması (ReClassify).



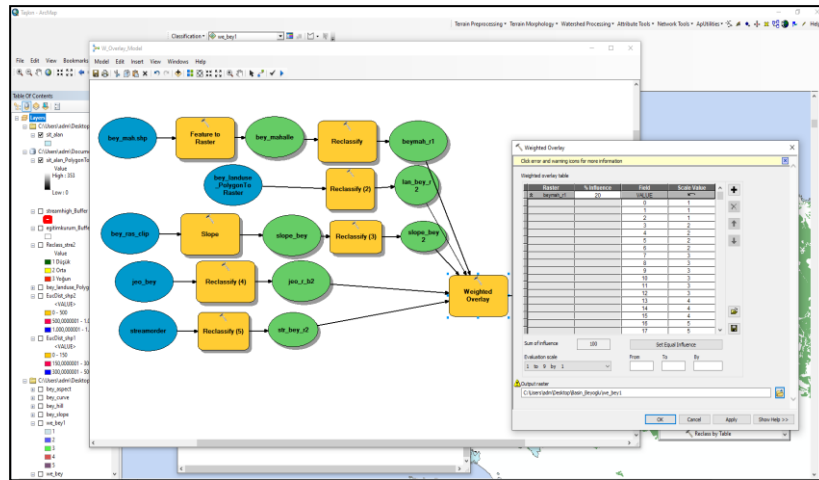
Şekil 5.24 : Yeniden sınıflandırılan arazi kullanımı verisinin görünümü.

5.5 Ağırlıklı Bindirme Analizinin Kullanılması

Yer seçimi problemlerinde ekonomik, çevresel, sosyal, vb. açılardan farklı türde senaryolar üretilebilmektedir. Bu işlemlerin, esnek biçimde değişiklik yapılabilen dinamik bir model ile uygulanması işlem kolaylığı sağlayacak ve ortaya çıkabilecek hatalar minimize edilebilecektir. Modelde karar verilen sınırlandırmaların, sınıflandırmaların ve ağırlıklandırmaların farklılaşması durumunda model içinde düzenleme yapılarak yeniden analiz yapmak mümkündür. Kriterlerin önem seviyeleri farklı olarak hesaplandığında model sayesinde işlem adımları çok aza indirilebilmektedir. Çalışmada kullanılan ArcGIS yazılımı içerisinde bulunan “Model Builder” modülü ile model oluşturulmuştur. Model çalışmada kullanılan verilere göre hazırlanmıştır. Model oluşturulurken kullanılacak ana ve alt kriterlere ait veriler hazırlanmıştır. Aracın çalışmasıyla elde edilen veriler daha önce karar verilen kriter aralıklarına göre yeniden sınıflandırma işlemine girdi olacak şekilde bağlantı kurulmuştur. Yeniden sınıflandırma aracının çalışmasıyla oluşturulan veriler ağırlıklı bindirme (weighted overlay) yöntemiyle çakıştırılmıştır. Bu yöntem, bindirme özelliklerine sahip Arc GIS programı yardımıyla uygulanmıştır. Malczewski (2010), bileşik harita katmanını (çıktı haritası) üretmek için öznitelik harita katmanlarını (giriş haritaları) toplamak için bindirme tekniklerini kullanmıştır.

Al-Hanbali ve diğ. (2011) depolama sahası yerleşimi çalışmalarında, coğrafi bilgi sistemleri, ağırlıklı lineer kombinasyon ve uzaktan algılama tekniklerinin kombinasyonunu kullanmışlardır. Optimum katı atık bertaraf sahalarını seçmek için GIS tabanlı WLC analizi gerçekleştirilmiştir. Kentsel alanlar, tarım arazileri, yüzey akiferleri, fay sistemi, su kuyuları, akarsular ve arazi eğimi kriterleri dikkate alınmıştır. Çalışma alanı uygunluk seviyelerine göre ‘en uygun’, ‘orta derecede uygun’, ‘az uygun’ ve ‘uygun değil’ olarak sınıflandırılmıştır.

Tez kapsamında her bir faktöre ait ağırlık yüzdeleri öncelikle, deneme amaçlı eşit ağırlık verilerek hesaplanmıştır. Daha sonrasında ise, AHP yöntemiyle yapılacak uzman görüşü anketleri yardımıyla ağırlıklar hesaplanarak sonuçlar model yardımıyla yenilenmiştir. Şekil 5.25’de ArcGIS yazılımında hazırlanan model görülmektedir.



Şekil 5.25: Model görüntüsü (Spatial analyst tools-Overlay-Weighted Overlay).

Beş girdi değişkeni için belirlediğimiz kategoriler için atanan uygunluk puanları. (Nüfus, Arazi kullanımı, Eğitim, Jeoloji, Dere) Örneğin Eğitim kriterlerinin üç kategorisi vardır. Birincisi, 0'dan 5'e (%) Düşük Eğitim Değerleridir. İkincisi, Orta Eğitim Değerleri 5'ten 10'a (%) kadardır. Üçüncüsü, 10 ve üzeri Yüksek Eğitim Değerleridir. CBS ortamında raster harita formatında bu kategorilere göre yeniden sınıflandırılan eğitim haritası katmanı. Beş tematik harita katmanı için raster yeniden sınıflandırması yapıldı ve ardından ağırlıklı bindirme haritasını oluşturduk.

5 değerlendirme faktörünün uygunluk puanları, kriter ağırlıkları ile çarpılarak toplanmıştır. CBS ortamında 1 no'lu denklemde gösterilen toplam uygunluk puanı elde edilmiştir.

$$S = \sum_{i=1}^n w_i * f_i \quad (5.1)$$

S = uygunluk puanı; W_i = i . Değerlendirme kriterinin ağırlığı; f_i = i . Değerlendirme faktörünün uygunluk puanı; n = değerlendirme kriterlerinin sayısı

Ağırlıklı katmanlar aşağıdaki denklem (2)'de gösterildiği gibi alan ArcGIS programı içeriğinde hesaplayıcıya entegre edilmiştir.

$$\text{WLC} = 0,38 * [\text{POP}] + 0,19 * [\text{STREAM}] + 0,15 * [\text{GEO}] + 0,14 * [\text{LAND}] + 0,14 * [\text{SLOPE}] \quad (5.2)$$

Ağırlıklı bindirme metodu iş akışı dört süreçten oluşur: A – Girdi Veri Kümesini Hazırlama (Herhangi bir girdi vektörü veri kümesini raster veri kümesine dönüştürme); B – Raster Veri Kümesini Sınıflandırma (Raster Yeniden Sınıflandırma); C – Ağırlıklı Bindirme Analizi yapılan haritayı Oluşturma; ve D – İstasyon Tampon Analizi. Çalışmanın amacına göre farklı coğrafi referanslı katmanlar birbiri ile örtüşebilir.

Girdi raster katmanları, önceden belirlenmiş AHP ağırlıklarına göre etki ağırlık değerine (%) göre atanır. Toplam etki ağırlık değeri %100 olmalıdır. Çizelge 5.4'de gösterildiği gibi, beş girdi parametresi kullanılarak uygunluk analizi için oluşturulan bir ağırlıklı indeksleme tablosudur. Karar vericilere uygulanan ikili karşılaştırma anketi, harita katmanlarının üst üste bindirilmesi için etki ağırlıklarının elde edilmesinde kullanılmıştır.

Çizelge 5.4 : Kriterlerin alt kategorilerine göre etki puanı ve etki ağırlığı değerleri

Girdi /Raster	Kategori	Puan	Etki Ağırlığı %
Eğim	0-5 Düşük/Düz	10	14
	5-10 Orta	5	
	10 ve üzeri Yüksek	1	
Jeoloji	1 Qal, Yd	1	15
	2 Tdg	2	
	3 Tik, Tçç Tçg	4	
	4 Tds	5	
	5 Tc	6	
	6 Ct , Tsğ	7	
	3 Tçb	8	
	Benzin istasyonu, Askeri alan, Mezarlık, Orman alanı, Tarım alanı, Teknik altyapı	1	14
	Otel, Park alanı, Park ve Dinlenme alanı, Spor merkezi	6	
	Depolama alanı, Dini tesis, Hizmet alanı, Devlet Kurumu, Ticaret ve hizmet alanı, Sosyo-kültürel hizmet alanı, İnşaat alanı	7	
Arazi Kullanımı	Endüstri tesisi, Ticari alan	8	
	Ana okulu, İlkokul, Ortaokul, Lise, Eğitim tesisi, Üniversite	10	
	Boş alan, Aktif olmayan yeşil alan	10	
	Konut alanı	10	
	Konut ve Ticaret alanı	10	
	Sağlık Tesisi	10	
	0-9976	1	38
Nüfus	9976-25466	3	
	25466-46380	5	
	46380-72463	7	
	72463-98399	10	
	1	10	19
Su	1-2	8	
	2-3	7	
Yüzeyel Akışı	3-4	5	
	4-5	3	
	5-6	2	
	6-7	1	

Tischler (2017) 'in çalışmasında, bir ulaşım altyapı projesinde aranması gereken özellikler, seyahat süresinin kısaltılması, düşük çevresel etki ve erişilebilirliğin artırılması olarak tarifleyerek, üç farklı tematik alana göre kriterleri kümelemiştir: 1-Ulaştırma ve Mühendislik 2-Çevre 3-Maliyet/Riskler. Aşağıdaki Çizelge 5.5'de

değerlendirme ana ve alt kriterleri gösterilmektedir. Her kriterin niteliksel ve/veya niceliksel olarak ölçülebilir göstergeleri vardır (yerleşim alanı m², gürültü seviyesi, enerji tüketimi gibi). Güzergah tasarlanmadan önce, güzergah seçimi sürecinde farklı değerleri dahil etmek ve belirlemek için paydaşlardan ana kriterlerin ağırlıklandırması istenir. Planlama yaklaşımında Kabul edilebilirlik, Uygunluk ve Şeffaflık anlayışlarını içeren ortak bir çerçeve oluşturulmalıdır.

Çizelge 5.5 :Değerlendirme kriterleri.

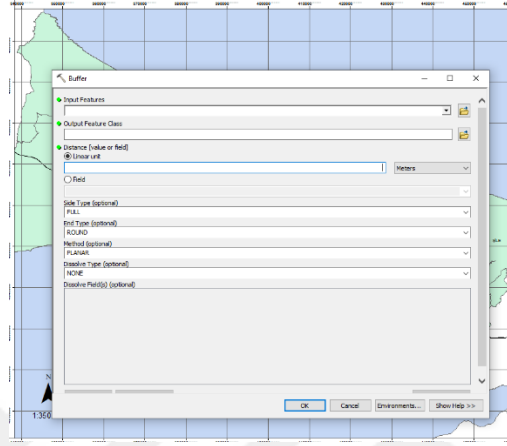
Konu/Alan	Ana Kriter	Alt Kriter
Ulaşım ve Mühendislik	Raylı sistem Altyapısı	Güzergah
		Diğer altyapı sistemlerinin uyarlanması
	İşletme	Kapasite
		Enerji
		Bakım
	Olağanüstü durumlar	Kullanılabilirlik
	İnşaat	İnşaat safhasında işletme
		Jeoloji
		Kazı
		İnşaat süresi
Çevre	Sağlık ve Refah	Gürültü
		Titreşim
		Serbest zaman
	Mekansal gelişme	
	Arazi Kullanımı	Yerleşim alanları
		Ticaret alanları
	Ekosistem	Koruma alanları
		Habitat
	Su	Yer altı suyu
		Yüzeysel su
Maliyet/Riskler	Peyzaj	
	Tarım/ormancılık	Tarım arazisi
		Orman
		Bozulmuş alan
	Hava/iklim	Hava Kalitesi
		Mikro iklim
	Kültürel varlıklar	
	Maliyet	Yatırım maliyetleri
		İşletme maliyetleri
	Riskler	

Kaynak: Stephan Tisler, Finding the right way- a new approach for route selection procedures

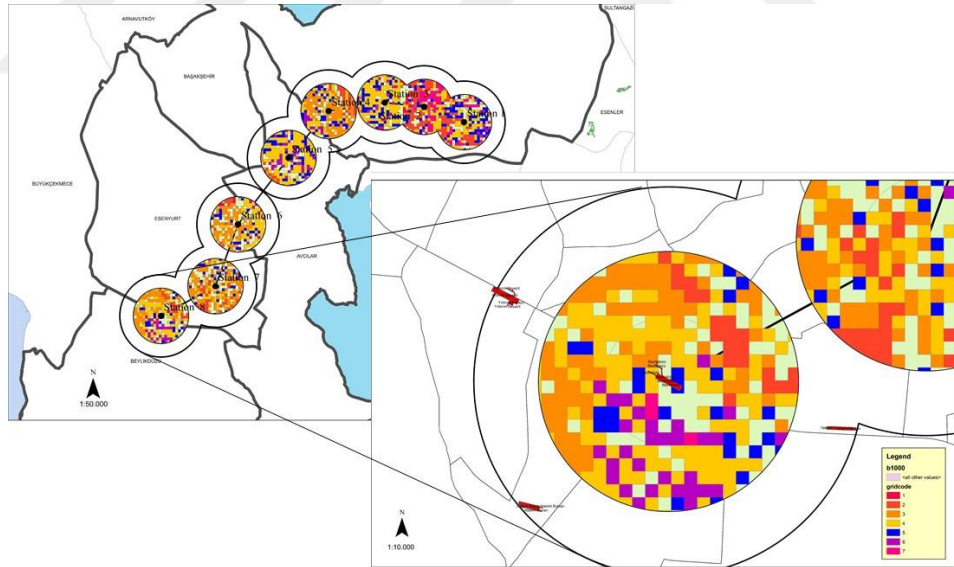
5.6 İstasyon Tampon Bölge (Buffer) Analizi

Coğrafi bir nokta ya da alan çevresindeki diğer coğrafi kısımlara olan uzaklıklarının değerlendirilmesini temel alan bir konumsal analizdir. Tampon ya da buffer analizi olarak da isimlendirilen işlemde referans kabul edilen bir coğrafi detayın etrafında istenilen uzaklıkta poligon özelliği taşıyan yeni bir tampon bölge oluşturulur ve bu

bölgeye rastlayan diğer coğrafi detaylar çalışmanın içeriğine, araştırılan konu kapsamına göre sorgulanır. Çalışma kapsamında istasyon noktalarına buffer analizi uygulanmıştır. Mesafe 1000m esas alınarak işlem gerçekleştirilmiştir. Arc GIS programında, Şekil 5.26’da gösterilen analiz için verilerin girildiği bölüm ile işlemler gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.27’de ise istasyon noktalarında oluşturulan tampon bölgeler gösterilmiştir.



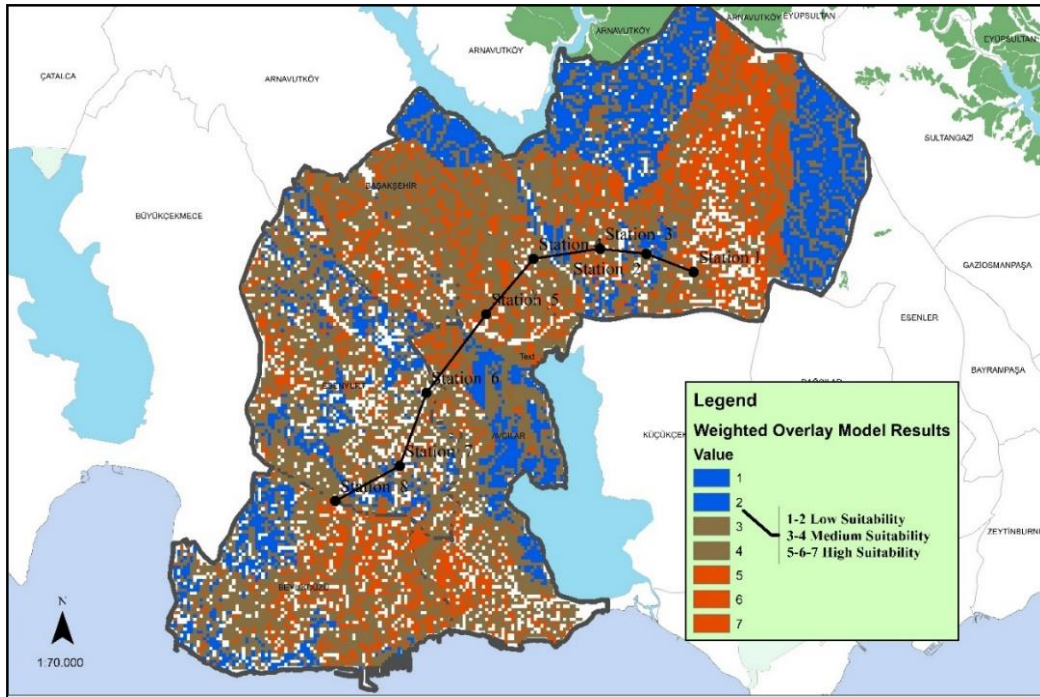
Şekil 5.26 : Tampon bölge analizi için işlem penceresi.



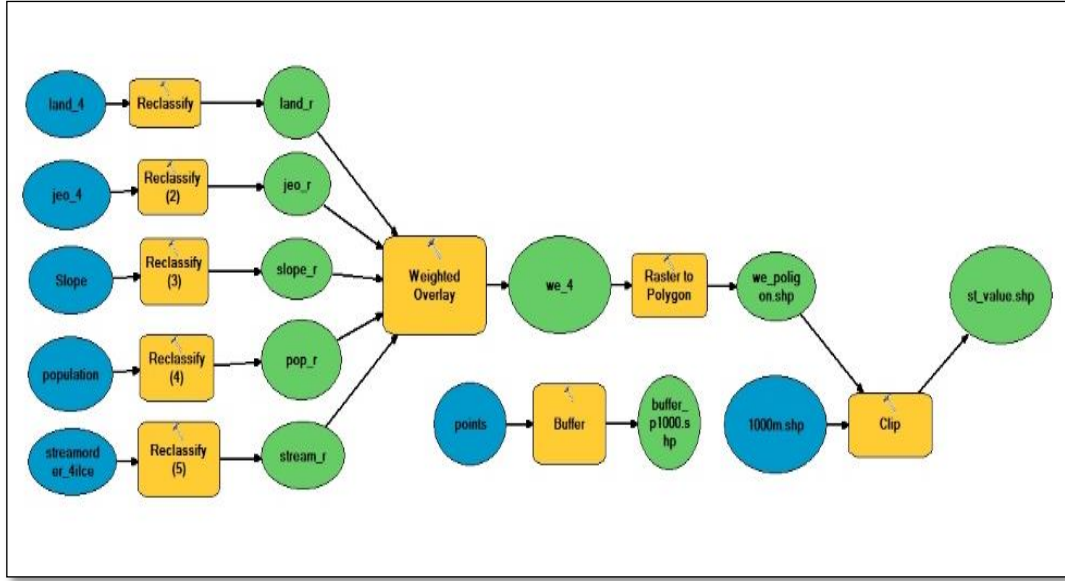
Şekil 5.27 : Raylı sistem istasyonu tampon bölge analizi (1000m).

5.7 Model Sonuçları ve Değerlendirme

Raylı sistem uygunluk durum analizi için bir yöntem olarak bindirme analizi ile (kartografik modelleme) Şekil 5.28’de gösterilen sonuç haritası elde edilmiştir. 'Ağırlıklı Bindirme Analiz Haritası' sonuçlarına göre 227,23 km²'lik çalışma alanı için düşük, orta ve yüksek uygunluk olarak sınıflandırılmıştır. Metodolojinin akış şeması Bölüm.5.1'de verilmiş ve genel modelleme sürecini göstermek için 'Kartografik Modelleme' Arc GIS programı Model Builder özelliği ile oluşturulan işlem akışı Şekil 5.29'da gösterilmiştir.



Şekil 5.28: Ağırlıklı bindirme analizi.

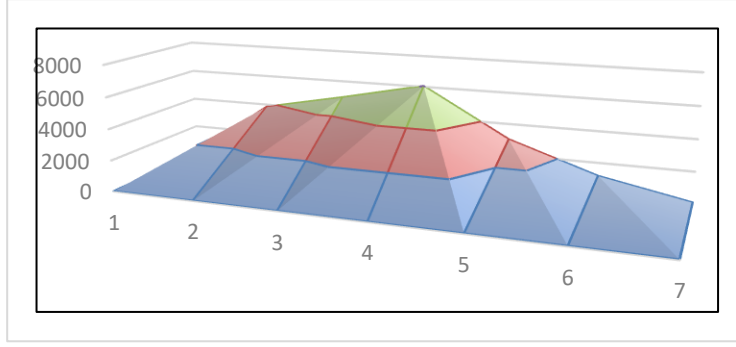


Şekil 5.29: Kartografik modelleme-Model Builder akışı.

Anket sonuçları, üst üste bindirilen harita katmanları için kriter ağırlıkları elde etmek için kullanılmıştır. Kriter ağırlıklarını tahmin etmek için AHP (Analitik hiyerarşi süreci) uygulanmıştır. Uzmanlardan her bir kriterin önemini değerlendirmeleri istenmiştir. Uzman görüşü sonuçlarına göre, Nüfus %38 > Yüzeysel Su Akışı %19 > Jeoloji %15 > Arazi kullanımı %14 = Eğim %14 ağırlıkları elde edilmektedir. CBS tabanlı çok kriterli analiz, Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon (WLC) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Uygulanan yöntem, farklı senaryolara göre ağırlıkları değiştirerek bir karar destek haritası oluşturmak için yeterli esnekliğe sahiptir. Kombine edilen haritalar, uygunluk seviyelerini gösteren nihai bir karar haritası oluşturmaktadır.

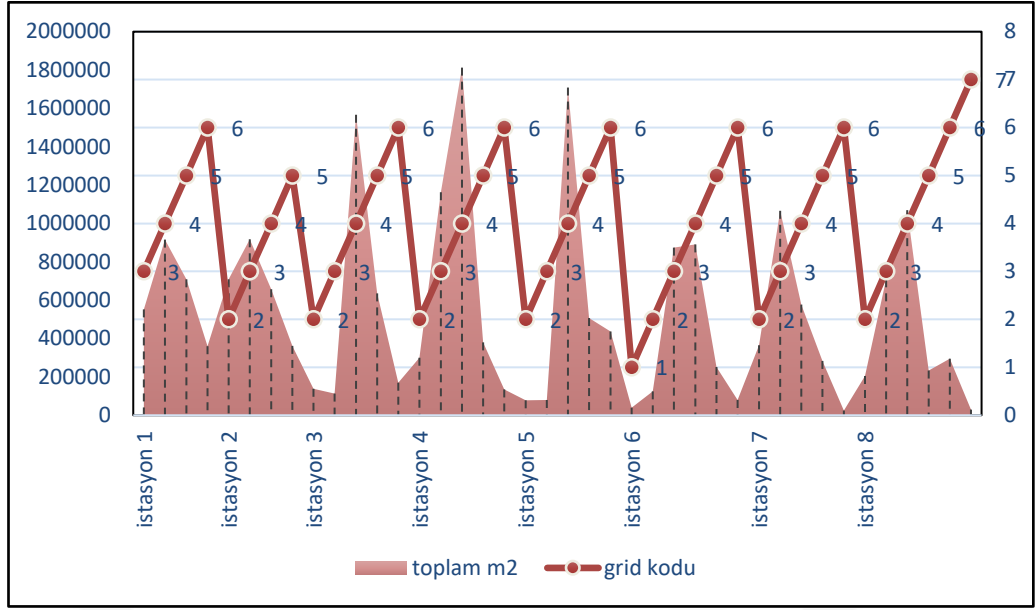
Çalışma alanının bütününde yapılan Raylı sistem uygunluk analizi sonuçlarına göre, çalışma alanı sıralaması ile elde edilen grid hücreleri, düşük sıralamadan yüksek sıralamaya doğru yansıtabilecek şekilde 1'den 7'ye kadar değerler almaktadır. Bu sıralamaya göre 1. Sınıf: 186 grid hücre, 2. Sınıf: 3850 grid hücre, 3. Sınıf: 4913 grid hücre, 4. Sınıf: 6054 grid hücre, 5. Sınıf: 3009 grid hücre, 6. Sınıf: 1170 ve Sınıf 7: 75 grid hücresi değerleri elde edilmiştir. En uygun alanlar 5. ve 7. sınıflar arasındadır. 4. Sınıf sıralaması, genel çalışma alanı uygunluk seviyesini temsil etmektedir (Şekil 5.30). Bu analiz aynı şekilde, istasyon bazlı olarak buffer alanlarında da tekrar edilmiştir.



Şekil 5.30 : Uygunluk sınıfları (S1-S7).

İstasyon bazlı analiz kapsamında; Raylı ulaşım altyapısı, ön etap değerlendirmesi için 8 istasyonlu bu çalışma özelinde oluşturulan aday metro hattı M 18 (Başakşehir-Esenyurt-Beylikdüzü) esas alınarak değerlendirilme yapılmıştır. 8 adet raylı sistem istasyonu sahasının uygunluğunu (1000 m tampon bölge) değerlendirmek için 5.6. bölümde anlatılan tampon analizi için kullanılan nihai ağırlıklı bindirme haritası oluşturulmuştur. Buffer alanları ile sınırlandırılan istasyon bölgelerinde, bindirme analizi ile elde edilen uygunluk değeri girdilerine göre, grid kodunun kapladığı alanlar hesaplanmıştır. Grid kodunun değeri yüksek ise uygunluk sıralaması yüksektir, aksi takdirde uygunluk sıralaması düşüktür. Sonuçlara göre, İstasyon 1 maksimum alanı, grid kodu 4 ile kaplamaktadır. İstasyon 2, en fazla kapsanılan alanı grid kodu 3 ile; İstasyon 3, en fazla kapsanılan alanı grid kodu 4 ile; İstasyon 4, en fazla kapsanılan alanı grid kodu 4 ile oluşturmaktadır. İstasyon 5, en fazla kapsanılan alanı grid kodu 4 ile oluşturmaktadır. İstasyon 6, gridcode 3 ve grid kodu 4 ile maksimum alanı kaplamaktadır. (alan değerleri yaklaşık olarak birbirine yakındır) İstasyon 7 en fazla kapsanılan alanı grid kodu 3 ile oluşturmaktadır. İstasyon 8 için ise, en fazla kapsanılan alanı grid kodu 4 oluşturmıştır. Tüm istasyonlar genellikle grid kodu 3 ve 4 değerlerini almaktadır, yani uygunlukları orta düzeydedir.

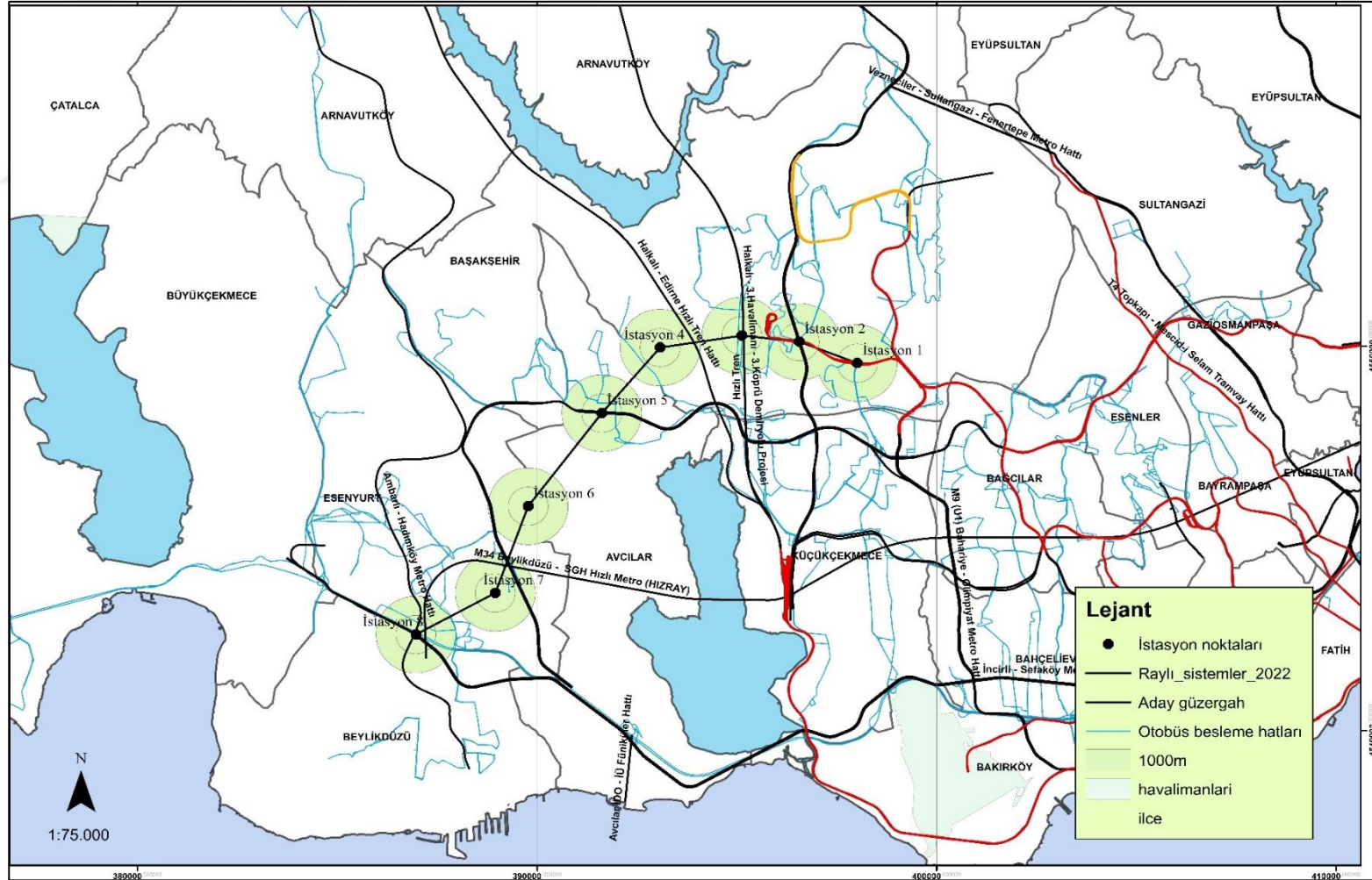
Şekil 5.31'de görüldüğü gibi en uygun istasyon 8 no'lu istasyon olarak elde edilmiştir, çünkü bu istasyon Beylikdüzü semtindeki tampon alanı için 30.000 m²'lik maksimum grid değeri 7 değerini almaktadır.



Şekil 5.31 : Buffer alanları için alan(m²) ve grid kodu değerleri (1000 m).

Çalışma alanımızda, istasyon yerleri genellikle ulaşım sistemlerinin kentsel faaliyetlere göre nispeten daha az gelişmiş olduğu yerlerde konumlanmıştır. Mevcut, devam eden demiryolu hatları ve İETT Genel Müdürlüğü'nden alınan aktarmalı toplu ulaşım sistemi oluşturmak amacıyla metro/metrobüs hatları ile beslemeli otobüs hatları Şekil 5.32'de gösterilmektedir. Entegre toplu ulaşım yönetim sistemini kurmak ve geliştirmek amaçlanmaktadır.

İstasyon 8'in (Beylikdüzü) gelecekte önemli bir aktarma merkezi olması planlanmaktadır. İstasyon 1 (Başlangıç istasyonu) ve İstasyon 2, Bağcılar-Olimpiyatköyü mevcut metro hattı ile, İstasyon 2 Halkalı-Yeni havalimanı metro hattı projesi ile ve İstasyon 5, Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt metro hattı ile entegrasyonlu olacaktır. İstasyon 8 (Uç istasyon) Sefaköy-Beylikdüzü metro hattı Projesi ile entegre olacaktır.



Şekil 5.32: Mevcut ve inşaatı devam eden raylı sistem hatları, metro/metrobüs hatlarını besleyen otobüs hatları.

6. BULANIK MANTIK

Bulanık mantık, tam ve kesin olmayan bilgilere dayanarak birbiriyle uyumlu ve doğru kararlar vermeyi sağlayan düşünme ve karar verme mekanizması olarak tanımlanır. Bulanık mantık, modelleme ve hesap yaparken günlük konuşma dilinde geçen sözel belirsizlikleri sisteme dahil etmeyi sağlar, sözel değişkenlerin kullanılmasına izin verir. Gerçekte insan kararları belirsiz ve bulanıktır ve kesin sayısal değerlerle belirtmeye uygun olmadığından, insan kararlarını modellemede sözel değişkenler kullanmak daha gerçekçi olacaktır.

Bulanık mantık genel ifadeyle, bulanık kümeleri kullanan bütün teorileri ve teknolojileri ifade etmektedir. Bulanık kontrol, bulanık model tanımlama, bulanık aritmetik, bulanık matematiksel programlama, bulanık karar analizi, bulanık sinir ağları gibi alanlarda geleneksel siyah ve beyaz kavramı, kısmi üyelik kavramına genelleştirilmiştir. Bu şekilde, belirsiz kavramlar içeren bilgileri tariflemek ve problemlere etkili çözümler üretmek kolaylaşmıştır (Karakaşoğlu, 2008).

Sistem hakkında ne kadar bilgi sahibiysek, onu o kadar iyi anlarız ve o kadar az karmaşık hale gelir, ancak bu durumu tamamen ortadan kaldırmaz. Araştırılan sistem ne kadar karmaşıksa, az veya yetersiz veri mevcut olduğunda bulanıklık o kadar etkili olur. Bu sistemlere çözüm ararken, bulanık mantık kurallarını kullanarak anlamlı ve kullanışlı çözüm çıkarımları elde etmek için bulanık girdi ve çıktı bilgileri kullanılabilir (Şen, 2004).

6.1 Bulanık Mantık Kavramı

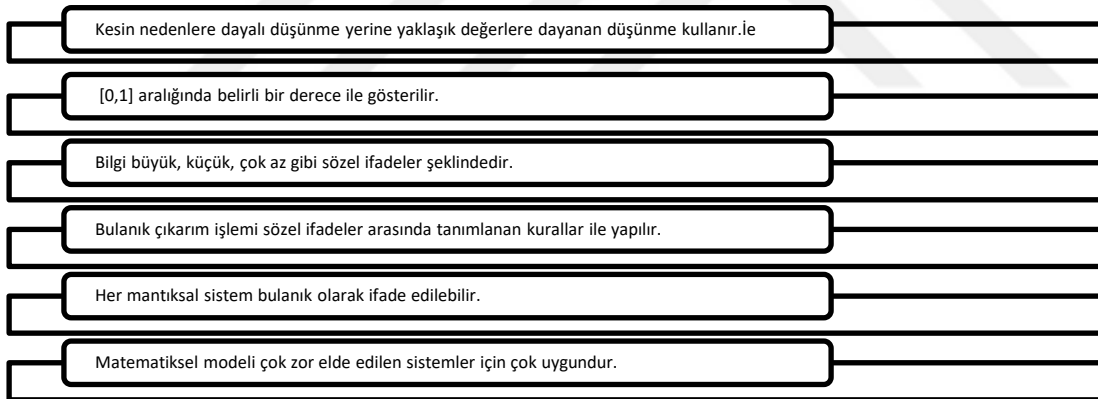
Bulanık mantık kavramı, 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından tanıtılmıştır. Zadeh (1965), gerçek dünyadaki bir problem üzerinde ne kadar çok çalışılırsa, çözümlerin o kadar belirsiz olduğunu bulmuştur. İnsan aynı anda tüm bilgi kaynaklarını etkileşimli olarak kavrayamaz ve bunlardan net sonuçlar çıkaramaz. Burada kaynakların basit ve doğru bilgilere ilave olarak ağırlıklı olarak sözlü bilgilere yer verdiği vurgulanmalıdır.

Bu ifadelerden doğruluk beklenemez çünkü insanlar sözlü olarak düşünebilir ve bilgilerini sözlü olarak başkalarına aktarabilir (Şen, 2004).

Bulanık sistemlerin araştırmacılar tarafından kullanılması için genel olarak iki sebep söylenebilir:

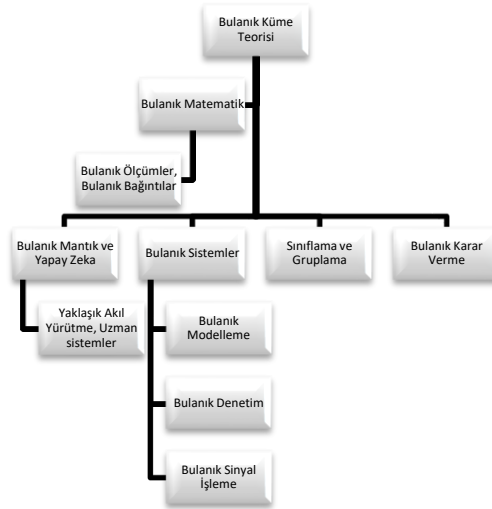
- Gerçek dünyadaki olayların karmaşıklığı nedeniyle, bu olayları net bir denklemle tanımlamak ve sıkı bir şekilde kontrol etmek mümkün değildir. Bu nedenle araştırmacılar kesin olmasa da yaklaşık ancak çözülebilir yöntemleri kullanmayı tercih etmektedirler.
- Mühendislikteki tüm teoriler ve denklemler gerçek dünyaya yakındır. Birçok gerçek sistem doğrusal değildir, ancak klasik çalışmalarda doğrusallık varsayımlarını dahil etmek için her türlü çaba gösterilmektedir (Şen, 2004).

Şekil 6.1’de Bulanık mantığın genel özellikleri listelenmiştir. Bulanık mantığın ardındaki temel düşünce, bir önermenin doğruluğunun, önermelerde kesin yanlış ve kesin doğru arasındaki sonsuz sayıda doğruluk değerlerini içeren bir kümedeki değerler, ya da sayısal olarak $[0,1]$ gerçel sayı aralığında ilişkilendirilen bir fonksiyon olarak kabulüdür.



Şekil 6.1: Bulanık mantığın genel özellikleri (Karakaşoğlu, 2008).

