

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KENTİÇİ ULAŞIMDA GÜZERGAH SEÇİM TERCİHLERİNİN**  
**YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ**  
**(BALIKESİR ÖRNEĞİ)**

**HAVVA MERVE AKDAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :** Dr. Öğr. Üyesi Füsun ÜÇER ÇİFTÇİ (Tez Danışmanı)  
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe TURABİ  
Dr. Öğr. Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU

**BALIKESİR, EYLÜL- 2025**

## **ETİK BEYAN**

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Kentiçi Ulaşımında Güzergah Seçim Tercihlerinin Yapay Zeka Yöntemleriyle Analizi (Balıkesir Örneği)**” başlıklı tezde;

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

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

**Havva Merve AKDAŞ**

## ÖZET

**KENTİÇİ ULAŞIMDA GÜZERGAH SEÇİM TERCİHLERİNİN YAPAY ZEKA  
YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ (BALIKESİR ÖRNEĞİ)  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
HAVVA MERVE AKDAŞ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DR.ÖĞR.ÜYESİ FÜSUN ÜÇER ÇİFTÇİ  
BALIKESİR, EYLÜL – 2025**

Kentleşme ve nüfus artışının etkisiyle ulaşım sistemlerinde karşılaşılan sorunlar giderek karmaşıklaşmakta güzergah seçimi ise yol kullanıcılarının seyahat deneyimini doğrudan etkileyen önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Güzergah tercihleri mesafe, zaman maliyeti, trafik durumu, güvenlik, çevresel faktörler ve yol kalitesi gibi çok sayıda değişkenin etkileşimi sonucunda şekillenmekte ancak bireysel tercihlerdeki belirsizlikler tercihlerin modellenmesini güçleştirmektedir. Bu durum trafik planlamasında etkin kararların alınmasını zorlaştırmaktadır.

Bu çalışma Balıkesir İlinin merkez ilçeleri Karesi ve Altıeylül İlçeleri sınırları içerisinde Sanayi 2. Kapı ile Yeni İzmir Caddesi arasında yer alan on alternatif güzergah için yol kullanıcılarının tercih davranışlarını anket yöntemiyle elde edilen veriler ışığında incelemeyi ve bu davranışları bulanık mantık yaklaşımıyla modellemeyi amaçlamaktadır. Anket verileri gerçek kullanıcı deneyimlerine dayandığı için modelin geçerliliği ve güvenilirliği artmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımı ve yapay sinir ağları, tercih davranışlarındaki belirsizlik, kesinsizlik ve hassasiyetsizliği etkili bir biçimde yansıtarak esnek ve gerçekçi modelleme olanakları sağlamaktadır.

Geliştirilen model geleneksel deterministik yöntemlere kıyasla kullanıcı tercihlerini daha başarılı biçimde tahmin etmekte trafik planlama ve yönetimi süreçlerinde uygulanabilirliği yüksek sonuçlar sunmaktadır. Çalışma ulaşım politikalarının geliştirilmesi, trafik yönetiminin iyileştirilmesi ve sürdürülebilir ulaşım stratejilerinin oluşturulmasına katkı sağlamakta ayrıca özel araç kullanıcıları ile toplu taşıma tercihlerini anlamaya yönelik stratejik planlamalara temel oluşturmaktadır.

Bu çalışma, karmaşık, çok değişkenli ve belirsiz yapıya sahip ulaşım problemlerinin çözümünde yapay zeka yöntemlerinin potansiyelini ortaya koymaktadır. Çalışma sonucunda, Balıkesir İli özelinde mesafe, zaman ve trafik yoğunluğunun güzergah tercihlerinde en belirleyici faktörler olduğu ortaya konulmuştur. Bulgular, geleneksel deterministik modellere kıyasla bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının küçük örneklem büyüklükleriyle dahi güvenilir ve uygulanabilir modeller geliştirebildiğini göstermektedir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Optimizasyon ve teknikleri, ulaşım planlaması, ulaşım ve trafik

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF ROUTE SELECTION PREFERENCES IN URBAN TRANSPORTATION WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS (BALIKESİR CASE)

MSC THESIS

HAVVA MERVE AKDAŞ

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST.PROF.DR. FÜSUN ÜÇER ÇİFTÇİ)

BALIKESİR, SEPTEMBER - 2025

With the impact of urbanization and population growth, the problems encountered in transportation systems are becoming increasingly complex, and route choice stands out as a significant factor directly affecting road users' travel experience. Route preferences are shaped by the interaction of numerous variables such as distance, time cost, traffic conditions, safety, environmental factors, and road quality. However, the uncertainty in individual preferences complicates modeling these preferences. This complicates effective traffic planning decisions.

This study aims to examine the preference behaviors of road users for ten alternative routes located between Sanayi 2. Kapısı and Yeni İzmir Caddesi within the borders of Karesi and Altieylül, the central districts of Balıkesir Province, using survey data and to model these behaviors using a fuzzy logic approach. Because the survey data is based on real user experiences, the validity and reliability of the model are enhanced. The fuzzy logic approach and artificial neural networks effectively reflect the uncertainty, imprecision, and insensitivity in preference behaviors, providing flexible and realistic modeling opportunities.

The developed model predicts user preferences more successfully than traditional deterministic methods and offers highly applicable results in traffic planning and management processes. The study contributes to the development of transportation policies, improved traffic management, and the creation of sustainable transportation strategies. It also forms the basis for strategic planning aimed at understanding private vehicle users and public transportation preferences.

This study demonstrates the potential of artificial intelligence methods in solving complex, multivariate, and uncertain transportation problems. The study reveals that, specifically in Balıkesir Province, distance, time, and traffic density are the most important determinants of route choices. The findings demonstrate that, compared to traditional deterministic models, fuzzy logic and artificial neural networks can develop reliable and applicable models even with small sample sizes.

**KEYWORDS:** Optimization and its techniques, transportation planning, transportation and traffic

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>KISALTMA VE SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemin Tanımı .....	1
1.2 Amaç .....	2
1.3 Yöntem.....	3
1.4 Kapsam.....	4
<b>2. LİTERATÜR TARAMASI</b> .....	<b>7</b>
<b>3. BULANIK MANTIK YÖNTEMİ</b> .....	<b>14</b>
3.1 Genel Bakış .....	14
3.2 Bulanık Mantığın Tarihsel Gelişimi .....	15
3.3 Klasik Küme Kavramı .....	16
3.4 Bulanık Küme Kavramı .....	17
3.4.1 Bulanık küme işlemleri .....	17
3.4.2 Bulanık küme ilişkileri.....	18
3.4.3 Üyelik fonksiyonları .....	19
3.4.3.1 Üyelik fonksiyonunun bileşenleri .....	20
3.4.4 Bulanıklaştırma .....	24
3.4.5 Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi.....	25
3.4.6 Bulanık kural tabanı .....	26
3.4.7 Durulaştırma yöntemleri .....	28
3.4.7.1 En yüksek üyelik ilkesi (yükseklik ilkesi) .....	28
3.4.7.2 Ağırlık merkezi (sentroid) yöntemi.....	29
3.4.7.3 Ağırlıklı ortalama yöntemi .....	29
3.4.7.4 Ortalama en yüksek üyelik (en yükseklerin ortası) yöntemi .....	30
3.4.7.5 Toplamların merkezi yöntemi.....	31
3.4.7.6 En büyük alanın merkezi yöntemi.....	32
3.4.7.7 İlk veya son en yüksek üyelik derecesi .....	33
<b>4. YAPAY SİNİR AĞLARI</b> .....	<b>35</b>
4.1 Yapay Sinir Ağlarının Tarihsel Gelişimi .....	37
4.2 Yapay Sinir Hücresinin Yapısı.....	38
<b>5. ROTA SEÇİMİ</b> .....	<b>40</b>
5.1 Rota Belirleme Modelleri.....	41
5.1.1 Bulanık mantık (BM) tabanlı modeller .....	41
5.1.2 Yapay sinir ağları (YSA) tabanlı modeller.....	41