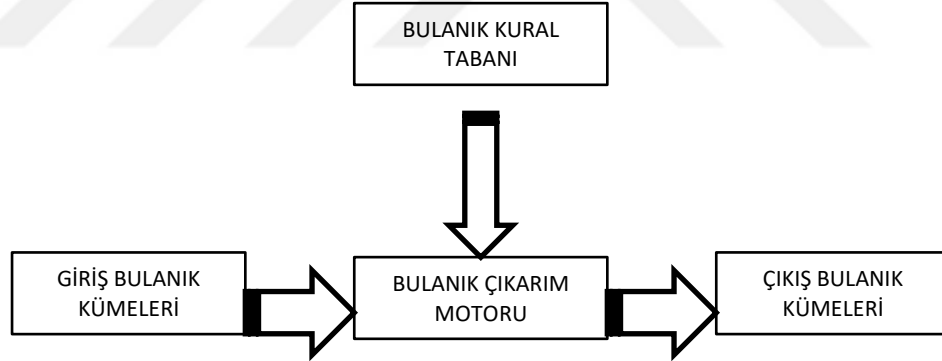
Bulanık mantık yöntem ve tekniklerinin yaygın olarak kullanıldığı ana başlıklar; Görüntü işleme, sinyal işleme, gözetleme sistemleri, uzman sistemler, veritabanları, veri madenciliği. Şekil 6.2’de bulanık mantık ve uygulamaları için bir sınıflama önerisi görülmektedir.



Şekil 6.2: Bulanık mantık ve uygulamaları (Karakaşoğlu, 2008).

6.2 Bulanık Sistem

Bulanık sistemlerin klasik sistemlerden farkı sistem davranışı kısmının ikiye ayrılması ve Şekil 6.3’de gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır (Şen, 1999).



Şekil 6.3 : Genel bulanık sistem.

Bu birimler: 1) Genel bilgi tabanı birimi: Bu birim, denetim tarafından kullanılan kuralları ve verileri nasıl işlediğini belirleyen kısımdır. Giriş değişkenlerini ve bunlar hakkında incelenen olayı etkileyen tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya giriş adı da verilir.

2) Kural tabanı: Denetim amaçlarına uygun dilsel kontrol kuralları bulunur ve buradan çıkarım motoruna iletilir. Veri tabanındaki girdileri çıktı değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER-İSE türünde yazılabilen tüm kuralları içerir. Bu kurallar oluşturulurken, girdi verileri ile çıktılar arasındaki tüm olası bulanık küme bağlantıları

dikkate alınır. Bu nedenle, her kural mantıksal olarak girdi uzayının bir kısmını çıktı uzayına bağlar. Tüm bu bağlamlar bulanık bir kural tabanı oluşturur.

3) Bulanık çıkarım motoru birimi: Kurallar üzerinde bulanık mantık çalıştırılarak ifadeler mantıksal forma çevrilir. Diğer bir deyişle, verilerin kurallardan yararlanılarak değerlendirilmesi ve mantıksal bir sonuç çıkarılmasıdır. Bu birim, sistemin tek bir çıktı ile çalışmasını sağlamak için bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parçalar halindeki ilişkilerin hepsini bir arada toplayan bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bütünleştirerek tüm sistemin girdilerinden çıktı üretir.

4) Çıktı birimi: İlk üç birimin birbiriyle etkileşimi, birleşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin bütününe belirtir. Şekil 5.3, genel bir bulanık sistemi göstermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta, veri tabanındaki bilgilerin bulanık girdi şeklinde sisteme girmesi ve çıktıların da bulanık değerler olarak alınmasıdır (Şen, 1999).

6.2.1 Üyelik fonksiyonu

Genel olarak, küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren eğriye üyelik fonksiyonu denir. Başka bir deyişle, bulanık küme tarafından tanımlanan ve 0 ile 1 arasında değer alabilen ilgili karakteristik fonksiyona üyelik fonksiyonu denilmektedir. Üyelik fonksiyonunu oluşturmanın için üç yolu vardır. Birincisi, konu hakkında bilgi sahibi olan kişiler ile görüşmek ve daha sonra gerekli düzenlemeleri yapmaktır. İkinci bir seçenek, verilerden oluşturmaktır. Üçüncü bir yöntem ise, sistem performansından gelen geri bildirimleri kullanarak belirlemektir. İlk yaklaşım, 1980'lerin sonundan beri bulanık mantık araştırmacıları ve uygulamacıları tarafından izlenen temel yaklaşımdır. Sistematik düzenleme stratejilerinin eksikliği nedeniyle, günümüzde birçok bulanık sistem deneme yanılma süreci haline dönüşmüştür (Karakaşoğlu, 2008).

Genelde en sık kullanılan üyelik fonksiyonları uygulanmasının basitliği ve hesaplama hızı nedeniyle üçgensel ve yamuksal üyelik fonksiyonlarıdır. Bu üyelik fonksiyonları dışında, Gauss, Gauss kombinasyon, Genelleştirilmiş çan biçimli, Sigmoid, İki sigmoid, Z şekilli, S şekilli, Polinomial II tipi üyelik fonksiyonları ile de hesaplamalar yapılabilir (Eğrioğlu ve Baş, 2021).

Üçgensel üyelik fonksiyonu eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$\mu_A(x) = \text{triangle}(x;a,b,c) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & c \leq x \end{cases} \quad (6.1)$$

Üçgensel bir üyelik fonksiyonunda; a parametresi alt sınır olduğundan bu alt sınırdan daha düşük değere sahip olan x değerlerine karşılık gelen üyelik değerleri sıfırdır. ‘a’ alt sınırı ile b merkezi arasında kalan x değerleri b merkezine yaklaştıkça üyelik değerleri artar. ‘b’ merkezi ile c üst sınırına yaklaştıkça üyelik değerleri azalır. Dolayısı ile üçgensel üyelik fonksiyonunda kümenin elemanları merkeze yaklaştıkça üyelik değerleri bire, merkezden uzaklaştıkça ise üyelik değerleri sıfıra yaklaşmaktadır.

Matlab Programı ‘Fuzzy Logic Toolbox’ araç paketinde bulunan ‘trimf(x,[a b c])’ komutu ile üçgensel bir bulanık üyelik fonksiyonu elde edilebilir.

Yamuksal üyelik fonksiyonu, yamuk şeklinde bir eğriye sahip olup kümenin merkezi üçgensel üyelik fonksiyonu gibi tek bir değerden oluşmamakta ve bir aalık olmaktadır. ‘a,b,c,d’ noktaları bir A bulanık kümesinin dört üyelik fonksiyonu değerine karşılık gelen x koordinatlarını temsil ettiğinde, sol uç merkez, sol uç, merkez sağ uç ve sağ uç parametrelerini oluşturur.

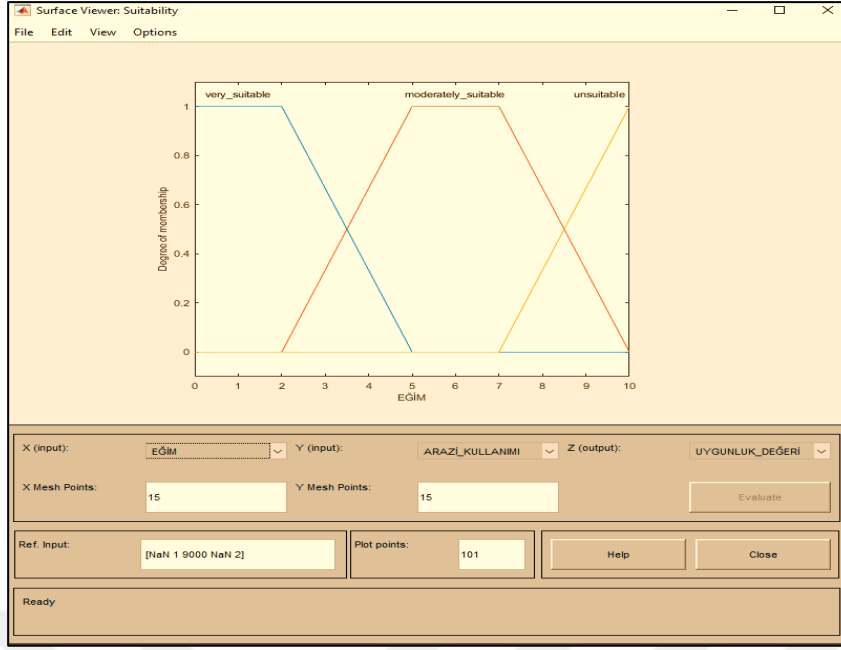
Yamuksal üyelik fonksiyonu eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$\mu_A(x) = \text{trapezoid}(x;a,b,c,d) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ (c-x)/(c-b) & c \leq x \leq d \\ 0 & d \leq x \end{cases} \quad (6.2)$$

Matlab Programı ‘Fuzzy Logic Toolbox’ araç paketinde bulunan ‘trapmf(x,[a b c d])’ komutu ile yamuksal bir bulanık üyelik fonksiyonu elde edilebilir.

Şekil 6.4’te eğim kriteri için oluşturulan üyelik fonksiyonları gösterilmektedir.

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{Düşük eğimli} = L(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 2 \\ (5-x)/3, & 2 < x < 5 \\ 0, & x \geq 5 \end{cases} & \text{Orta düzeyde eğimli} = M(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 2 \\ (x-2)/3, & 2 < x < 5 \\ 1, & 5 \leq x \leq 7 \\ (10-x)/3, & 7 < x < 10 \\ 0, & x \geq 10 \end{cases} \\ \text{Yüksek eğimli} = H(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 7 \\ (x-7)/3, & 7 < x < 10 \\ 1, & x \geq 10 \end{cases} & \end{array} \right. \quad (6.3)$$



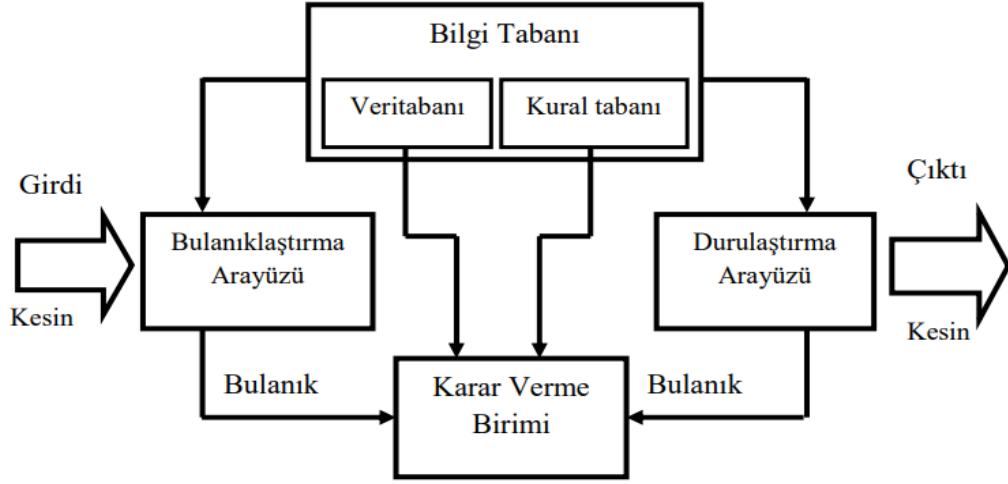
Şekil 6.4 : Eğim kriteri için üyelik fonksiyonları.

6.3 Bulanık Modelleme

Modelleme, bir sistemin girdi-çıkı ilişkilerini nitel ve nicel olarak tanımlayan sayısal formüller, denklemler ve terimler kullanılarak tanımlanır. Bu tür matematiksel gösterime fiziksel sistemin matematiksel modeli denir. Sistem yapısının karmaşıklığı, doğrusal olmama, rastgelelik vb. nedenlerden ötürü, çoğu fiziksel sistemin matematiksel formüller ve denklemlerle doğru bir şekilde modellenmesi zordur. Sezgisel "yaklaşık modelleme" bu nedenle pratik uygulamalar için daha uygundur. Dilsel verileri tanımlamak için uygun yaklaşımlar ve matematiksel olarak doğru olan ve teori ve pratikte tatmin edici sonuçlar üretebilen modelleme sistemleri için bu tür yaklaşımların nasıl daha kesin bir şekilde formüle edileceğini inceleyin. Basit ve kesin matematiksel formüller ve denklemler kullanarak belirsizliği olan karmaşık sistemleri tanımlamak zor olduğundan, bu tür sistemlerin matematiksel modellenmesinde aralık matematiği ve bulanık mantığın birlikte kullanılması önerilir. Yaklaşık tahminlemede güven aralıkları ve bulanık üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı modellemeye 'bulanık modelleme' adı verilir (Ayçın, 2011).

Bulanık modelleme temel olarak bulanık küme teorisine, bulanık eğer-ise kurallarına ve bulanık çıkarıma dayanır. Bulanık çıkarım sistemleri, 'eğer...ise...' ifadelerini ve gerekli karar kurallarını oluşturmak için 'veya' ile 've' bağlaçlarını kullanır. Temel bir bulanık çıkarım sistemi, hem bulanık hem de kesin girdileri kullanır, ancak ürettiği

çıktı genel olarak bulanık kümedir. Bulanık kümeyi en iyi temsil eden kesin değeri elde etmek için modele durulaştırma metodu dahil edilmelidir (Şekil 6.5).



Şekil 6.5: Bulanık çıkarım sistemleri.

6.3.1 Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma, kesin sayıları bulanık sayılara dönüştürme işlemidir. Bulanık değerler, kesin değerde var olan belirsizliğin tanımı kullanılarak oluşturulur. Bulanık değerlere dönüşüm, üyelik fonksiyonları ile gösterilir. Bulanık modellemede kullanılan girdiler ve çıktılar, kullanım kolaylığı için genellikle üçgen üyelik fonksiyonları ile doldurulur. Bunun için dilsel bir değişken kullanılır.

6.3.2 Kural tabanlı çıkarım

Bulanık kurallar, bulanık çıkarım sisteminin bir girdiyi sınıflandırma ve bir çıktıyı kontrol etme hakkında nasıl karar verebileceğini tanımlayan sözel ifadelerin bütünüdür. Bulanık kurallar aşağıdaki biçimde yazılabilir;

EĞER (1. Üyelik fonksiyonuna ait 1.girdi) VE/VEYA (2.Üyelik fonksiyonuna ait 2.girdi) VE/VEYA..... İSE (n. Üyelik fonksiyonuna ait n. çıktı)

Örneğin; EĞER 'Eğim' düşük VE 'Jeolojik durum' uygun VE 'Nüfus değeri' düşük VE 'Arazi Kullanımı' uygun VE 'Yüzey su akışı' düşük İSE 'Raylı sistem uygunluk seviyesi' 'İyi seviyede'dir. Burada üyelik fonksiyonlarıyla tanımlı eğim, jeolojik durum,nüfus,arazi kullanımı,yüzey su akışı girdi, raylı sistem uygunluk seviyesi ise çıktı olmaktadır. Üyelik fonksiyonlarıyla girdilerin kullanılıp sonuçta raylı sistem uygunluk durumu ile ilgili kararın verilmesi bir bulanıklaştırma işlemidir.

Eğer-ise mantıksal ilişkisi bulanık kuralların omurgasını oluşturur. Kurallar, girdi-çıkı ilişkisinin mantıksal olarak oluşturulmasıyla sistemi kontrol ederler. Kural sistemi; öncül (antecedent) ve sonuç (consequent) kısımlarından oluşur. Birden fazla sayıda girdinin ($X_1, X_2, \dots, X_N$) ve tek çıktının (y) olduğu (multiple input, single output) bir sistemde kural mekanizması aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\text{EĞER } (X_1=X_{11}) \text{ VE } \dots \text{VE } (X_n=X_{1n}) \text{ İSE } (Y=Y_1) \quad (6.4)$$

$$\text{EĞER } (X_1=X_{21}) \text{ VE } \dots \text{VE } (X_n=X_{2n}) \text{ İSE } (Y=Y_2) \quad (6.5)$$

$$\text{EĞER } (X_1=X_{N1}) \text{ VE } \dots \text{VE } (X_n=X_{Nn}) \text{ İSE } (Y=Y_N) \quad (6.6)$$

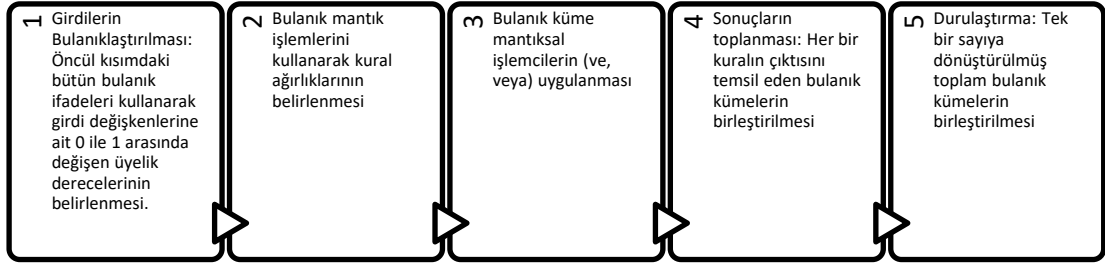
Yukarıdaki örnekte eğim, jeolojik durum, nüfus değeri, arazi kullanımı, yüzeysel su akışı değişkenleri öncül, Raylı sistem uygunluk seviyesi ise sonuçtur.

Bir öncül, doğru olduğu belirlenebilen mantıksal bir ifadedir. Bir öncül, 've', 'veya' ve 'değil' bağlaçlarıyla birleştirilebilen çeşitli basit ifadelerden oluşabilir veya karmaşık bir yapı olabilir. Birçok öncül ifadesi, geçerli uygulama veri değerlerini belirli bir kuralda belirtilen değerlerle karşılaştırır. Bir kuralın kapsayabileceği koşullar kümesi, kuralın söz diziminin izin verdiği veri türlerine bağlıdır (Ayçın, 2011).

6.3.2.1 Mamdani tipi çıkarım sistemi

Mamdani yöntemi, uzmanlık gerektiren ve her türlü problemin çözümünde sıklıkla kullanılabilen bir bulanık mantık yöntemidir. Mamdani tipi bulanık modellerin oluşturulması çok kolaydır ve insan davranışına çok uygundur. Bu nedenle yaygın olarak kullanılır ve diğer bulanık mantık modellerinin temelini oluşturur. İlk olarak, insan deneyiminden türetilen sözlü kontrol kurallarını kullanarak buhar makinelerini kontrol etmek için kullanıldı. Bu modelde hem girdi hem de çıktı değişkenleri kapalı form üyelik fonksiyonları ile temsil edilmektedir.

Mamdani tipi bir bulanık modelin temel yapısı girdiyi bulanıklaştırmak, kural ağırlıklarını belirlemek için bulanık mantık işlemlerini kullanmak, bulanık küme mantık işlemlerini uygulamak, sonuçları toplamak ve durulaştırmak ile Şekil 6.6'da gösterildiği gibi, beş temel aşamadan oluşmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır.

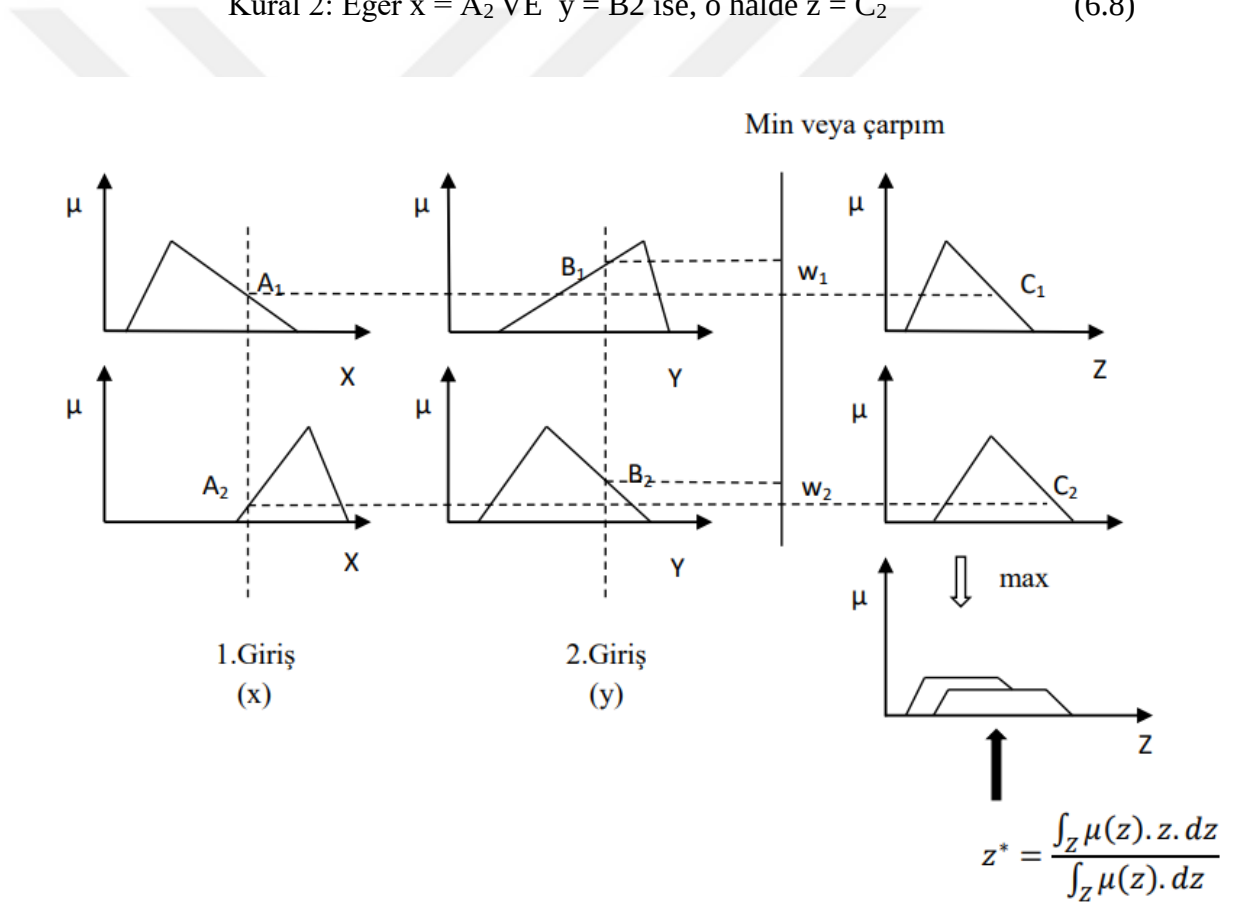


Şekil 6.6 : Mamdani tipi bulanık sistem adımları (Ayçın, 2011).

Şekil 6.7’de x ve y gibi sayısal iki değişkeni içeren iki kurallı bir Mamdani tipi bulanık modelde, z çıkış değerinin i c bulanık küme fonksiyonlarından nasıl hesaplandığı gösterilmektedir.

$$\text{Kural 1: Eğer } x = A_1 \text{ VE } y = B_1 \text{ ise, o halde } z = C_1 \quad (6.7)$$

$$\text{Kural 2: Eğer } x = A_2 \text{ VE } y = B_2 \text{ ise, o halde } z = C_2 \quad (6.8)$$



Şekil 6.7 : Mamdani tipi bulanık model yapısı (Konar, 2017).

6.3.3 Durulaştırma

Durulaştırma bulanıktan kesine dönüştürme anlamına gelmektedir. Ortaya çıkan bulanık sonuçların uygulamada kullanılamazsa, sonraki işlemler için bulanık sayıların kesin sayılara dönüştürülmesi gereklidir. Bu dönüşüm durulaştırma süreci kullanılarak

gerçekleştirilir. Durulaştırma verilen bulanık sayının kesin tek değerli bir sayıya veya kümeye dönüştürülmesi işlemidir. Durulaştırma üyelik fonksiyon değeri yığınının, tek bir temsili miktara indirger.

Durulama yöntemlerinde genel olarak gözlemlenen dört özellik vardır.

1. Durulama işlemcisi her zaman bir sayısal değer hesaplar. Bu, durulamanın tanımı gereğidir. İki bulanık küme aynı durulanmış değeri verebilir. Ayrıca durulanmış değerin daima orijinal bulanık kümenin destekleri arasında olduğu varsayılır.

2. Üyelik fonksiyonu durulanmış değeri belirler.

3. İki üçgen bulanık sayının işleme sokulup durulanmasından elde edilen değer her zaman bireysel olarak durulanıp işleme sokulmasında elde edilen değerlerin arasında kalır.

4. Engelleyici bilgi durumunda, durulanmış değer sınırlı bölgeye düşürülmelidir.

Bu çalışmada ‘centroid’ durulaştırma yöntemi uygulanmıştır. (And Method = min , Or Method = max , Implication Method = min , Aggregation Method = max , Defuzzification=centroid)

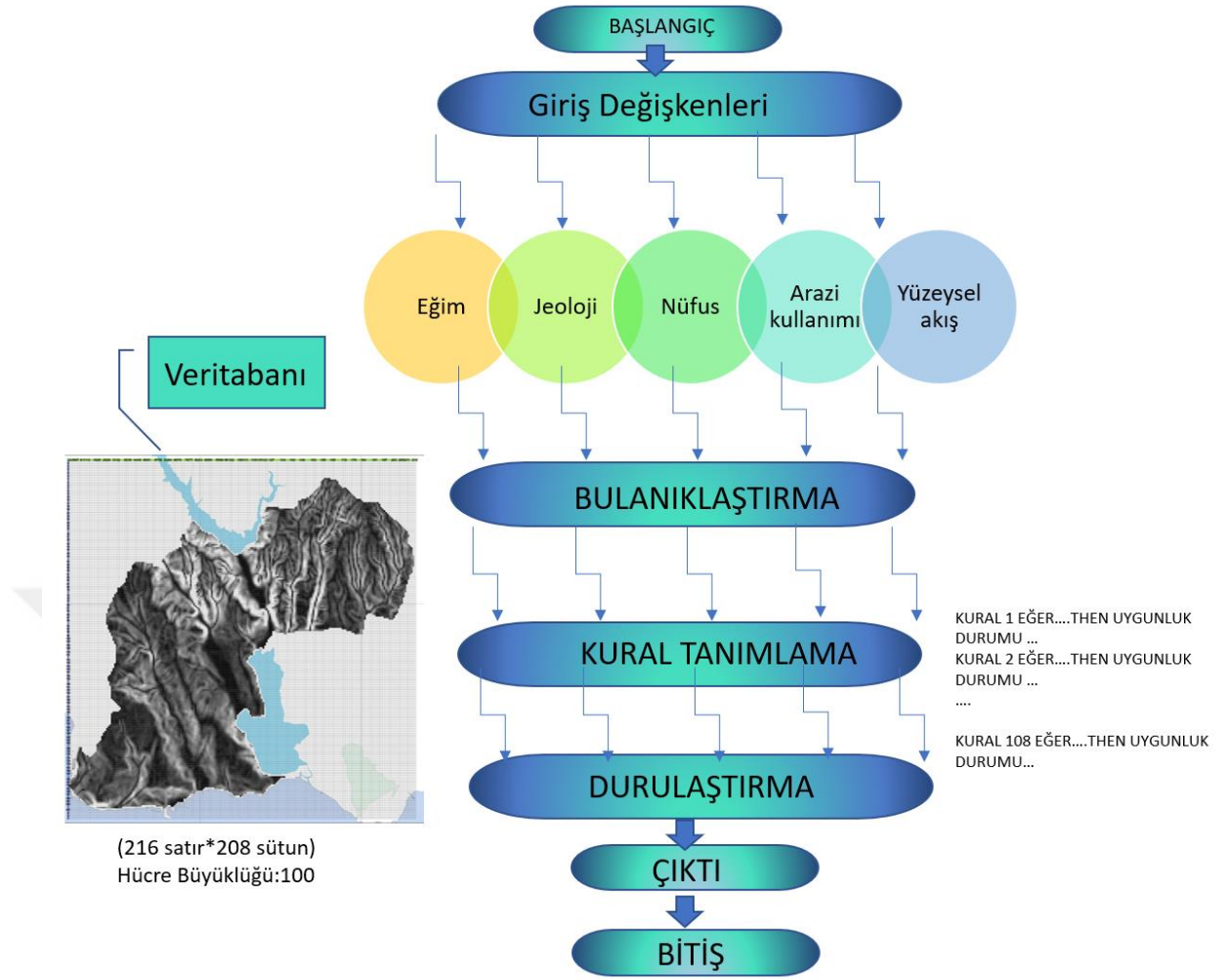
6.4 Bulanık Mantık Modeli Uygulaması

Çalışmanın bu bölümünde Raylı Sistem Uygunluk durumunun tespit edilmesi konusunda yardımcı olacak bir bulanık tahmin modeli oluşturulmuştur. Uygulamanın amacı, raylı sistem planlama sürecinde, karar vermeye yönelik tahminleme süreçlerinde bulanık mantık yardımıyla oluşturulan modellerin kullanılmasını ve uygulanışını göstermektir. Bulanık Mantık modelinin ismi, girişleri, çıkışları, kullanılan cebirsel yöntemler, modelin tipi, giriş ve çıkışlar için kullanılan üyelik fonksiyonları, berraklaştırma yöntemi ve kural değerleri aşağıda detaylı biçimde açıklanmaktadır.

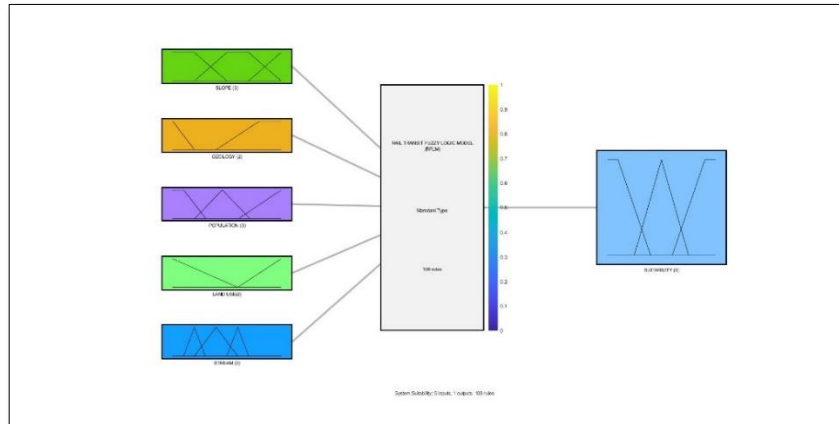
6.4.1 Uygulama yöntemi

Çalışmada MATLAB Bulanık Mantık Modeli (RailTransitFuzzyLogicModel-RFLM) oluşturulurken Matlab R2021 b yazılım program içerisindeki Fuzzy Logic modülünden faydalanılmıştır. Model adımları Şekil 5.8’de gösterilmektedir.

Bulanıklaştırma Arayüzü, Bulanık Çıkarım Mekanizması girdi parametreleri, bulanık diyagramları ve Sonuç Ekranına ilişkin görseller aşağıda gösterilmektedir. Modelde, Eğitim, Jeoloji, Nüfus, Arazi kullanımı, Yüzeysel Akış giriş verileri olarak kullanılmıştır. Uygunluk puanı ise çıkış verisi olarak elde edilmiştir (Şekil 6.9).



Şekil 6.8 : Model adımları.



Şekil 6.9 : RFLM (Raylı sistem bulanık mantık modeli).

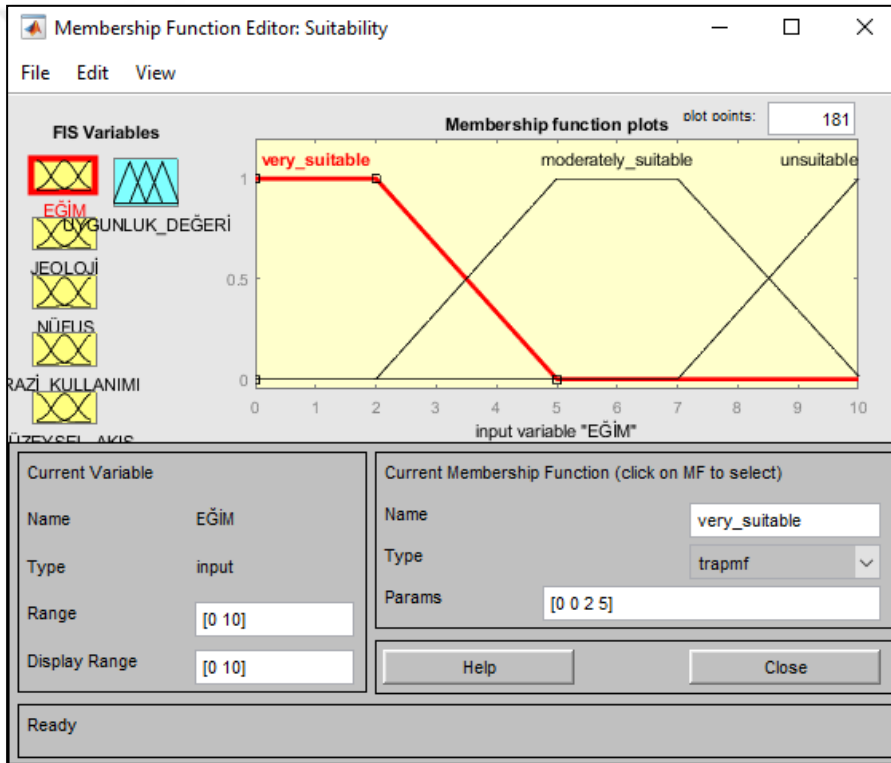
6.4.1.1 Eğim kriteri

Eğim kriteri için belirlenen bulanık üye fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1 : Eğim kriteri için bulanık üye fonksiyonu parametreleri

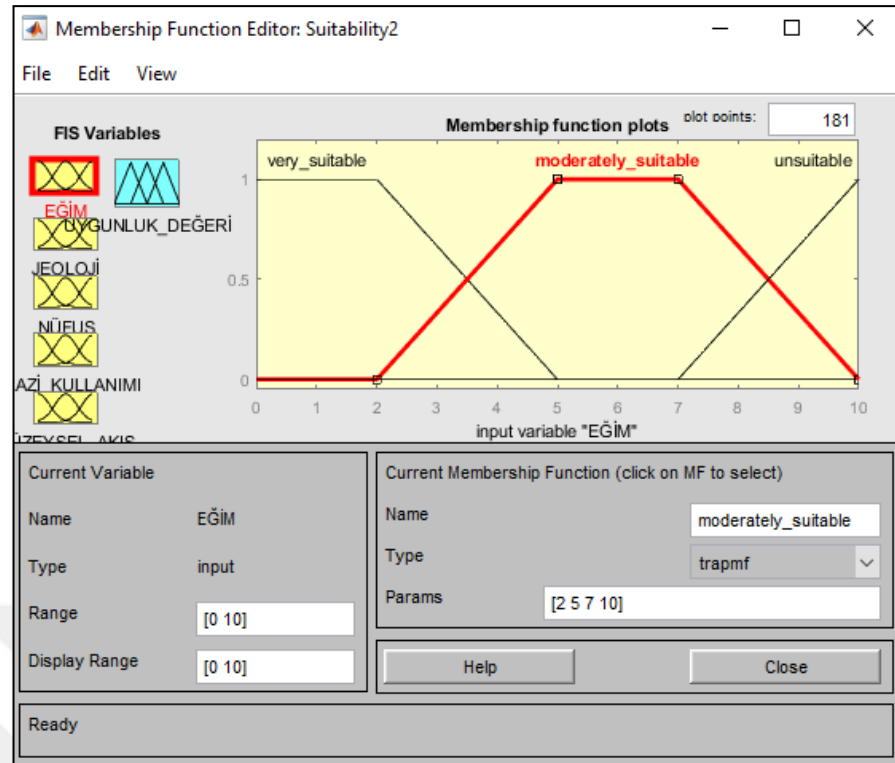
	Low (very_suitable)				Medium (moderately_suitable)				High (unsuitable)		
Type:trapmf	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c
Range [0 10] EĞİM	0	0	2	5	2	5	7	10	7	10	40

Eğimin düşük olması durumunda (Low) Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.10’da gösterilmektedir.



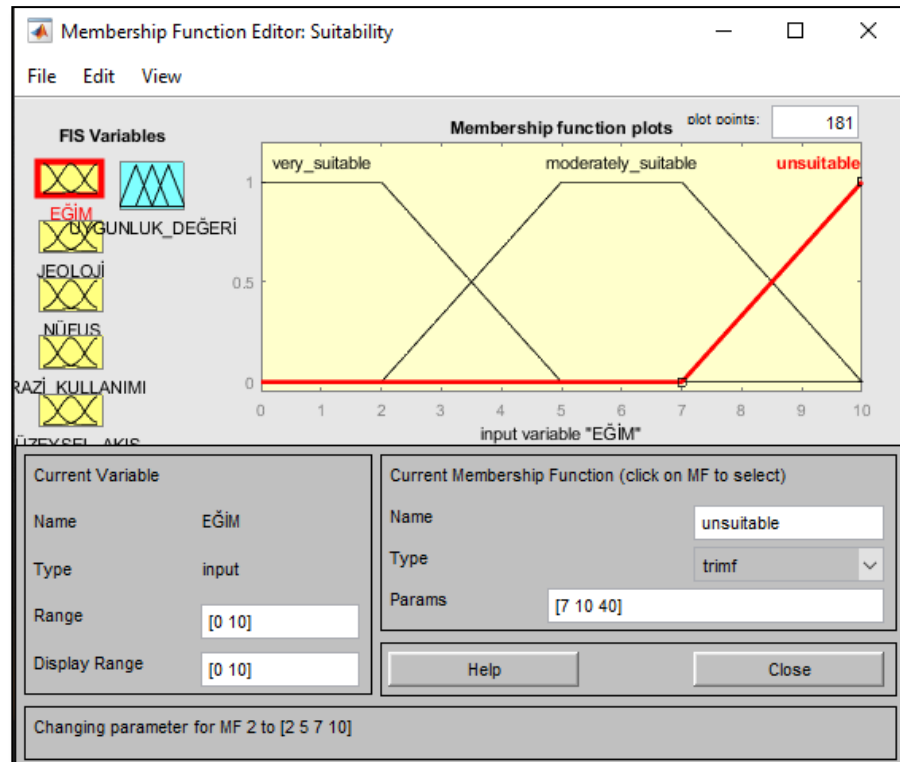
Şekil 6.10 : Eğim_very_suitable.

Eğimin orta olması durumunda (Medium) Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.11’de gösterilmektedir.



Şekil 6.11 : Eğim_moderately_suitable.

Eğimin yüksek olması durumunda (High) Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.12’de gösterilmektedir.



Şekil 6.12 : Eğim_unsuitable.