<b>6. BULANIK MANTIK TABANLI ROTA SEÇİM MODELİ.....</b>	<b>43</b>
6.1 Verilerin Anket Yöntemiyle Elde Edilmesi .....	43
6.1.1 Anket formunun tasarımı.....	43
6.1.2 Anket verilerinin analizi ve değerlendirilmesi .....	45
6.2 Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Veri Modellemesi.....	61
6.2.1 Bulanık model parametrelerinin tanımlanması.....	61
6.2.2 Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi ve tanımlanması .....	64
6.2.3 Bulanık kural tabanının oluşturulması .....	66
<b>7. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ROTA SEÇİMİNİN MODELLENMESİ .....</b>	<b>70</b>
7.1 Yapay Sinir Ağı Modelinin Yapısı ve Veri Hazırlama Süreci.....	70
7.1.1 Veri setinin oluşturulması .....	70
7.1.2 Ağ yapısı ve eğitim süreci.....	72
7.2 Model Görselleştirmeleri .....	73
7.3 Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Sonuçlarının Karşılaştırmalı Analizi .....	80
<b>8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>85</b>
8.1 Sonuçlar .....	85
8.2 Öneriler .....	87
<b>9. KAYNAKLAR (APA) .....</b>	<b>89</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>93</b>
<b>EK A: Güzergah Seçim Davranışı Modelleme Anketi.....</b>	<b>94</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>128</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1: Keskin A kümesinin gösterimi. ....	16
Şekil 3.2: Bulanık küme işlemleri. ....	18
Şekil 3.3: Bulanık küme.....	20
Şekil 3.4: Yamuk ve çan üyelik fonksiyon grafikleri. ....	21
Şekil 3.5: Bulanık kümeler (a normal, b normal olmayan).....	22
Şekil 3.6: Bulanık kümeler (a dış bükey, b dış bükey olmayan).....	23
Şekil 3.7: Dış bükey bulanık kümelerin kesişimi.....	24
Şekil 3.8: Duyarlılık . ....	25
Şekil 3.9: Tipik bulanık küme çıktısı, (a) bulanık girdi ilk kısım, (b) bulanık girdi ikinci kısım, (c) ikisinin birleşimi. ....	28
Şekil 3.10: En büyük üyelik derecesi durulaştırması. ....	29
Şekil 3.11: Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma. ....	29
Şekil 3.12: Ağırlıklı ortalama yöntemi durulaştırması. ....	30
Şekil 3.13: Ortalama en büyük üyelik durulaştırması. ....	31
Şekil 3.14: Toplamların merkezi yöntemi ile durulaştırma ....	32
Şekil 3.15: En büyük alan merkezi ile durulaştırma.....	33
Şekil 3.16: En büyük ilk veya son üyelik derecesi durulaştırması.....	34
Şekil 4.1: Yapay sinir ağlarının yapısı.....	38
Şekil 6.1: Ankete katılanların cinsiyet dağılımı .....	46
Şekil 6.2: Ankete katılanların eğitim durumu dağılımı .....	47
Şekil 6.3: Ankete katılanların ikamet ettiği ilçe dağılımı .....	48
Şekil 6.4: Ankete katılanların ailesinin aylık toplam geliri .....	49
Şekil 6.5: Ankete katılanların hane halkında toplam yaşayan kişi sayısı .....	50
Şekil 6.6: Ankete katılan hanelerin ulaşımaya ayırdığı bütçe .....	51
Şekil 6.7: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 1'in tercih dağılımı .....	52
Şekil 6.8: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 2'nin tercih dağılımı .....	53
Şekil 6.9: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 3'ün tercih dağılımı .....	53
Şekil 6.10: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 4'ün tercih dağılımı .....	54
Şekil 6.11: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 5'in tercih dağılımı .....	54
Şekil 6.12: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 6'nın tercih dağılımı .....	55
Şekil 6.13: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 7'nin tercih dağılımı .....	55
Şekil 6.14: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 8'in tercih dağılımı .....	56
Şekil 6.15: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 9'un tercih dağılımı .....	56
Şekil 6.16: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 10'nun tercih dağılımı.....	57
Şekil 6.17: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah arasında 1. tercihe ilişkin dağılım .....	58
Şekil 6.18: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah arasında 2. tercihe ilişkin dağılım .....	58
Şekil 6.19: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah arasında 3. tercihe ilişkin dağılım .....	59
Şekil 6.20: Bulanık mantık tasarım ekranı.....	64
Şekil 6.21: Giriş parametreleri üyelik fonksiyonları oluşturma (editleme) ekranı .....	65
Şekil 6.22: Çıkış parametreleri üyelik fonksiyonları oluşturma (editleme) ekranı .....	66
Şekil 6.23: Her bir rotaya ait bulanık kural tabanının oluşturma ekranı .....	67
Şekil 6.24: Bulanık kuralların grafiksel (analiz) gösterimi.....	68
Şekil 7.1: Yapay sinir ağının model yapısı .....	70

Şekil 7.2: Başarı analiz ekranı.....	75
Şekil 7.3: Başarı analiz ekranının MATLAB özel ekranı.....	76
Şekil 7.4: Eğitim durumu grafiği ve model özeti .....	78
Şekil 7.5: Regresyon analizi grafiği .....	79
Şekil 7.6: YSA modelinin rota tercih çıktı değerleri.....	80
Şekil 7.7: MATLAB ortamında “kar” değişkeninin oluşturulma ekranı.....	81
Şekil 7.8: Bulanık mantık yöntemi ile güzergah 4’e ait örnek davranış analizi ekranı.....	82
Şekil A.1: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:1 .....	95
Şekil A.2: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:2.....	96
Şekil A.3: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:3.....	97
Şekil A.4: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:4.....	98
Şekil A.5: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:5.....	99
Şekil A.6: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:6.....	100
Şekil A.7: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:7.....	101
Şekil A.8: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:8.....	102
Şekil A.9: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:9.....	103
Şekil A.10: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:10.....	104
Şekil A.11: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:11.....	105
Şekil A.12: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:12.....	106
Şekil A.13: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:13.....	107
Şekil A.14: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:14.....	108
Şekil A.15: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:15.....	109
Şekil A.16: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:16.....	110
Şekil A.17: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:17.....	111
Şekil A.18: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:18.....	112
Şekil A.19: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:19.....	113
Şekil A.20: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:20.....	114
Şekil A.21: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:21.....	115
Şekil A.22: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:22.....	116
Şekil A.23: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:23.....	117
Şekil A.24: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:24.....	118
Şekil A.25: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:25.....	119
Şekil A.26: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:26.....	120
Şekil A.27: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:27.....	121
Şekil A.28: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:28.....	122
Şekil A.29: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:29.....	123
Şekil A.30: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:30.....	124
Şekil A.31: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:31.....	125
Şekil A.32: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:32.....	126
Şekil A.33: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:33.....	127

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 6.1:</b> Ankete katılanların cinsiyete göre dağılımı .....	46
<b>Tablo 6.2:</b> Ankete katılanların eğitim durum dağılımı.....	47
<b>Tablo 6.3:</b> Ankete katılanların ikamet ettiği ilçe .....	48
<b>Tablo 6.4:</b> Ankete katılanların ailesinin aylık toplam geliri .....	49
<b>Tablo 6.5:</b> Ankete katılanların hane halkında toplam yaşayan kişi sayısı .....	50
<b>Tablo 6.6:</b> Ankete katılan hanelerin ulaşımaya ayırdığı bütçe .....	51
<b>Tablo 6.7:</b> Balıkesir İli merkezi Karesi ve Altıeylül İlçelerinin nüfus bilgileri .....	59
<b>Tablo 6.8:</b> Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine güzergah tercih puanları .....	63
<b>Tablo 6.9:</b> Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine üyelik fonksiyonuna göre sınıflandırma aralıkları .....	63
<b>Tablo 6.10:</b> Bulanık kural tabanında input (giriş) değerleri .....	69
<b>Tablo 7.1:</b> Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine yönelik kriter ve rota matrisi .....	71
<b>Tablo 7.2:</b> Bozunum matrisi .....	72
<b>Tablo 7.3:</b> Yapay Sinir Ağı Eğitiminde Kullanılan MATLAB Kodları .....	72
<b>Tablo 7.4:</b> Eğitim süreci bilgileri .....	75
<b>Tablo 7.5:</b> Performans göstergeleri .....	76
<b>Tablo 7.6:</b> Eğitim süreci göstergeleri .....	77
<b>Tablo 7.7:</b> Rotaların tercih puanlarına göre değer aralığı sınıflandırma tablosu .....	81

## KISALTMA VE SEMBOL LİSTESİ

<b>AHS</b>	: Analitik hiyerarşi süreci
<b>AUS</b>	: Akıllı ulaşım sistemleri
<b>ANFIS</b>	: Uyarlamalı nöro-bulanık çıkarım sistemi
<b>BM</b>	: Bulanık mantık
<b>BMS</b>	: Bulanık mantık sistemleri
<b>BDP</b>	: Bulanık doğrusal programlama
<b>dAK</b>	: Bozunum matrisi
<b>FIS</b>	: Bulanık kural tabanlı çıkarım sistemi
<b>IBM</b>	: Uluslararası iş makineleri
<b>LCML</b>	: Latent class multinominal logit modeli
<b>MATLAB</b>	: Matriks laboratuvarı
<b>ML</b>	: Çok terimli logit modeli
<b>MNL</b>	: Multinominal logit modeli
<b>MSE</b>	: Ortalama kare hata
<b>Mu</b>	: Damping faktörü
<b>nftool</b>	: MATLAB sinir ağı uyum aracı
<b>R</b>	: Regresyon katsayısı
<b>rAK</b>	: Hedef veri vektörü
<b>trainlm</b>	: Levenberg-Marquardt algoritması
<b>trimf</b>	: Üçgen üyelik fonksiyonları
<b>UBİS</b>	: Ulaşım bilgi sistemleri
<b>Ü<sub>eb</sub>(Z)</b>	: En büyük alana sahip dış bükey bulanık kümenin baskın olduğu alt küme
<b>Y<sub>eb</sub></b>	: En büyük yükseklik değeri
<b>YSA</b>	: Yapay sinir ağları
<b>XAI</b>	: Açıklanabilir yapay zeka

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Tez çalışmam süresince beni destekleyen ve yönlendiren tez danışmanım değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Füsun ÜÇER ÇİFTÇİ'ye;

Yüksek lisans tezime sağladığı katkılar için değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Davut AKDAŞ'a teşekkürlerimi sunuyorum.

**Balıkesir, 2025**

**Havva Merve AKDAŞ**

# 1. GİRİŞ

Ulaşım sistemleri, içsel ve dışsal maliyetleriyle birlikte özellikle gelişmekte olan ülkelerde kentsel yaşamın temel sorunları arasında yer almaktadır. Etkin bir ulaşım sistemi, sosyoekonomik faaliyetleri destekleyen, alt sistemleri verimli şekilde entegre eden, erişilebilirliği yüksek, kaliteli hizmet sunan, güvenli ve çevre dostu bir yapıda tasarlanmalıdır. Bu doğrultuda, ulaşım altyapısının doğru planlanması ve etkin yönetilmesi, şehirlerde yaşam kalitesinin artırılmasında önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kent içi ulaşım ağlarında güzergah belirleme süreci, çok boyutlu faktörlerin ve belirsizliklerin etkili olduğu karmaşık bir yapı sergilemektedir. Sürücüler genellikle en kısa sürede, en güvenli ve en az maliyetle seyahat etmeyi hedeflemektedir (Murat vd., 2005). Ancak, bu farklı kriterlerin aynı anda sağlanması, karar alma sürecini zorlaştıran bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, alternatif rotaların belirlenmesi sürecinde esnek ve kapsamlı analizler gerekmektedir. Bulanık mantık gibi modern karar destek yöntemleri, güzergah seçimi gibi karmaşık süreçlerde önemli bir araç olarak değerlendirilmekte ve ulaşım planlamasının daha esnek ve verimli bir yapıya kavuşmasına katkı sağlamaktadır.

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) kapsamında geliştirilen modeller, ulaşım planlamasında bilimsel bir temel oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu modellerin doğruluk ve güvenilirliği, özellikle büyük kentlerde trafik yoğunluğunun azaltılmasına ve ulaşım sistemlerinin daha verimli hale getirilmesine katkı sağlamaktadır. Sürücü davranışlarının sistematik olarak incelenmesi, trafik akışının düzenlenmesine ve alternatif güzergahların belirlenmesine olanak tanımaktadır (Dilek vd., 2023). Bu süreç, ulaşım ağlarının daha etkin kullanılmasını sağlayarak zaman ve kaynak tasarrufunu mümkün kılmaktadır. Ayrıca, söz konusu modeller trafik yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmakta ve gelecekte otonom araçların kent içi ulaşımına entegrasyonu sürecinde önemli bir rol oynamaktadır.

## 1.1 Problemin Tanımı

Kentleşme sürecinin hızlanması ve nüfus yoğunluğunun giderek artması, şehir içi ulaşım sistemlerinin mevcut kapasitelerini zorlamakta ve giderek daha karmaşık trafik sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Ulaşım talebindeki bu artış, altyapının yetersiz kalmasına, seyahat sürelerinin uzamasına, çevresel etkilerin ağırlaşmasına ve kullanıcı memnuniyetinin azalmasına yol açmaktadır. Bu bağlamda, güzergah seçimi, hem bireysel

yolculuk deneyimini hem de genel trafik akışının düzenlenmesini doğrudan etkileyen stratejik bir karar süreci olarak öne çıkmaktadır.

Güzergah tercihleri yalnızca mesafe veya zaman gibi ölçülebilir parametrelerle belirlenmemekte, kullanıcı algısı, risk değerlendirmesi ve çevresel koşullar gibi öznel faktörlerin etkileşimiyle şekillenmektedir. Bazı kullanıcılar en kısa mesafeyi tercih ederken bazıları daha düşük trafik yoğunluğuna sahip fakat daha uzun bir güzergahı seçebilmektedir. Bu çeşitlilik, güzergah tercihlerini öngörmeyi zorlaştırmakta ve bireysel davranışlardaki belirsizlik, trafik yönetimi ile ulaşım planlamasında bütüncül ve etkin stratejiler geliştirilmesini güçleştirmektedir.

Balıkesir’de Karesi ve Altıeylül İlçeleri arasındaki ana bağlantı güzergahlarında artan trafik yoğunluğu, hem şehir içi lojistik akış hem de günlük ulaşım süreçleri açısından kritik bir sorun teşkil etmektedir. Bu bölgedeki güzergah tercihlerinin hangi faktörlere bağlı olarak şekillendiğinin ortaya konulması, karar vericilerin daha dengeli, verimli ve kullanıcı odaklı çözümler geliştirmesine imkan tanıyacaktır. Bu nedenle bireysel tercihlerdeki çok boyutlu yapının modellenmesi yalnızca teorik bir gereklilik olmayıp aynı zamanda trafik yönetim politikalarının sürdürülebilirlik, etkinlik ve kullanıcı memnuniyeti hedefleriyle uyumlu biçimde kurgulanması açısından büyük önem taşımaktadır.

## **1.2 Amaç**

Bu çalışmanın temel amacı, şehir içi ulaşımında rota seçim probleminin çok boyutlu ve belirsizlik içeren yapısını çözümlenerek, kullanıcı davranışlarını gerçekçi biçimde yansıtabilecek bir rota seçim modeli geliştirmektir. Bu kapsamda yol kullanıcılarının güzergah tercihlerinde etkili olan ölçülebilir parametreler (mesafe, zaman, maliyet) ile yol kalitesi, konfor, güvenlik, çevresel etkiler, kavşak ve trafik ışığı düzenlemeleri, ulaşım modu ve erişilebilirlik gibi fiziksel ve algısal unsurlar bir arada değerlendirilmiş, her bir unsurun karar sürecindeki ağırlığı dikkate alınmıştır.

Klasik matematiksel modellerin deterministik yapısının belirsizlikleri yeterince temsil edememesi nedeniyle, çalışma bulanık mantık yaklaşımını esas alarak hem nicel hem de nitel değişkenleri kapsayan, esnek ve yorumlanabilir bir model tasarlamayı amaçlamaktadır. Modelin özgün katkısı, Balıkesir İli örneğinde belirlenen güzergahlar özelinde kullanıcı tercihlerini sistematik biçimde değerlendirmek ve bu değerlendirmeleri bulanık mantık

tabanlı bir karar destek sistemine dönüştürmektir. Ayrıca, geliştirilen modelin performansı yapay sinir ağları gibi alternatif yöntemlerle karşılaştırılarak bulanık mantığın uygulama potansiyeli ve pratikteki avantajları ortaya konmaktadır. Ayrıca, geliştirilen modelin performansı yapay sinir ağları yaklaşımıyla karşılaştırılarak bulanık mantığın tutarlılığı detaylı biçimde incelenmektedir.

### **1.3 Yöntem**

Çalışmada, kentsel ulaşım sistemlerinde güzergah tercihlerini modellemek amacıyla bulanık mantık yaklaşımı temel alınarak bir rota seçim modeli geliştirilmiştir. Modelleme sürecinde, farklı kullanıcı gruplarının karar verme eğilimlerini temsil etmek için hem nicel hem de nitel parametreler dikkate alınmıştır. Mesafe, seyahat süresi, maliyet, trafik yoğunluğu, yol kalitesi ve konfor, kavşaklar ve trafik ışıkları, güvenlik, erişilebilirlik ve bağlantılar, çevresel faktörler, bireysel tercihler ve ulaşım modu gibi çok boyutlu kriterler değerlendirme sürecine dahil edilmiştir.

Belirlenen on adet kriter, ulaşım sistemlerinin analitik olarak modellenmesinde hem mühendislik temelli (yol ve mekanik özellikler) hem de insan temelli (tercih ve sosyolojik eğilimler) boyutları kapsamaktadır. Bu kriterler, güzergah seçim kararını etkileyen zaman, maliyet, konfor, güvenlik, erişilebilirlik, çevresel faktörler ve kişisel tercih gibi çok boyutlu yapıları içermektedir. Ayrıca, söz konusu değişkenler hem rasyonel karar verme teorilerine hem de bireysel davranış modellerine uyum göstermektedir. Böylelikle, kriterler teorik açıdan davranışsal karar süreçlerini temsil edebilecek niteliktedir. Bunun yanı sıra, bu giriş değişkenleri hem sürekli verilerle çalışan yapay sinir ağı (YSA) algoritmalarına hem de belirsizliği modelleme kapasitesi bulunan bulanık mantık sistemlerine doğrudan entegre edilebilecek bir formata sahiptir. Dolayısıyla, kriterlerin seçimi hem mühendislik uygulamaları hem de davranış bilimleri açısından geçerli, uygulanabilir ve Balıkesir saha verileriyle ilişkilendirilebilir bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır.