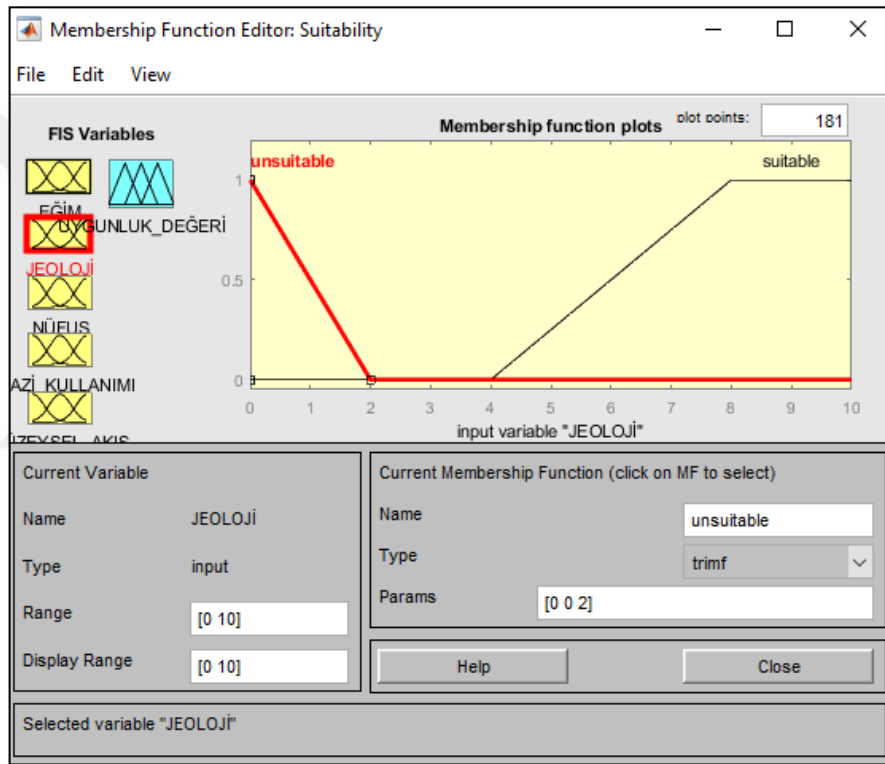
6.4.1.2 Jeoloji kriteri

Jeoloji kriteri için belirlenen bulanık üye fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.2 : Jeoloji kriteri için bulanık üye fonksiyonu parametreleri.

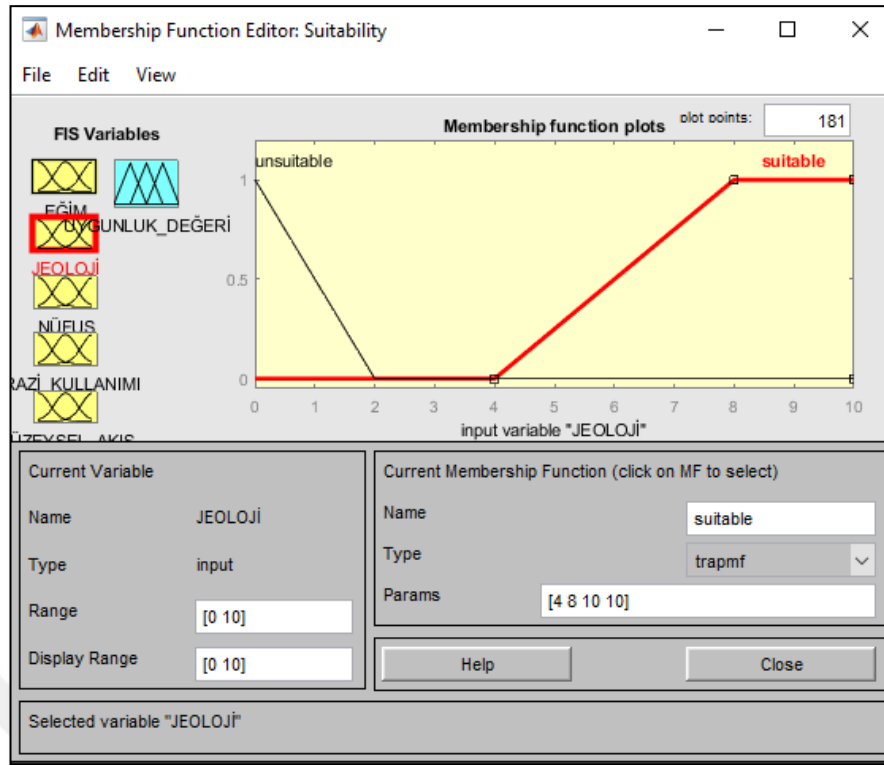
		unsuitable			suitable			
Type:trapmf	JEOLojİ	b	c	d	a	b	c	d
Range [0 10]		0	0	2	4	8	10	10

Jeolojinin uygunsuz olması durumunda, Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.13’de gösterilmektedir.



Şekil 6.13 : Jeoloji_unsuitable.

Jeolojinin uygun olması durumunda, Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.14’de gösterilmektedir.



Şekil. 6.14 : Jeoloji_suitable.

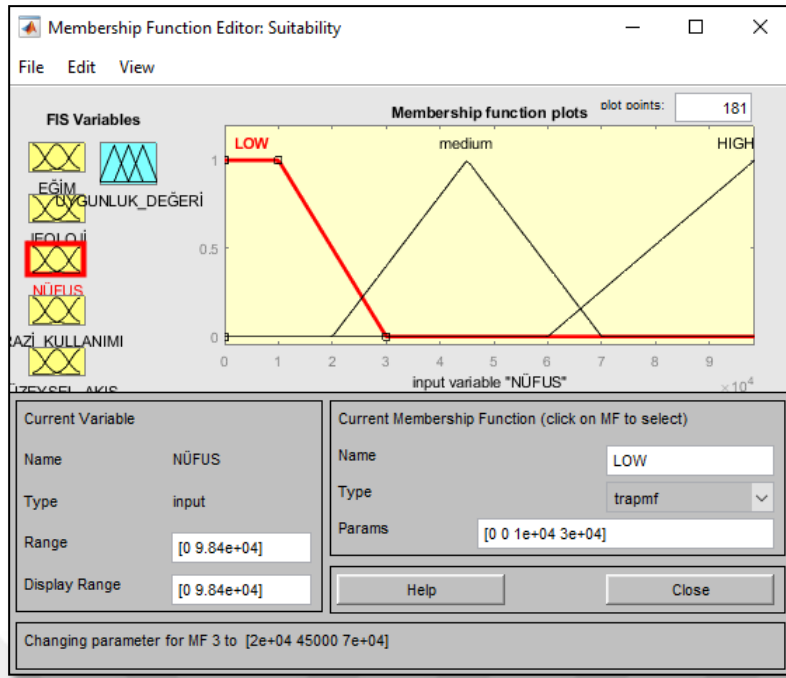
6.4.1.3 Nüfus kriteri

Nüfus kriteri için belirlenen bulanık üye fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.3 : Nüfus kriteri için bulanık üye fonksiyonu parametreleri.

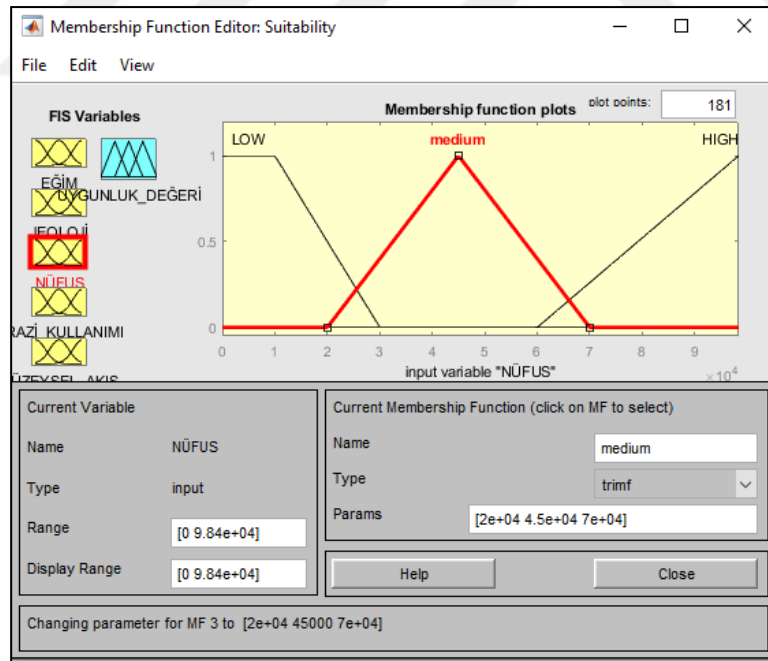
		Low				Medium			High		
		a	b	c	d	a	b	c	a	b	c
Type:trimf	NÜFUS	0	0	10000	30000	20000	45000	70000	60000	$9.84 \cdot 10^4$	$9.84 \cdot 10^4$
Range [0											
9.84e+04]											

Nüfusun düşük olması durumunda (Low), Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.15’de gösterilmektedir.



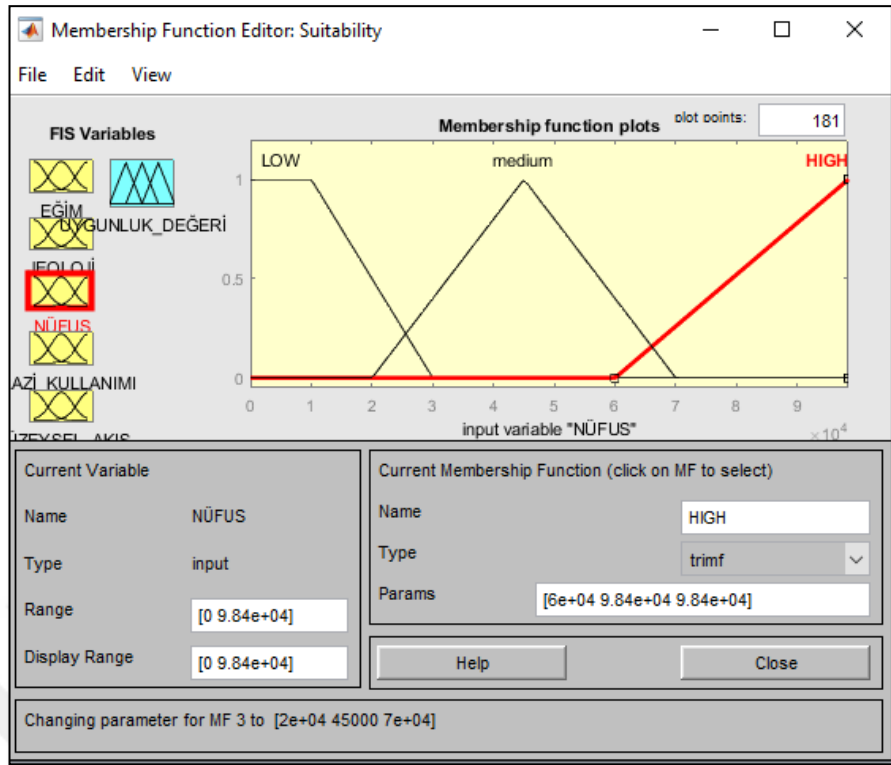
Şekil 6.15 : Nüfus_low.

Nüfusun orta olması durumunda (Medium), Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.16’da gösterilmektedir.



Şekil 6.16 : Nüfus_medium.

Nüfusun yüksek olması durumunda (High), Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.17’de gösterilmektedir.



Şekil 6.17 : Nüfus_high.

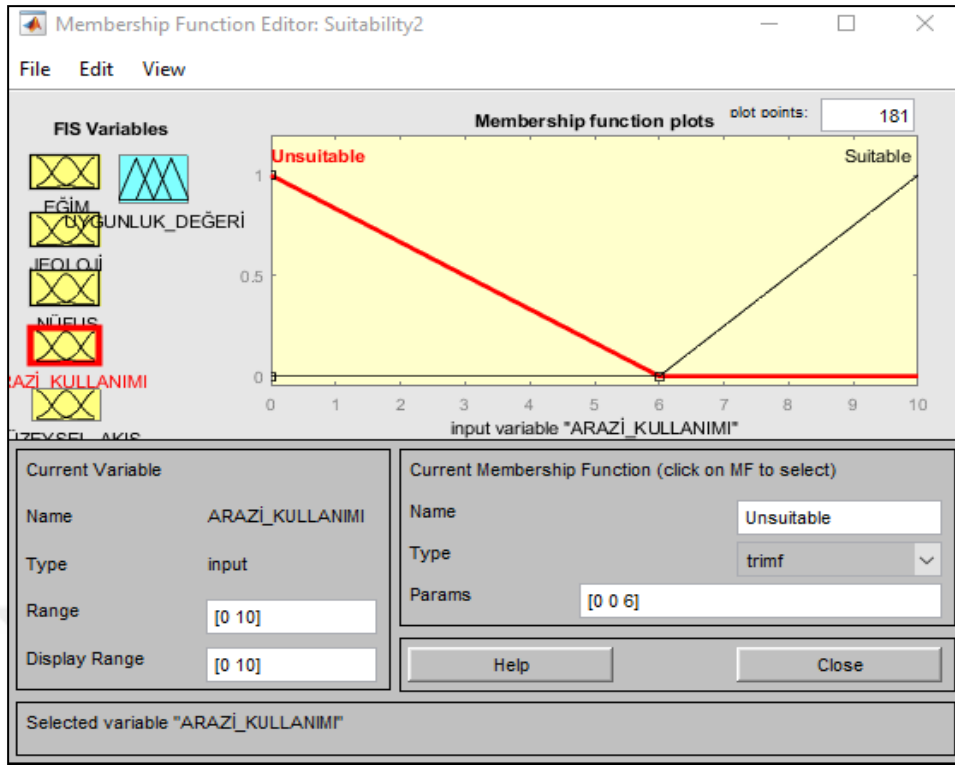
6.4.1.4 Arazi kullanımı kriteri

Arazi kullanımı kriteri için belirlenen bulanık üye fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.4 : Arazi kullanımı kriteri için bulanık üye fonksiyonu parametreleri.

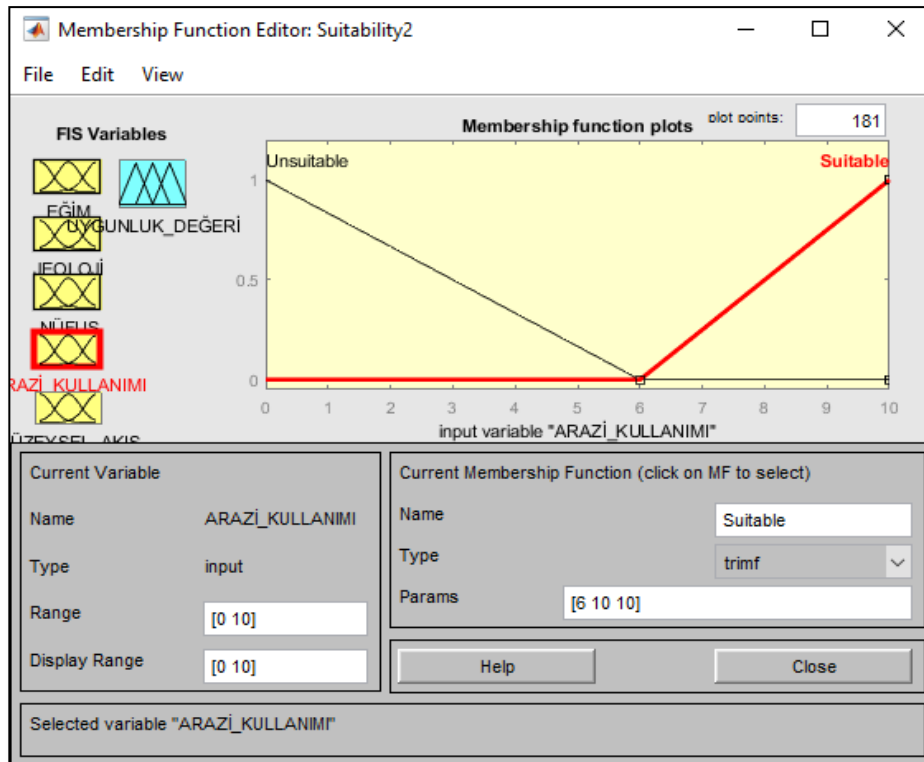
		unsuitable			suitable		
		a	b	c	a	b	c
Type:trimf	ARAZİ KULLANIMI	0	0	6	6	10	10
Range [0 10]							

Arazi kullanımının uygunsuz olması durumunda, Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.18’de gösterilmektedir.



Şekil 6.18: Arazi kullanımı_unsuitable.

Arazi kullanımının uygun olması durumunda, Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.19'da gösterilmektedir.



Şekil 6.19 : Arazi kullanımı_suitable.

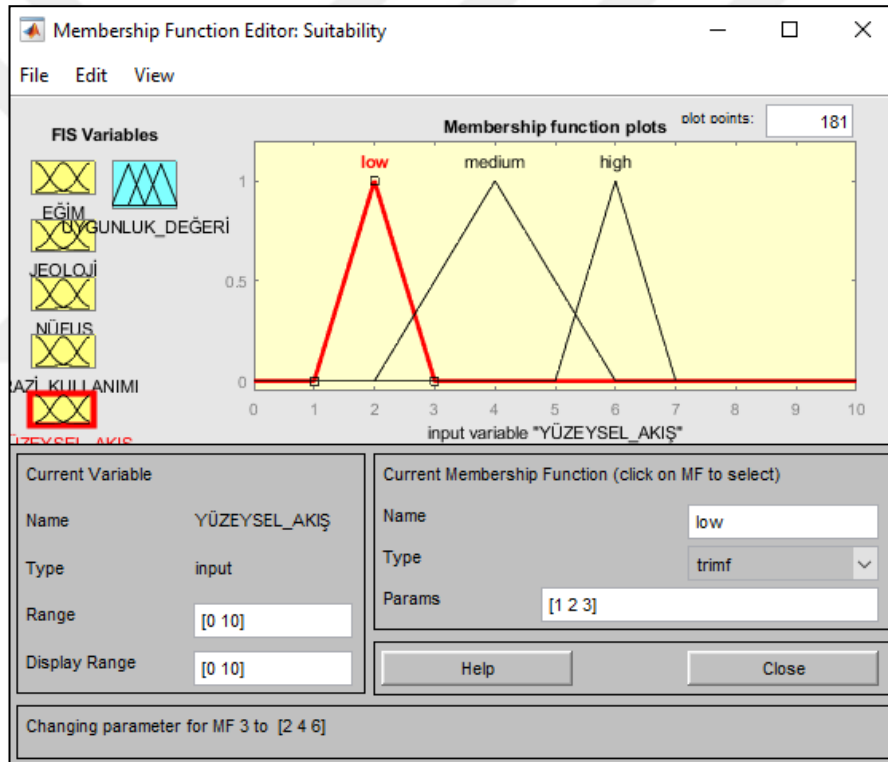
6.4.1.5 Yüzeysel akış kriteri

Yüzeysel Akış kriteri için belirlenen bulanık üye fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.5’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.5 : Yüzeysel akış kriteri için bulanık üye fonksiyonu parametreleri

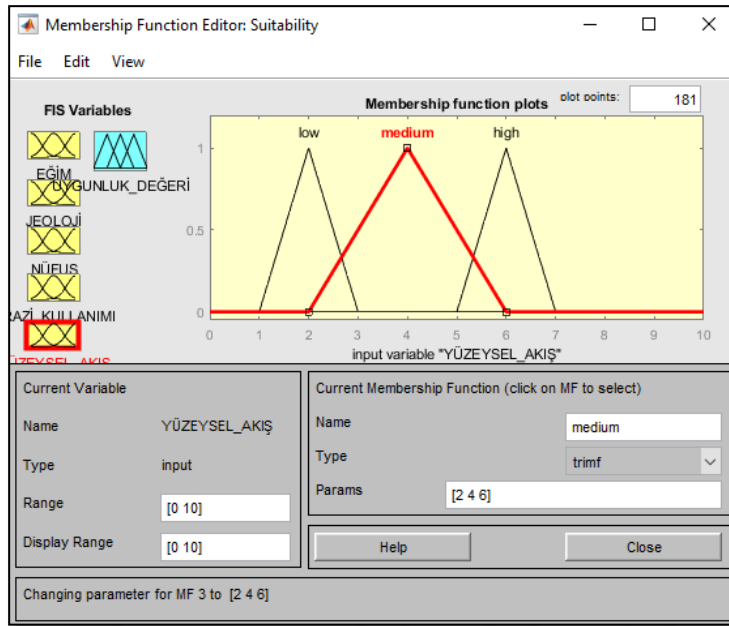
		Low			Medium			High		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
Type:trimf	YÜZEYSEL AKIŞ	1	2	3	2	4	6	5	6	7
Range [0 10]										

Yüzeysel akış değerinin düşük olması durumunda, Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.20’de gösterilmektedir.



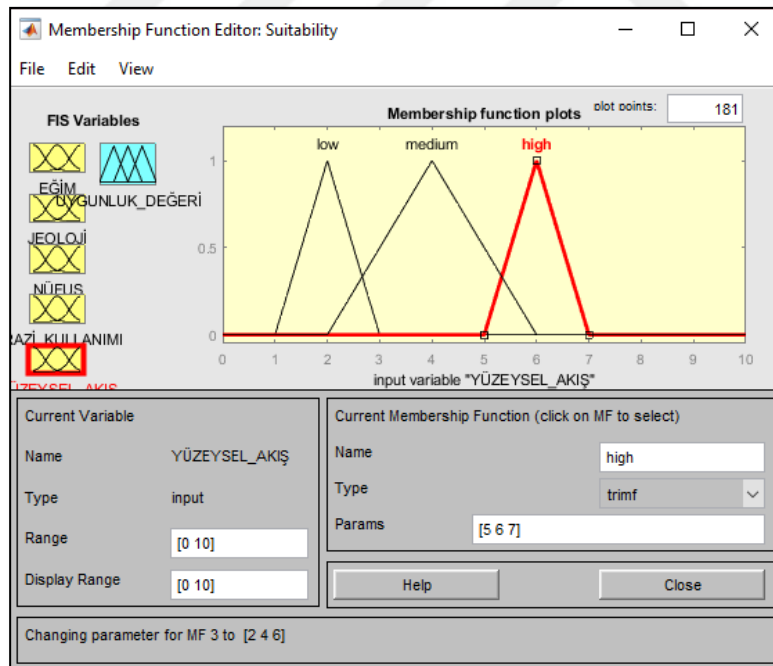
Şekil 6.20 : Yüzeysel akış_low.

Yüzeysel akış değerinin orta olması durumunda, Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.21’de gösterilmektedir.



Şekil 6.21 : Yüzeysel akış_medium.

Yüzeysel akış değerinin yüksek olması durumunda, Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.22’de gösterilmektedir.



Şekil 6.22 : Yüzeysel akış_high.

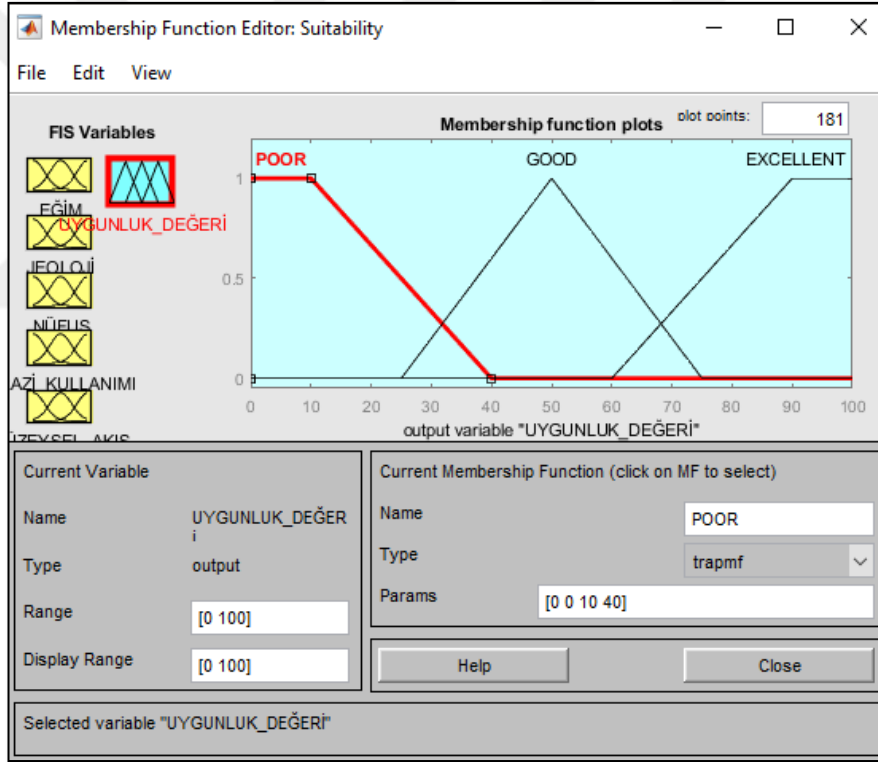
6.4.1.6 Uygunluk değeri

Uygunluk Değeri output için bulanık üye fonksiyonu parametreleri Çizelge 6.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 6.6: Uygunluk değeri için bulanık üye fonksiyonu parametreleri

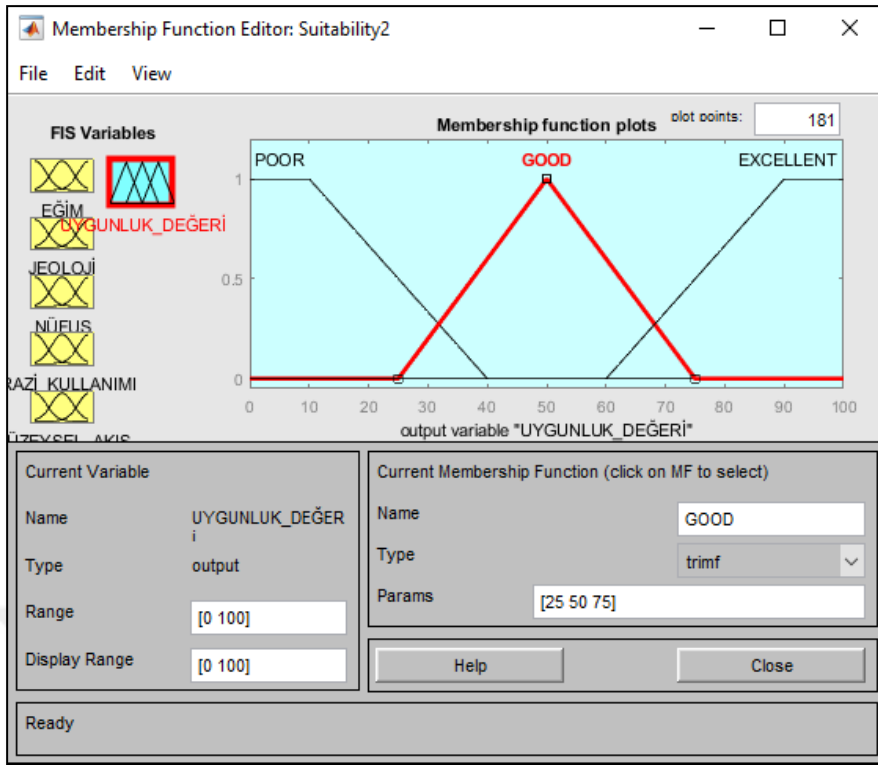
		Low			Medium			High		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
Type:trapmf	UYGUNLUK DEĞERİ	0	10	40	25	50	75	60	90	100
Range [0 100]										

Uygunluk değerinin düşük olması durumunda, Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.23’de gösterilmektedir.



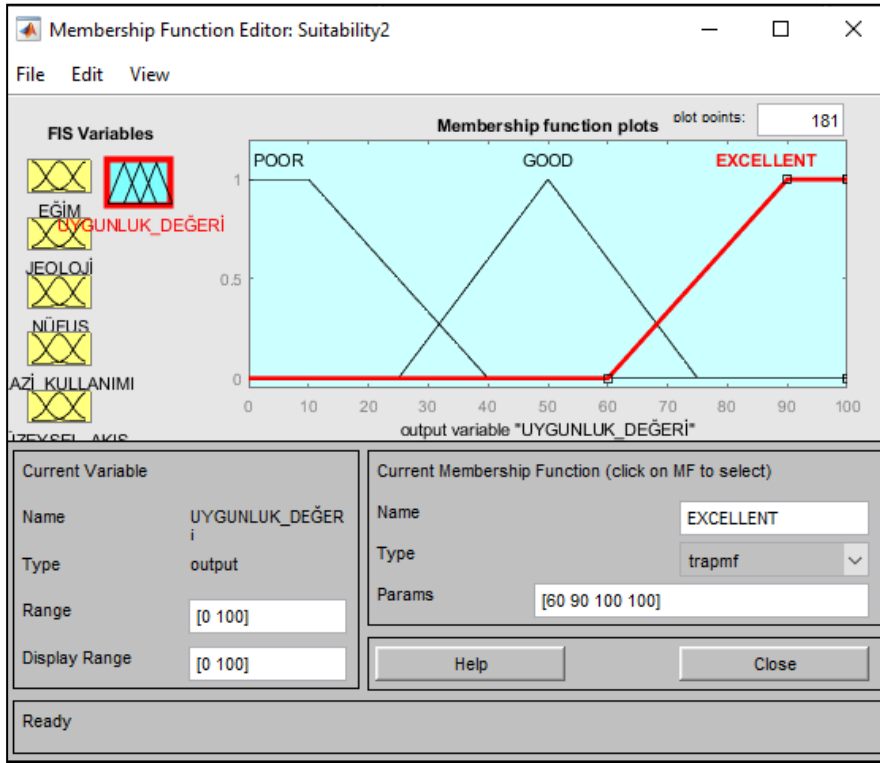
Şekil 6.23 : Uygunluk değeri_poor.

Uygunluk değerinin iyi olması durumunda, Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.24’de gösterilmektedir.



Şekil 6.24: Uygunluk değeri_good.

Uygunluk değerinin çok iyi olması durumunda, Üyelik Fonksiyonu Editörü ile oluşturulan diyagram aşağıdaki Şekil 6.25’de gösterilmektedir.



Şekil 6.25 : Uygunluk değeri_excellent.

Bu çalışmada, A girişi için 3 üyelik fonksiyonu, B girişi için 2 üyelik fonksiyonu, C girişi için 3 üyelik fonksiyonu, D girişi için 2 üyelik fonksiyonu, E girişi için 3 üyelik fonksiyonu ve F girişi için 3 üyelik fonksiyonu içeren, toplamda 5 giriş (A, B, C, D, E) ve 1 çıkıştan (F) oluşan bir bulanık sistem tanımlanmıştır. Her girdi kümesinin her bir farklı olasılığı için 108 adet (3*2*3*2*3) kuraldan oluşan kural tabanı oluşturulmuştur. Çizelge 6.7’de kural matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 6.7 : Kural matrisi.

		Eğim			Jeoloji		Nüfus			Arazi Kullanımı		Stream		
		Düşük	Orta	Yüksek	Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
Eğim	Düşük=Uygun				Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
	Orta=Orta düzeyde uygun				Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
	High=Uygun Değil				Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
Jeoloji	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek			Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek			Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
	Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
Nüfus	Orta	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
Arazi Kullanımı	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
Yüzeysel Su Akışı	Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
	Orta	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek
	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun	Uygun Değil	Düşük	Orta	Yüksek	Uygun Değil	Uygun	Düşük	Orta	Yüksek

Bir bulanık sistemin tasarımında bulanık kuralların belirlenmesi çok önemlidir. Bulanık modelin girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişki Çizelge 6.8'de gösterildiği gibi, 108 bulanık kural tarafından belirlenir.

Çizelge 6.8 : Kural tablosu.

	EĞİM	JEOLOJİ	NÜFUS	ARAZİ KULLANIMI	Yüzeysel AKIŞ	UYGUNLUK DURUMU
1	L	S	L	S	L	İYİ
2	L	S	L	S	M	İYİ
3	L	S	L	S	H	İYİ
4	L	S	L	U	L	KÖTÜ
5	L	S	L	U	M	KÖTÜ
6	L	S	L	U	H	KÖTÜ
7	L	S	M	S	L	İYİ
8	L	S	M	S	M	İYİ
9	L	S	M	S	H	İYİ
10	L	S	M	U	L	İYİ
11	L	S	M	U	M	İYİ
12	L	S	M	U	H	İYİ
13	L	S	H	S	L	ÇOK İYİ
14	L	S	H	S	M	ÇOK İYİ

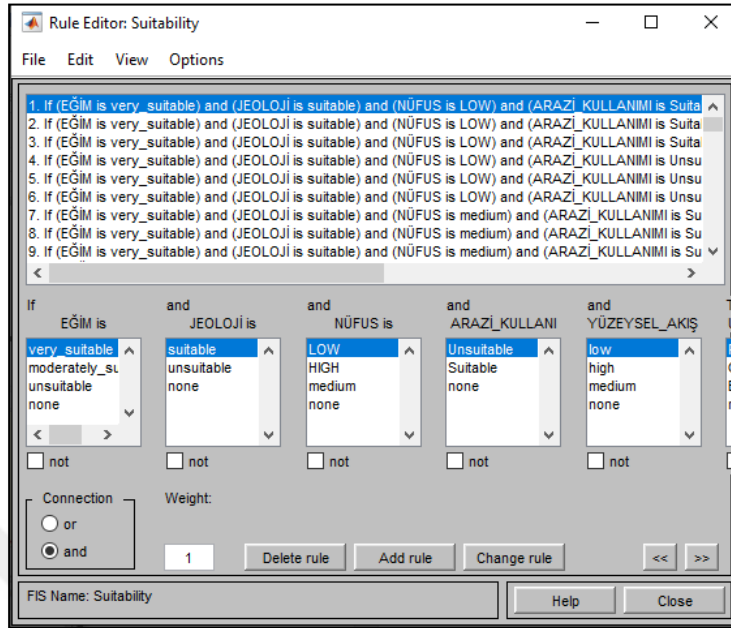
Çizelge 6.8 (devam) : Kural tablosu.

	EĞİM	JEOLOJİ	NÜFUS	ARAZİ KULLANIMI	Yüzeysel AKIŞ	UYGUNLUK DURUMU
15	L	S	H	S	H	ÇOK İYİ
16	L	S	H	U	L	İYİ
17	L	S	H	U	M	İYİ
18	L	S	H	U	H	İYİ
19	L	U	L	S	L	KÖTÜ
20	L	U	L	S	M	KÖTÜ
21	L	U	L	S	H	KÖTÜ
22	L	U	L	U	L	KÖTÜ
23	L	U	L	U	M	KÖTÜ
24	L	U	L	U	H	KÖTÜ
25	L	U	M	S	L	İYİ
26	L	U	M	S	M	İYİ
27	L	U	M	S	H	İYİ
28	L	U	M	U	L	İYİ
29	L	U	M	U	M	İYİ
30	L	U	M	U	H	KÖTÜ
31	L	U	H	S	L	ÇOK İYİ
32	L	U	H	S	M	ÇOK İYİ
33	L	U	H	S	H	İYİ
34	L	U	H	U	L	İYİ
35	L	U	H	U	M	İYİ
36	L	U	H	U	H	İYİ
37	M	S	L	S	L	İYİ
38	M	S	L	S	M	İYİ
39	M	S	L	S	H	İYİ
40	M	S	L	U	L	İYİ
41	M	S	L	U	M	İYİ
42	M	S	L	U	H	KÖTÜ
43	M	S	M	S	L	ÇOK İYİ
44	M	S	M	S	M	İYİ
45	M	S	M	S	H	İYİ
46	M	S	M	U	L	İYİ
47	M	S	M	U	M	İYİ
48	M	S	M	U	H	İYİ
49	M	S	H	S	L	ÇOK İYİ
50	M	S	H	S	M	ÇOK İYİ
51	M	S	H	S	H	İYİ
52	M	S	H	U	L	İYİ
53	M	S	H	U	M	İYİ
54	M	S	H	U	H	İYİ
55	M	U	L	S	L	İYİ
56	M	U	L	S	M	İYİ
57	M	U	L	S	H	KÖTÜ
58	M	U	L	U	L	KÖTÜ
59	M	U	L	U	M	KÖTÜ
60	M	U	L	U	H	KÖTÜ
61	M	U	M	S	L	İYİ
62	M	U	M	S	M	İYİ
63	M	U	M	S	H	İYİ

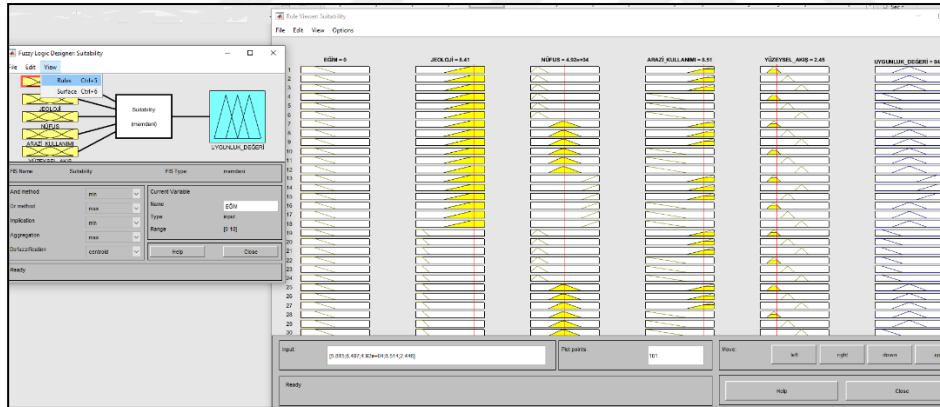
Çizelge 6.8 (devam) : Kural tablosu.