Veri toplama aşamasında, kullanıcıların güzergah tercihlerini belirlemeye yönelik bir anket uygulanmış ve katılımcıların farklı senaryoları puanlamasına imkan tanıyacak şekilde tasarlanmıştır. Elde edilen veriler, her parametreye ilişkin kullanıcı algısını sayısal değerlere dönüştürmek amacıyla ön işleme tabi tutulmuştur.

Bulanık mantık modelinin geliştirilmesinde, her parametre için üçgen üyelik fonksiyonları tanımlanmış ve düşük, orta ve yüksek düzeyleri temsil edecek şekilde yapılandırılmıştır. Parametreler arasındaki ilişkileri tanımlamak ve kullanıcı karar eğilimlerini temsil etmek amacıyla “Eğer–O halde” formatında bir bulanık kural tabanı oluşturulmuş; bu taban, uzman görüşleri ve anket analizlerinden elde edilen eğilimler doğrultusunda yapılandırılmıştır. Model çıktısı olan güzergah tercih puanlarının elde edilmesi için durulaştırma işlemi uygulanmış ve parametrelerin çoklu etkilerini dengeli biçimde yansıtması ile hesaplama kolaylığı sağlaması nedeniyle ağırlık merkezi yöntemi tercih edilmiştir. Böylece her alternatif güzergah için tekil bir tercih skoru hesaplanmış ve sıralama yapılmıştır.

Bulanık mantık tabanlı modelin sonuçları, aynı veri seti kullanılarak oluşturulan yapay sinir ağı tabanlı model çıktılarıyla karşılaştırılmıştır. İki yöntem arasındaki benzerlik ve performans ölçütleri analiz edilerek modelin güvenilirliği, uygulanabilirliği ve farklı trafik koşullarına uyarlanabilirliği değerlendirilmiştir.

#### **1.4 Kapsam**

Bu çalışma sekiz bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, problemin tanımı yapılmış, çalışmanın amacı ve yöntem verilmiştir. Bölümleri açıklayan kapsam belirtilmiştir.

İkinci bölüm literatür araştırmasını içermektedir. Bu bölümde, bulanık mantık tabanlı rota seçimi çalışmaları kronolojik sırayla ele alınmış, farklı modellerin geliştirilme süreçleri, kullanılan yöntemler ve sağladıkları avantajlar incelenmiş, literatürdeki çalışmaların kullanıcı tercihlerini daha gerçekçi şekilde modellemeye katkıları ile ulaşım planlaması ve trafik yönetimi alanlarına sağladığı etkiler değerlendirilmiştir.

Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılan yöntemlerden biri olan bulanık mantık kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Bölümde yöntemin tarihsel gelişimi, klasik ve bulanık küme kavramları ile temel ilkeleri açıklanmış, bulanık küme işlemleri ve ilişkileri, üyelik fonksiyonları, bulanıklaştırma süreci ve üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi detaylandırılmıştır. Ayrıca bulanık kural tabanı ve durulaştırma yöntemleri, en yüksek üyelik ilkesi, ağırlık merkezi ve ağırlıklı ortalama gibi teknikler çerçevesinde incelenmiş, teorik temel ile modelleme sürecindeki uygulama adımları bütüncül biçimde sunulmuştur.

Dördüncü bölümde, yapay öğrenme yöntemlerinden biri olan yapay sinir ağları (YSA) ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Bölümde YSA'ların biyolojik sinir hücrelerinden esinlenen temel yapısı, giriş, ağırlık, toplama, aktivasyon ve çıktı bileşenleri ile matematiksel işleyişi açıklanmış, çok katmanlı yapılar, doğrusal olmayan problemlerdeki uygulama potansiyeli, eğitim ve öğrenme süreçleri ile genelleme yetenekleri detaylandırılmıştır. Ayrıca YSA'ların sınıflandırma, örüntü tanıma, öngörü ve optimizasyon işlevleri ile durağan, dinamik ve istatistiksel yapıları kapsamlı biçimde ele alınmıştır.

Beşinci bölümde, şehir içi ulaşımında güzergah tercihlerini etkileyen faktörler ve rota seçim problemleri incelenmiştir. Kullanıcıların seyahat süresi, mesafe, maliyet, trafik yoğunluğu, güvenlik ve çevresel unsurlar doğrultusunda yaptığı tercihler değerlendirilmiş, klasik trafik ataması ile ilişkilendirilmiş ve rota belirleme modelleri analiz edilmiştir. Ayrıca bulanık mantık yaklaşımıyla sürücü davranışlarının belirsizlikler göz önünde bulundurularak modellenmesi ve yapay sinir ağları ile çok kriterli veri işleme süreçleri açıklanmış, rota seçim probleminin çok boyutlu yapısı ile yöntemlerin uygulama biçimleri ortaya konmuştur.

Altıncı bölüm, Balıkesir merkez ilçeleri Karesi ve Altıeylül İlçeleri sınırları içindeki güzergah seçim davranışlarının modellenmesine odaklanmıştır. Anket yöntemiyle veri toplanmış, güzergah alternatifleri belirlenmiş ve katılımcıların demografik profilleri analiz edilmiştir. Kullanıcıların mesafe, zaman, maliyet, trafik durumu, yol kalitesi, güvenlik, erişilebilirlik ve çevresel faktörler doğrultusunda tercihleri değerlendirilmiş, veriler bulanık mantık yaklaşımıyla modellenmiş, giriş kriterleri için üyelik fonksiyonları tanımlanmış ve kural tabanı oluşturulmuştur. Mamdani tipi çıkarım mekanizması ve sentroid yöntemi ile durulaştırma uygulanarak her güzergahın tercih edilebilirlik olasılıkları sayısal olarak belirlenmiş ve çok kriterli, belirsizlik içeren rota seçim problemleri sistematik biçimde analiz edilmiştir.

Yedinci bölümde, Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine yapılan güzergah tercihleri yapay sinir ağları ve bulanık mantık yaklaşımlarıyla modellenmiş ve her iki yöntemin performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapay sinir ağı modeli, tek gizli katmanda 10 nöron kullanılarak Levenberg-Marquardt algoritmasıyla eğitilmiş, veri seti eğitim, doğrulama ve test olarak üçe ayrılmış ve modelin genelleme yeteneği ile doğruluğu performans ölçütleri üzerinden değerlendirilmiştir. Eğitim sürecinde veri çeşitlendirme ve erken durdurma mekanizmaları kullanılarak aşırı öğrenme engellenmiş, elde edilen düşük MSE ve yüksek

regresyon katsayıları modelin hedef değerleri doğru biçimde tahmin ettiğini göstermiştir. Bulanık mantık modeli ise uzman bilgisi ve üyelik fonksiyonları aracılığıyla kriterlerin düşük, orta ve yüksek kategorilere ayrılmasıyla sürücü tercihlerini yorumlamış ve esnek bir yapı sunmuştur. Her iki yöntem farklı kriter setleri altında tutarlı sonuçlar üretmiş, YSA'nın güçlü öngörü yeteneği ile BM'nin esnek ve yorumlayıcı yapısı ulaşım planlamasında bütünleşik bir yaklaşım sağlayarak rota seçim kararlarını güvenilir biçimde modellemiştir.

Sekizinci bölüm ise sonuç kısmını oluşturmaktadır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bulanık rota seçimi üzerine yapılan araştırmalarda, belirsizlik ve hassasiyet eksikliklerini gidermek amacıyla çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu bölümde, alanında öne çıkan çalışmalar kronolojik sırayla incelenmekte ve bulanık mantığın rota seçimi problemine nasıl uygulandığı ele alınmaktadır. Kullanılan yenilikçi yöntemler ve geleneksel modellere kıyasla sağlanan avantajlar detaylandırılmaktadır (Sarı vd., 2005). Ayrıca, bu çalışmaların kullanıcı tercihlerini daha gerçekçi bir şekilde modelleyerek ulaşım planlaması ve trafik yönetimi gibi alanlara sağladığı katkılar değerlendirilmektedir. Son olarak, bulanık mantık yaklaşımının zaman içindeki gelişimi ve alana kazandırdığı yeni bakış açıları tartışılmaktadır.

Teodorovic ve Kikuchi (1990), rota seçimi probleminin çözümüne yönelik olarak bulanık mantık modelini kullanan öncü bir çalışmaya imza atmıştır. Bu çalışmada, iki rota arasındaki seyahat süresi farkı temel alınarak bir kural seti geliştirilmiştir. Seyahat süresi farkı, dört farklı kategoriye bulanık olarak ifade edilmiş ve bu farka bağlı olarak 0 ile 1 arasında bir değer üreten bir bulanık mantık olasılık kural seti oluşturulmuştur. Geliştirilen kural setlerinin bulanıklığının giderilmesi işlemi sonucunda, analiz edilen iki rotanın seçim olasılıkları hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, rota seçimi problemine bulanık mantık perspektifinden yaklaşan ilk örneklerden biri olarak literatürdeki yerini almıştır (Uludağ N., 2005).

Teodorovic ve Kikuchi'nin modeli, yalnızca ikili seçimlerle sınırlı olması ve çoklu seçim durumlarına kolayca genellenememesi nedeniyle eleştirilmiştir. Bu sınırlılığını aşmak amacıyla (Lotan ve Koutsopolous, 1993), yeni bir yöntem önermiştir. Geliştirdikleri modelde, rota seçimini etkileyen en önemli faktörün seyahat süresi olduğu varsayılmış ve seyahat süresi temelli bir bulanık mantık modeli inşa edilmiştir. Bu modelde, belirli bir rotanın diğer rotalara kıyasla seyahat süresi açısından avantaj veya dezavantajı, tanımlanan bulanık mantık kural seti aracılığıyla nicelendirilmiştir. Elde edilen nicel değerler toplanarak bulanıklığı giderilmiş ve her bir rotanın seyahat süresine göre çekiciliği sayısal olarak ortaya konulmuştur. Bu yaklaşım, çoklu rota seçim problemlerine daha geniş bir perspektiften çözüm sunması açısından önemli bir adım olarak değerlendirilmiştir (Lotan vd., 1993).

(Lo ve Lam, 1997), Ulaşım Bilgi Sistemleri'nin (UBİS) rota seçim süreçlerine entegrasyonunu inceleyen bir çalışma yapmıştır. Multinomial logit modeli (MNL), sürücülerin trafik koşulları hakkında eşit bilgiye sahip olduğunu varsayar; ancak UBİS'in kullanımıyla bu varsayım geçerliliğini yitirmektedir, çünkü bilgiye erişim imkanı her sürücü için farklıdır. Bu eksikliği gidermek amacıyla çalışma, rastgele fayda fonksiyonu ve Gumbel dağılımını temel alan yeni bir model önermektedir. Bu modelde, multinomial logit modeline Gumbel dağılımının bir parametresi olan  $\mu$  eklenmiş ve homojenlik durumunda 1 olarak kabul edilen bu parametre, sürücülerin farklı bilgi seviyelerini yansıtacak şekilde rastgele değişken haline getirilmiştir. Böylece model, sürücülerin bilgi asimetrisini dikkate alarak daha gerçekçi ve güvenilir tahminler sunmuştur. Analizler, revize edilmiş modelin geleneksel multinomial logit modeline kıyasla daha uygun sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur (Lo vd., 1997).

(Binetti ve De Mitri, 2000), yol kullanıcılarının yol ağındaki maliyetlerle ilgili olarak deterministik modellere kıyasla kesin bilgiye sahip olmadıklarını öne sürerek, sürücülerin algıladıkları maliyetlerin ortalama değerden farklılık gösterebileceğini ifade etmişlerdir. Bu farklılık, bazı sürücülerin en düşük maliyetli güzergahın dışında kalan alternatif rotaları tercih etmelerine ve böylece alternatiflerin seçilme olasılığının ortaya çıkmasına yol açabilir. Bu durum, rastgele fayda modelleriyle açıklanabilir. Söz konusu çalışmada, rotaların maliyetlerinin bulanık sayılarla temsil edildiği bir rota seçim modeli geliştirilmiştir. Bu modelde, sürücülerin seçimleri, tahmin edilen rotalar arası maliyetlerin karşılaştırılması yoluyla belirlenirken, maliyet değerlerinin belirsizlikten etkilenmesi dikkate alınmıştır. Bulanık mantık kullanımı, bu belirsizliği doğru bir şekilde modelleyebilmek adına tercih edilmiştir. Modelde, rotaların maliyetleri üçgen bulanık sayılarla ifade edilmiş ve yapılan analizlerde gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, kullanıcıların seyahat sürelerini algılama doğruluğunu temsil eden bir parametre ( $\alpha$ ) kullanılarak, maliyetlerin belirsizliğine dair bir gösterge sağlanmıştır. Basit bir yol ağında, kullanıcı denge akımlarının belirlenmesi için ardışık ortalamalar yöntemi uygulanmış, mesafe, kapasite ve kullanıcı sayısında yapılan değişikliklerle farklı  $\alpha$  değerleri test edilmiştir. Sonuçlar, modelin ortalama kullanıcı maliyetini temsil etme açısından tutarlı ve gerçekçi çıktılar verdiğini ortaya koymuştur (Binetti vd., 2000).

(Lee vd., 2001), ulaştırma seçim davranışlarıyla ilgili olarak karşılaşılan belirsizlik durumlarını rastgelelik ve kesinsizlik olarak ikiye ayırmışlardır. Rastgelelik, seçim davranışlarının deterministik olmayan yapısından kaynaklanırken, kesinsizlik ise yol ağları hakkında yetersiz bilgiye sahip olmanın veya yol ağlarının özellikleri konusunda belirsizliğin etkisiyle ortaya çıkmaktadır. alışmalarında, rastgelelik olasılık dağılımına dayalı rastgele fayda modelleriyle, kesinsizlik ise bulanık mantık modelleriyle ele alınmıştır. Bu bağlamda, hem rastgeleliğin hem de kesinsizliğin aynı anda etkili olabileceği ve bu iki belirsizliğin nasıl birleşeceğine dair bir basamaklı yöntem önerilmiştir. Araştırmada, Latent Class Multinomial Logit (LCML) modeli, sürücü davranışlarındaki farkları modellemek için kullanılmıştır. Yol ağları hakkında bilgi sahibi sürücüler, yol özelliklerindeki değişimlere daha duyarlı olmakta ve seçim davranışlarında rastgeleliğin etkisi daha belirgin olmaktadır. Yol ağlarına yabancı sürücüler ise daha fazla belirsizlik ve kesinsizlik sergilemektedir. Sürücülerin algıladığı seyahat süreleri ve bu sürelerle ilgili belirsizlikler, bulanık mantık temelli bir modelle ifade edilmiştir. LCML ve bulanık mantık modellerinin birleşimiyle yapılan analiz, sürücülerin algılama süreçlerinde ortaya çıkan belirsizliği ve rastgeleliği etkili bir şekilde ele alarak, ulaşım planlaması ve politika geliştirilmesinde daha gerçekçi ve açıklayıcı sonuçlar sunmaktadır (Uludağ N., 2005).

(Henn V., 2002) tarafından yapılan araştırmada, bulanık trafik atama modellerinde bulanık maliyet kullanımının gerekeeleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Çalışmada, bulanık maliyet yaklaşımı benzerlik, tercih ve belirsizlik kavramları çerçevesinde incelenmiştir. Benzerlik bağlamında, sürücülerin maliyet açısından birbirine çok yakın olan iki seçenek arasında karar verirken kesin bir tavır sergileyemeyeceği, bu nedenle bulanık maliyet kavramının daha uygun olduğu vurgulanmıştır. Tercih konusunda ise, geleneksel yöntemlerin sürücülerin rasyonel davrandığı ve seyahat süresini minimize etmeye odaklandığı varsayımına dayandığı, ancak gerçekte sürücülerin bu kadar katı bir rasyonellik göstermediği ve en uygun rotayı belirlemenin bulanık bir süreç olabileceği ifade edilmiştir (Henn V., 2002).

(Palma vd., 2003), yol kullanıcılarının seyahat süresinin belirsiz olduğu durumlarda nasıl rota tercihlerinde bulunduğunu incelemiştir. Bu bağlamda, yolcuların yalnızca beklenen seyahat süresini minimize etmeye odaklanmadığı, aynı zamanda seyahat sresindeki değişkenliği de dikkate aldığı belirtilmiştir. Araştırmanın temel hedefi, yol kullanıcılarının risk durumunda sergiledikleri davranışları etkileyen unsurları ortaya çıkarmaktır. Bu

doğrultuda, beklenen ve beklenmeyen fayda fonksiyonlarını birleştiren bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu hedefe, risk karşısında bireylerin tercihlerinin hem sıralı hem de sayısal bileşenlerinin analiz edilmesiyle ulaşılmaya çalışılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, modelin deterministik kısmında beklenen fayda teorisinin kullanımının uygun olduğu ve riskten kaçınma davranışının eğitim, seyahat amacı, cinsiyet gibi sosyoekonomik faktörlerle açıklanabileceği ifade edilmiştir. Ancak, çalışmada kullanılan veri setinin sınırlı olması nedeniyle istatistiksel olarak anlamlı sonuçlara ulaşılamamıştır. Bu nedenle, risk karşısındaki davranışların teorik ve ampirik olarak daha geniş veri setleriyle incelenmesi gerektiği vurgulanmıştır (Uludağ N., 2005).