	EĞİM	JEOLOJİ	NÜFUS	ARAZİ KULLANIMI	YüzeySEL AKIŞ	UYGUNLUK DURUMU
64	M	U	M	U	L	İYİ
65	M	U	M	U	M	İYİ
66	M	U	M	U	H	KÖTÜ
67	M	U	H	S	L	İYİ
68	M	U	H	S	M	İYİ
69	M	U	H	S	H	İYİ
70	M	U	H	U	L	İYİ
71	M	U	H	U	M	İYİ
72	M	U	H	U	H	İYİ
73	H	S	L	S	L	İYİ
74	H	S	L	S	M	İYİ
75	H	S	L	S	H	KÖTÜ
76	H	S	L	U	L	KÖTÜ
77	H	S	L	U	M	KÖTÜ
78	H	S	L	U	H	KÖTÜ
79	H	S	M	S	L	İYİ
80	H	S	M	S	M	İYİ
81	H	S	M	S	H	İYİ
82	H	S	M	U	L	İYİ
83	H	S	M	U	M	İYİ
84	H	S	M	U	H	KÖTÜ
85	H	S	H	S	L	ÇOK İYİ
86	H	S	H	S	M	ÇOK İYİ
87	H	S	H	S	H	ÇOK İYİ
88	H	S	H	U	L	İYİ
89	H	S	H	U	M	İYİ
90	H	S	H	U	H	İYİ
91	H	U	L	S	L	KÖTÜ
92	H	U	L	S	M	KÖTÜ
93	H	U	L	S	H	KÖTÜ
94	H	U	L	U	L	KÖTÜ
95	H	U	L	U	M	KÖTÜ
96	H	U	L	U	H	KÖTÜ
97	H	U	M	S	L	İYİ
98	H	U	M	S	M	İYİ
99	H	U	M	S	H	KÖTÜ
100	H	U	M	U	L	KÖTÜ
101	H	U	M	U	M	KÖTÜ
102	H	U	M	U	H	KÖTÜ
103	H	U	H	S	L	ÇOK İYİ
104	H	U	H	S	M	ÇOK İYİ
105	H	U	H	S	H	İYİ
106	H	U	H	U	L	İYİ
107	H	U	H	U	M	İYİ
108	H	U	H	U	H	KÖTÜ

MATLAB programında kural editörü ile kuralların girilmesi ve görüntülenmesi Şekil 6.26 ve 6.27’de gösterilmektedir.



Şekil 6.26 : Kuralların girilmesi.



Şekil 6.27 : Kuralların görüntülenmesi (view rules).

Riad ve diğ. (2011) çalışmalarında ağırlıklı bindirme metodu ve bulanık mantık metodunu denemiştir. Arc GIS programında uygulanan bindirme analizinin en uygun yer seçiminde kullanılabileceği ancak daha spesifik ve doğru kararlar alabilmek için bulanık mantık modellemesinin kullanılabileceği önerilmiştir. Arc GIS programında oluşturulan uygunluk haritasındaki veriler dışarı aktarılarak bulanık analiz için girdi olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen en iyi konum verileri, projenin uygulama safhasına geçmeden önce saha çalışmaları ile desteklenmelidir.

Dutu ve diğ. (2018), Bulanık kural tabanlarını tatbik ederek, sistemin doğruluğu, kuralları öğrenmek için gereken hız ve kural tabanlarının yorumlanabilirliği açısından uygun bir dengeyi oluşturabilme üzerine çalışmışlardır ve Kesin/Hızlı Bulanık Modelleme adı verilen bir yaklaşımı test etmişlerdir.

Chamchali ve Ghazifard (2019) çalışmalarında, depolama saha yer seçimi bulanık mantık ile mekansal modelleme yöntemini tercih etmişlerdir. Buna göre yer seçim analizi yapılırken karar verme sürecinde uzman görüşlerini kullanarak tüm parametreleri dahil edebilme yeteneği olması ile birlikte, bulanık mantık mekansal modelleme ve CBS entegrasyonu ile güçlü bir analitik araç olarak kullanılmıştır. Depolama alanı için kullanılan kısıtlama parametreleri; köy ve şehir alanlarına uzaklık, sel bölgesinden uzaklık, kültürel mirasa ve kültür yapılarına uzaklık, hidrolik yapılardan uzaklık, heyelandan uzaklık, fay uzaklığı, maden sahasına uzaklık, güç hattından uzaklık, raylı sistemden uzaklık, nehirden uzaklık, yoldan uzaklık, kuyu ve kaynaktan uzaklık, çevre koruma alanlarına uzaklık, erozyon, jeoloji, yeraltı su derinliği, arazi kullanımı, eğim ve sıcaklıktır.

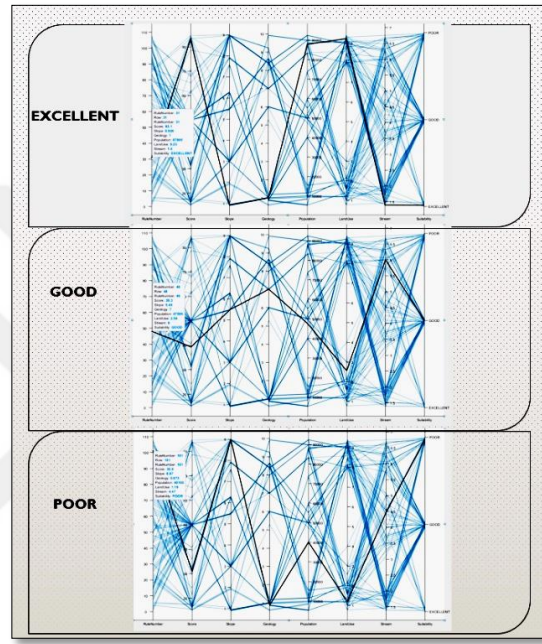
Ösna (2013) çalışmasında bulanık çıkarsama sistemlerinin doğal olaylar üzerindeki uygulamalarından bahsederek, heyelan duyarlılık haritası üretiminin matematiksel olarak modellenmesi çok güç, ayrıca uzman görüşü tabanlı ve bağlam içinde değerlendirme gerektiren bir süreç olduğunu belirtmiştir. GIS tabanlı bir Mamdani bulanık çıkarsama aracı geliştirilerek heyelan duyarlılık haritası üretiminde uygulanmıştır.

Sarkheil ve diğ. (2021) bulanık atıksu çevresel kalite değerlendirmesi kapsamında ‘Bulanık Atıksu Kalite İndeksi’ önererek, üyelik fonksiyonlarındaki bulanık kalite seviyelerinin limitleri, literatür araştırması, çevresel standartlar ve çevre uzmanı görüşleriyle hazırlanmıştır. Çevresel kalite değerlendirmesinde bulanık yaklaşımın avantajları şu şekildedir: sonuçların yüksek oranda doğruluğu ve muhakemeye dayalı, mantıklı cevaplar içermesi, yüksek çalışma hızı ile hesaplama ve değerlendirmede zaman kaybının önlenmesi, esneklik ve sistemdeki belirsizliklerin üstesinden gelme yeteneğidir.

Wang (2015) tez çalışmasında, Bulanık çıkarım sürecinde, Mamdani tipi üyelik fonksiyonlarının özelliklerini incelemeye odaklanmıştır. Girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkileri üyelik fonksiyonlarını ayarlayarak şeffaflık elde etmeyi amaçlamaktadır. Matlab araç kutusu kullanılarak sistematik deneme yanılma uygulanmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar ile üyelik fonksiyonlarının

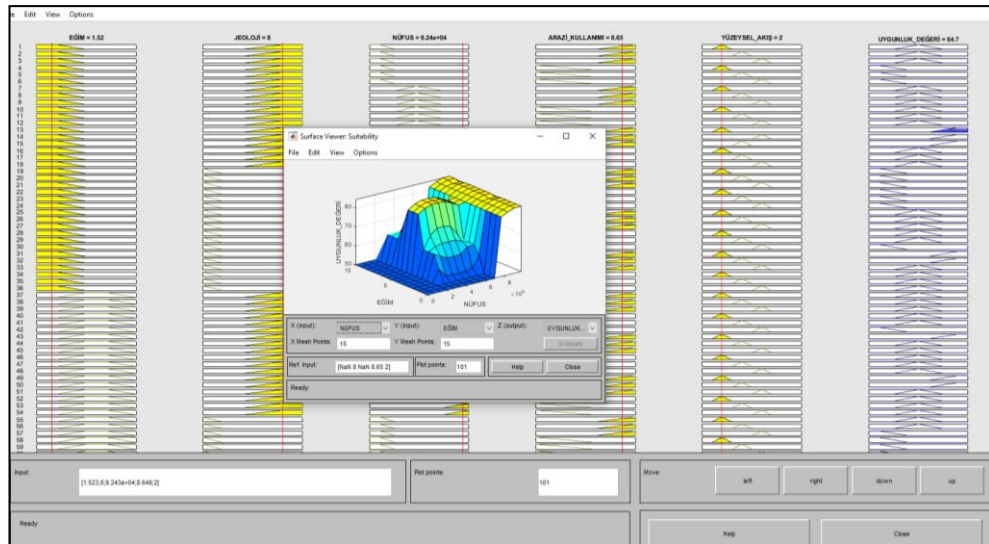
belirsizlikleri giderilerek hassas ve güvenilir bir çıkarım süreci elde edilmeye çalışılmıştır.

108 kural için kural ateşlemenin gerçekleştiği ve 'Uygunluk Puanı' olarak adlandırılan çıktı sonuçlarının alındığı bulanık çıkarım sistemine örnek girdi verileri seti girildi. Üç Uygunluk kategorisi (Mükemmel, İyi ve Kötü) için örnekler verilmiştir. Paralel görselleştirme diyagramı, Şekil 6.28'de gösterildiği gibi, Bulanık çıkarım sistemi değişkenlerinin (girdi-çıkı) iki boyutlu olarak görüntülenmesini sağlamaktadır.



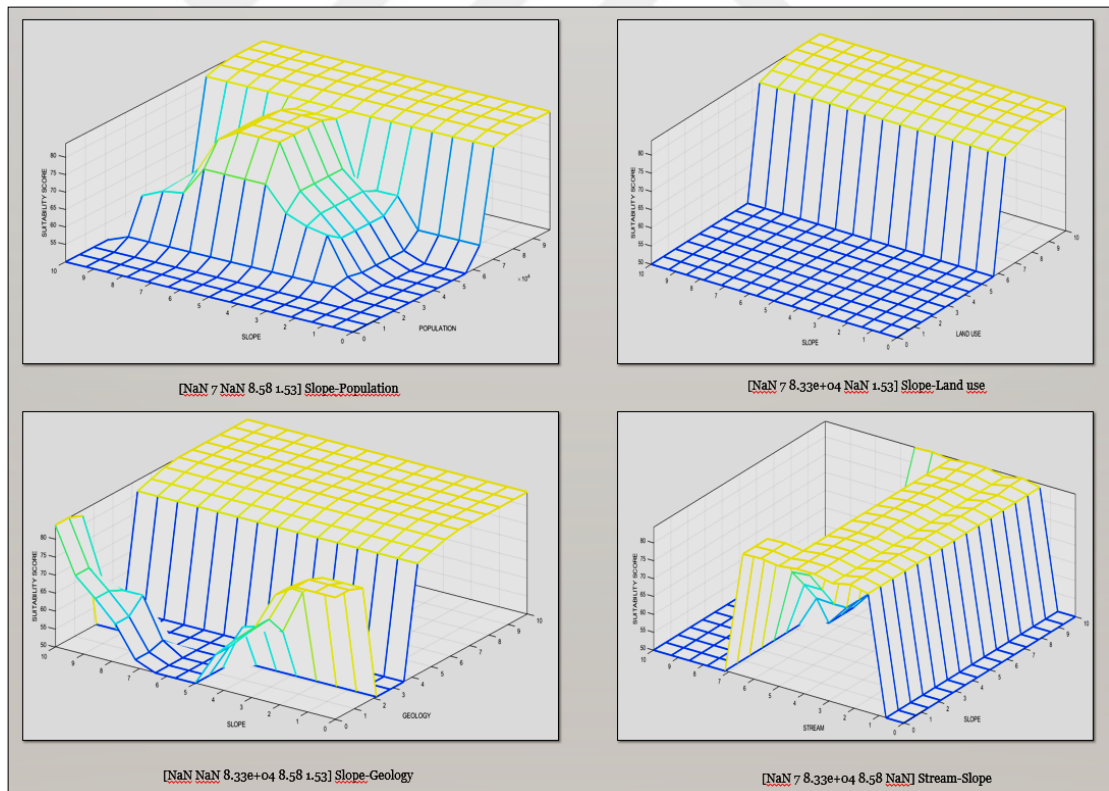
Şekil 6.28 : Paralel görselleştirme diyagramı(mükemmel, iyi ve kötü).

Yüzey görüntüleme işlemi, giriş ve çıkış değerlerini üç boyutlu ağ grafiği ile göstermek için kullanılır. Şekil 6.29'da iki çift giriş verisi için (Nüfus ve Eğitim) oluşturulan bir örnek verilmiştir.



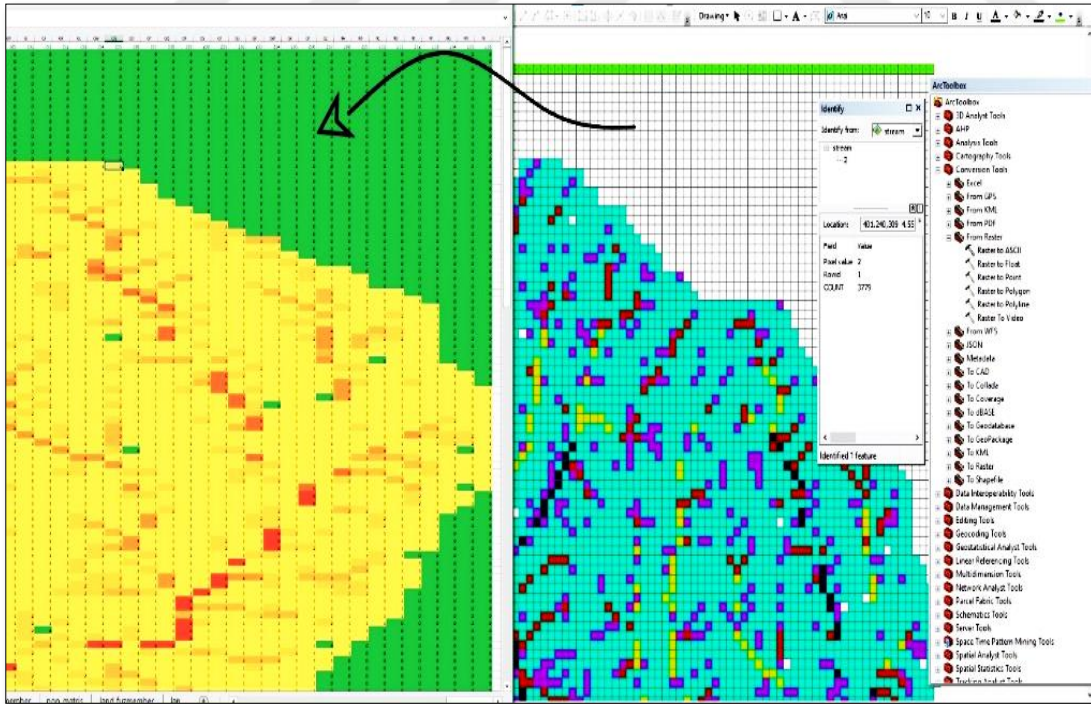
Şekil 6.29: Nüfus ve eğitim girdileri için yüzey görüntüleme.

Eğim-Nüfus, Eğim-Arazi kullanımı, Eğim-Jeoloji ve Yüzeysel Akış-Eğim ikili girdi verileri için elde edilen uygunluk puanı yüzey görüntüleri Şekil 6.30’da verilmektedir.

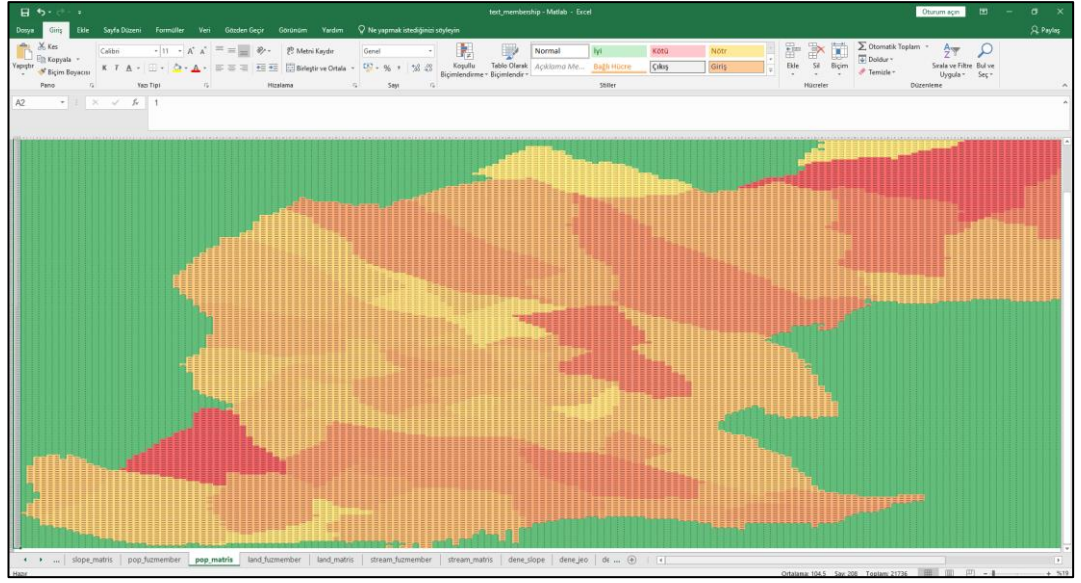


6.4.2 Verilerin üretilmesi

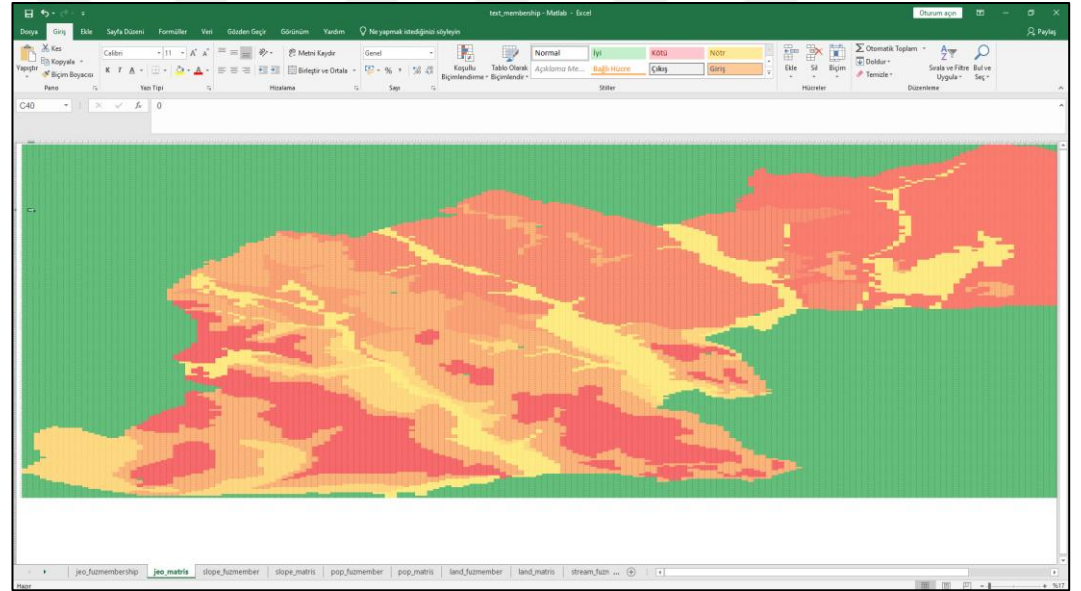
Bu çalışmada, bu metodoloji bir matris dosyası kullanılarak bir coğrafi veri setine uygulanmıştır. Bu matris dosyası 208 satır ve 216 sütundan oluşmaktadır. Giriş değişkenlerini temsil etmek için 5 girdi raster veri seti vardır. (Eğim, Jeoloji, Nüfus, Arazi kullanımı ve Yüzeysel Su Akışı) Dijital topografik haritalar, Sayısal Yükseklik Modeli oluşturmak ve eğim ve akarsu tasviri gibi katmanları türetmek için kullanılır. Jeolojik veriler (İBB, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, 2021)’den alınarak jeolojik raster harita oluşturulmuştur. Çalışma alanı için nüfus verileri (TÜİK, 2021)’den alınmıştır. Dijital topoğrafik haritalar ve Arazi kullanım verileri (İBB, Coğrafi Bilgi Sistemleri Müdürlüğü, 2021)’den alınmıştır. Tüm parametre haritaları dönüştürülerek 100 m grid çözünürlüğünde raster formatta saklanmıştır. Tüm raster dosyalarının oluşturulması için ArcMap 10.8 yazılımı kullanılmıştır. Bu raster dosyalar, Arc GIS dönüştürme araçları kullanılarak ASCII metin dosyalarına dönüştürülmüştür (Şekil 6.31). Dönüştürülen metin dosyaları, Şekil 6.32, Şekil 6.33, Şekil 6.34, Şekil 6.35, Şekil 6.36’da görülen girdi veri setlerini hazırlamak için bir Excel dosyasına kopyalanır. Daha sonra, bu girdi dosyaları ‘Suitability.FIS’ (Bulanık Çıkarım Sistemi) uygulamak için Matlab ortamına aktarılır.



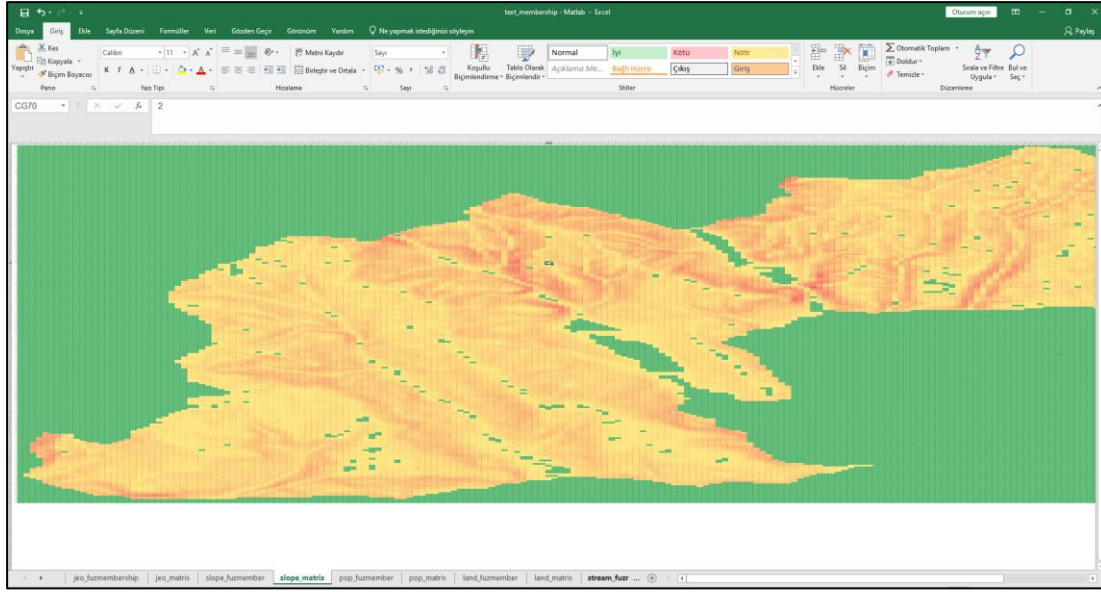
Şekil 6.31 : Text dosyasına dönüştürme işlemi.



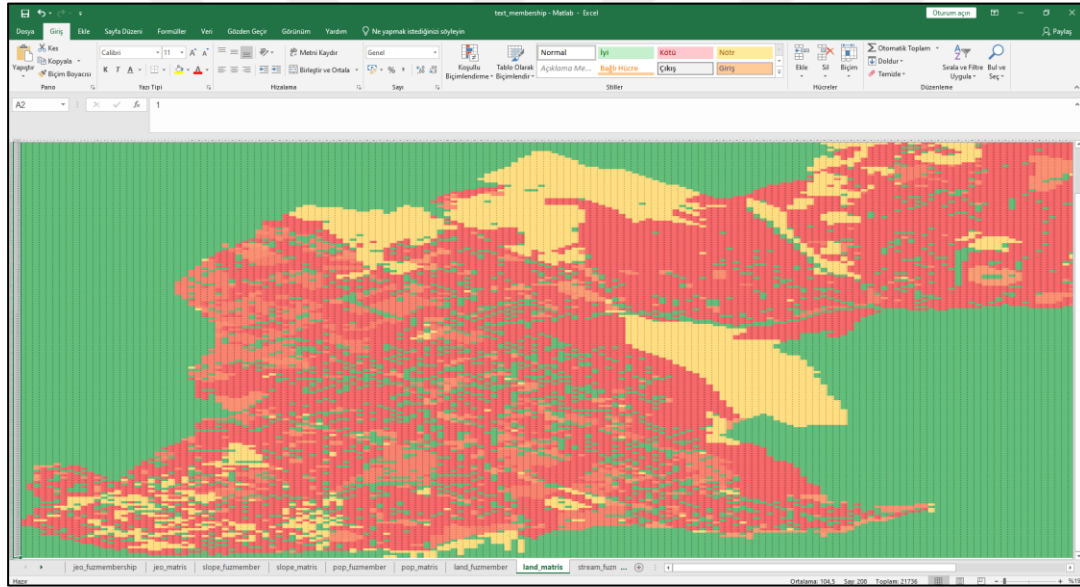
Şekil 6.32: Nüfus matrisi excel dosyası (216 sütun*208 satır) hücre büyüklüğü:100.



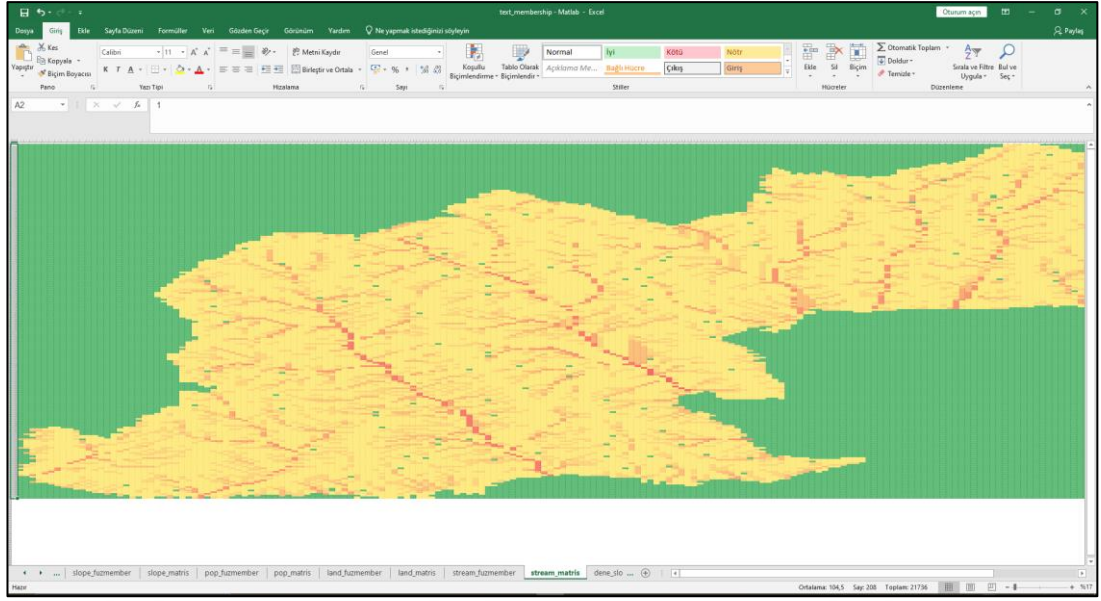
Şekil 6.33 : Jeoloji matrisi excel dosyası (216 sütun*208 satır) hücre büyüklüğü:100.



Şekil 6.34 : Eğim matrisi excel dosyası (216 sütun*208 satır) hücre büyüklüğü:100.



Şekil 6.35 : Arazi kullanımı matrisi excel dosyası (216 sütun*208 satır) hücre büyüklüğü:100.



Şekil 6.36 : Yüzeysel akış matrisi excel dosyası (216 sütun*208 satır) hücre büyüklüğü:100.

Her giriş matrisi dosyası, sayısal bir matris olarak içe aktarılarak, Matlab'de çalışma alanına (workspace) yüklenmiştir. Jeo_matrix (208*216), slope_matrix (208*216), pop_matrix (208*216), land_matrix (208*216), stream_matrix (208*216) olarak beş giriş matrisi kaydedilir. Çalışma alanında her sütun ayrı ayrı kaydedilerek işlemler gerçekleştirilmiştir. (slope_1'den eğimli_216'ya, jeo_1'den jeo_216'ya, pop_1'den pop_216'ya, land_1'den land_216'ya, stream_1'den stream_216'ya).

Matlab kodları Command penceresine yazılarak, model aşağıda gösterildiği gibi her sütun dosyası için ayrı ayrı çalıştırılır.

$$a=\text{readfif}('Uygunluk'); \text{girdiler}=[\text{slope_1 jeo_1 pop_1 land_1 stream_1 }]; \quad (6.9)$$

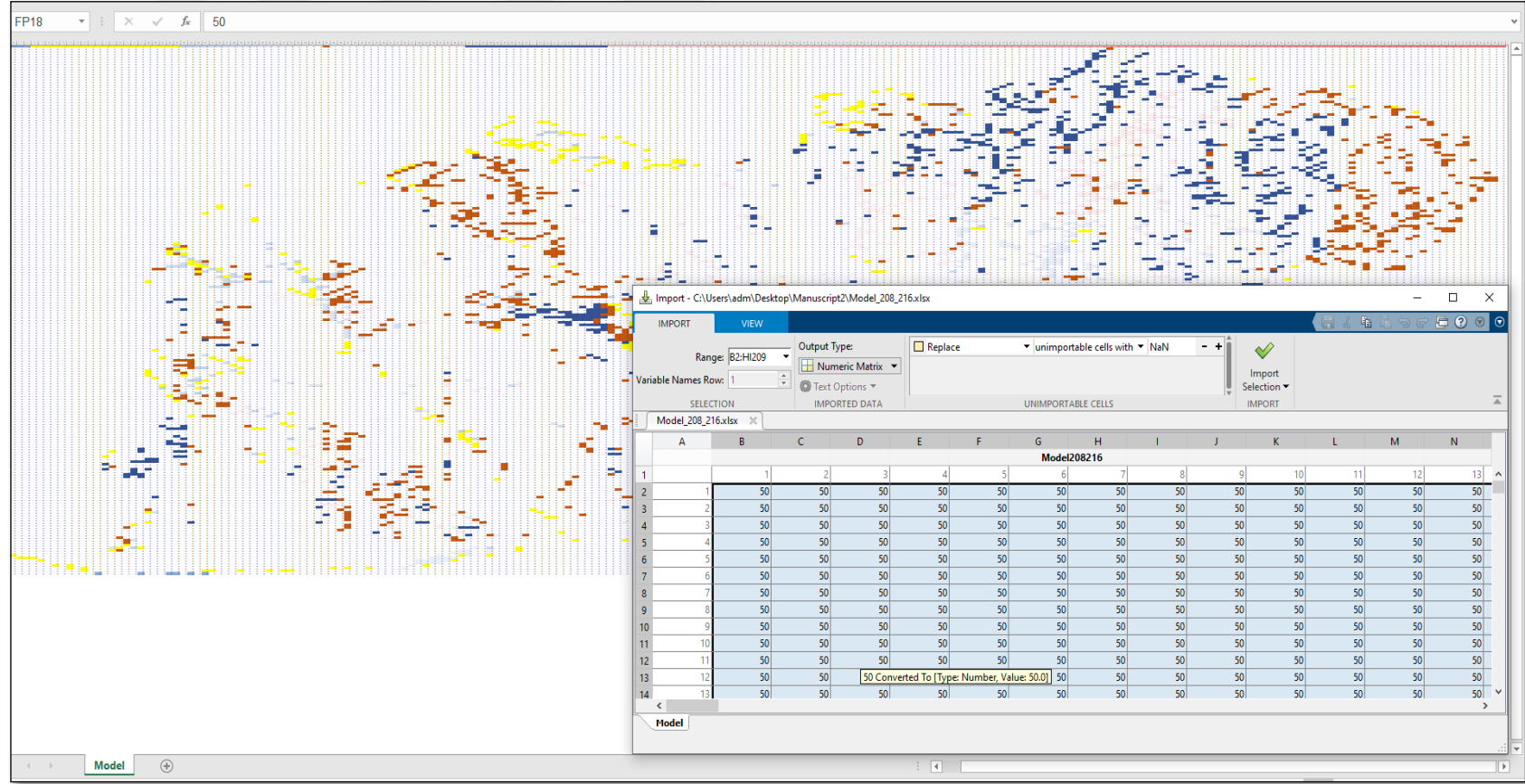
$$\text{Model_1}=\text{değerlendir}(a, [\text{eğim_1 jeo_1 pop_1 arazi_1 akış_1}]); \quad (6.10)$$

$$\text{Model_2}=\text{değerlendir}(a, [\text{eğim_2 jeo_2 pop_2 arazi_2 akış_2}]); \quad (6.11)$$

.....

$$\text{Model_216}=\text{değerlendir}(a, [\text{slope_216 jeo_216 pop_216 land_216 stream_216}]); \quad (6.12)$$

Çıktı sütunları, Şekil 6.37'de görülebilen tek bir çıktı excel dosyasında toplanır.



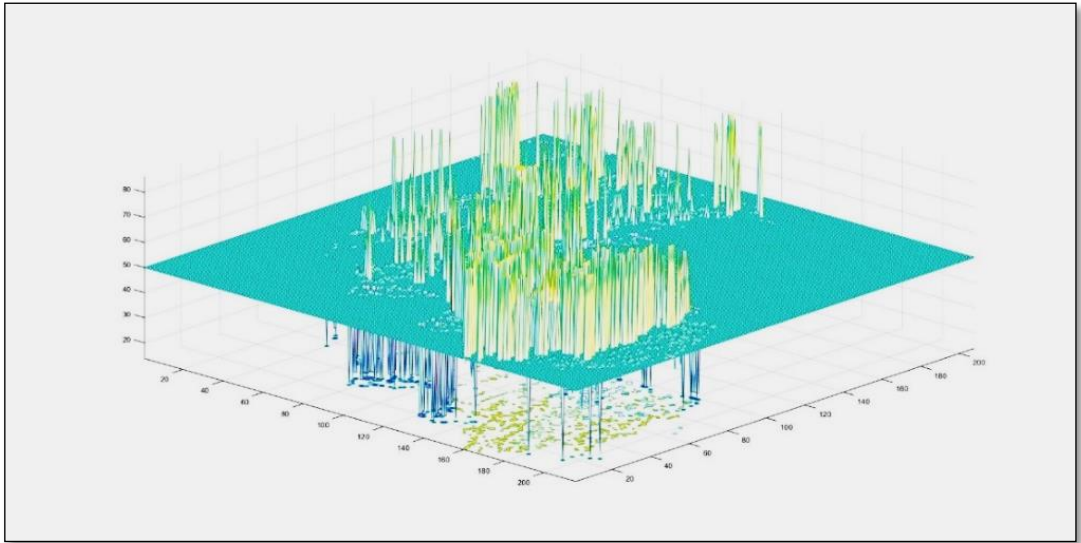
Şekil 6.37 : Model çıktı dosyası (208*216).

6.4.3 Model sonuçları

Beş farklı girdi kriteri için elde edilen uygunluk puanları, Şekil 6.38'de gösterildiği gibi yaklaşık 227 km²'lik bir alanı kaplayan üç boyutlu görünümde sunulmuştur. Çalışma bölgesi, Matlab R2021b'ye yüklenmiş ve 216'ya 208'lik bir matris olarak modellenmiştir.

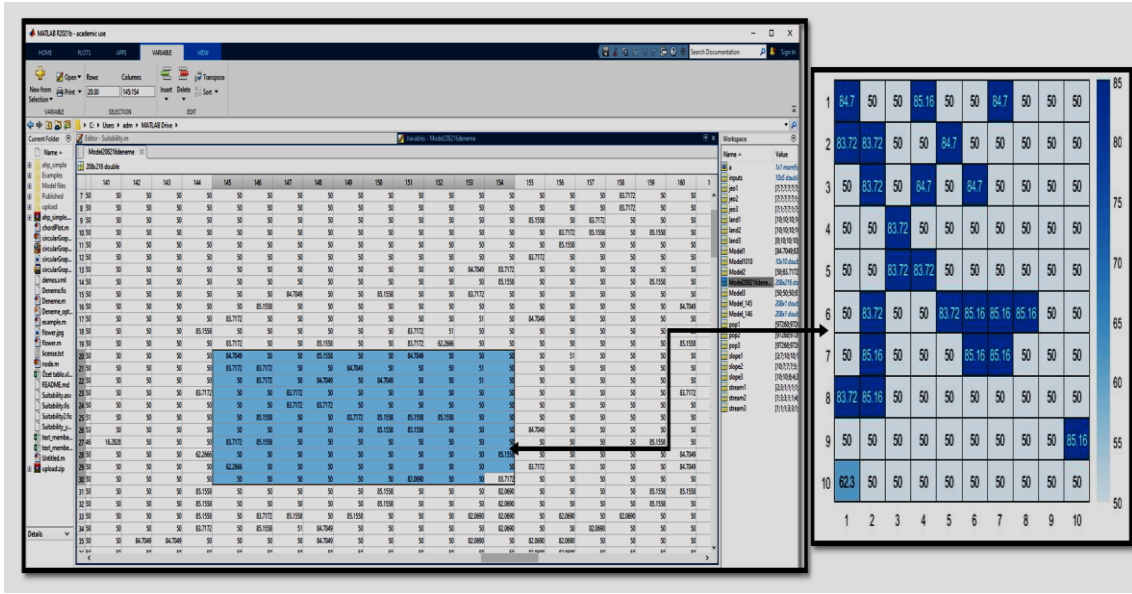
Bu alandaki geçmişte yapılan çalışmalarda, planlama sürecini bulanık yaklaşımla sistemleştirmek için kullanılabilecek bir çerçeve oluşturmak için sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Gökçeoğlu ve diğ. (2011), Mamdani bulanık çıkarım sistemini kullanarak bir program geliştirmiştir. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi için girdi parametreleri olarak topografik, jeolojik ve çevresel faktörler kullanılmıştır. Bulanık çıkarım sistemi, sayısal ve kategorik verileri birleştirebilir ve karar verme süreçleri için sayısal bir veri üretebilir. Bu araştırmanın “sonuç” bölümüne göre, çok geniş bir coğrafi veri setini içeren bir modelin mevcut Matlab yazılımı kullanılarak çalıştırılmasının mümkün olmadığından bahsedilmektedir. Bu tez çalışmasında, yaklaşık 227 km²'lik bir alanı kapsayan geniş bir coğrafi alan test edilmiştir.