(Mahmassani vd., 2003), geliştirdikleri algı temelli modelde iki temel hedef üzerinde durmuşlardır. İlk olarak, gerçek zamanlı bilgi akışı altında sürücülerin seyahat süresine ilişkin algılarının ve bu algılar doğrultusunda verdikleri kararların incelenmesi amaçlanmıştır. İkinci olarak ise, sürücülerin farklı bilgi stratejileri kapsamında gerçek zamanlı trafik bilgisinin kalitesini nasıl değerlendirdikleri analiz edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, sürücülerin seyahat süresi algısının; bilginin kapsamı, alternatif rotalara dair deneyimleri ve sahip oldukları bilgi düzeyi gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bilginin doğruluğu, erişilebilirliği ve türü, bu süreçte oldukça etkili olmuştur. Ayrıca, sürücülerin geçmiş trafik deneyimleri, öngörülen yoğunluk durumları ve hareket özellikleri gibi parametreler, algıların gün içinde ve günler arasında farklılık göstermesine neden olmaktadır. Bu sonuçlar, deterministik ve stokastik denge atama modellerine davranışsal unsurların entegre edilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bilgi kalitesinin değerlendirilmesine yönelik model sonuçları ise, sürücülerin kesin ve güvenilir bilgiyi olumlu karşılarken, belirsiz bilgiye karşı olumsuz bir tutum sergilediğini göstermiştir. Ayrıca, sürücülerin bilgiyi değerlendirme süreçlerinin büyük ölçüde kendi trafik deneyimlerine bağlı olduğu gözlemlenmiştir (Mahmassani vd., 2003).

(Vythoulkas vd., 2002), ayrık seçim modellerinde bulanık mantık yönteminin kullanımına odaklanarak, kural ağırlıklarının modele entegrasyonunu incelemişlerdir. Ayrık seçim modelleri, rastgele fayda teorisine dayanmakta olup, bireylerin tercihlerini faydayı maksimize etmek amacıyla yaptıkları varsayımına dayanmaktadır. Çalışmada, karar vericilerin alternatiflerin çeşitli özelliklerine ilişkin algılarını modellemek için bulanık küme teorisi ve sözel ifadeler kullanılmıştır. Temel varsayım, karar vericilerin bu özelliklere ilişkin birkaç anahtar kuralı kullanarak en uygun seçimi yaptıkları yönündedir. Bu yaklaşıma ek

olarak, karar sürecinde belirli kuralların önem derecelerini belirlemek amacıyla kural ağırlıkları modele dahil edilmiş ve bu ağırlıkların ayarlanması için yapay sinir ağırları kullanılmıştır. Araştırmacılar, sürücülerin karmaşık bir fayda fonksiyonunu maksimize etmek yerine, basit kurallar aracılığıyla karar verdikleri varsayımına dayanmaktadırlar. Modelin ayar aşamasında ise yapay sinir ağırları kullanılarak kural ağırlıkları optimize edilmiştir (Vythoukas vd., (2003). Kural ağırlıkları ve üyelik fonksiyonu parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenmesi amacıyla, yani gözlemler ile model çıktıları arasındaki sapmanın minimize edilmesi için (Lin vd. 1991) tarafından geliştirilen bulanık sinir ağı yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin potansiyelini incelemek ve alternatif formülasyonlarla karşılaştırmak amacıyla, ulaşım türü seçimlerini de içeren bir durum çalışması gerçekleştirilmiştir. Modelin çıktıları, logit modeli ile karşılaştırıldığında başarılı bir performans sergilemiş ve özellikle karar verme sürecinde esneklik sunduğu gözlemlenmiştir. Ancak, modelde çözülmesi gereken bazı zorluklar bulunmaktadır; parametre sayısının fazla olması ve alternatif sayısının artmasıyla birlikte bu zorlukların daha da büyüdüğü tespit edilmiştir. Bulanık operatörlerin davranışsal yorumları, üyelik fonksiyonları ve kural yapılarının uygun şekilde seçilmesi gerektiği vurgulanmış ve bu bağlamda modelin daha da iyileştirilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Modelin kalibrasyon aşamasında, sinir ağırları kullanılarak parametrelerin optimize edilmesi sağlanmıştır (Lin vd., 1991).

(Vythoukas vd., 2003), Lotan vd., 1993) tarafından geliştirilen bulanık mantık temelinin genişleterek, karar alma sürecinde kullanılan kuralların önem derecelerini içeren yeni bir metodoloji önermiştir. Çalışmada, karar vericilerin alternatiflerin çeşitli niteliklerini (zaman, maliyet ve aktarma sayısı gibi) nasıl değerlendirdiğini modellemek amacıyla bulanık kümeler ve sözel ifadeler kullanılmıştır. Modelin temel varsayımı, karar vericilerin karmaşık bir fayda fonksiyonunu oluşturarak optimal seçimi hedeflemek yerine, bu nitelikler üzerinden basit çıkarımlarla hareket etmesidir. Bu çıkarımlar, bulanık mantık kuralları ile ifade edilmiş ve her bir kuralın ağırlıklarının belirlenmesi ve ayarlanması için yapay sinir ağırlarından yararlanılmıştır. Modelin temel hipotezi, sürücülerin karar alma süreçlerinde basit kurallara dayanarak hareket ettiği yönündedir ve bu hipotez test edilmiştir. Bu kapsamda, bir logit modeli geliştirilmiş ve önerilen modelin performansı bu logit modeli ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen modelin logit modeline kıyasla daha tutarlı ve başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir (Vythoukas vd., 2003).

(Arslan vd., 2005), yaptıkları araştırmada ulaşım sistemlerinde yol tercihi davranışının anlaşılabilmesi için psikometrik bir yöntem geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Çalışmada, bulanık mantık ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) prensiplerini birleştiren hibrit bir model ortaya konulmuştur. Sürücülerin farklı seçenekler karşısındaki psikolojik durumlarını yansıtmak amacıyla, Weber'in 1834 yılında öne sürdüğü psiko-fiziksel yasaya dayalı "If-Then" bulanık kural seti oluşturulmuştur. Ardından, karar verme mekanizmasını temsil etmek ve sürücünün bu seçenekler arasındaki tercihini belirlemek için AHS modeline entegre edilmiştir. Elde edilen bulgular, bu yöntemin sürücülerin yol seçimlerini açıklamada geliştirilmeye açık sonuçlar sunduğunu göstermiştir. Yöntemin geçerliliği, gerçek hayattan alınan bir örnek üzerinde test edilerek kanıtlanmıştır. En küçük kareler hatası toplamı yöntemi kullanılarak, modelin tahmin performansı gerçek değerlerle karşılaştırılmış ve doğruluğu ortaya konulmuştur. Bu yöntemin, tüm faktörlerin bir araya getirilerek maliyet fonksiyonunun bulanık bir şekilde ifade edildiği geniş kapsamlı bir trafik atama çalışmasında kullanılabileceği vurgulanmıştır (Arslan vd., 2005).

(Murat Y., 2006) tarafından yapılan çalışmada, sinyalize kavşaklardaki araç gecikme sürelerinin modellenmesi ele alınmış ve bu sürelerin kavşak tasarımı ile işletimi açısından kritik bir parametre olduğu vurgulanmıştır. Geleneksel gecikme tahmin yöntemlerinin genellikle başarılı olduğu, ancak trafik talebinin kapasiteye yaklaştığı veya aştığı durumlarda yetersiz kaldığı belirtilmiştir. Özellikle doygunluk üstü trafik koşullarında, gecikme süresinin tahmin edilmesinde belirsizliklerin ortaya çıkması önemli bir sorun olarak görölmektedir. Bu doğrultuda, çalışmada trafik hacmi, kırmızı ışık süresi ve kuyruktaki araç sayısı gibi değişkenler dikkate alınarak bulanık mantık yaklaşımıyla bir model geliştirilmiştir. Modelin, geleneksel yöntemlerle ve gerçek verilerle karşılaştırıldığında daha güvenilir sonuçlar sunduğu belirlenmiştir (Murat Y., 2006).

(Murat vd., 2008), Türkiye'de belirlenen bir O-D ifti arasında dört farklı alternatif güzergahın seçilme olasılığını araştırmıştır. Çalışmada, seyahat süresi, trafik güvenliği, çevresel etkiler ve yol yoğunluğu parametreleri kullanılmış ve 500 katılımcı ile anket yapılmıştır. Araştırmacılar, her parametre için üç kategori içeren kural tabanlı bir bulanık mantık modeli geliştirmiştir. Tanımlanan bulanık mantık kuralları doğrultusunda her güzergah için bir fayda fonksiyonu hesaplanmış, ardından bu fonksiyon logit modeli kullanılarak bir olasılık değerine dönüştürölmüştür. Anket verileri ayrıca lojistik regresyon modeli ile analiz edilmiş ve güzergahların seçilme olasılıkları hesaplanmıştır. Sonuçlar

karşılaştırıldığında, katılımcıların güzergah tercihlerini açıklamada bulanık mantık modelinin lojistik regresyon modeline göre daha başarılı olduğu belirtilmiştir (Murat vd., 2008).

(Dubey vd., 2013), Delhi’de gerçekleştirdikleri çalışmada, bir O-D çifti arasında üç farklı güzergahın seçilme olasılığını modellemiştir. Çalışmada, mesafe, hız, süre ve gecikme dahil olmak üzere dokuz farklı değişken kullanılmış ve 150 katılımcıyla anket yapılmıştır. Araştırmacılar, çok terimli logit modeli (ML), bulanık kural tabanlı çıkarım sistemi (FIS) ve uyarlamalı nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) olmak üzere üç farklı yöntem uygulamıştır. FIS modelinde tanımlanan kurallar doğrultusunda bir güzergah tercih değeri hesaplanmış ve bu değer çok terimli logit formülü kullanılarak olasılık değerine dönüştürülmüştür. Çalışmada, üç modelin ürettiği sonuçların birbiriyle oldukça benzer olduğu ve veri setinin %95-%100 doğruluk aralığında tahmin edildiği bulunmuştur. Araştırmacılar, hesaplama kolaylığı ve esneklik açısından FIS modelinin en etkili yöntem olduğunu vurgulamıştır (Uludağ N., 2005).

(Dhulipala vd., 2020), Hindistan’ın Surat kentinde gerçekleştirdikleri çalışmada, bir O-D çifti arasındaki üç farklı güzergahın tercih edilme olasılığını analiz etmiştir. Çalışmada seyahat süresi, trafik yoğunluğu ve çevresel etki parametreleri değerlendirilmiştir. Güzergah seçim olasılıkları, MNL ve bulanık mantık kullanılarak hesaplanmıştır. Ancak diğer çalışmalardan farklı olarak, araştırmacılar olasılık hesaplamasında çok terimli logit formülünü kullanmamış ve bunun yerine hiyerarşik bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde, tanımlanan bulanık kurallar üç farklı parametre için 0-100 aralığında sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Anket verileri kullanılarak güzergahlar ikili karşılaştırmalarla değerlendirilmiş ve en yüksek tercih edilen güzergah belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, bulanık mantık modeli anket verilerini %92 doğrulukla açıklarken, MNL modeli %78 doğruluk sağlamıştır (Dhulipala vd., 2020).

### 3. BULANIK MANTIK YÖNTEMİ

#### 3.1 Genel Bakış

Bulanık sistemler, yapay zekanın temel yapı taşlarından biri olarak kabul edilmekte ve klasik mantık ile küme teorisine karşı geliştirilmiş bir alternatif yaklaşım sunmaktadır. Bu sistemler, Aristoteles'ten günümüze kadar uzanan kesin ve katı sınırlara dayalı klasik mantık anlayışına karşı, daha esnek ve insan düşüncesine yakın bir model önermektedir. Bulanık mantığın temelleri oldukça eskiye dayanmasına rağmen, modern bilim dünyasında görece yeni bir alan olarak kabul edilir ve sürekli gelişim halindedir (Kocamaz U. E., 2018).

Günlük hayatta karşılaştığımız birçok durum, klasik mantığın öngördüğü gibi kesin çizgilerle ayrılmış değildir. Örneğin, bir nesnenin "sıcak" veya "soğuk" olarak tanımlanması, kişiden kişiye değişebilen göreceli bir durumdur. Bu tür belirsizlikler, karmaşık ve kesin olmayan durumların varlığını gösterir. İnsanlar, bu belirsizlikleri genellikle sezgisel yaklaşımlarla veya çeşitli varsayımlarla çözmeye çalışır. Ancak, bu tür durumların bilimsel olarak modellenmesi, klasik yöntemlerle her zaman mümkün olmamaktadır.

Mühendislik ve bilimsel araştırmalarda, belirsizlikler genellikle istatistiksel veya matematiksel yöntemlerle ele alınır. Bir sistemin davranışını modellemek için belirli varsayımlar yapılır ve bu varsayımlar üzerinden çözümler üretilir. Ancak, rastgele olmayan belirsizlikler söz konusu olduğunda, bu yöntemler yetersiz kalır. Rastgele olmayan belirsizlikler, "bulanık" olarak adlandırılır ve bu tür durumlar, klasik mantığın kesinlik anlayışıyla açıklanamaz (Kocamaz U. E., 2018).

Bu soruna çözüm arayışı, Lotfi A. Zadeh'in 1965 yılında yaptığı çalışmalarla başlamıştır. Zadeh, klasik küme teorisinin tanımlayamadığı kümeler üzerine odaklanmış ve bu kümelerin elemanları arasındaki ilişkilerin kesin olarak belirlenemeyeceğini savunmuştur. Klasik küme teorisi, bir elemanın ya bir kümeye ait olduğunu ya da olmadığını varsaymaktadır. Ancak gerçek dünyada, bu tür kesin ayrımlar her zaman mümkün değildir. Örneğin, bir kişinin "uzun" olup olmadığını belirlemek, kesin bir sınıra dayandırılmaz. Zadeh, bu sorunu aşmak için klasik mantığın "var-yok" ikiliğine alternatif olarak ara değerlerin tanımlanabileceğini öne sürmüştür. Bu yaklaşım, bulanık mantık ve bulanık küme teorisinin temelini oluşturmaktadır (Zadeh . L. A., 1996).

Bulanık mantığı anlamak için, öncelikle klasik küme teorisinin yapısını incelemek gerekir. Klasik küme teorisi, bir elemanın ya tamamen bir kümeye ait olduğunu ya da olmadığını kabul eder. Örneğin, bir sayının "çift" veya "tek" olması kesin bir şekilde belirlenebilir. Ancak, "genç" veya "yaşlı" gibi kavramlar, kesin sınırlarla tanımlanamaz. Bulanık mantık, bu tür kavramları ele almak için derecelendirilmiş bir üyelik fonksiyonu kullanmaktadır. Bu fonksiyon, bir elemanın bir kümeye ne ölçüde ait olduğunu 0 ile 1 arasında bir değerle ifade etmektedir. Örneğin, bir kişinin "genç" olma derecesi %70 olarak tanımlanabilmektedir

### 3.2 Bulanık Mantığın Tarihsel Gelişimi

Bulanık Mantık kavramının kökenleri Antik Yunan düşüncesine dayanmakla birlikte, modern anlamda gelişimi 20. yüzyılda şekillenmiştir. Aristoteles, mantığı ikili doğruluk ilkeleri çerçevesinde ele alarak "var ya da yok" esasına dayandırmış, ancak Heraclitus ve Plato, doğruluk ve yanlışlık arasındaki keskin sınırların bulanıklaşabileceğini öne sürmüştür. Bu düşünsel temeller, Jan Lukasiewicz'in 20. yüzyılın başlarında geliştirdiği ve doğru ile yanlış arasında sonsuz sayıda ara değer bulunabileceğini savunan çok değerli mantık anlayışıyla daha sistematik bir çerçeve kazanmıştır (Belohlavek vd., 2017).

Lukasiewicz'in teorisi pratik uygulamalarda yeterli etkiyi sağlayamamış, Bulanık Mantık kavramı 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından matematiksel bir temele oturtularak geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Zadeh, klasik ikili mantık anlayışını genişleterek doğruluk derecelerini  $[0,0-1,0]$  aralığında sürekli değerlerle ifade eden bir sistem geliştirmiş ve bu yaklaşımı "Bulanık Mantık" olarak adlandırmıştır. Bu çalışma, teorik temellerin yanı sıra mühendislik, kontrol sistemleri, yapay zeka ve karar verme mekanizmaları gibi birçok alanda önemli uygulamalar geliştirilmesini sağlamıştır (Giles R., 1976).