Riad ve diğ. (2011) rastgele seçilen 35 noktaya, o haritadaki tüm öncelikli bölgeleri kapsayacak şekilde bulanık çıkarım yöntemini uygulamıştır. Bu noktalar, yapay yeraltı suyu şarjı için en uygun yerleri keşfetmek üzere Matlab'da bulanık mantık tarafından manipüle edilmek üzere uygunluk haritasındaki her bir öncelik bölgesindeki çeşitli yerlerden seçildi. Bu çalışmada 44928 hücre için bulanık model çalıştırılmıştır.



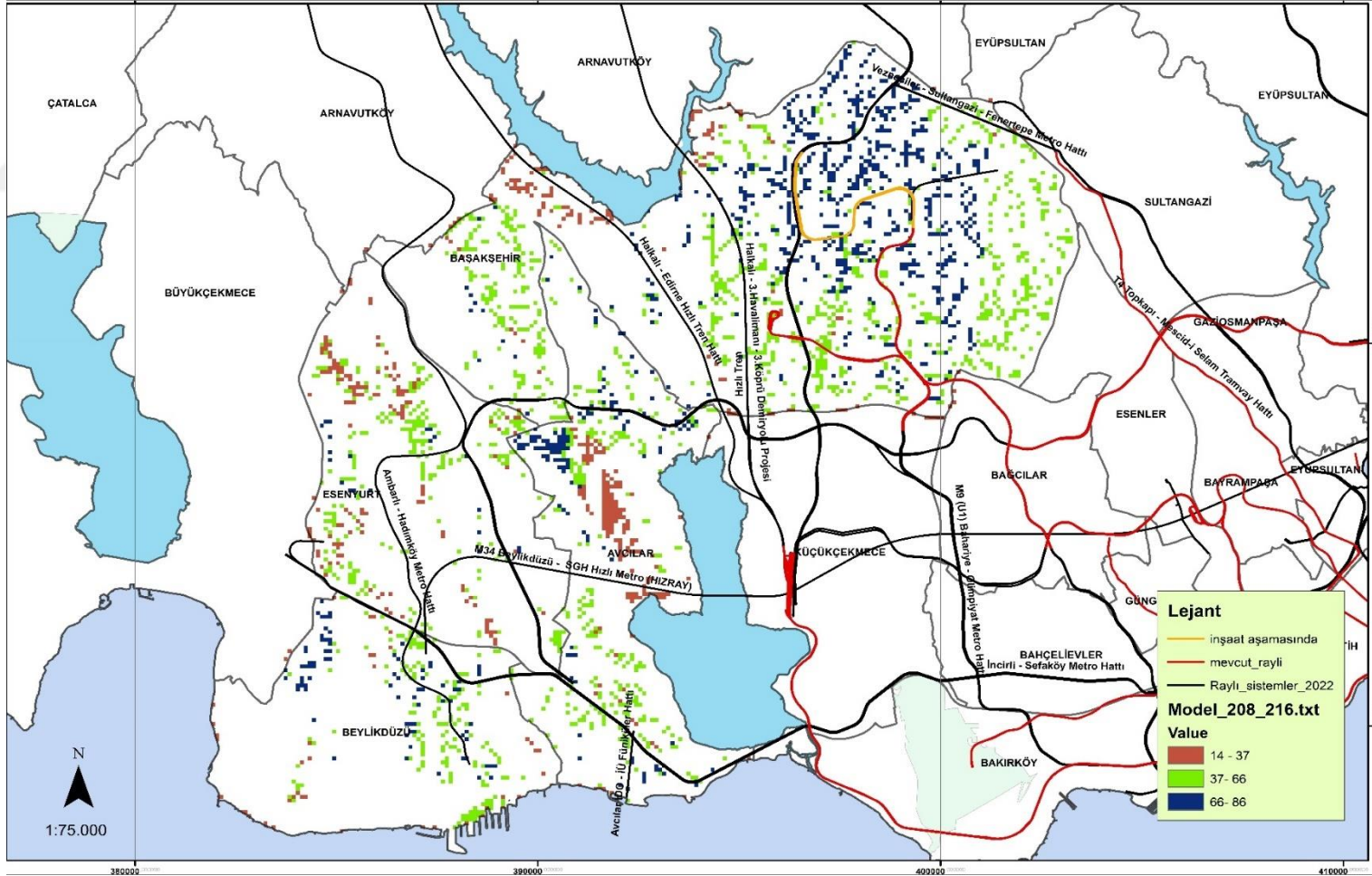
Şekil 6.38 : Çalışma alanının 3 boyutlu model çıktı değerleri.

Model dosyasının (208*216) çıkış değerlerinin kontrolü için 10*10 matris olarak bir veri seti grubu seçilerek, çapraz kontrol için tüm hesaplamalar bu bölüm için tekrarlanmıştır. Tüm sonuçlar, daha önce yapılan toplam çıktı matris dosyasıyla aynı şekilde çıktığı gözlenmiştir. Bu örnek verinin ısı haritası oluşturması Şekil 6.39'da sunulmuştur. Durulaştırılmış çıktı değeri olan 50, kural içermeyen hücrelerin veya aralık dışı değerlerin tetiklendiği varsayılan değerleri temsil eder. Zayıf uygunluk puanı 0 ile 40 arasında, iyi uygunluk 25 ile 75 arasında, mükemmel uygunluk 60 ile 100 arasında değişmektedir.



Şekil 6.39 : Örnek seçilen matris verisi için ‘heatmap’ oluşturulması.

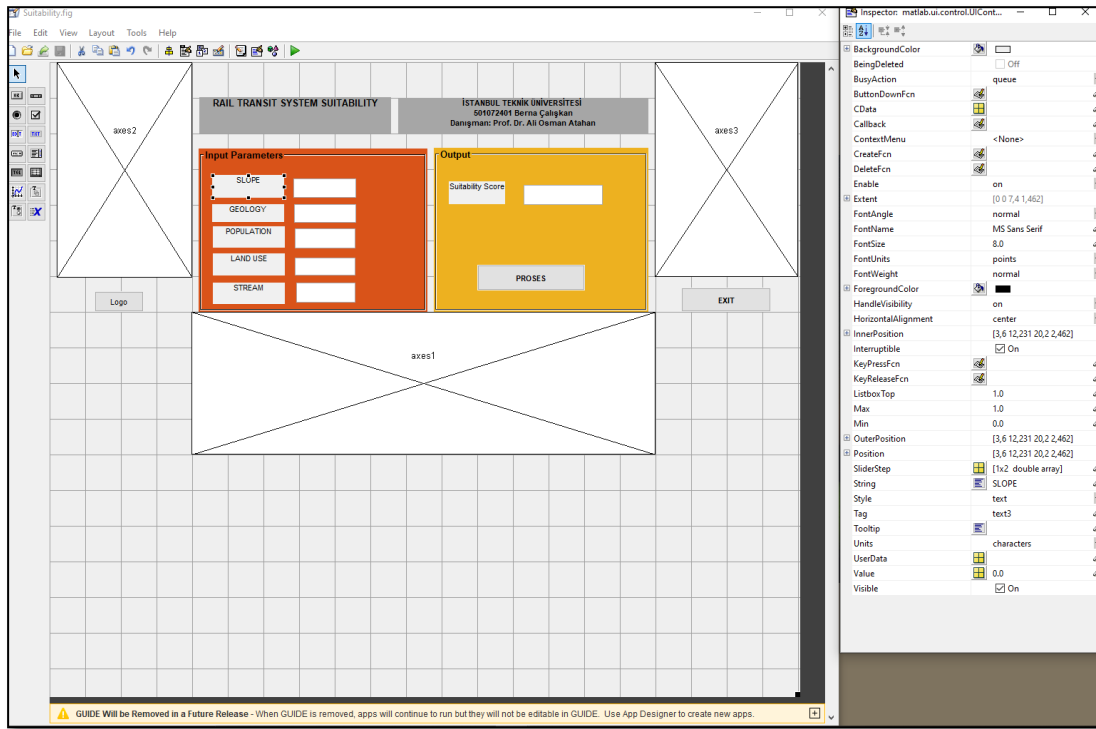
Model çıktısı excel dosyası, metin belgesinin üstüne bu değişkenler (ncols 216, nrows 208, xllcorner 381790,7065, yllcorner 4537104,0617, cellsize 100, NODATA_value 0) eklenerek metin dosyası olarak kaydedilir ve Model_208_216.txt belgesi açılır. Arc GIS 10.8'de. Metin belgesinin katman özellikleri, Şekil 6.40'da gösterildiği gibi her uygunluk değerine bir renk atayan raster biçimli harita çizmek içinsemboloji sekmesinden tanımlanır.



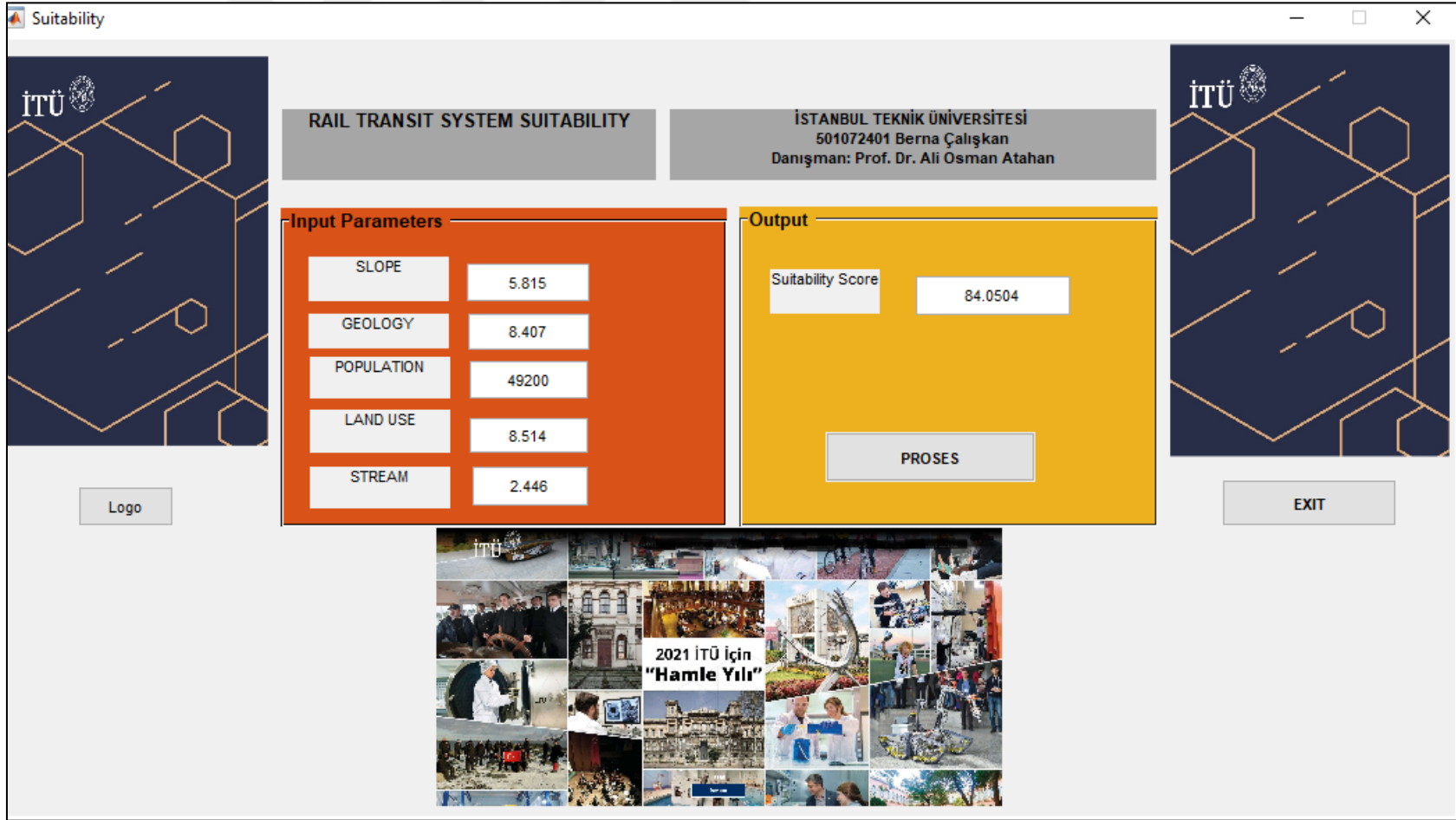
Şekil 6.40 : Sonuç uygunluk puanı haritası.

6.5 Bulanık Mantık Hesaplamalarının Grafiksel Arayüz Tasarımı ile Yapılması

Kullanıcıların içerikteki nesnelerin kullanımı ile etkileşimde bulunmalarını ve işleri veya programları çalıştırmalarını sağlayan grafiksel bir program arayüzüdür. Açılımı Graphical User Interface (GUI) dir (Şekil 5.41). GUI nesneleri menüler, araç çubukları, radio butonlar, liste kutuları veya kaydırıcılar olabilir. Ayrıca, MATLAB GUI ile MATLAB tarafından sağlanan hesaplama yeteneği kullanılarak da veri alımı ve grafik çizimi gibi birçok işlem gerçekleştirilebilir. Tez çalışması kapsamında hazırlanan Raylı Sistem Uygunluk Analizi kullanıcı ara yüzü Şekil 6.42’de gösterilmektedir.



Şekil 6.41 : MATLAB GUI tasarım penceresi.



Şekil 6.42 : MATLAB GUI (Graphical user interface).



```

function varargout = Suitability(varargin)
% SUITABILITY MATLAB code for Suitability.fig
% SUITABILITY, by itself, creates a new SUITABILITY or raises
% the existing
% singleton*.
%
% H = SUITABILITY returns the handle to a new SUITABILITY or
% the existing singleton*.
%
% SUITABILITY('CALLBACK', hObject,eventData,handles,...)
% calls the local
% function named CALLBACK in SUITABILITY.M with the given
% input arguments.
%
% SUITABILITY('Property','Value',...) creates a new
% SUITABILITY or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before Suitability_OpeningFcn gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property
% application
% stop. All inputs are passed to Suitability_OpeningFcn via
% varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
% only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help Suitability
% Last Modified by GUIDE v2.5 23-Nov-2021 16:46:24

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name', mfilename, ...
    'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @Suitability_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn', @Suitability_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn', [] , ...
    'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

```

```

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
    varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Suitability is made visible.
function Suitability_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
    varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
% MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
% GUIDATA)
% varargin command line arguments to Suitability (see
% VARARGIN)

% Choose default command line output for Suitability
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes Suitability wait for user response (see
% UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command
% line
function varargout = Suitability_OutputFcn(hObject,
    eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see
% VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
% MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
% GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
a = readfis(Suitability);
out=evalfis([handles.slope handles.geology handles.population
handles.landuse handles.stream]a);
set(handles.edit6,'string',out);

% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,String) returns contents of edit6 as text
% str2double(get(hObject,String)) returns contents of edit6 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,BackgroundColor),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
slope=str2double(get(hObject,'string'));
handles.slope=slope;
guidata(hObject,handles);

```

(1)

```

% Hints: get(hObject,String) returns contents of edit1 as text
% str2double(get(hObject,String)) returns contents of edit1 as a
% double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
% called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,BackgroundColor),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, ~, handles)
% hObject handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
geology=str2double(get(hObject,'string'));
handles.geology=geology;
guidata(hObject,handles);

% Hints: get(hObject,String) returns contents of edit2 as text
% str2double(get(hObject,String)) returns contents of edit2 as a
% double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
% called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,BackgroundColor),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
population=str2double(get(hObject,'string'));
handles.population=population;
guidata(hObject,handles);

% Hints: get(hObject,String) returns contents of edit3 as text
% str2double(get(hObject,String)) returns contents of edit3 as a
% double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns
% called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,BackgroundColor),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
landuse=str2double(get(hObject,'string'));
handles.landuse=landuse;
guidata(hObject,handles);

```

```

% Hints: get(hObject,String) returns contents of edit4 as text
% str2double(get(hObject,String)) returns contents of edit4 as a
% double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,BackgroundColor),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
stream=str2double(get(hObject,'string'));
handles.stream=stream;
guidata(hObject,handles);

% Hints: get(hObject,String) returns contents of edit5 as text
% str2double(get(hObject,String)) returns contents of edit5 as a
% double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,BackgroundColor),
    get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

Close

```

(2)

Şekil 6.44 : MATLAB GUI kodlama listesi.

Kullanıcı ara yüzüne logo ve fotoğraf eklemek için yazılan kodlamalar Şekil 6.45'te verilmiştir.

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.

% hObject handle to axes1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: place code in OpeningFcn to populate axes1

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

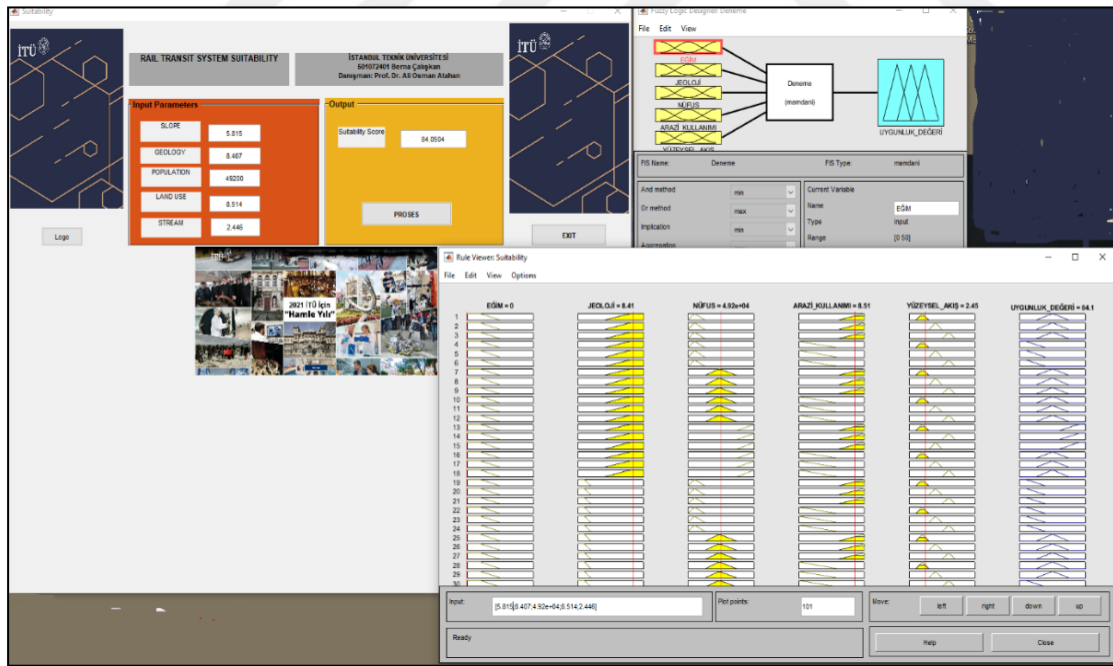
handles.output=hObject;
axes(handles.axes1)
imshow('C:\Users\adm\Desktop\hamle.jpg');

handles.output=hObject;
axes(handles.axes2)
imshow('C:\Users\adm\Desktop\U2.jpg');

handles.output=hObject;
axes(handles.axes3)
imshow('C:\Users\adm\Desktop\U2.jpg');
```

Şekil 6.45 : MATLAB GUI logo ve görüntü dosyası - kodlama listesi.

Arayüzde girilen verilerle Bulanık Çıkarım Motoru'ndan alınan verilerin karşılaştırılması Şekil 5.46'da gösterildiği gibi gerçekleştirilerek sonuçlar kontrol edilmiştir.



Şekil 6.46 : Arayüzde girilen verilerle bulanık çıkarım motoru'ndan alınan verilerin karşılaştırılması.

6.6 Bulanık Mantık Matlab Ortamında Script Yazılması

Matlab Fuzzy editor ile gerçekleştirilen hesaplamalar, Matlab ortamında script yazılarak da gerçekleştirilebilmektedir. Aşağıda bu tez çalışması kapsamında hazırladığım işlem adımları görülmektedir.

- Bulanık işlemin üretilmesi-Generate new fuzzy

```
a=newfis('suitability');
```

- Verinin Girilmesi-Add the first input (slope)

```
a=addvar (a, 'input', 'slope', [0 10] );
```

- Verinin üyelik fonksiyonlarının eklenmesi-Add the membership functions of the first input (slope)

```
a=addmf (a, 'input', 1, 'very_suitable', 'trapmf', [0 0 2 5] );
```

```
a=addmf (a, 'input', 1, 'moderately_suitable', 'trapmf', [2 5 7 10] );
```

```
a=addmf (a, 'input', 1, 'unsuitable', 'trimf', [7 10 40] );
```

- Verinin üyelik fonksiyonlarının eklenmesi-Add the second input and its membership functions

```
a=addvar (a, 'input', 'geology', [0 10] );
```

```
a=addmf (a, 'input', 2, 'suitable', 'trapmf', [4 8 10 10] );
```

```
a=addmf (a, 'input', 2, 'unsuitable', 'trimf', [0 0 2] );
```

- Verinin üyelik fonksiyonlarının eklenmesi-Add the third input and its membership functions

```
a=addvar (a, 'input', 'population', [0 98399] );
```

```
a=addmf (a, 'input', 3, 'LOW', 'trapmf', [0 0 9976 25470] );
```

```
a=addmf (a, 'input', 3, 'HIGH', 'trimf', [72460 98400 98400] );
```

```
a=addmf (a, 'input', 3, 'medium', 'trimf', [25470 46980 72460] );
```

- Verinin üyelik fonksiyonlarının eklenmesi-Add the fourth input and its membership functions

```
a=addvar (a, 'input', 'landuse', [0 10] );
```

```
a=addmf (a, 'input', 4, 'Unsuitable', 'trimf', [0 0 6] );
```

```
a=addmf (a, 'input', 4, 'Suitable', 'trimf', [6 10 10] );
```

- Verinin üyelik fonksiyonlarının eklenmesi-Add the fifth input and its membership functions

```
a=addvar (a, 'input', 'stream', [0 10] );
```

```
a=addmf (a, 'input', 5, 'low', 'trimf', [1 2 3] );
```

```
a=addmf (a, 'input', 5, 'high', 'trimf', [5 6 7] );
```

```
a=addmf (a, 'input', 5, 'medium', 'trimf', [3 4 5] );
```

- Çıktı üyelik fonksiyonlarının eklenmesi-Add the output and its membership functions

```

a=addvar(a, 'output', 'suitability', [0 100] );
a=addmf(a, 'output',1, 'POOR', 'trapmf', [0 0 10 40 ] );
a=addmf(a, 'output',1, 'GOOD', 'trapmf', [25 50 75 ] );
a=addmf(a, 'output',1, 'EXCELLENT', 'trapmf', [60 90 100 100 ] );

```

- Kuralların girilmesi-Add the rules of the given system

```

sys=addrule(sys, ruleList) ;
sys=readfis('suitability' ;
rule1=[    ] ;
rule2=[    ] ;
....
....
rule108=[    ] ;
ruleList=[rule1;.....rule108] ;
sys=addrule(sys,ruleList) ;
showrule(sys)

```

- Bulanık çıkarım motoru hesaplamaları-Perform fuzzy inference calculations

```

Suitability=evalfis([ input1 input2 input3 input4 input5 ], sys)
inputs=[_ _ _ _ ; _ _ _ _ ; _ _ _ _ ; ..... ] ;
Suitability=evalfis(inputs,sys)

```

- Sonuçların görüntülenmesi-Plot the membership functions and rule surface

```

plotmf(a, 'input',1) gensurf(sys)

```

Editor penceresine yazılan kodlamalar yeni bir bulanık sistem kurulumu için gerekli adımların tariflenmesi ile gerçekleştirilir. Matlab Script (komut dosyası) hazırlanırken Dr. Essam Nabil tarafından hazırlanan 'How to Design Fuzzy Logic Control FIS using MATLAB Script' çalışma videosundan yararlanılmıştır.

Bu bulanık mantık kontrol sisteminin kurulumu için alternatif bir yöntem olarak bu bölümde tariflenmiştir. Çalışmamız kapsamında MATLAB programındaki 'Fuzzy Logic'-Bulanık Mantık aracı kullanılarak tüm hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

5.5. bölümde aktarılan MATLAB GUI kullanıcı ara yüzü geliştirilirken Matlab programında yer alan editör penceresi üzerinden komut dosyaları yazılarak Bulanık Mantık hesabının arayüzde yer alan veri giriş noktalarına verilerin girilmesiyle Proses kısmına tıklayarak işlemin arka planda tanımlanan bulanık mantık sistemi ile çıktı verisinin üretilmesi sağlanmıştır. Bu yöntem, uzman olmayan, farklı disiplinden olan kullanıcıların da sisteme veri girerek sonuç almasını sağlamak bakımından önem taşımaktadır.

7. İSTASYON BAZLI ‘YOLCULUK TALEPLERİ’ İLE RAYLI SİSTEM BULANIK MANTIK MODEL SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt Raylı Sistem Hattı Mali ve Ekonomik Fizibilite Etüdü’nün ‘Yolculuk Talepleri’ ile Raylı Sistem Uygunluk Puanı Sonuçları karşılaştırılmıştır.

Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt Metro Hattı 2016E06-2645 proje numarası ile Metro Aracı (220 adet), Raylı Sistem İnşaat+Elektromekanik (18,60 km) ‘2016-2026’ başlama-bitiş yılı olarak İstanbul Büyükşehir Belediyesi’ne ait Raylı Sistem Yatırım Proje Listesinde, Bölüm 3’te 2023 yılından sonraya kalanlar listesinde verilmiştir.

Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt metro uzatma hattı, 2014 yılında inşaatına başlanan Kabataş Mahmutbey raylı sistem hattının devamı niteliğinde planlanan bir projedir. Kabataş Mahmutbey metrosunun Mecidiyeköy-Mahmutbey kesiminin ihalesi 2014 yılında tamamlanmış ve inşaatına başlanmıştır, diğer taraftan Kabataş-Mecidiyeköy kısmının yapım ihalesi ise 2015 yılında sonuçlandırılmıştır.

- 1.Etap Mecidiyeköy-Mahmutbey kesimi 28 Ekim 2020 tarihinde hizmete açılmıştır. (Hat uzunluğu= 18 km, İstasyon sayısı= 15)
- 2. Etap Yıldız-Mahmutbey kesimi 02 Ocak 2023 tarihinde hizmete açılmıştır.

Mevcut durumda işletmede olan M7 Yıldız-Mahmutbey Metro hattı, 20 km hat uzunluğu, 17 istasyon ile tek yönde 70.000 yolcu taşıma kapasitesi ile günlük ortalama 80.000 yolcu taşımaktadır. Günlük sefer sayısı 176 Sefer /Tek yön ve Sefer sıklığı pik saatte 6 dakikadır. M7 Yıldız-Mahmutbey işletmesinde 17 istasyon bulunmaktadır. Kağıthane ve Alibeyköy istasyonları viyadük üzerinde yer almakta, diğer 15 istasyon ise tamamen yer altında bulunmaktadır.

Mecidiyeköy İstasyonu'nda, M2 Yenikapı-Hacıosman metro hattı ve metrobüs işletmesi ile, Karadeniz Mahallesi İstasyonu'nda, T4 Topkapı-Mescid-i Selam tramvay hattı ile, Mahmutbey İstasyonu'nda, M3 Kirazlı-Olimpiyat-Başakşehir metro hattı ile, Alibeyköy İstasyonu'nda T5 Eminönü-Alibeyköy Cep Otogarı tramvay hattı ile entegrasyonu sağlanmıştır.

- Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt metro uzatma projesi, 18,6 km uzunluğa ve hali hazırda inşaatı devam eden Mahmutbey istasyonu hariç 11 istasyona sahip olacaktır. Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt Metro Hattı, İstanbul'un Avrupa yakasında yer almaktadır. İlk etapta 4 istasyon ve 7 km'lik kesimi olan Mahmutbey'den Kanuni Sultan Süleyman Hastanesi'ne kadar gidecek ilk etabın, 2024 yılında hizmete alınması hedeflenmektedir.

Fizibilite raporu için esas alınan Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt Raylı Sistem Hattı, M7 metrosunun uzatması olarak Mahmutbey'den başlayıp TEM otoyolunun kuzeyinde doğu-batı ekseninde bir güzergah takip ettikten sonra Esenyurt Meydan'da son bulmaktadır (Şekil 7.1). Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt Metro Hattı, Avrupa yakasında işletilmekte olan ve yapılması planlanan metro hatlarını birbirine bağlamaktadır. Söz konusu hattın ilk durağı olan Mahmutbey istasyonu, M3-Kirazlı-Başakşehir-Olimpiyatköy metrosunun aynı isimli istasyonu ile entegrasyon halindedir. M3 metrosunun Bakırköy (İDO) uzatmasının yapım ihalesi de 2015 yılı itibarıyla tamamlanmıştır. Böylece Mahmutbey-Bahçeşehir metrosundan M3 metrosuna aktarma yapan yolcular Bakırköy gibi şehrin önemli merkezlerinden birine raylı sistem ile erişme imkanına sahip olacaklardır. Bununla birlikte aynı güzergah kullanılarak Yenikapı-Havalimanı hattı ve metrobüse de ulaşmak mümkün hale gelecektir. Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt metro hattının Mehmet Akif İstasyonu'nda ise 2015 yılında yapım ihalesi planlanan Ataköy-İkitelli metrosu ile bir entegrasyonu söz konusu olmaktadır. Söz konusu metro projesinin Temapark İstasyonu'nda ise yapılması planlanan Halkalı-Arnavutköy-3.Havalimanı metro projesi ile bir bağlantı öngörülmektedir. Böylece Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt hattını kullanan yolcuların 3. Havalimanı'na erişimi kolaylaşacaktır.

önce -%4,20 eğimle iniş yapan hat, akabinde %1,80 eğimle istasyonun yapılacağı derinliğe ulaşmaktadır.

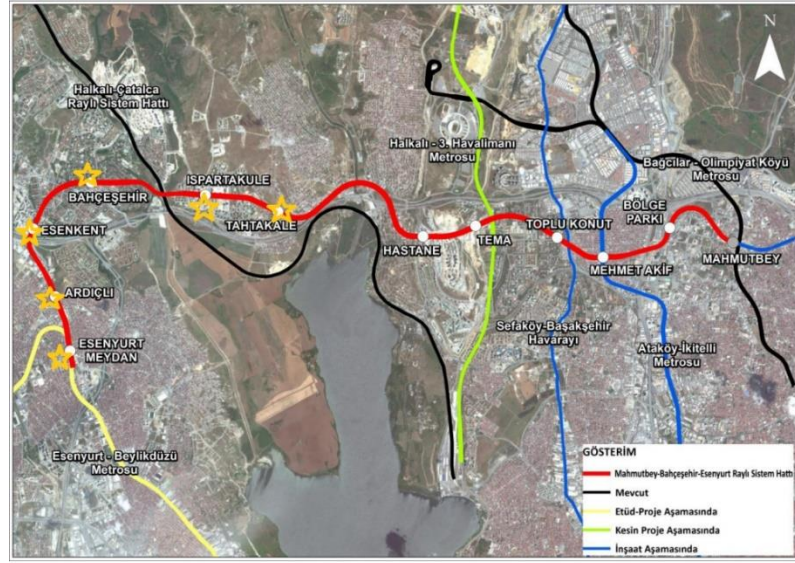
Mehmet Akif İstasyonu, yaklaşık 40m derinliğinde ve yapılacak uzatma hattının 2. İstasyonudur. Zühtü Şenyuva İlköğretim Okulu'nun altında yer alan istasyondan sonra R=350m kurpla kuzey-batı doğrultusunda ve %4,10 eğimle tırmanarak Hürriyet Caddesi ve Arenapark Alışveriş Merkezi'nin altından geçip Kent Bulvarı'nda sistemin 3. istasyonu olan Toplu Konut istasyonuna ulaşmaktadır.

Toplu Konut İstasyonu sonrasında çapraz makas takımıyla her iki hat bir birine bağlanmıştır. Makas bölgesinden sonra -%4,70 eğimle Tema Park istasyonu için inişe geçen hat, R=620m kurpla güney-batı eksenine doğru dönüp istasyon yapısının yer alacağı bölgeye ulaşmaktadır. Tema Park İstasyonu yaklaşık olarak 49,80m derinliğinde planlanmaktadır.

4. istasyon olan Tema Park ile 5. istasyon olan Hastane istasyonları arasında eğim %0'dır. Bu istasyonların bir birlerine doğru olan çıkışlarından 20m ilerisinde 1/7 R190 makaslarla bağlanılan, iki hattın ortasında yer alan bir geceleme hattı planlanmıştır. Hem bu geceleme hattı hem de normal hat R=1100m'lik bir kurp üzerinde yer almaktadır. Kanuni Sultan Süleyman Hastanesi'nin bahçesinde yapılması planlanan istasyon, ortalama 25,45m derinliğinde yer almaktadır.

Hastane istasyonundan sonra, R=350m kurpla kuzey doğrultusuna dönen hat -% 3,68 eğimle yapılması planlanan Kanalistanbul Proje'sinin altında geçmek üzere dalış yapmaktadır. Tem'in kuzeyine geçtikten sonra R=632m kurpla güney-batı doğrultusuna yönelerek Kanal'ın altından geçen hat, %4,70 eğimle bir sonraki istasyonun yapılacağı kota tırmanışa geçmektedir.

Tez kapsamında analiz yapılan çalışma alanı sınırına giren istasyonlar, Tahtakale, Ispartakule, Bahçeşehir, Esenkent, Ardıçlı ve Esenyurt Meydan istasyonlarıdır (Şekil 7.2).



Şekil 7.2 : Çalışma alanı sınırına giren istasyonlar.

Tahtakale İstasyonu, sistemdeki 6. istasyon olup yaklaşık derinliği 21,80m'dir. İstasyon sonrasında bulunan çapraz makas takımıyla iki hat bir birine bağlanmaktadır. Makas bölgesinden sonra %3,46 eğimle tırmanışa geçen hat, R=350m kurpla İspartakule istasyonunun yapılacağı doğu-batı doğrultusuna girmektedir. İspartakule İstasyonu, raylı sistem hattının 7. istasyonu olarak planlanmış olup, konut yoğun bir bölgede yer almaktadır. Yaklaşık derinliği 27,50m olan istasyon, Tem Yanyol Bağlantı'sı üzerinde yer almaktadır.

İspartakule İstasyonu'ndan sonra R=350m kurpla kuzey-batıya yönelen hat, -%3,58 eğimle 3. Çevreyolu Bağlantısı'nın altından geçip arkasından %3,00 eğimle viyadüğe çıkmaktadır. Viyadükte sırasıyla İspartakule Caddesi ve Tcdd Demiryolu'nun üstünden geçip R=400m kurpla İski Arıtma Tesisleri'nin yanından geçmektedir. Viyadükte devam eden hat Arı Kuşu Caddesi'ni de geçtikten sonra Bülbül Caddesine gelmeden, -%1,00 eğimle tünele giriş yapmaktadır. Viyadükte 4,70m olan hat açıklığı, tünele girdikten sonra tekrar 32m'ye genişlemektedir. 8. istasyon olarak projelendirilen Bahçeşehir İstasyonu, Havuzlu Kavşağın bir kolu olan Ahmet Taner Kışlalı Caddesi üzerinde yer almaktadır. İstasyon yaklaşık derinliği 24m'dir.

9. istasyon olarak planlanan Esenkent İstasyonu, 24,20 m derinliğindedir. Bahçeşehir istasyonu'ndan sonra R=850m kurpla güney-batı aksına dönerek istasyonun yapılacağı Hoşdere-Esenyurt Yolu'nun olduğu bölgeye gelmektedir. İstasyon öncesinde bulunan çapraz makas takımı, iki hattın bir birine geçişin yapılabilmesini ve bu sayede son

istasyon olarak planlanan Esenkent İstasyonu'ndan araçların geri dönüş yapabilmelerine olanak sağlamaktadır.

10. istasyon olan Ardıçlı istasyonu 26m derinliğindedir. 11. ve son istasyon olan Esenyurt İstasyonu ise 32,60m derinliğindedir. Çizelge 7.1'de tüm istasyonlara ait mesafe ve derinlik bilgileri verilmiştir.

Çizelge 7.1: İstasyon isimleri, km ve derinlik bilgileri.

	İstasyon orta Km'si	Mesafe (m)	Derinlik(m)
İstasyonlar	0+000	0	37,7
Bölge Parkı	1+732	1732	35,8
Mehmet Akif	3+223	1491	40
Toplu Konut	4+187	1080	49,8
Tema Park	5+819	1471	25,45
Hastane	6+929	1109	33,5
Tahtakale	10+492	3547	21,8
Ispartakule	11+937	1454	27,5
Bahçeşehir	14+187	2250	24
Esenkent	15+745	1558	24,2
Ardıçlı	17+376	1631	26
Esenyurt Meydan	18+278	902	32,6

7.2 Yolculuk Talep Değerleri

İBB Raylı Sistem Daire Başkanlığı Avrupa Yakası Raylı Sistem Müdürlüğü tarafından hazırlatılan Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt Raylı Sistem Hattı Mali ve Ekonomik Fizibilite Etüdü'nün 'Yolculuk Talepleri' bölümü incelenmiştir. Proje yapılması durumunda 2023 yılı zirve saat kesit trafikleri değerlerine bakılmıştır. (2023 yılı-yolcu/saat/yön)

Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt Raylı Sistem Hattı'nda ortaya çıkması beklenen yolculuk talepleri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Ulaşım Daire Başkanlığı, Ulaşım Planlama Müdürlüğü tarafından hazırlanan ulaşım modeli çalışılarak tahmin edilmiştir. Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt metro hattının işletmeye açılması öngörülen 2021 yılından, değerlendirme dönemi sonu olarak belirlenen 2045 yılına kadar, öngörülen en büyük saatlik kesit trafikleri, günlük ve yıllık yolcu sayıları Çizelge 7.2, Çizelge 7.3 ve Çizelge 7.4'de verilmiştir. Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5'de 2023 ve

2045 yıllarında, bahsi geçen Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt metro hattının projeli/projesiz durumdaki zirve saat kesit yolculukları gösterilmiştir.

Çizelge 7.2 : Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt raylı sistem hattı, projeli ve projesiz duruma göre zirve saat kesit trafikleri.

Yıl	Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt Metro Hattı Kesit Yolculuğu		
	Projesiz Durum		Projeli Durum
	Kabataş-Mahmutbey	Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt	Esenyurt-Mahmutbey-Kabataş
	yolcu/saat/yön	yolcu/saat/yön	yolcu/saat/yön
2021	43.778	39.666	45.471
2022	44.485	40.307	46.205
2023	45.204	40.958	46.952
2024	45.923	41.609	47.699
2025	46.653	42.271	48.457
2026	47.021	42.605	48.840
2027	47.393	42.941	49.226
2028	47.767	43.281	49.614
2029	48.145	43.622	50.006
2030	48.525	43.967	50.401
2031	48.908	44.314	50.800
2032	49.295	44.665	51.201
2033	49.684	45.017	51.605
2034	50.077	45.373	52.013
2035	50.472	45.731	52.424
2036	50.871	46.093	52.838
2037	51.273	46.457	53.256
2038	51.678	46.824	53.676
2039	52.086	47.194	54.100
2040	52.498	47.567	54.528
2041	52.912	47.942	54.959
2042	53.330	48.321	55.393
2043	53.752	48.703	55.830
2044	54.176	49.088	56.271
2045	54.604	49.475	56.716

Kaynak: İ.B.B, Ulaşım Planlama Müdürlüğü

Çizelge 7.3: Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt raylı sistem hattı günlük yolcu sayıları.

Yıl	Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt Metro Hattı Günlük Yolculuk		
	Projesiz Durum Kabataş- Mahmutbey	Projeli Durum Kabataş-Mahmutbey- Esenyurt	Günlük Fark Yolculuk
	yolcu/gün	yolcu/gün	yolcu/gün
2021	1.006.958	1.484.362	477.404
2022	1.023.228	1.508.345	485.117
2023	1.039.760	1.532.715	482.955
2024	1.056.292	1.557.085	500.793
2025	1.073.087	1.581.843	508.756
2026	1.081.565	1.594.339	512.775
2027	1.090.109	1.606.935	516.826
2028	1.098.721	1.619.629	520.909
2029	1.107.401	1.632.425	525.024
2030	1.116.149	1.645.321	529.171
2031	1.124.967	1.658.319	533.352
2032	1.133.854	1.671.419	537.565
2033	1.142.811	1.684.624	541.812
2034	1.151.840	1.697.932	546.092
2035	1.160.939	1.711.346	550.407
2036	1.170.111	1.724.865	554.755
2037	1.179.355	1.738.492	559.137
2038	1.188.671	1.752.226	563.555
2039	1.198.062	1.766.069	568.007
2040	1.207.527	1.780.021	572.494
2041	1.217.066	1.794.083	577.017
2042	1.226.681	1.808.256	581.575
2043	1.236.372	1.822.541	586.169
2044	1.246.139	1.836.939	590.800
2045	1.255.983	1.851.451	595.468

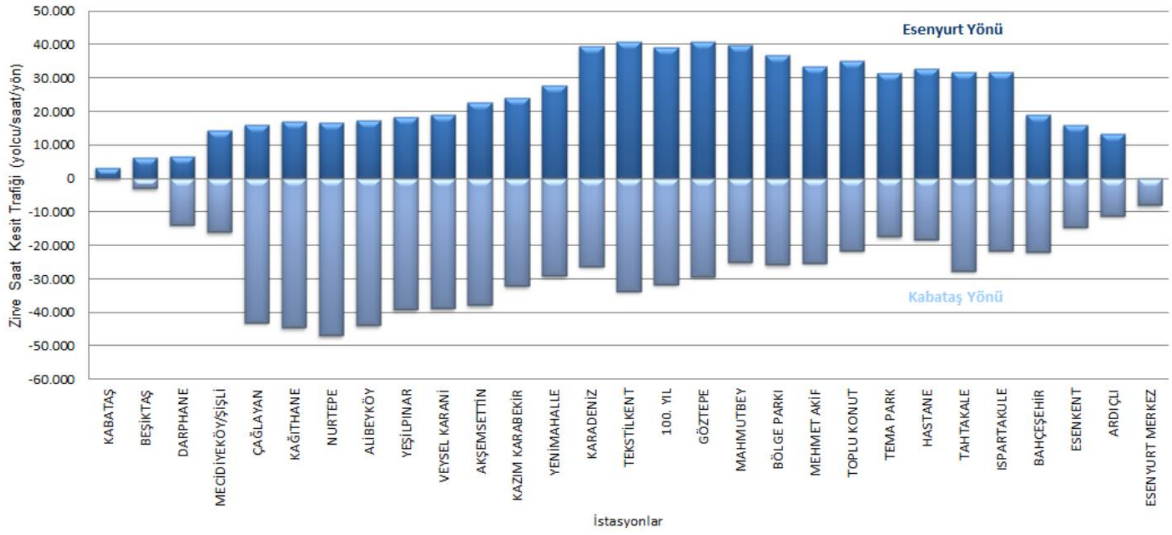
Kaynak: İ.B.B, Ulaşım Planlama Müdürlüğü

Yıllık yolculuk değerlerinin hesaplanmasında, Metro İstanbul A.Ş.'den temin edilen yolculuk değerlerinin hafta içi ve hafta sonu günlerine dağılım oranlarından yararlanılmıştır. Buna göre, Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt raylı sistem hattının yıllık yolculuk sayıları Çizelge 6.4'de yer alan verilere göre hesaplanmıştır.

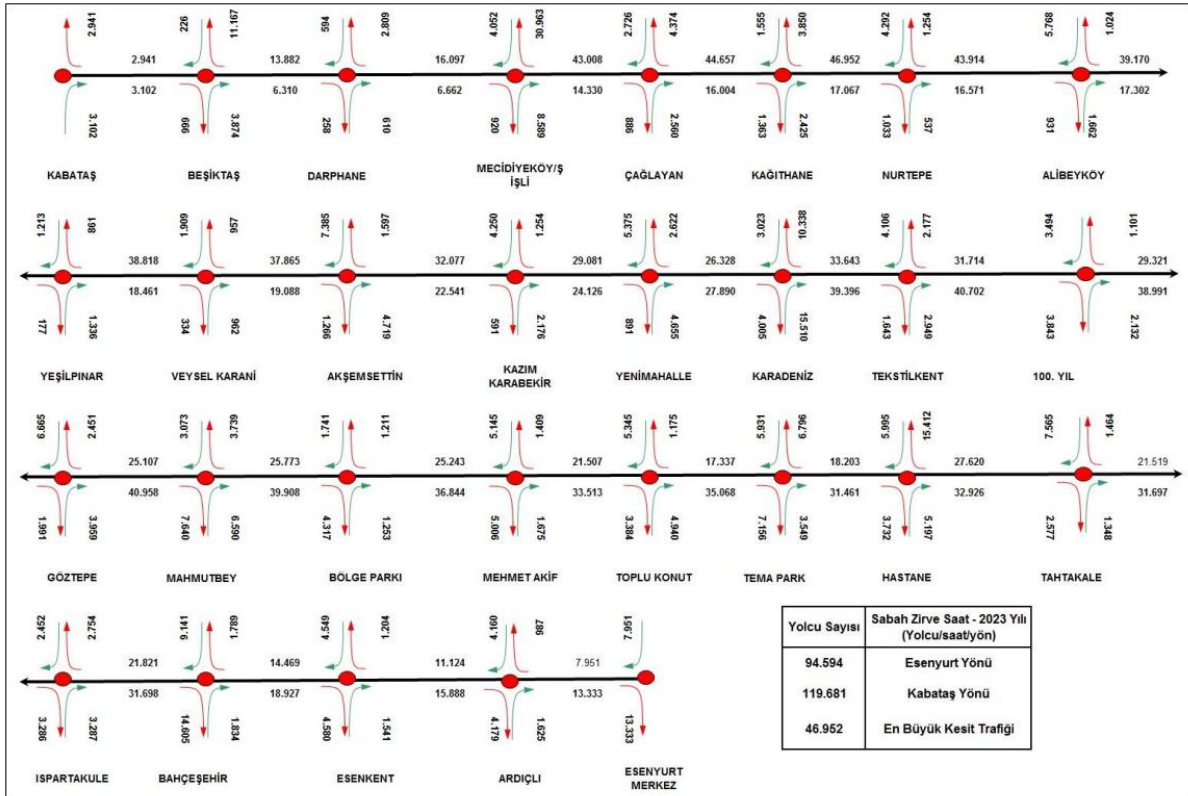
Çizelge 7.4 : Kabataş –Mahmutbey-Esenyurt raylı sistem hattı yıllık yolcu sayıları.

Yıl	Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt Metro Hattı Yıllık Yolculuk		
	Projesiz Durum Kabataş- Mahmutbey	Projeli Durum Kabataş-Mahmutbey- Esenyurt	Yıllık Fark Yolculuk
	yolcu/yıl	yolcu/yıl	yolcu/yıl
2021	332.296.303	489.839.509	157.543.206
2022	337.665.179	497.753.794	160.088.615
2023	343.120.800	505.795.950	162.675.150
2024	348.576.421	513.838.106	165.261.685
2025	354.118.786	522.008.131	167.889.346
2026	356.916.324	526.131.996	169.215.672
2027	359.735.963	530.288.438	170.552.475
2028	362.577.877	534.477.717	171.899.840
2029	365.442.243	538.700.091	173.257.849
2030	368.329.236	542.955.822	174.626.586
2031	371.239.037	547.245.173	176.006.136
2032	374.171.826	551.568.410	177.396.584
2033	377.127.783	555.925.800	178.798.017
2034	380.107.093	560.317.614	180.210.521
2035	383.109.939	564.744.123	181.634.185
2036	386.136.507	569.205.602	183.069.095
2037	389.186.985	573.702.326	184.515.340
2038	392.261.563	578.234.574	185.973.012
2039	395.360.429	582.802.627	187.442.198
2040	398.483.776	587.406.768	188.922.992
2041	401.631.798	592.047.282	190.415.483
2042	404.804.689	596.724.455	191.919.766
2043	408.002.646	601.438.578	193.435.932
2044	411.225.687	606.189.943	194.964.076
2045	414.474.552	610.978.844	196.504.292

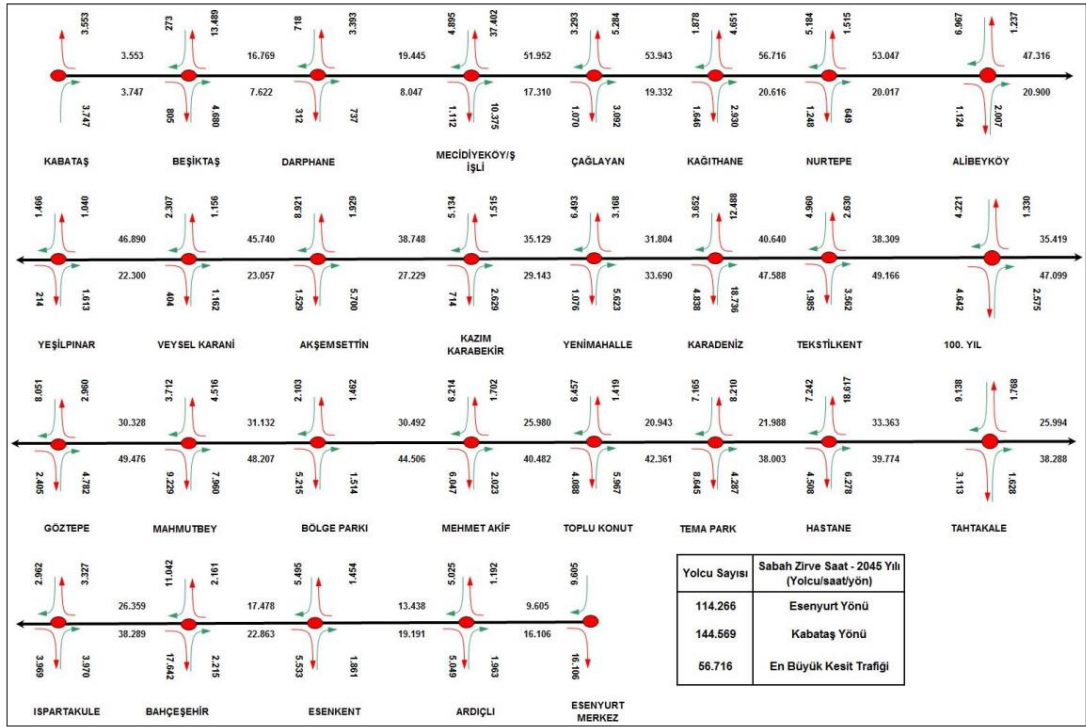
Kaynak: İ.B.B, Ulaşım Planlama Müdürlüğü



Şekil 7.3: Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt metrosu, zirve saat kesit trafikleri (2023 yılı-yolcu/saat/yön).

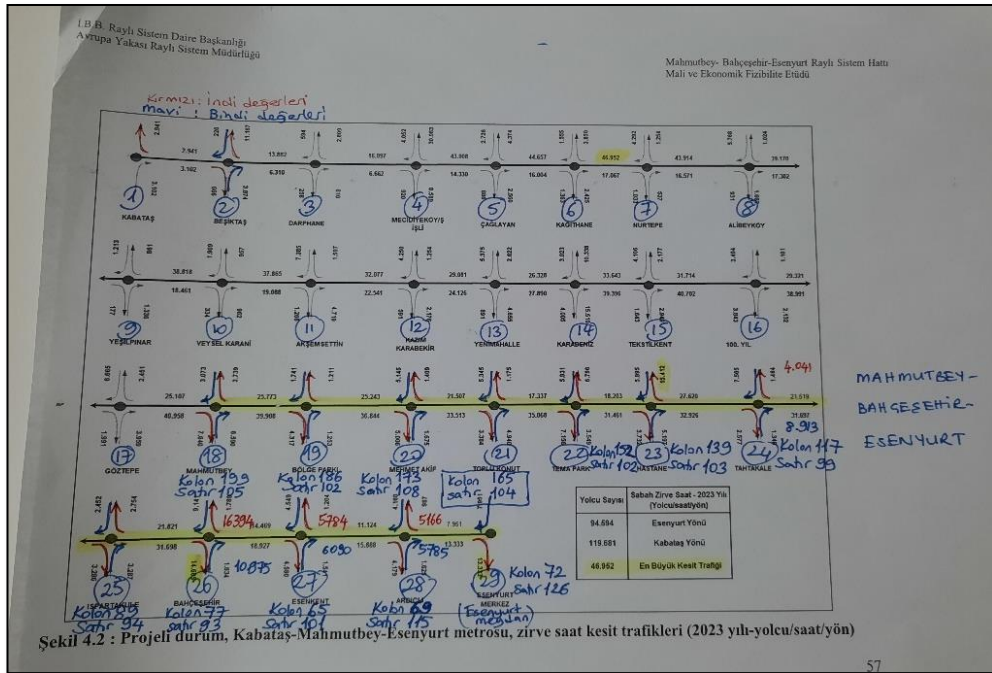


Şekil 7.4 : Projeli durum, Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt metrosu, zirve saat kesit trafikleri (2023 yılı-yolcu/saat/yön).



Şekil 7.5 : Projeli durum, Kabataş-Mahmutbey-Esenyurt metrosu, zirve saat kesit trafikleri (2045 yılı-yolcu/saat/yön).

Şekil 7.6'da gösterildiği gibi, proje yapılması durumunda 2023 yılı zirve saat kesit trafikleri değerlerine bakılmıştır. (2023 yılı-yolcu/saat/yön)



Şekil 7.6 : Zirve saat kesit trafikleri(2023 yılı-yolcu/saat/yön).

Çizelge 7.5’de bulanık model ile elde edilen veriler ile fizibilite raporundaki yolculuk talep tahmin değerleri olan istasyon noktalarına ait yolculuk indi ve bindi değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7.5 : Çalışma alanı istasyon noktalarındaki bulanık mantık modeli girdi ve çıktı değerleri ile yolculuk indi-bindi değerleri

	JEO	SLOPE	POP	LAND	STREAM	UYGUNLUK PUANI	Yolculuk İndi Değerleri	Yolculuk Bindi Değerleri
MAHMUTBEY							11379	9663
BÖLGE PARKI							5528	2994
MEHMET AKİF TOPLU KONUT							6415	6820
TEMA PARK							4559	10285
HASTANE							13952	9480
TAHTAKALE	6	8	60022	8	1	63,4	19144	11192
ISPARTAKULE	1	6	31404	10	1	50	4041	8913
BAHÇEŞEHİR	5	8	47977	10	2	64	6040	5739
ESENKENT	4	5	9172	10	1	50	16394	10975
ARDIÇLI	4	3	7166	10	1	50	5784	6090
ESENYURT MERKEZ	4	1	30935	7	1	50	5166	5785
							13333	7951

Yolculuk indi-bindi değerlerinin en yüksek olduğu istasyonlar, Mahmutbey, Temapark, Hastane, Bahçeşehir ve Esenyurt Merkez istasyonlarıdır. Çalışma sınırı içine denk gelen Tahtakale istasyonu ile Esenyurt Merkez istasyonu arasında bulunan istasyonların indi bindi değerlerine bakıldığında, Bahçeşehir ve Esenyurt Merkez istasyon indi-bindi değerlerinin daha yüksek olduğu tahmin değerleri üzerinde değerlendirme yapıldığında, Uygunluk puanı olarak Bahçeşehir için 64 Esenyurt Merkez için ise 50 sonucu bulanık mantık editöründen elde edilmiştir.

7.3 Ekonomik Fizibilite Sonuçları

Ekonomik fizibilite etüdünde Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt metro uzatma projesi’nin ekonomik maliyetleri ve faydaları değerlendirilmiştir. % 10 güncelleştirme oranı kullanılarak projenin güncelleştirilmiş maliyetleri ve faydaları hesaplanmış ve projenin ekonomik fizibilite değerleri aşağıda verilmiştir;

Net bugünkü değer : 699.817.560 EURO

İç geri dönüş oranı : % 18

Fayda/Maliyet oranı : 1,76

Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt metro projesi finansmanı için farklı alternatif modeller üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Tamamı kredi, %75 kredi, %50 kredi, %25 kredi ve tamamı özkaynak olmak üzere 5 finansman seçeneği değerlendirilmiştir. Projede düşük faiz, uzun vade ve geri ödemesiz dönem gibi uygun koşulları bulunan kredilerin kullanılmasıyla ortaya çıkacak mali yapılabirlik incelenmiştir.

Mali analiz tablolarına ilişkin özet bilgiler Çizelge 7.6’da, %100 kredili seçenek için duyarlılık analizi ise Çizelge 7.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.6 : Alternatif finansman seçeneklerinin karşılaştırılması.

	F.I.R.R. (%)	İskonto Oranı	Net Bugünkü Değer (Euro)
% 100 Özkaynak Finansmanı	1,18%	4,60%	-456.779.788
% 25 İhracat Kredisi Finansmanı	1,18%	4,20%	-382.984.998
% 50 İhracat Kredisi Finansmanı	1,19%	3,90%	-297.425.975
% 75 Ticari/İhracat Kredisi Finansmanı	0,80%	3,60%	-300.690.873
% 100 Ticari/İhracat Kredisi Finansmanı	0,40%	3,20%	-290.537.195

Kaynak: İBB Raylı Sistem Daire Başkanlığı, Avrupa Yakası Raylı Sistem Md, Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt Raylı Sistem Hattı Mali ve Ekonomik Fizibilite Etüdü, Mayıs 2017

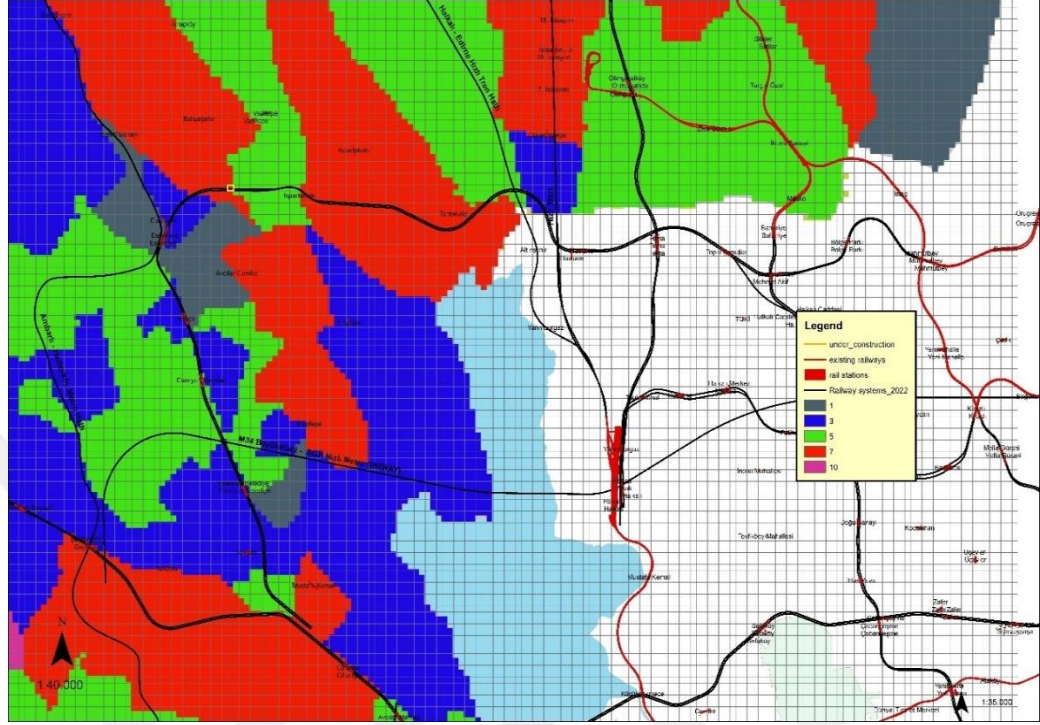
Çizelge 7.7 : Mali fizibilite duyarlılık analizi sonuçları.

	Trafik Sabit		Trafik %20 Az	
Ortalama Bilet Ücreti (2016, EURO)	0,37	0,50	0,37	0,50
Net Bugünkü Değer (EURO)	- 290.537.19 5	141.710.97 7	-525.895.806	-179.711.532
Mali İç Verimlilik Oranı (%)	0,4	4,62	-1,81	1,46

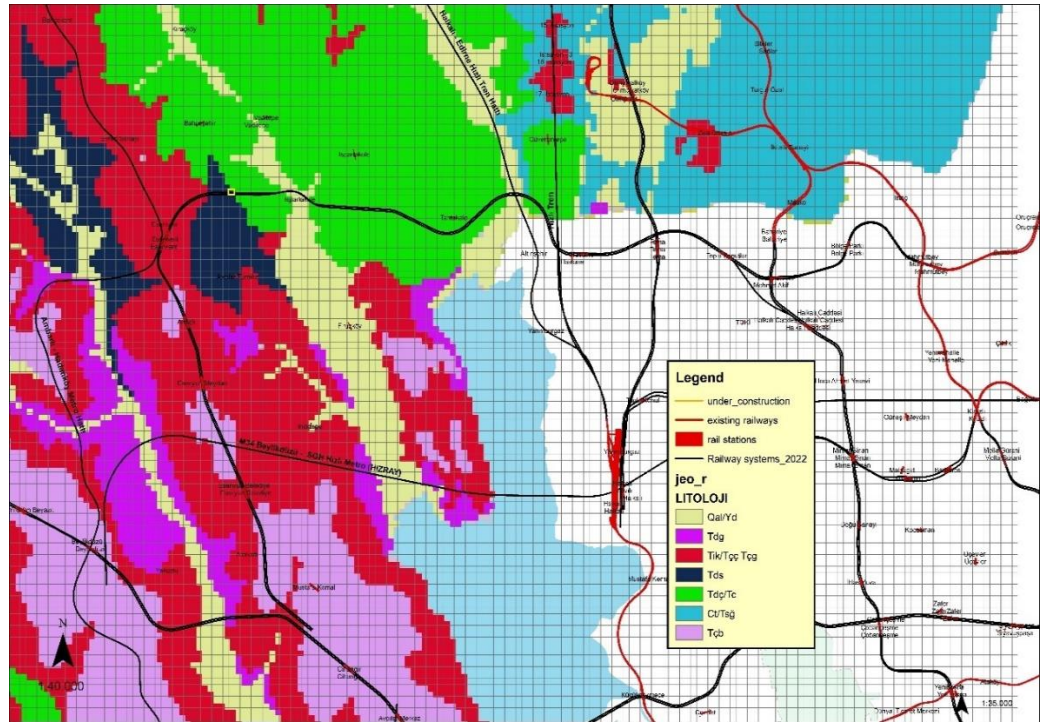
Kaynak: İBB Raylı Sistem Daire Başkanlığı, Avrupa Yakası Raylı Sistem Md, Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt Raylı Sistem Hattı Mali ve Ekonomik Fizibilite Etüdü, Mayıs 2017

Tez kapsamında Mahmutbey-Esenyurt metro hattı çevresinde elde edilen bulanık model sonuçlarının gösterimi Şekil 7.7’de yer almaktadır.

Mahmutbey-Esenyurt hattı boyunca Nüfus ve Jeolojik birim sınıflandırması için hazırlanan haritalar Şekil 7.8 ve Şekil 7.9’da gösterilmektedir.

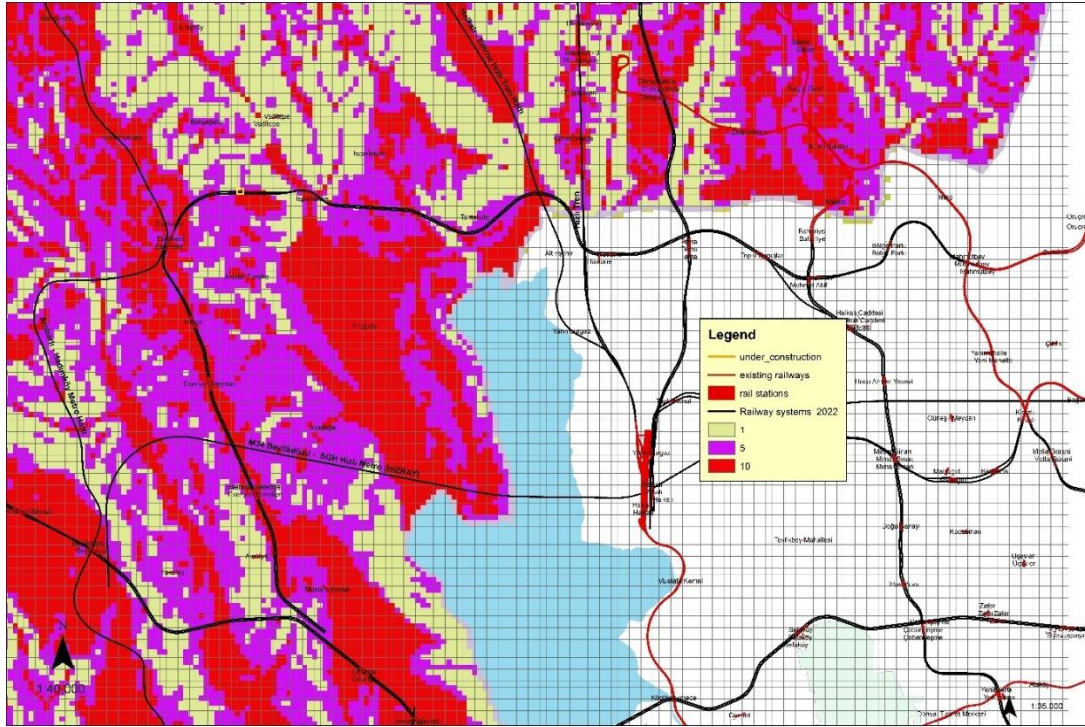


Şekil 7.8 : Mahmutbey-Esenyurt hattı boyunca nüfus sınıflandırması.

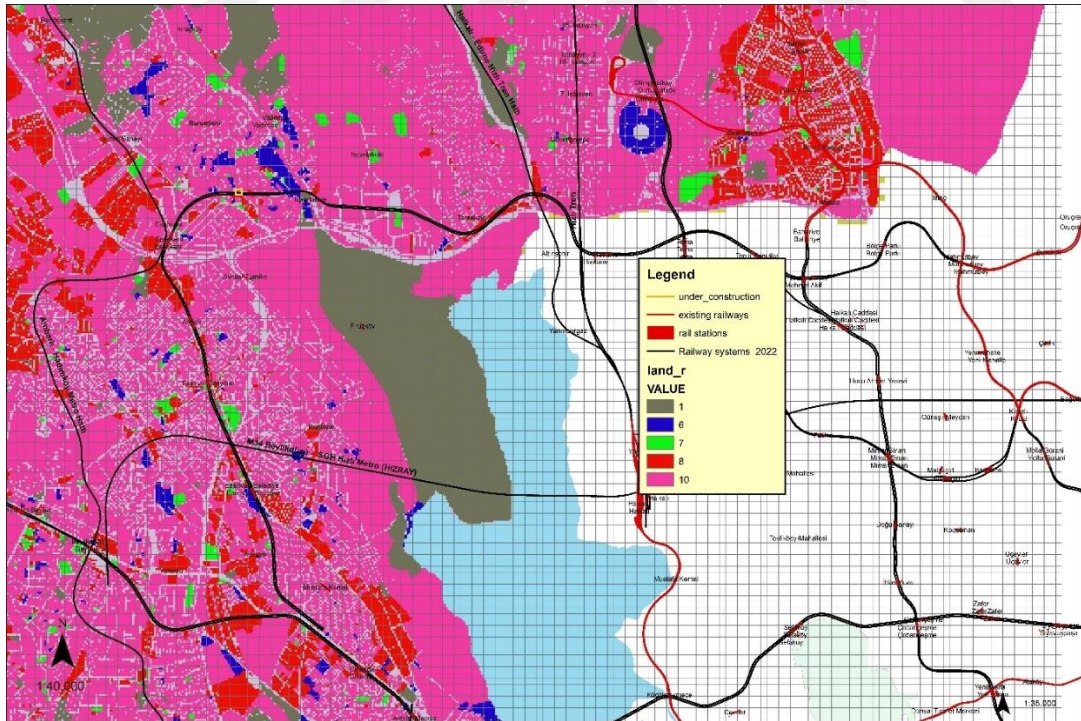


Şekil 7.9 : Mahmutbey-Esenyurt hattı boyunca jeolojik birim sınıflandırması.

Mahmutbey-Esenyurt hattı boyunca Eğim ve Arazi kullanımı için hazırlanan haritalar Şekil 7.10 ve Şekil 7.11’de gösterilmektedir.

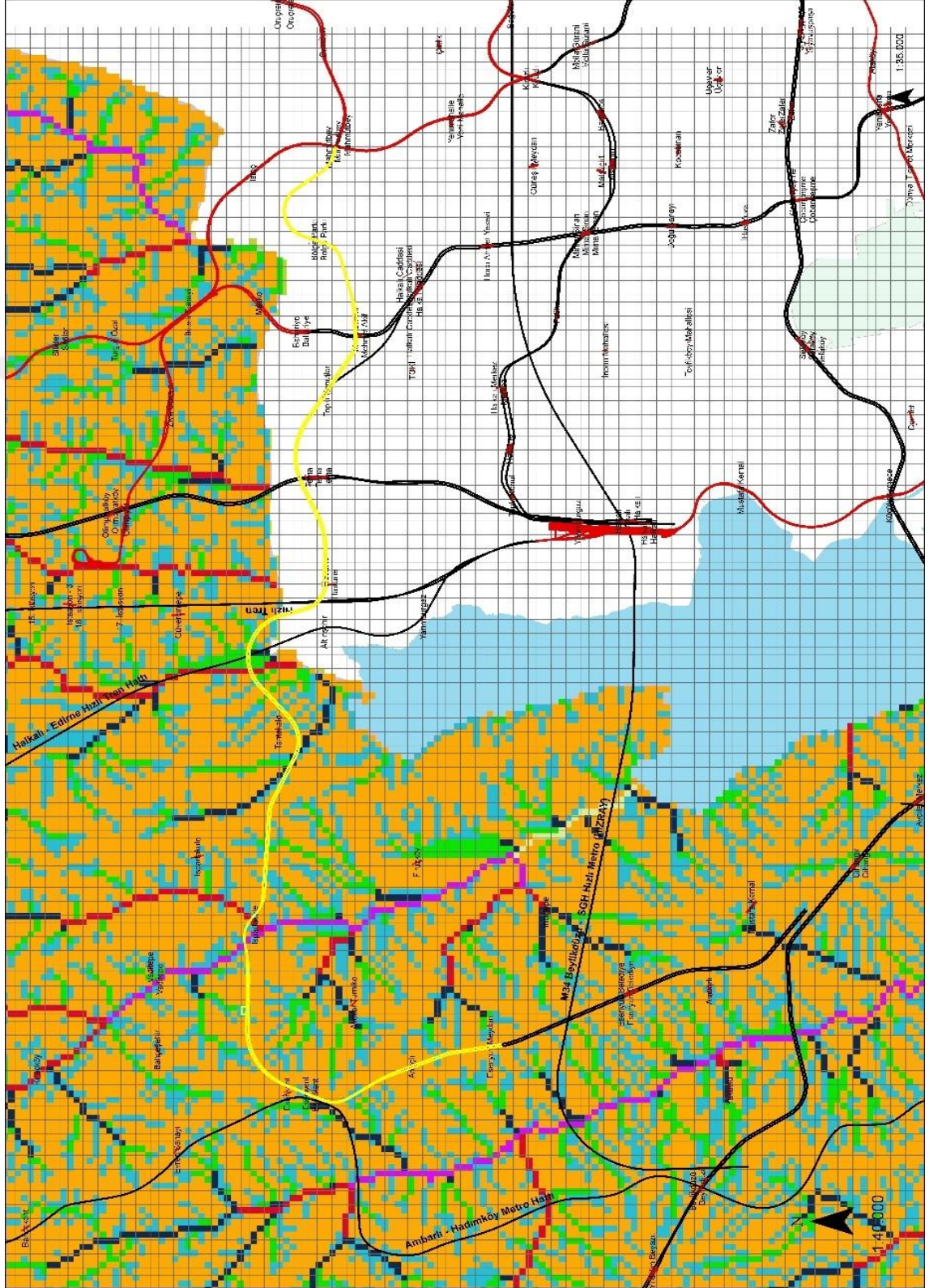


Şekil 7.10 : Mahmutbey-Esenyurt hattı boyunca eğim sınıflandırması.



Şekil 7.11: Mahmutbey-Esenyurt hattı boyunca arazi kullanımı sınıflandırması.

Mahmutbey-Esenyurt hattı boyunca Yüzeysel su akışı için hazırlanan harita Şekil 7.12’de gösterilmektedir.

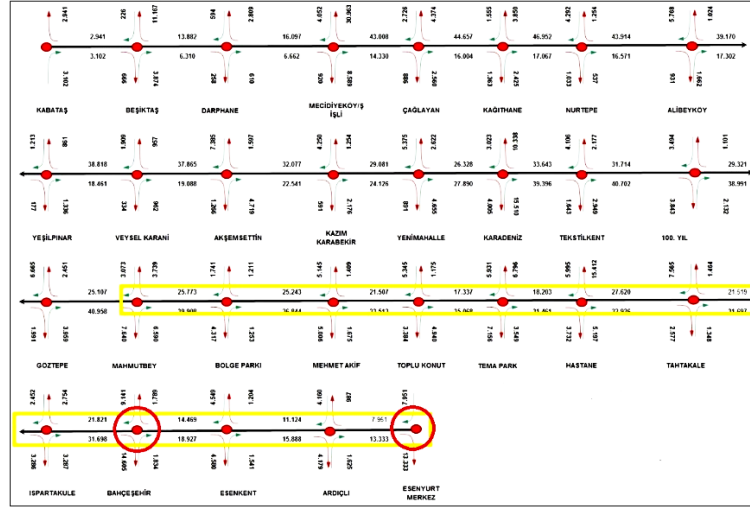


Şekil 7.12 : Mahmutbey-Esenyurt hattı boyunca yüzeysel su akışı sınıflandırması.

7.4 Değerlendirme

Bu model çıktı bulgularının uygulanabilirliği, Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt Demiryolu Hattı Mali ve Ekonomik Fizibilite Çalışması raylı geçiş atama sonuçları üzerinde test edilmiştir. Bu demiryolu projesinin her tren istasyonu için 'yolcu seferleri' olması durumunda, 2023'ün yoğun saat kesit trafik değerleri model sonuçlarıyla karşılaştırıldı. Uygunluk puanı hesaplaması 5 kriter (eğim, jeoloji, arazi kullanımı, nüfus ve yüzey su akışı) üzerinden yapılan değerlendirme sonucu ile elde edilirken, talep tahmin modeli ile elde edilen her istasyon noktası için yolculuk indi ve bindi değerlerinin sayısı ile karşılaştırmak model yapılanmaları, veri girdi ve değişkenlerinin farklılığından ötürü, tek başına anlam ifade etmeyebilir. Yolculuk talebinin yoğun olduğu noktalar yer seçimi yapılırken destekleyici bir veri olarak karar verme sürecinde kullanılabilir.

Bu raylı sistem projesinin her istasyonu için 2023 yılının en yoğun saat kesit trafik değerleri, Şekil 7.13'de gösterildiği gibi model sonuçları, uygunluk puanları ile karşılaştırılmıştır. Tahtakale ve Esenyurt Merkez istasyonları arasında çalışma alanına giren istasyonlar incelenmiştir. Örneğin Bahçeşehir istasyonunun uygunluk puanının 100 üzerinden 64 olduğu görülmektedir. Bir saatlik sabah pik döneminde yolcu giriş çıkış sayısı toplam 27.369'dur. Ayrıca Esenyurt istasyonunun uygunluk puanı 100 üzerinden 50'dir. Bir saatlik sabah pik döneminde yolcu giriş çıkış sayısı toplam 21.284'tür. "Uygunluk Nihai Puan Haritası" değerlerinin sonucu, fizibilite çalışmaları için yardımcı bir analiz olarak kullanılabilir. Gelecekteki araştırmalar, alternatif fizibilite çalışmalarına ait bulgular ile daha da geliştirmeli ve doğrulaması yapılmalıdır.



Şekil 7.13 : Pik saatte raylı sistem yolculuk değerleri (2023/yolcu/saat/tek yön).

2011 yılında Ulaşım Koordinasyon Merkezi (UKOME) tarafından onaylanan İstanbul Ulaşım Ana Planı (ITMP), kısa-orta ve uzun vadeli kentsel raylı ulaşım planlarını içermektedir. Bakırköy-Beylikdüzü Hafif Metro Projesi'nin orta vadede (2013-2015) yapılması planlanan 25 km uzunluğunda ve T-2 proje kodludur. İstanbul Ulaşım Faaliyet Raporu 2016'ya göre Yenikapı – Sefaköy metro hattı, M2 Metro hattının batıya doğru uzatılması olarak planlanmıştır. 2023 yılına kadar hat batıda Beylikdüzü'ne doğru uzatılacak. Mevcut durumda Bakırköy-İncirli-Sefaköy Metro Hattı, Sefaköy-TÜYAP Metro Hattı ve Beylikdüzü-Sabiha Gökçen Havalimanı yüksek hızlı metro hattı projeleri Proje aşamasında devam etmekte olup, bu hatların 2029 yılı sonunda işletmeye alınması planlanmaktadır. Bu hatlar, toplu taşıma sisteminin yoğun olduğu, yoğun nüfuslu bölgelere hizmet verecek. Raylı ulaşım ağının sürdürülebilir gelişimi ve genişletilmesi açısından seçilen çalışma alanı ve bulanık model bulguları, raylı sistem hattının İstanbul'un Batı bölgesinde Beylikdüzü'ne doğru uzatılması gerektiğini öne sürmektedir.

Model dosyasının (208*216) içerisinde 10*10 matrisi bir veri seti üzerinden Çizelge 7.8'de Eğim, Jeoloji, Nüfus, Arazi kullanımı ve Yüzeysel akış veri girdilerine göre, Bulanık Mantık modeli ile elde edilen uygunluk değeri sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 7.9'da ise bu deneme matrisinin üzerinde uygunluk değerlerinin işlendiği veriler gösterilmiştir.

Çizelge 7.8 : 10*10 matrisinin bulanık mantık model sonuçları.

Matris hücre numarası	EĞİM	JEOLOJİ	NÜFUS	ARAZİ KULLANIMI	YÜZEYSEL AKIŞ	UYGUNLUK DEĞERİ
11	3,77	1	97268	10	2	64
12	9,9	7	97268	10	1,1	81
13	9,9	7	97268	10	1,1	81
14	9,9	7	97268	10	2	85,2
15	9,9	7	97268	10	1,1	81
16	5,91	7	97268	10	1,1	81
17	3,79	7	97268	10	4	84,3
18	7,2	7	97268	10	1,1	81
19	5,98	7	97268	1	1,1	50
110	5,65	7	97268	1	3,1	50
21	7,92	7	97268	10	3,1	81
22	7,84	7	97268	10	3,1	81
23	10	7	97268	10	1,1	81
24	10	7	97268	10	1,1	81
25	3,87	1	97268	10	4	63,3
26	6,75	1	97268	10	4	50
27	10	7	97268	10	1,1	81
28	9,78	7	97268	10	1,1	81
29	9,31	7	97268	1	2	50
210	9,32	7	97268	1	1,1	50
31	10,53	7	97268	10	1,1	81
32	7,43	1	97268	10	3,1	63,4
33	8,66	7	97268	10	1,1	63,4
34	3,62	1	97268	10	4	65
35	6,81	7	97268	10	3,1	81
36	9,74	7	97268	10	2	85,2
37	10	7	97268	10	1,1	81
38	6,06	7	97268	8	1,1	81
39	7,28	7	97268	1	2	50
310	9,16	7	97268	1	1,1	50
41	10	7	97268	10	1,1	81
42	4,59	1	97268	10	3,1	63,4
43	6,75	7	97268	10	1,1	81
44	9,88	7	97268	10	1,1	81
45	7,02	7	97268	10	1,1	81
46	9,55	7	97268	10	1,1	81
47	6,11	7	97268	10	1,1	81
48	4,87	7	97268	10	1,1	81
49	7,02	7	97268	10	1,1	81
410	10	7	97268	10	1,1	81
51	5,77	7	97268	10	1,1	81
52	2,56	7	97268	10	2	85,2

Çizelge 7.8 (devam) : 10*10 matrisinin bulanık mantık model sonuçları.

Matris hücre numarası	EĞİM	JEOLJİ	NÜFUS	ARAZİ KULLANIMI	YÜZEYSEL AKIŞ	UYGUNLUK DEĞERİ
53	8,78	7	97268	10	2	84,3
54	9,83	7	97268	10	1,1	81
55	5,91	7	97268	10	1,1	81
56	7,3	7	97268	10	1,1	81
57	7,36	7	97268	10	1,1	81
58	5,6	7	97268	10	1,1	81
59	5,44	7	97268	10	1,1	81
61	10	7	97268	10	1,1	81
62	1,53	1	97268	10	4	83,7
63	7,45	7	97268	10	1,1	81
64	7,63	7	97268	10	1,1	81
65	8,04	7	97268	10	3,1	81
66	6,67	7	97268	10	2	85,2
67	6,16	7	97268	10	2	85,2
68	6,49	7	97268	10	2	85,2
69	6,26	7	97268	10	1,1	81
610	6,64	7	97268	10	1,1	81
71	6,55	1	97268	10	1,1	50
72	5,82	7	97268	10	4	85,2
73	8,78	7	97268	10	1,1	81
74	6,43	7	97268	10	1,1	81
75	7,59	7	97268	10	1,1	81
76	7,43	7	97268	10	2	85,2
77	6,25	7	97268	10	2	85,2
78	3,25	7	97268	10	1,1	81
79	4,75	7	97268	10	1,1	81
710	8,2	7	97268	10	1,1	81
81	2,18	7	97268	10	4	85,2
82	7,57	7	97268	10	2	85,2
83	7,89	7	97268	10	1,1	81
84	7,33	7	97268	10	1,1	81
85	8,22	7	97268	10	1,1	81
86	7,11	7	97268	10	1,1	81
87	5,28	7	97268	10	1,1	81
88	0,93	7	97268	10	1,1	81
89	3,39	7	97268	10	1,1	81
810	5,11	7	97268	10	1,1	81
91	6,47	7	97268	10	1,1	81
92	7	7	97268	10	1,1	81
93	7,66	7	97268	10	1,1	81
94	9	7	97268	10	1,1	81
95	8,53	7	97268	10	1,1	81
96	4,89	7	97268	10	1,1	81
97	3,11	7	97268	10	1,1	81
98	1,72	7	97268	10	1,1	81

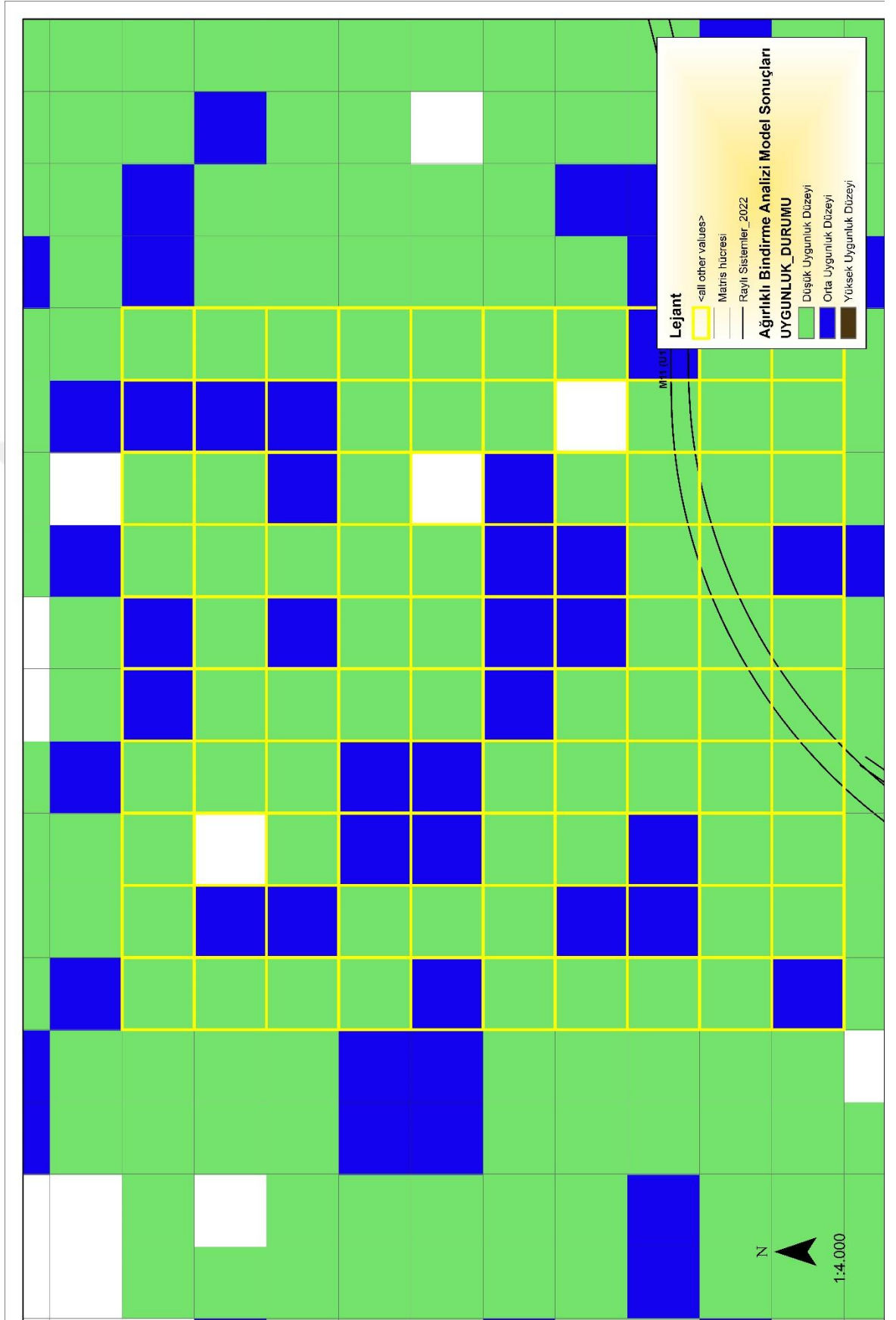
Çizelge 7.8 (devam) : 10*10 matrisinin bulanık mantık model sonuçları.

Matris hücre numarası	EĞİM	JEOLojİ	NÜFUS	ARAZİ KULLANIMI	YÜZEYSEL AKIŞ	UYGUNLUK DEĞERİ
99	4,39	7	97268	10	1,1	81
910	2,24	7	97268	10	2	85,2
101	8,07	7	97268	10	2	84,6
102	7,76	7	97268	10	1,1	81
103	8,4	7	97268	10	1,1	81
104	9,61	7	97268	10	1,1	81
105	8,21	7	97268	10	1,1	81
106	4,57	7	97268	10	1,1	81
107	4,86	7	97268	10	1,1	81
108	4,19	7	97268	10	1,1	81
109	4,43	7	97268	10	1,1	81
110	3,05	7	97268	10	1,1	81

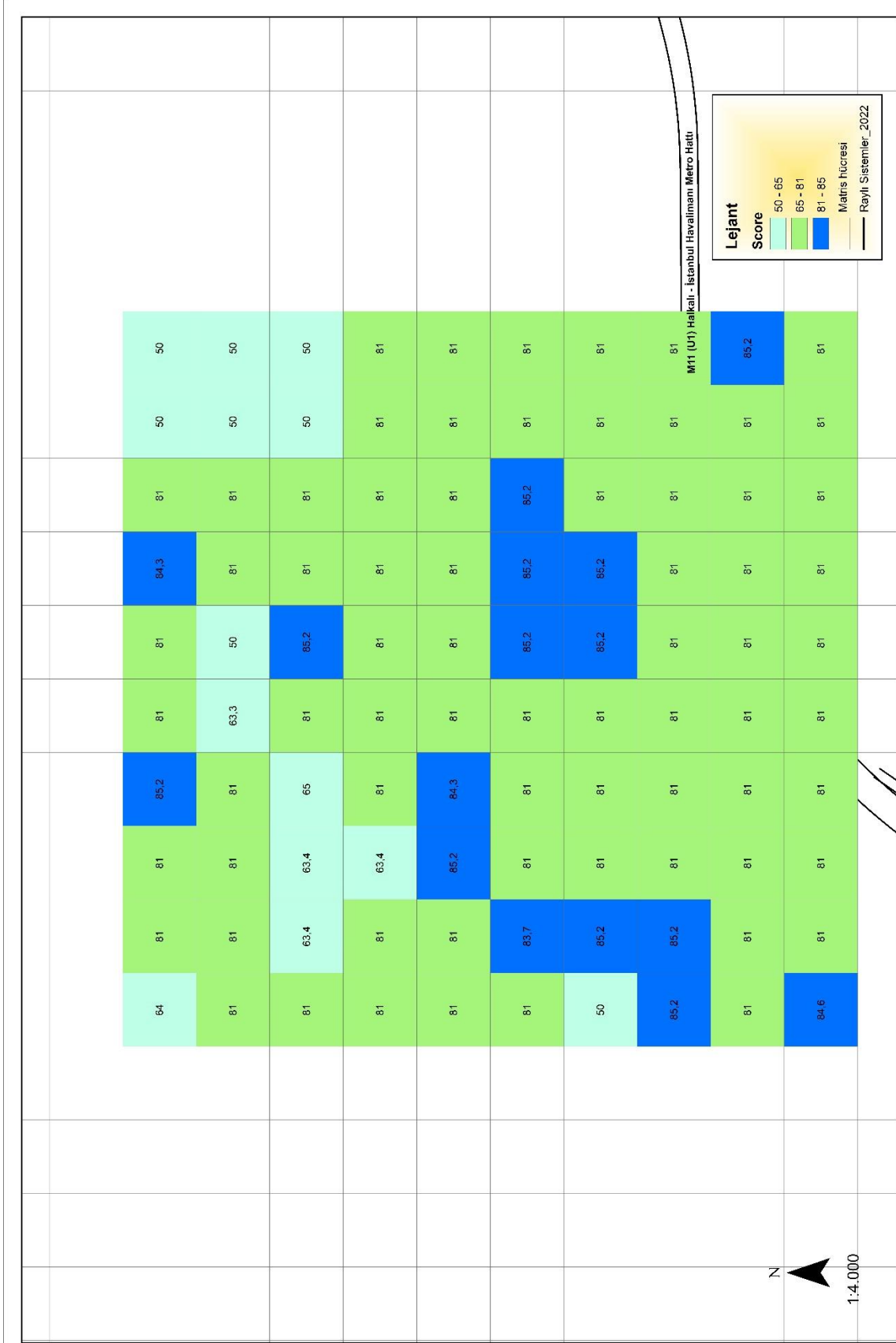
Çizelge 7.9 : 10*10 deneme matrisi.

Matris Satır/ Sütun No	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154
21	64	81	81	85,2	81	81	84,3	81	50	50
22	81	81	81	81	63,3	50	81	81	50	50
23	81	63,4	63,4	65	81	85,2	81	81	50	50
24	81	81	63,4	81	81	81	81	81	81	81
25	81	81	85,2	84,3	81	81	81	81	81	81
26	81	83,7	81	81	81	85,2	85,2	85,2	81	81
27	50	85,2	81	81	81	85,2	85,2	81	81	81
28	85,2	85,2	81	81	81	81	81	81	81	81
29	81	81	81	81	81	81	81	81	81	85,2
30	84,6	81	81	81	81	81	81	81	81	81

Coğrafi olarak aynı konumda yer alan bu 10*10 matris boyutlu veri kümesi üzerinden 4. Bölümde aktarılan mekansal analiz tekniği ile elde edilen ‘Ağırlıklı Bindirme Analizi’ sonuç verisi ile 5.Bölümde aktarılan ‘Bulanık Mantık Analizi’ sonuç verisi karşılaştırılmıştır. Şekil 7.14 ve Şekil 7.15’de bu sonuç haritaları gösterilmiştir. Ağırlıklı Bindirme Analiz sonuçlarına göre, 10*10 matrisi özelinde toplamda 70 grid hücresi ile ‘Düşük Uygunluk Düzeyi’, toplamda 26 grid hücresi ile ‘Orta Uygunluk Düzeyi’ne sahip olduğu tespit edilmiştir. Bulanık Mantık Analiz sonuçlarına göre ise, uygunluk puanları 1. Grup 50-65 arası 14 grid hücresi, 2. Grup 65-81 arası 70 grid hücresi ve 3.Grup 81-85 arası 16 grid hücresi üzerinde elde edilmiştir.



Şekil 7.14 : Ağırlıklı bindirme analizi sonuç haritası(10*10).



Şekil 7.15 : Bulanık mantık sonuç haritası (10*10).

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Başlangıç noktası olarak bu araştırmanın ilk aşamasında, 'İdealleştirilmiş bir planlama sürecine nasıl ulaşabiliriz, optimum çözüme nasıl ulaşabiliriz, araştırma metodolojisini nasıl belirleyebiliriz, çalışma çerçevesini nasıl belirleyebiliriz' ve 'Paydaşlar arasında işbirliği ve koordinasyon içerisinde süreci nasıl yürütebiliriz' diyerek yol haritası çizilmeye çalışılmıştır.

Uygulanan çalışma çerçevesi, karar vericilere ve uygulayıcılara verimli katılım süreçlerinin tasarımı ve ayrıca çeşitli paydaşlarla ve ulaşım kararlarıyla ilgili karmaşık konuları ele almada yardımcı olmak için kullanılabilir. 'Raylı Sistem Uygunluk Analizi' yapabilmek için beş ana kriter (Jeoloji, Arazi kullanımı, Nüfus Yoğunluğu, Eğim ve Yüzeysel Su Akışı) için Kartografik Modelleme ve Çok Kriterli Analiz (CMCA) teknikleri yardımıyla hem teknik hem de sosyal açıdan raylı sistem uygunluk haritası üretilmiştir.

Bu çerçeve, yeni bir raylı sistem güzergahının planlanması ve mevcut raylı sistem ağının genişletilmesi için kullanılabilir. Çalışmamızda 8 istasyonlu aday raylı sistem hattı önerildikten sonra, oluşturulan model test edilmiştir. Model yapısı, GIS tabanlı MCDA'nın uygulanması ile, aşağıdaki işlem adımları gerçekleştirilerek ArcGIS 10.8 ModelBuilder uygulamasında raylı sistem uygunluk seviyelerinin bulunmasını sağlar:

- Adım 1: Tematik Haritaların Hazırlanması-Kriter haritaları, beş ana kriter için coğrafi özellikler düzenlenerek oluşturulur.
- Adım 2: Haritaların Standardizasyonu-Raster haritalar, önceki bölümde Tablo 1'de açıklanan kategorilere göre yeniden sınıflandırılır. (Kategori ve Puan Sütunları)
- Adım 3: Üst üste Bindirme Haritaları- Uzman görüşlerine dayalı olarak ikili karşılaştırma (AHP) kullanılarak ağırlıkların belirlenmesi ile ağırlıklı bindirme analizi yapılmıştır. Girdi raster katmanları, önceden belirlenmiş AHP ağırlıklarına göre etki ağırlık değerine (%) göre atanır.

- Adım 4: Nihai Uygunluk Haritası - Ulaşım ağını dönüştürmek ve geliştirmek için bir ön analiz olarak 'Rota ve İstasyon Sahası Uygunluğunu' değerlendirmek için oluşturulan Ağırlıklı Bindirme Analizi Haritası.
- Adım 5: Ön aşama değerlendirmesi için 8 istasyonlu aday metro hattı M 18'e (Başakşehir-Esenyurt-Beylikdüzü) model uygulaması.

Tezin içeriğinde Raylı sistem Güzergahı Planlaması için iki farklı yöntem kullanılarak analizler yapılmıştır. Bunlardan ilki, Mekansal analiz teknikleri ile çok kriterli karar verme yaklaşımı kullanılarak optimum raylı sistem güzergahı planlamasıdır. İlk yöntem ile, çok kriterli modelleme tekniğini raylı sistem planlaması için uygulayarak fayda sağlama kalitesini ve pratik değerini araştırmak amaçlanmıştır. Çalışma, kalite odaklı, uzun vadeli odaklı ve daha fazla ulaşım dengeli planlama yaklaşımı gibi potansiyel olarak birbiriyle çelişen birkaç hedefi birleştirmeyi amaçlamaktadır. İkinci yöntem ise, Kural tabanlı Bulanık Mantık yaklaşımı kullanılarak optimum raylı sistem güzergahı planlamasıdır. 2. yöntem kullanılarak, bulanık mantık teorisinin, bulanık çıkarım sisteminin geliştirilmesi, sonuç uygunluk sınıfını bulmak için girdilerin birleştirilmesi, grafiksel kullanıcı arayüzünün belirlenmesi ve raylı ulaşım sistemi için çıktı verilerinin üretilmesi yoluyla mekansal uygunluk değerlendirmesinde planlama, geliştirme süreçleri için nasıl kullanılabileceği araştırılarak model geliştirilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmanın üst ve orta ölçekli, kısa-orta ve uzun vadeli kentsel raylı ulaşım planlarına ve sürdürülebilir kentsel hareketlilik planlarına önemli katkılar sağlayacağı öngörülmüştür.

Yaklaşımımızın yenilikçi yönü, raylı sistem planlamasında verimli ve etkili bir katılım süreci için birden fazla kriterin etkisini yakalamak üzere Weighted Overlay-Ağırlıklı Bindirme Analizi (Kartografik Model) ve AHP yöntemi (Analitik Hiyerarşi Süreci) ile halkın planlama sürecine katılımının desteklenmesi, kullanıcı görüşleri/tercihlerinin kullanılması sağlanmıştır. Yeni bir uygunluk çerçevesi kullanılarak açığı kapatacak olan bu çalışmada, ilk kez toplu taşıma kullanıcılarının sosyo-ekonomik koşullara ve kentsel işlevlere özgü beklentileri, istekleri ve toplum ihtiyaçları eş zamanlı olarak ele alınmış ve kriter ağırlıklarını elde etmek için ikili karşılaştırma yapılmıştır ve bindirme analizi (kartografik model) uygulanmıştır ve son olarak GIS-MCDA tekniklerini uygulayarak nihai bir uygunluk haritası elde edilmiştir. Bu çalışma, "Uzman ve hükümet yetkilisi katılımı" ile karşılaştırıldığında "Halkın Katılımı" na önemszenmeyen ve dikkate alınmayan bir başlık olarak dikkat çekmeyi

amaçlamaktadır. Proje değerlendirme ve onay aşamalarında halkın katılımı zorunlu koşul olmalıdır. "Genel yolcu görüşleri/tercihleri" zaman ilerledikçe dinamik olarak değişebilir. Bu açıdan bakıldığında, devlet kurumları ve belediyeler tarafından bir veri tabanı oluşturulmalı, izlenmeli ve periyodik olarak raporlanmalıdır.

Özellikle uzman olmayan yerel topluluklar, ajanslar, dernekler için özel bir yazılıma ve tüm kamudan geri bildirim almak için web platformuna ihtiyaç duymadan verileri iletmek için şeffaf, kolay anlaşılır ve eşit derecede erişilebilir bir 'Açık Kaynaklı web tabanlı coğrafi bilgi sistemi' oluşturulması gerekmektedir. Bu şekilde, halk anketlere kolayca katılabilir ve toplantılar, çalıştaylar vb. için bilgilendirilebilir. Bu çalışma, Çok kriterli analiz tekniklerinin kurumlar düzeyinde uygulanmasının yönetmeliklere, şartnamelere eklenmesi ve Fayda Maliyet Analizi veya Maliyet Etkinlik Analizi gibi diğer karar destekleyici araçlarla aynı önem düzeyine ulaşmasına dikkat çekmektedir.

Bu tez çalışması ile, Çok kriterli karar verme yöntemlerinin faydalarının farkında olarak, yakın gelecekte karar verme ve politika planlama çabalarını geliştirmek için bu yöntemlerin hükümet eylem planlarına dahil edilmesi önerilmektedir.

Çok kriterli karar destek sistemleri ve araçları konusu, büyüyen bir araştırma alanıdır ve uygulanabilir ve kapsamlı yöntemler sunar. Yeni hedef ve gereksinimlere göre ek ve hedefe yönelik değerlendirme kriterleri belirlenerek ve değerlendirilerek daha fazla araştırma yapılabilir. Çok kriterli karar analizi (MCDA) için mekansal sistemlerde yeni yöntemler, model uygulama aşamalarını yapılandırarak ve geliştirerek denenebilir. Bu çalışma çerçevesi, iyi kabul görmüş alternatifler ve senaryolar üretme ihtiyacını karşılamak için her türlü kentsel raylı sistem için uyarlanabilir. Sadece yeni demiryolu ulaşım güzergahı seçimi değil, önceden belirlenmiş demiryolu hatları da farklı durumlara bağlı olarak analiz edilebilir. Her proje alternatifi benzersizdir ve mekansal bir çevreye sahiptir. Değerlendirme sürecinin aynı olamayacağı açıktır. Topluma faydayı artırmak için ek faktörler uygulanabilir.

Çalışmada kullanılan ikinci model yaklaşımı 'Raylı Sistem Bulanık Mantık (RFLM)' modelidir. Sürdürülebilir ulaşım gelişimini sağlamak için raylı sistem ağının genişletilmesi gerekliliğinin değerlendirilmesi için oluşturulmuştur. Model esnektir, kolayca değiştirilebilir ve çeşitli karar değişkenlerine uygulanabilir. Model tasarımı, bulanık mantık teorisinin kavramlarına dayanmaktadır.

Çalışmanın çerçevesi, farklı girdi parametrelerinin etkileşimlerini dikkate alarak 'Bulanık Mantık Tasarımcısı' (Fuzzy Logic Designer) uygulamasını sağlamak için yeterli bir temel sağlar. Bu çalışmanın çerçevesi, düzenleyiciler, operatörler, ulaşım planlamacıları, farklı amaç ve gereksinimlere sahip uzmanlar tarafından her türlü kentsel ulaşım moduna uygulanabilecek potansiyel bir mekanizma sunmaktadır.

MatlabTM yazılımı kullanılarak bir bulanık çıkarım sistemi geliştirilmiştir. Fuzzy Logic Designer'da beş girdi değişkeni (Eğim, Jeoloji, Nüfus, Arazi Kullanımı, Yüzeysel Su Akışı) ve bir çıktı değişkeni (Uygunluk Puanı), üyelik fonksiyonu grafikleri bu değişkenlerin her biri için tanımlanmıştır. Mamdani tipi bir bulanık mantık algoritma mekanizması kullanılmıştır. Bulanık Çıkarım değişkenlerinin belirlenmesi, doğal olarak sistemin tasarımcısına ve incelenen herhangi bir konu için veri kullanılabilirliğine bağlıdır.

Grafiksel kullanıcı arayüzü, program ortamında bulanık çıkarım sistemi arka planda çalışırken kullanıcı tarafından manuel olarak girdi parametrelerinin verilmesi ve sonuçların işlenmesi için GUIDE araç kutusu kullanılarak MATLAB'da tasarlanmıştır. RFLM modelinin yazılım uygulaması MATLAB R2021b geliştirilmiştir ve kaynak kodları kullanıcı tarafından açık kaynak formatında paylaşılabilir.

Çalışma, uzmanların Matlab yazılımını kullanarak çok büyük bir coğrafi veri kümesi içeren bulanık bir çıkarım modeli yürütmesine yardımcı olacak yenilikçi bir metodolojiye sahiptir. Çalışma alanı matris boyutunda 216 satır ve 208 sütundan oluşmaktadır. Beş girdi katmanı, CBS ortamında 100×100 m piksel boyutunda raster formatında saklanmıştır. Her hücre raster formatında 100 m grid çözünürlüğe sahiptir ve çalışma alanı yaklaşık 227 km²'lik bir alanı kaplar.

Girdi ve çıktı değişkenlerinin seçimi, Raylı sistem planlamasının farklı yönlerini belirtmek için ayrıntılandırmaya ihtiyaç duyar. Bu çalışmanın çerçevesi, çalışma alanının çevresel ve ekolojik veya sosyal etkileri gibi alternatif değerlendirme kriterlerine uygulanabilir. Bu metodoloji, toplu taşıma planlamacılarının değerlendirme sürecinde belirsizliği önlemesine ve bulanık mantık kullanarak 'ölçmesi zor' nitelikleri bir araya getirmesine yardımcı olur. Girdi değerleri arttığında, metodolojinin uygulanması zorlaşır ve standardizasyon ve yorumlama kabiliyeti azalır.

Sonuç olarak, araştırma bulguları şehir içi ulaşım planının vizyonunu karşılamakta ve halkın ihtiyaçlarına odaklanarak yenilikçi bir planlama çerçevesi sağlamaktadır. Ek olarak, bu modelleme metodolojisi, karar vericiler için bir yol haritası sağlayarak entegre, gelişmiş sürdürülebilir kentsel ulaşım gelişimi için uygunluk seviyesini mekansal olarak görselleştiren pratik bir yaklaşım sunar. Tez kapsamında kullanılan mekansal çok kriterli modelleme ve bulanık mantık yaklaşımı ile modellemenin, Kentsel Raylı Sistem Gelişimi için tekrarlanabilir, uyarlanabilir çok disiplinli bir model oluşturmak için farklı değerlendirme kriterlerini nicelleştirerek birleştirilebilen ve çıkarım yapabilen bir karar mekanizması olarak kullanılabilecek yararlı bir yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır.





KAYNAKLAR

- Akgün, A., Sezer, E.A., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Pradhan, B.** (2012). An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm. *Computers & Geosciences*, 23-34. doi:10.1016/j.cageo.2011.04.012
- Al-Hanbali, A., Alsaaidh, B., Kondoh, A.** (2011). Using GIS-Based Weighted Linear Combination Analysis and Remote Sensing Techniques to Select Optimum Solid Waste Disposal Sites within Mafraq City, Jordan. *Journal of Geographic Information System*, 267-278. doi:10.4236/jgis.2011.34023
- Araç, E.** (2018). *Türkiye’de Raylı Sistem Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesine Geçiş Süreçleri Üzerine Bir Örnek Olay İncelemesi ve Yönetimsel Öneriler*. (Y.Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arı, M.E.** (2021). *Kentiçi Raylı Sistem Araçlarının Tasarım Kriterleri Örnek Bir Metro Tasarımı Araç Gövdesinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Aerodinamik ve Statik Analizi* (Y.Lisans tezi). Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Ahmed C, Nur K, Ochieng W.** (2020) GIS and genetic algorithm based integrated optimization for rail transit system planning. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. 16-100222. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2020.100222>
- Ayçın, E.** (2011). *Kural Tabanlı Bulanık Modelleme ve Fiyat Tahminleme Sürecinde Bir Uygulama* (Y. Lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Aydın, Y.B.** (2021). *Toplu Taşımada İşletme Planlaması ve Optimizasyonu: Sakarya Uygulaması* (Y. Lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Bağdatlı, M.E.C., Akbıyıklı, R.** (2015) Ulaştırma yapıları ekonomik analizlerinde iskonto oranı: bir durum çalışması, *SAÜ Fen Bil Der* 19. Cilt, 1. Sayı, s. 67-74.
- Broniewicz E, Ogrodnik K.** (2020) Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects. *Transp. Res. Part D*. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102351>
- Can, A.M.** (2012). *Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Samsun Lojistik Köyü Yerinin Belirlenmesi* (Y. Lisans tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- Chamchali, M.M., Ghazifard, A.** (2019). The use of fuzzy logic spatial modeling via GIS for landfill site selection (case study: Rudbar-Iran). *Environmental Earth Sciences*, 78-305. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8296-y>
- Chen, Z., Xue, J., Rose, A. Z., & Haynes, K. E.** (2016). The impact of high-speed rail investment on economic and environmental change in China: A dynamic CGE analysis. *Transportation Research Part A*, 232-245.
- C.H Ahmed.** (2016) *GIS and Genetic Algorithm based Integrated Optimization for Rail Transit System Planning* (Doktora tezi). Centre for Transport Studies Department of Civil and Environmental Engineering.
- Çınar, Y.** (2004). *Çok Nitelikli Karar Verme ve 'Bankaların Mali Performanslarının Değerlendirilmesi' Örneği* (Y. Lisans tezi). Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Dördüncü, H.** (2018). *Transit Merkezlerin Çok Kriterli Karar Destek Sistemi ile Performans Değerlemesi : İstanbul 3. Havalimanı Örneği* (Doktora tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Duleba, S.** (2018). An AHP-ISM Approach For Considering Public Preferences In A Public Transport Development Decision, *Transport*, 1648-3480. <https://doi.org/10.3846/transport.2019.9080>
- Dutu, L., Mauris, G., Bolon, P.** (2018). A Fast and Accurate Rule-Base Generation Method for Mamdani Fuzzy Systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol.26, Issue 2.
- Eğrioğlu, E., Baş, E.** (2021). Bulanık Çıkarım Sistemleri, Matlab Uygulamaları. Nobel Akademik Yayınları.
- Erden, T.** (2009). *Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Analitik Hiyerarşi Yöntemine Dayalı İtfaiye İstasyon Yer Seçimi: İstanbul Örneği* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gamper, C.D., Turcanu, C.** (2007) On the governmental use of multi-criteria analysis. *Ecological Economics* 62, 298-307.
- Gökkaya, M. A.,** (2014). *Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) İle Üretilen Deprem Tehlike Haritalarının Duyarlılık Analizi* (Y. Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hamurcu, M., Eren, T.** (2016). *Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri Kullanılarak Monoray Teknolojisi Seçimi*, Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale.
- Hepdeniz, K., Soyaslan, İ.İ.** (2019). CBS ve AHY Yöntemi Kullanılarak Bucak (Burdur/Türkiye) Mermer Atık Sahasının Belirlenmesi. *European Journal of Science and Technology*, 1045-1057. [doi: 10.31590/ejosat.656601](https://doi.org/10.31590/ejosat.656601)
- Heyns, W. & Jaarsveld S.V.** (2017). Transportation Modelling in Practice: Connecting Basic Theory to Practice, *Transportation, Land Use and Integration: Perspectives for Developing Countries*. WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering, Vol 100.

- İETT Genel Müdürlüğü.** (2020). Metro/Metrobüs hatlarını besleyen Otobüs Hatları.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Beyaz Masa.** (Ocak-Mart 2021). Raylı sistem talep başvuruları
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2016). Ataköy-İkitelli Metro Hattı Paydaş Katılım Planı. Erişim: http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/kurumsal/Birimler/AvrupaYakasiRayliSistemlerMD/Documents/2017/Paydas_Katilim_Plani.pdf
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2017). Raylı Sistem Daire Başkanlığı, Avrupa Yakası Raylı Sistem Projeler Müdürlüğü, Mahmutbey-Bahçeşehir-Esenyurt Raylı Sistem Hattı Mali ve Ekonomik Fizibilite Etüdü.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2018). Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü. *İstanbul ili genelinde afetler karşısında sosyal hasar görülebilirlik analizi.* Erişim: <https://depremezmin.ibb.istanbul/calismalarimiz/tamamlanmis-calismalar/istanbul-ili-genelinde-afetler-karsisinda-sosyal-hasar-gorebilirlik-arastirmasi/>
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2019). *Ümraniye-Ataşehir-Göztepe Metro Hattı Paydaş Katılım Planı.* Erişim: <https://www.ebrd.com/documents/comms-and-bis/psd-49825-sept.pdf>
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2020). Coğrafi Bilgi Sistemleri Müdürlüğü, Dijital Topoğrafik haritalar- Eş yükselti eğrileri.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2020). Coğrafi Bilgi Sistemleri Müdürlüğü'nden alınan arazi kullanım vektör verileri (.shp dosyası)
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2020). Deprem ve Jeoteknik Etüt Müdürlüğü, İstanbul Jeoloji Haritası (1/100 000) jpeg formatlı.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2021). İstanbul Ulaşım ve Hareketlilik Raporu.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2022). Performans Esaslı Yatırım & Hizmet Programı.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2023). BELBİM A.Ş. Toplu Taşıma Yolculuk Verileri.
- İşler, İsmail.** (2018). *Kamu Kaynaklarının Etkin Kullanımında Fayda-Maliyet Analizinin Uygulanmasına Bir Örnek: Denizli Havalimanı Projesi* (Doktora tezi). Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Karakaşoğlu, N.** (2008). *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama* (Y. Lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Kırlangıçoğlu, C.** (2014). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Raylı Sistem Güzergah Tasarımı: İstanbul Örneği* (Doktora tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Konar, M.** (2017). *Bulanık Model Parametrelerinin Belirlenmesinde Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Performansının İncelenmesi* (Doktora tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- Kutz, M.** (2014) Handbook of Transportation Engineering, 3.6 Transportation Systems Evaluation, McGraw-Hill Handbooks.
- Luca, M.D., Acqua, G.D., Lamberti, R.** (2012) High-Speed Rail Track Design Using GIS And Multi-Criteria Analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 54,608-617. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.09.778
- Malczewski, J.,** (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley and Sons Inc. U.S.A. ISBN: 0471329444.
- Malczewski, J.,** (2010). Multiple Criteria Decision Analysis and Geographic Information Systems. Chapter 13. Trends in Multiple Criteria Decision Analysis, *International Series in Operations Research and Management Science* 142. doi: 10.1007/978-1-4419-5904-1_13
- Nabil, E.** (2020). Fuzzy Logic Control Tutorials using MATLAB Script, Minoufia University, Faculty of Electronic Engineering.
- Ösna, T.** (2013). *GIS Tabanlı Bir Mamdani Bulanık Çıkarsama Aracının Geliştirimi ve Heyelan Duyarlılık Haritası Üretimine Uygulanması* (Y. Lisans tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özkan B, Özceylan E, Sarıççek, İ.** (2019). GIS-based MCDM modeling for landfill site suitability analysis: A comprehensive review of the literature. *Environmental Science and Pollution Research*. 26:30711–30730. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06298-1>
- Pacheco-Raguz, J.F.** (2010). Assessing the impacts of Light Rail Transit on urban land in Manila. *The Journal of Transport and Landuse*, 113-138. doi:10.5198/jtlu.v3i1.13
- Parry J. A, Ganaie S.A, Bhat M.S** (2018) GIS based land suitability analysis using AHP model for urban services planning in Srinagar and Jammu urban centers of J&K, India. *Journal of Urban Management* 7-46-56. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2018.05.002>
- Ramonas, A.** (2012). Cartographic Modelling in the Geographic Information Systems: Some Questions of Theory, Methods of Analysis. *Geodezija ir Kartografija*, 24:2, 75-86. <https://doi.org/10.1080/13921541.1998.10552815>
- Riad, P.H., Billib, M.H., Hassan, A.A., Omar, M.A.** (2011). Overlay Weighted Model and Fuzzy Logic to Determine the Best Locations for Artificial Recharge of Groundwater in a Semi-Arid Area in Egypt. *Nile Basin Water Science & Engineering Journal*, Vol.4, Issue 1.
- Roy, B.,** (1996). Multicriteria Methodology for Decision Aiding, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Ulvi, H., Kutlu, B.H., Akdemir, F.** (2019) Gelişmekte Olan Ülkelerde Raylı Sistem Yatırım Kararlarını Etkileyen Ölçütlerin Belirlenmesi: AB ve Türkiye Özelinde Bir Araştırma, *Demiryolu Mühendisliği* 9, 61-78.
- Saaty, T.L.,** (1980). The Analytic Hierarchy Process, New York, McGraw-Hill.

- Sarkheil, H., Rahbari, S., Azimi, Y.** (2021). Fuzzy-Mamdani environmental quality assessment of gas refinery chemical wastewater in the Pars special economic and energy zone. *Environmental Challenges*, 100065. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100065>
- Sharma, S.** (2017). How to Design Fuzzy Controller in Matlab? [Video]. YouTube. Erişim: <https://www.youtube.com/watch?v=aer5eYXARlg> (<http://jcbrolabs.org/matlab-codes>)
- Simon, H.A.,** (1960). The New Science of Management Decisions, New York: Harper & Row.
- Sünbül, ř.** (2019) *Hafif Raylı Sistemlerin Erzurum İli İçin İncelenmesi* (Y.Lisans tezi). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- şen, Z.,** (1999) “Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri”, Bilge kültür sanat yayınları, İstanbul
- şen Z.** (2004). Mühendislikte Bulanık Mantık ile Modelleme Prensipleri, Su Vakfı, İstanbul.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü.** (2022). Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırmaları (SEGE). Erişim: <https://www.sanayi.gov.tr/merkez-birimi/b94224510b7b/sege>
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.** (2019). Türkiye'deki İlçelerde Nüfus Yoğunluğu ve Kentsel Fonksiyonlara Göre Kentleşme Düzeyinin Ölçülmesi.
- T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı.** (2023). Yatırım programı.
- Tischler, S.,** (2017). Finding the right way-a new approach for route selection procedures? *Transportation Research Procedia* 25,2809-2823. doi:10.1016/j.trpro.2017.05.247
- Topçu, İlker.** (2000). *Çok Ölçütlü Sorun Çözümüne Yönelik Bir Bütünleşik Karar Destek Modeli* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tutan, A.** (2016). *Kentiçi Raylı Sistemlerde Müşteri Memnuniyetinin Tespiti ; İstanbul Metrolarını Kullanan Yolcular Üzerinde Bir Uygulama* (Y.Lisans tezi). İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Türkiye İstatistik Enstitüsü (TÜİK) Veri Portalı.** (2019). Mahalle Bazlı Nüfus Verileri.
- Uçar, G.** (2020). *Raylı Sistem Yatırımlarının Mekansal ve Sosyo Ekonomik Yapıya Etkisi Üzerine Bir İnceleme: İzmir İZBAN Örneği* (Y.Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uçkan, M.** (2019). *Gaziantep İli'nin Sosyo-Ekonomik Yapısının Analizi* (Y. Lisans tezi). Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gaziantep.
- Ünal, Ö.F.** (2012). *Performans Değerlemede Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Uygulamaları*. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Sosyal Hizmet Bölümü, Isparta.

- Wang, C.** (2015). *A Study of Membership Functions on MamdaniType Fuzzy Inference System for Industrial Decision-Making* (Y. Lisans tezi). Lehigh University, Mechanical Engineering and Mechanics.
- Vuchic, V. R.** (2007) *Urban Transit Systems And Technology* , John Wiley & Sons, Hoboken, N.J, 602.
- Vuchic, V. R.** (2015) *Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler*, İstanbul Ulaşım A.Ş., İstanbul, 526.
- Yannis G, Kopsacheili A, Dragomanovits A, Petraki V.** (2020). State-of-the-art review on multi-criteria decision-making in the transport sector. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. 7 (4):413-431. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.05.005>
- Yücel, N., Taşabat, S.E.,** (2019) The Selection of Railway System Projects with Multi Criteria Decision Making Methods: A Case Study for Istanbul, 3rd World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship, *Procedia Computer Science* 158,382-393.
- Zadeh, L. A.** (1965). Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, p.338-353.
- Zemp, S., Stauffacher, M., Lang, D.J., Scholz, R.W.** (2010). Generic functions of railway stations—A conceptual basis for the development of common system understanding and assessment criteria, *Transport Policy* 18,446-455.

EKLER

EK A : Anket Formu

EK B : Posterler







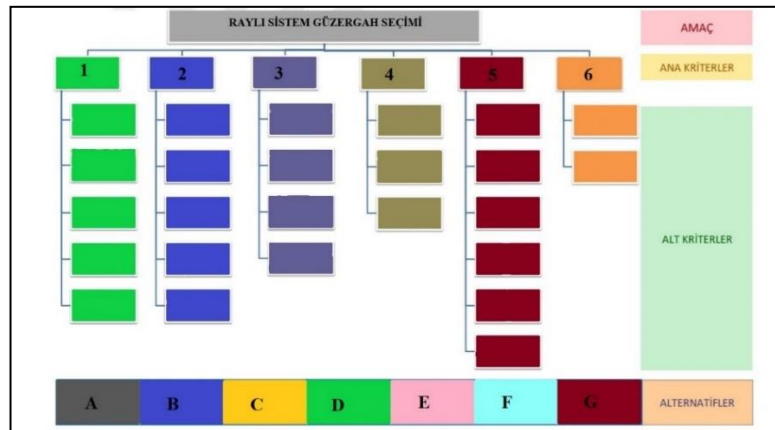
KRİTER DEĞERLENDİRME ANKETİ

Raylı Sistem Güzergahı/İstasyon Yeri Seçimi İçin Kriter Karşılaştırması

Hazırlayan: BERNA ÇALIŞKAN
2021

AÇIKLAMA:

Raylı sistem güzergah planlamasında çok kriterli karar verme sürecinde pek çok alternatifin sürece dahil edilmesine ve böylelikle farklı stratejiler geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Raylı sistem güzergah planlaması amacıyla CBS ile bütünleşik çok kriterli karar verme analizi yapılması planlanmaktadır. Bu anket çalışması Doktora Tezim kapsamında değerlendirmek üzere hazırlanmıştır. Raylı sistem güzergah alternatifleri ve istasyon yeri seçim problemi için değerlendirmeye alınacak kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi hedeflenmektedir. Raylı sistem alternatif değerlendirme senaryo yaklaşımı; sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile eşgüdümlü planlar hazırlamasını, kalkınma ve çevresel değerlerin korunması gereksinimlerinin birlikte karşılanmasını amaçlamaktadır.



Şekil. Amaç-Ana kriterler-Alt kriterler-Alternatifler

Bu kapsamda, karar vericilerin, paydaşların belirlenmesi, yetkinlikleri, bilinçli bir karar verme süreci yaşanmasına imkân tanımaktadır. Anketler akademisyenler, ilgili

bakanlıklar, yerel yönetimler, yüklenici firmalar, vb. önemli sektör paydaşlarına uygulanacak şekilde kurgulanmıştır.

Değerlendirmeye alınan kriterlerin ikili karşılaştırılması neticesinde kullanılacak çok kriterli karar verme yaklaşımı çerçevesinde kriterler için önem seviyesi ve öncelik değeri belirlenecektir.

Kriter değerlendirmeleri için kullanılacak 1-9 skalasındaki ölçek aşağıdaki gibidir:

Önem Derecesi	Tanımı	Açıklaması
1	Eşit Önemli	Her iki kriter de amaca eşit katkıda bulunur
3	Orta Önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir kriter diğerine göre daha fazla tercih edilir
5	Güçlü Önemde	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir kriter diğerine göre çok daha fazla tercih edilir
7	Çok Güçlü Önemde	Bir kriter diğerine göre çok güçlü bir şekilde tercih edilir. Uygulamada üstünlüğü ispat edilmiştir.
9	Son Derece Önemli	Bir kriter diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2,4,6,8	Yukarıdaki değerler arasında ara değerler	İki yargı arasında kalındığında, sayısal değerlerin ortasındaki ara değerler verilir.

Lütfen sonraki sayfalarda yer alan tüm karşılaştırmaları bu ölçeği dikkate alarak değerlendiriniz. Değerlendirme sürecinde aşağıda yer alan örnekleri dikkate alarak işaretleme yapınız.

Örnek Değerlendirme:

Kriter A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kriter B
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----------

Bu değerlendirme Kriter A ‘nın 9 seviyesinde (son derece önemli) Kriter B den üstün olduğunu ifade etmektedir.

Kriter A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kriter B
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----------

Bu değerlendirme Kriter B ‘nin 3 seviyesinde (orta önemli) Kriter A dan üstün olduğunu ifade etmektedir.

BÖLÜM 1

**Raylı Sistem Güzergahı/İstasyon Yeri Seçimi için aşağıda yer alan ana kriterleri karşılaştırarak uygun şekilde işaretleyiniz: (5 ana kriter)
A-ARAZİNİN TOPOGRAFİK YAPISI, EĞİM(%) B- ARAZİNİN JEOLJİK DURUMU C- YÜZEY SULARININ YOĞUNLUĞU, DERE AKSLARINA YAKINLIĞI D- NÜFUS YOĞUNLUĞU, HATTIN HİZMET ETTİĞİ BÖLGEDEKİ NÜFUS DEĞERİ E- ARAZİ KULLANIMI**

DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ																			
ARAZİNİN TOPOGRAFİK YAPISI, EĞİM(%)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ARAZİNİN JEOLJİK DURUMU	
ARAZİNİN TOPOGRAFİK YAPISI, EĞİM(%)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	YÜZEY SULARININ YOĞUNLUĞU, DERE AKSLARINA YAKINLIĞI	
ARAZİNİN TOPOGRAFİK YAPISI, EĞİM(%)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NÜFUS YOĞUNLUĞU, HATTIN HİZMET ETTİĞİ BÖLGEDEKİ NÜFUS DEĞERİ	
ARAZİNİN TOPOGRAFİK YAPISI, EĞİM(%)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ARAZİ KULLANIMI	
ARAZİNİN JEOLJİK DURUMU	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	YÜZEY SULARININ YOĞUNLUĞU, DERE AKSLARINA YAKINLIĞI	
ARAZİNİN JEOLJİK DURUMU	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NÜFUS YOĞUNLUĞU, HATTIN HİZMET ETTİĞİ BÖLGEDEKİ NÜFUS DEĞERİ	
ARAZİNİN JEOLJİK DURUMU	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ARAZİ KULLANIMI	
YÜZEY SULARININ YOĞUNLUĞU, DERE AKSLARINA YAKINLIĞI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	NÜFUS YOĞUNLUĞU, HATTIN HİZMET ETTİĞİ BÖLGEDEKİ NÜFUS DEĞERİ	
YÜZEY SULARININ YOĞUNLUĞU, DERE AKSLARINA YAKINLIĞI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ARAZİ KULLANIMI	
NÜFUS YOĞUNLUĞU, HATTIN HİZMET ETTİĞİ BÖLGEDEKİ NÜFUS DEĞERİ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ARAZİ KULLANIMI	

BÖLÜM 2

Raylı Sistem Güzergahı/İstasyon Yeri Seçimi için aşağıda yer alan ana kriterleri karşılaştırarak uygun şekilde işaretleyiniz: (7 ana kriter)

A-HAT UZUNLUĞU VE İSTASYON SAYISI B-SOSYO-EKONOMİK DURUM C-ARAZİ KULLANIMI D-ÇEVRE

E-ULAŞTIRMA ALTYAPISI F-EKONOMİ G-ENTEGRASYON VE ERİŞİLEBİLİRLİK

DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ																		
A-HAT UZUNLUĞU VE İSTASYON SAYISI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B-SOSYO-EKONOMİK DURUM
A-HAT UZUNLUĞU VE İSTASYON SAYISI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C-ARAZİ KULLANIMI
A-HAT UZUNLUĞU VE İSTASYON SAYISI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D-ÇEVRE
A-HAT UZUNLUĞU VE İSTASYON SAYISI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E-ULAŞTIRMA ALTYAPISI
A-HAT UZUNLUĞU VE İSTASYON SAYISI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F-EKONOMİ
A-HAT UZUNLUĞU VE İSTASYON SAYISI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	G-ENTEGRASYON VE ERİŞİLEBİLİRLİK
B-SOSYO-EKONOMİK DURUM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	C-ARAZİ KULLANIMI
B-SOSYO-EKONOMİK DURUM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D-ÇEVRE
B-SOSYO-EKONOMİK DURUM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E-ULAŞTIRMA ALTYAPISI
B-SOSYO-EKONOMİK DURUM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F-EKONOMİ
B-SOSYO-EKONOMİK DURUM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	G-ENTEGRASYON VE ERİŞİLEBİLİRLİK
C-ARAZİ KULLANIMI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D-ÇEVRE
C-ARAZİ KULLANIMI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E-ULAŞTIRMA ALTYAPISI
C-ARAZİ KULLANIMI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F-EKONOMİ

C-ARAZİ KULLANIMI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	G-ENTTEGRASYON ERİŞİLEBİLİRLİK	VE
D-ÇEVRE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	E-ULAŞTIRMA ALTYAPISI	
D-ÇEVRE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F-EKONOMİ	
D-ÇEVRE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	G-ENTTEGRASYON ERİŞİLEBİLİRLİK	VE
E-ULAŞTIRMA ALTYAPISI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F-EKONOMİ	
E-ULAŞTIRMA ALTYAPISI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	G-ENTTEGRASYON ERİŞİLEBİLİRLİK	VE
F-EKONOMİ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	G-ENTTEGRASYON ERİŞİLEBİLİRLİK	VE

Raylı Sistem Güzergahı/İstasyon Yeri Seçimi için aşağıda yer alan alt kriterleri karşılaştırarak uygun şekilde işaretleyiniz:

DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ																		
A-HAT UZUNLUĞU VE İSTASYON SAYISI																		
1-Hattın uzunluğu ve hattın hizmet ettiği alansal büyüklük	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2-İstasyon sayısı ve istasyonlar arası mesafe
1-Hattın uzunluğu ve hattın hizmet ettiği alansal büyüklük	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3-Diğer raylı sistemler ile yakınlaşma durumu, mesafesi
2-İstasyon sayısı ve istasyonlar arası mesafe	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3-Diğer raylı sistemler ile yakınlaşma durumu, mesafesi

B-SOSYO-EKONOMİK DURUM																		
1-Hattın geçtiği zon/mahalle nüfusunun büyüklüğü	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2-Hattın hizmet edeceği halkın gelir düzeyi
1-Hattın geçtiği zon/mahalle nüfusunun büyüklüğü	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3-Hattın hizmet edeceği halkın eğitim durumu
1-Hattın geçtiği zon/mahalle nüfusunun büyüklüğü	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4-Ev-iş, ev-okul yolculukları kapsamında mevcut ve gelecekteki talebin karşılanabilirliği
2-Hattın hizmet edeceği halkın gelir düzeyi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3-Hattın hizmet edeceği halkın eğitim durumu
2-Hattın hizmet edeceği halkın gelir düzeyi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4-Ev-iş, ev-okul yolculukları kapsamında mevcut ve gelecekteki talebin karşılanabilirliği
3-Hattın hizmet edeceği halkın eğitim durumu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4-Ev-iş, ev-okul yolculukları kapsamında mevcut ve gelecekteki talebin karşılanabilirliği
C-ARAZİ KULLANIMI																		
1-Hattın sanayi bölgelerine olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2-Hattın eğitim kurumlarına olan yakınlığı, etki mesafesindeki kurum sayısı ve kapladığı alan(m2)
1-Hattın sanayi bölgelerine olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3-Hattın sağlık kurumlarına olan yakınlığı, etki

																		mesafesindeki kurum sayısı ve kapladığı alan (m2)
2-Hattın eğitim kurumlarına olan yakınlığı, etki mesafesindeki kurum sayısı ve kapladığı alan(m2)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3-Hattın sağlık kurumlarına olan yakınlığı, etki mesafesindeki kurum sayısı ve kapladığı alan (m2)
D-ÇEVRE																		
1-Hattın yapılması ile çevreye olacak etkinin düzeyi(tarım ve orman alanlarının etkilenmesi bakımından)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2-Hattın yapılması ile çevreye olacak etkinin düzeyi (sit alanlarının etkilenmesi bakımından)
1-Hattın yapılması ile çevreye olacak etkinin düzeyi(tarım ve orman alanlarının etkilenmesi bakımından)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3-Hattın taşkın risk bölgelerine olan yakınlığı
1-Hattın yapılması ile çevreye olacak etkinin düzeyi(tarım ve orman alanlarının etkilenmesi bakımından)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4-Hattın dere akıslarına olan yakınlığı
1-Hattın yapılması ile çevreye olacak etkinin düzeyi(tarım ve orman alanlarının etkilenmesi bakımından)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5-Hattın havza sınırlarına olan mesafesi
2-Hattın yapılması ile çevreye olacak etkinin düzeyi (sit alanlarının etkilenmesi bakımından)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3-Hattın taşkın risk bölgelerine olan yakınlığı

2-Hattın yapılması ile çevreye olacak etkinin düzeyi (sit alanlarının etkilenmesi bakımından)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4-Hattın dere akslarına olan yakınlığı
2-Hattın yapılması ile çevreye olacak etkinin düzeyi (sit alanlarının etkilenmesi bakımından)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5-Hattın havza sınırlarına olan mesafesi
3-Hattın taşkın risk bölgelerine olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4-Hattın dere akslarına olan yakınlığı
3-Hattın taşkın risk bölgelerine olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5-Hattın havza sınırlarına olan mesafesi
4-Hattın dere akslarına olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5-Hattın havza sınırlarına olan mesafesi
E-ULAŞTIRMA ALTYAPISI																		
Hattın havalimanlarına olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Hattın otogarlara olan yakınlığı
Hattın havalimanlarına olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Hattın hızlı tren proje güzergahlarına olan yakınlığı
Hattın otogarlara olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Hattın hızlı tren proje güzergahlarına olan yakınlığı
F-EKONOMİ																		
1-Hattın jeolojik durumu, litolojik tür açısından uygunluk durumu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2-Hattın geçtiği güzergahın eğim durumu
1-Hattın jeolojik durumu, litolojik tür açısından uygunluk durumu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3- Hattın kamulaştırma açısından uygun arazilerden geçmesi durumu

1-Hattın jeolojik durumu, litolojik tür açısından uygunluk durumu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4- Hattın inşaat yapım tekniği
2-Hattın geçtiği güzergahın eğim durumu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3- Hattın kamulaştırma açısından uygun arazilerden geçmesi durumu
2-Hattın geçtiği güzergahın eğim durumu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4- Hattın inşaat yapım tekniği
3- Hattın kamulaştırma açısından uygun arazilerden geçmesi durumu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4- Hattın inşaat yapım tekniği
G-ENTTEGRASYON VE ERİŞİLEBİLİRLİK																		
1-Hattın transfer merkezlerine olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2-İstasyon noktası veya noktalarında park et-devam et uygulamasının yapılabilirliği
1-Hattın transfer merkezlerine olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3-Seyahat süresini kısaltma
1-Hattın transfer merkezlerine olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4-İstasyon noktasına yürüme mesafesi
1-Hattın transfer merkezlerine olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5-İstasyonlardaki bilet fiyat farkı uygulamaları(kentiçi yüksek, uzaklaştıkça düşen ölçekte)
1-Hattın transfer merkezlerine olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	6-Hattın mevcut hatlar ve gelecekteki raylı sistem projeleriyle entegre olabilme özellliği

1-Hattın transfer merkezlerine olan yakınlığı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7-Hattın iskelelere olan mesafesi, deniz ulaşımı ile olan entegrasyonu
2-İstasyon noktası veya noktalarında park et-devam et uygulamasının yapılabilirliği	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3-Seyahat süresini kısaltma
2-İstasyon noktası veya noktalarında park et-devam et uygulamasının yapılabilirliği	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4-İstasyon noktasına yürüme mesafesi
2-İstasyon noktası veya noktalarında park et-devam et uygulamasının yapılabilirliği	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5-stasyonlardaki bilet fiyat farkı uygulamaları(kentiçi yüksek, uzaklaştıkça düşen ölçekte)
2-İstasyon noktası veya noktalarında park et-devam et uygulamasının yapılabilirliği	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	6-Hattın mevcut hatlar ve gelecekteki raylı sistem projeleriyle entegre olabilme özelliği
2-İstasyon noktası veya noktalarında park et-devam et uygulamasının yapılabilirliği	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7-Hattın iskelelere olan mesafesi, deniz ulaşımı ile olan entegrasyonu
3-Seyahat süresini kısaltma	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4-İstasyon noktasına yürüme mesafesi
3-Seyahat süresini kısaltma	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5-stasyonlardaki bilet fiyat farkı uygulamaları(kentiçi yüksek, uzaklaştıkça düşen ölçekte)
3-Seyahat süresini kısaltma	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	6-Hattın mevcut hatlar ve gelecekteki raylı sistem

																		projeleriyle entegre olabilme özelliği
3-Seyahat süresini kısaltma	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7-Hattın iskelelere olan mesafesi, deniz ulaşımı ile olan entegrasyonu
4-İstasyon noktasına yürüme mesafesi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5-stasyonlardaki bilet fiyat farkı uygulamaları(kentiçi yüksek, uzaklaştıkça düşen ölçekte)
4-İstasyon noktasına yürüme mesafesi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	6-Hattın mevcut hatlar ve gelecekteki raylı sistem projeleriyle entegre olabilme özelliği
4-İstasyon noktasına yürüme mesafesi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7-Hattın iskelelere olan mesafesi, deniz ulaşımı ile olan entegrasyonu
5-İstasyonlardaki bilet fiyat farkı uygulamaları(kentiçi yüksek, uzaklaştıkça düşen ölçekte)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	6-Hattın mevcut hatlar ve gelecekteki raylı sistem projeleriyle entegre olabilme özelliği
5-İstasyonlardaki bilet fiyat farkı uygulamaları(kentiçi yüksek, uzaklaştıkça düşen ölçekte)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7-Hattın iskelelere olan mesafesi, deniz ulaşımı ile olan entegrasyonu
6-Hattın mevcut hatlar ve gelecekteki raylı sistem projeleriyle entegre olabilme özelliği	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	7-Hattın iskelelere olan mesafesi, deniz ulaşımı ile olan entegrasyonu

BÖLÜM 3

Soru- ‘Raylı Sistem Güzergahı/İstasyon Yeri Seçimi’ için yukarıdaki tablolarda verilen ana ve alt kriterler incelendiğinde, size göre eksik kalan, değerlendirmeye alınması gereken kriter/kriterler veya herhangi bir düzeltilme önerebileceğiniz bir bölüm var mıdır? Lütfen belirtiniz.

Soru- T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından hazırlanan ‘*Yatırım Programı Hazırlama Süreci ve Uyulacak Esaslar*’ kapsamında ilgili birimlerce hazırlanan yatırım proje tekliflerinin ‘Çok Kriterli Karar Verme Metodları’ kullanılarak planlama ve uygulama aşamalarında kurumlar arası ortak karar alma süreçleri geliştirilmesi bakımından raylı sistem sektörü özelinde yatırım planlama sürecine dahil edilmesine yönelik düşüncenizi belirtiniz.

Soru- 2021-2023 Dönemi Yatırım Programı Hazırlama Taslak Rehberi’nde yer alan Kentiçi Ulaşım sektöründe Raylı sistemlerin, işletmeye açılması beklenen yıl için doruk saat-tek yön yolculuk talebinin *tramvay sistemleri için asgari 7.000 yolcu/saat, hafif raylı sistemler için asgari 10.000 yolcu/saat, metro sistemleri için ise asgari 15.000 yolcu/saat düzeyinde* gerçekleşeceği öngörülen koridorlarda planlanması şartı aranacaktır. Buna göre raylı sistem güzergahı oluşturulurken dikkate alınacak bu sınırlandırmalar ile ilgili uzman görüşünüzü bildiriniz. Asgari değerler ile ilgili farklı bir değerlendirmeniz var mıdır?

Soru- ‘Türkiye’nin Stratejik Çevresel Değerlendirme Uygulama Kapasitesi’nin Güçlendirilmesi’ projesi kapsamında ‘Kentsel Planlama’ sektöründe Kayseri 1/50.000 ölçekli Çevre Düzeni Planına Stratejik Çevresel Değerlendirme uygulaması pilot projesi gerçekleştirilmiştir. ‘Bölgesel Kalkınma’ sektöründe ise Ankara Bölge Planı için pilot proje uygulanmıştır. SÇD’nin büyük ulaştırma yatırımları kapsamında, ‘Ulaşım Sektörü’ için kurumlarınız gözetiminde hazırlanan veya planlanan SÇD sürecine tabi plan/proje/rapor var mıdır? Kısaca bilgi veriniz.

BÖLÜM 4

Soru- Kent halkının büyük ölçekli altyapı yatırımlarına karar vermede katılım sürecine dahil olmasının planlanması ve uygulanarak sonuçlarının değerlendirilmesi konusunda geçmişte uygulanan, devam eden veya planlanan bir proje kurumunuzda var mıdır? Varsa kısaca projeyi tanımlayınız. Aşağıdaki tabloda uygun gördüğünüz puan kategorisini işaretleyiniz.

--

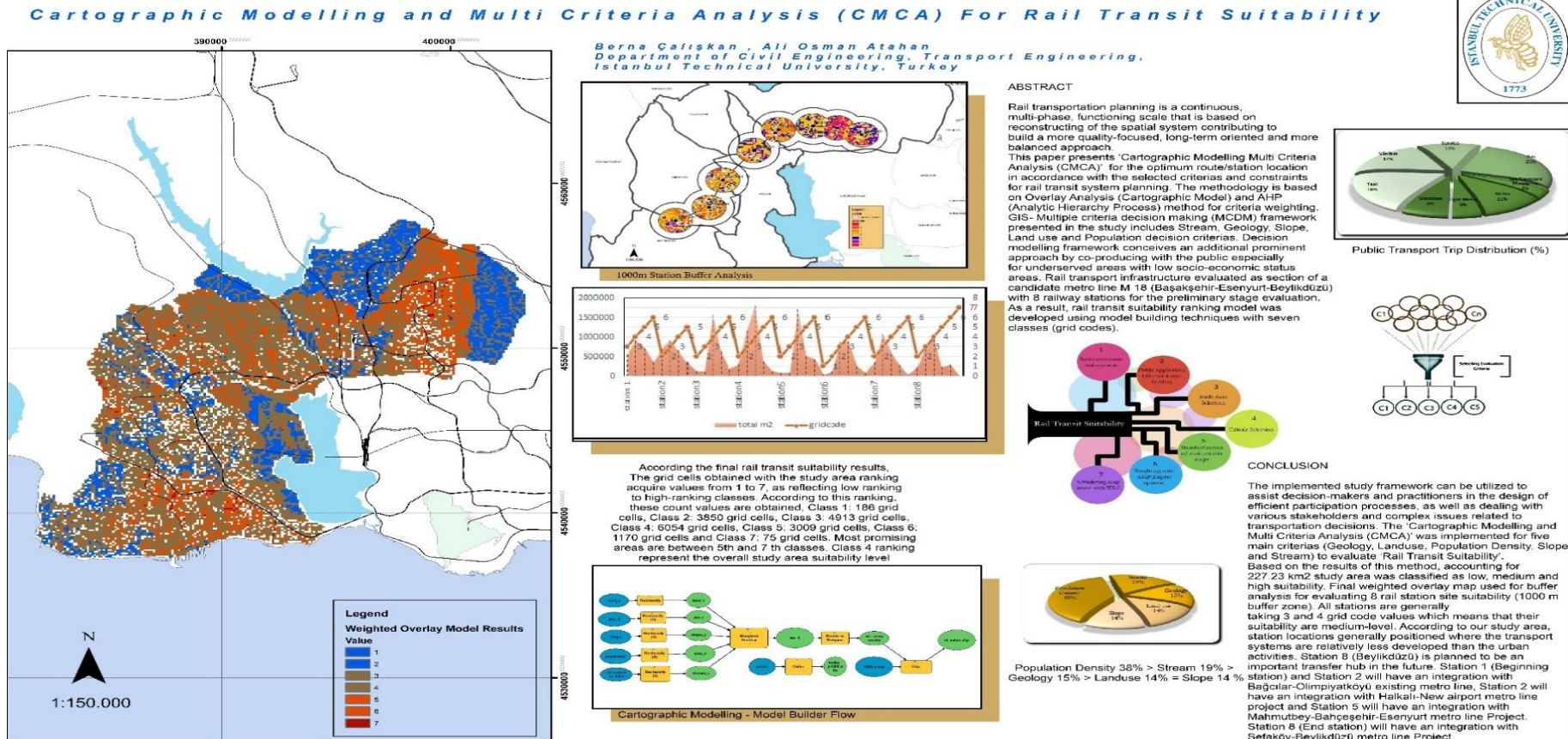
A	<i>Çok Yüksek</i>	80-100	Halkın yüksek katılım düzeyi ile karar verme sürecine dahil edilmesi gerekmektedir.
B	<i>Ortadan Yüksekçe</i>	60-80	Halkın katılımın sürece katkısı göz önünde bulundurulmalıdır.
C	<i>Düşükten Ortaya</i>	40-60	Halkın katılımı dikkate alınabilir.
D	<i>Çok Düşük</i>	20-40	Halkın katılımı gerekli olmayabilir.
E	<i>Hiç</i>	0	Halkın katılımı gerekli değildir.

Soru- Raylı sistem proje hedefleri oluşturulurken aşağıdaki tabloda verilen ‘Smart’ hedeflerden size göre en öne çıkan hedefi işaretleyiniz.

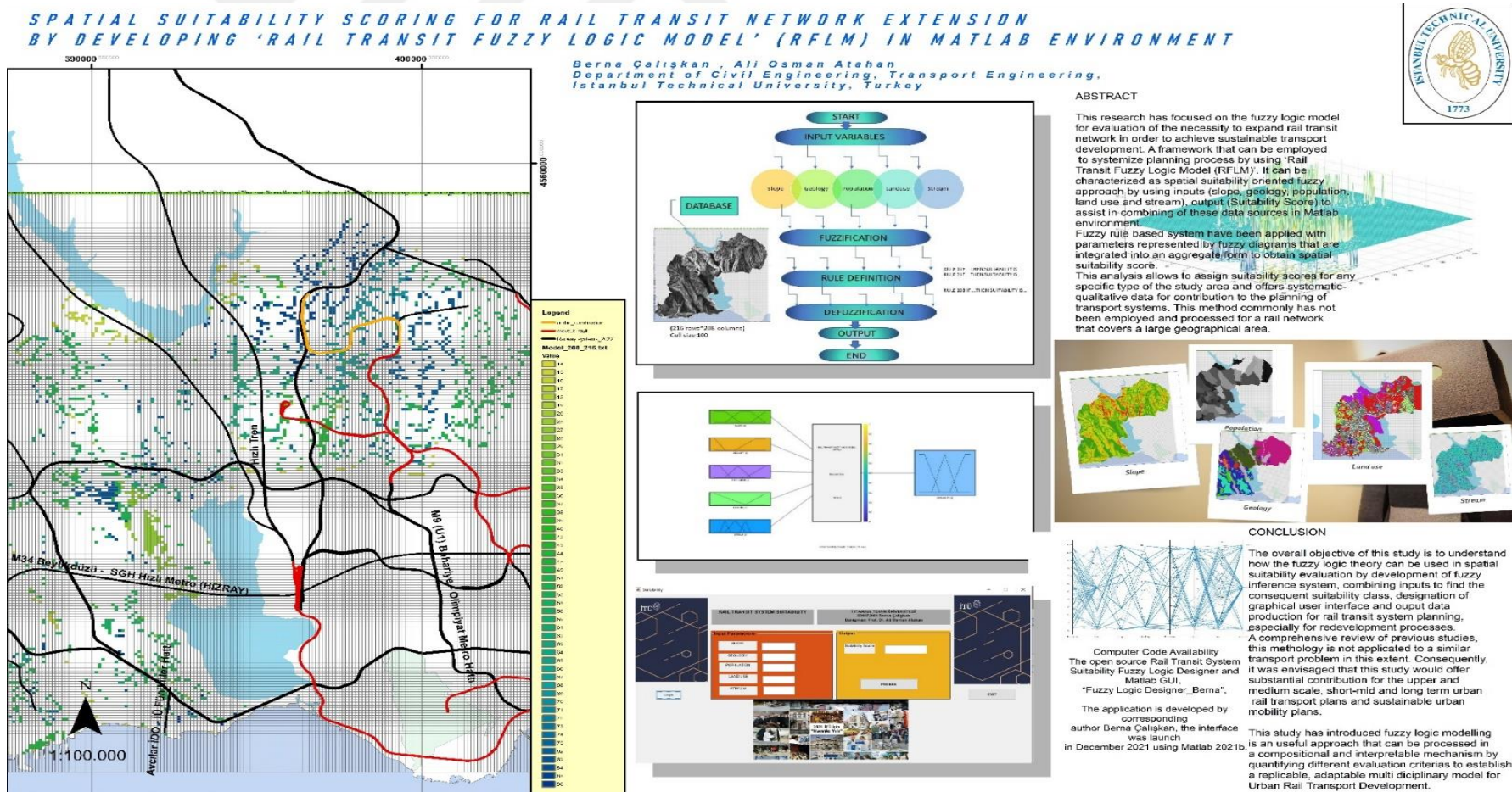
S-Specific	Hedefler yapılan proje ile ilgili olmalı, önceden uzlaşılmalı, “belirli (somut)” olmalı ve proje ekibi, proje paydaşları kendilerinden ne beklediğini bilmelidir.	
M-Measurable	Standartlar/hedefler objektif ve “ölçülebilir” olmalıdır. Hedefin başarısının nasıl ölçüleceği belirlenmelidir. Standartlar nicel ise ölçüm daha kolaydır, ancak nitel olduğunda biraz daha dikkat etmek gerekir.	
A-Achievable	Standartlar zorlayıcı olmakla birlikte “ulaşılabilir” olmalıdır. Hedefler çalışanın asla başaramayacağı zorlukta olmamalı ve çok kolay başarılabilecek düzeyde de olmamalıdır.	
R-Reasonable	Hedefler “gerçekleşebilir” (uygun, makul) olmalıdır.	
T-Time-Bound	Hedeflerin gerçekleştirilmesi “zaman sınırlı” (altı aylık veya yıllık) olmalıdır.	

Soru-Raylı sistemlerin kent ve ulusal ölçekte geliştirilebilmesi amacıyla kurumlar arası işbirliği ile ‘Ray-Ar-GE’ araştırma ve geliştirme projesi geliştirilmesi söz konusu olduğunda ve proje seçim hakem kurulunda olsaydınız, aşağıda belirtilen ana ve alt kriterleri 1’den 10’a kadar nasıl puanlandırırdınız?

TEKNİK		Teknik başarı olasılığı	
		Teknolojik çekicilik	
		Proje süresi	
		Yenilik kapsamı	
		Mevcut projelerle bağlantısı	
		Mühendislik açısından uygunluk	
		Teknolojik uygunluk	
		Çevresel uygunluk	
STRATEJİK		Sosyal bağlamda proje hedeflerin uygunluğu	
		Proje misyonu	
		Proje liderinin ünü	
		Ekonomik kalkınma başarısı	
		Bölgesel yarar	
ORGANİZASYONEL		Uzman personel	
		Altyapı, Ekipman ve tesis yeterliliği	
		Malzeme kaynakları	
		İş programı	
		İş güvenliği	
FİNANSAL		Finansal yapılabirliklik	
		İşbirliği olanağı	
		Kamusal kaynakların etkin kullanımı	
		Yatırımın maliyeti	
		Yatırımın getirisi	



Şekil 7.16 : Poster 1.



Şekil 7.17 : Poster 2.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Berna ÇALIŞKAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2003, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : 2005, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Ulaştırma Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2005-2018 yılları arasında İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı, Ulaşım Planlama Müdürlüğü'nde Ulaşım Ana Planı ekibinde görev yaptı.
- 2018-2021 yılları arasında İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Daire Başkanlığı, Raylı Sistem Projeler Müdürlüğü'nde Kontrol Mühendisi olarak görev yaptı.
- 2021 yılından beri Ulaştırma Bakanlığı'nda görevine devam etmektedir.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Çalışkan, B.** 2022. Investigating Urban Rail Transit System with District Based Socio-Economic Parameters. *International Engineering and Technology Management Summit*, Istanbul, Turkey.
- **Çalışkan, B., Atahan A.O.** 2023. Cartographic Modelling and Multi-Criteria Analysis (CMCA) for Rail Transit Suitability, *Urban Rail Transit*, 9, 1-18. (<https://doi.org/10.1007/s40864-023-00186-1>)

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Çalışkan, B.,** Atahan, A.O. 2015. Yük Taşımacılığında Yönlendirici Algoritmaların Oluşturulması. *1st IRF Europe/Central Asia Regional Congress/Exhibition*, Istanbul, Turkey.
- **Çalışkan, B.,** Atahan, A.O. 2017. Road Safety for Children: A Case Study for Istanbul. *5th IRF Middle East Regional Congress/Exhibition*, Dubai, United Arab Emirates.
- **Çalışkan, B.,** Atahan, A.O. 2017. Value Engineering Application in the Transportation Industry: A case study for Istanbul. *5th IRF Middle East Regional Congress/Exhibition*, Dubai, United Arab Emirates.
- **Çalışkan, B.,** Atahan A.O., Dilek, E., Bakioğlu, G. 2018. The Smart City Framework and Assessment of Istanbul. *IRF GLOBAL R2T CONFERENCE*, Las Vegas, USA.
- Güney, C., **Çalışkan, B.,** Atahan A.O. 2019. Semantic Integration of Information Models of Different Domains for the Railway Sector. *International Journal of Digital Innovation in the Built Environment*, Istanbul, Turkey.
- **Çalışkan, B.,** Atahan, A.O. 2019. Key Issues for Integrating Smart Transportation Technologies to Promote Transit Accessibility. *IRF GLOBAL R2T Conference*, Las Vegas, USA.
- **Çalışkan, B.,** Atahan, A.O., Kesten, A.S. 2022. GIS Aided Vulnerability Assessment for Roads. *Advances in Road Infrastructure and Mobility*.