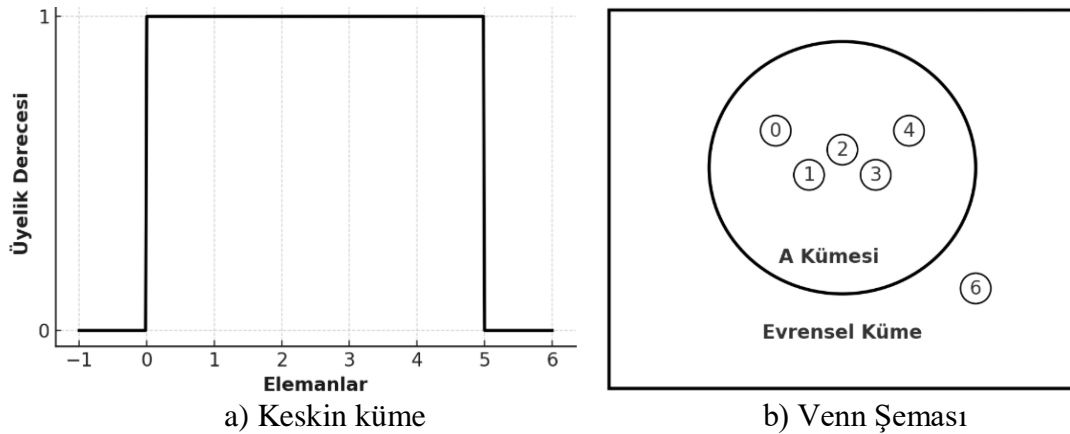
Zadeh, birçok kavramın dilsel ifadelerle tanımlanmasının geleneksel matematiksel yöntemlere kıyasla daha etkili olabileceğini ortaya koymuş ve bulanık mantık ile bulanık küme teorisinin, gerçek dünyanın karmaşıklığını daha iyi yansıttığını göstermiştir. Bu yaklaşım, kesin sınırlarla tanımlanamayan ve belirsizlik içeren durumların modellenmesinde önemli bir avantaj sağlamıştır. Bulanık mantığın ilk pratik uygulaması, 1972 yılında Ebrahim Mamdani tarafından bir buhar makinesinin kontrol sisteminde gerçekleştirilmiş, ardından Danimarka'daki çimento endüstrisinde yapılan çalışmalar yöntemin etkinliğini kanıtlamıştır (Özdemir vd., 2019). Bu gelişmeler, bulanık mantığın mühendislik ve endüstriyel uygulamalarda hızla yaygınlaşmasına katkıda bulunmuştur. Özellikle Japonya,

bulanık mantığın en yoğun kullanıldığı ülkelerden biri haline gelmiş ve Japon mühendisler, bu yöntemi metro sistemlerinde otomatik tren kontrolü, hisse senedi portföy yönetimi ve asansör sistemleri gibi birçok alanda başarıyla uygulamıştır. Bu uygulamalar, sistemlerin verimliliğini artırarak önemli ekonomik kazanımlar sağlamıştır. Günümüzde ise bulanık mantık, özellikle Japonya'da beyaz eşya sektöründe yaygın olarak kullanılmakta ve modern ev aletlerinin büyük bir kısmı, bulanık mantık tabanlı kontrol sistemlerinden faydalanmaktadır. Bu durum, bulanık mantığın yalnızca endüstriyel alanlarla sınırlı kalmayıp günlük yaşama da entegre olduğunu göstermektedir (Keskenler vd., 2017).

### 3.3 Klasik Küme Kavramı

Klasik küme teorisi, matematikte nesnelere belirli kriterlere göre kesin bir şekilde sınıflandırıldığı temel bir yapıyı ifade etmektedir. Bu teoriye göre, bir nesne ya ilgili kümeye aittir ya da değildir; dolayısıyla üyelik durumu yalnızca 0 ve 1 değeri almaktadır. Bu yaklaşım, belirsizliği dışlayarak keskin sınırlarla tanımlanan kümelerin incelenmesini sağlamaktadır.

Bir küme, genellikle süslü parantez içinde gösterilen ve elemanların virgülle ayrıldığı bir ifadeyle tanımlanır. Örneğin, A kümesi, "5'ten küçük doğal sayılar" olarak tanımlandığında,  $A = \{0,1,2,3,4\}$  şeklinde ifade edilir. Bu bağlamda, 3 sayısı kümede yer aldığından  $3 \in A$ , ancak 6 sayısı kümede bulunmadığından  $6 \notin A$  biçiminde gösterilmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Keskin A kümesinin gösterimi.

Klasik küme teorisi, kesin ve değişmez üyelik yapısı ile bulanık kümeler gibi alternatif yaklaşımlardan ayrılmaktadır. Bu teori, küme işlemleri, bağıntılar ve fonksiyonlar gibi daha ileri matematiksel kavramların temelini oluşturarak geniş bir uygulama alanına sahiptir.

### 3.4 Bulanık Küme Kavramı

Bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık küme kavramı, L.A. Zadeh tarafından 1965 yılında, klasik küme teorisine bir alternatif olarak önerilmiştir. Bu teori, bir elemanın bir kümeye tamamen ait olması ya da olmaması yerine, belirli bir dereceye kadar ait olabileceği fikrine dayanmaktadır (Zadeh L. A., 1996). Bu yaklaşım, belirsizlik durumlarının nicel olarak ifade edilebilmesi için etkili bir araç sunmakta ve günlük dilde yaygın olarak kullanılan belirsiz ifadelerin matematiksel olarak modellenmesine olanak tanımaktadır. Bulanık kümeler, insanın karar verme süreçlerini ve doğal dünyayı algılama biçimini matematiksel olarak temsil etmede bir köprü işlevi görmektedir. Zadeh, 1973 yılında yayımladığı çalışmalarında, bulanık küme teorisinin insanın karar verme mekanizmalarını en iyi şekilde temsil edebilecek kapasitede olduğunu savunmuştur.

#### 3.4.1 Bulanık küme işlemleri

Bir  $X$  evreninde  $A$  ve  $B$  bulanık kümeleri tanımlandığında, bu kümeler için sırasıyla birleşim, kesişim ve tümleyen teorik küme işlemleri yapılmaktadır. Birleşim işlemi, her iki kümenin üyelik derecelerinin en büyük değerini alırken; kesişim işlemi, üyelik derecelerinin en küçük değerini dikkate almaktadır. Tümleyen işlemi ise, mevcut kümeye ait üyelik derecelerinin zıttını alarak, kümelerin tamamlayıcılarını belirler.

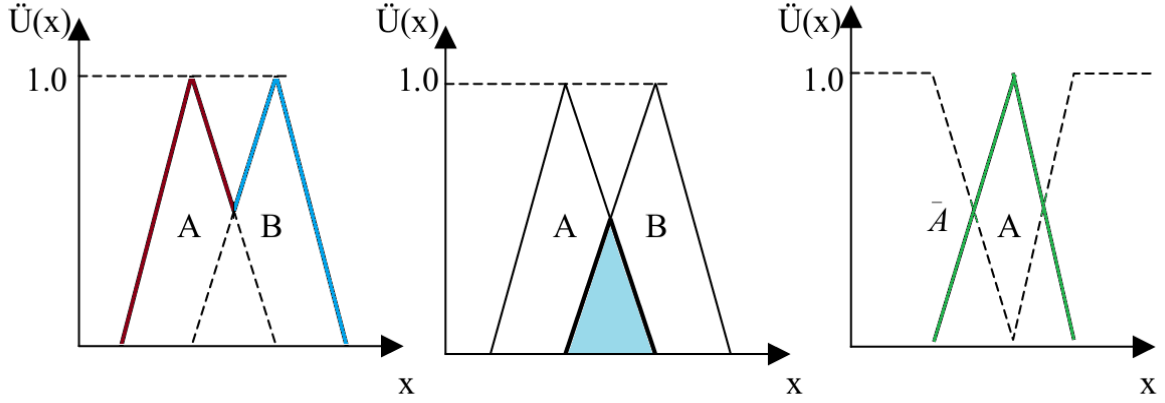
Bu küme işlemleri, bulanık küme teorisinin temel yapı taşlarını oluşturmakta olup, karar verme, modelleme ve optimizasyon gibi birçok alanda kritik bir rol oynamaktadır. Birleşim ve kesişim işlemleri, farklı kriterlerin değerlendirilmesinde ve alternatiflerin karşılaştırılmasında kullanılırken, tümleyen işlemi, eksik ya da ters yöndeki koşulların analizinde önemli bir araçtır.

Bu işlemlerin üyelik derecelerinin nasıl hesaplandığı ise Şekil 3.2' te görselleştirilmiştir. Şekil üzerinden yapılan hesaplamaların detayları incelendiğinde, işlemlerin nasıl gerçekleştirildiği ve sonuçların nasıl yorumlandığı daha net anlaşılmaktadır. Bu teorik işlemler, bulanık mantık sistemlerinde karar süreçlerinin daha esnek ve doğru bir şekilde modellenmesini sağlamaktadır (Yiğit N., 2018). Buna istinaden, birleşim, kesişim ve tümleme işlemlerine ilişkin üyelik derecelerinin hesaplanma biçimi Eşitlik (3.1)'de matematiksel olarak ortaya konulmuştur.

$$\ddot{U}_{A \cup B}(X) = \ddot{U}_A(X) \vee \ddot{U}_B(X) = \max[\ddot{U}_A(X), \ddot{U}_B(X)]$$

$$\ddot{U}_{A \cap B}(X) = \ddot{U}_A(X) \wedge \ddot{U}_B(X) = \min[\ddot{U}_A(X), \ddot{U}_B(X)]$$

$$\ddot{U}_{\bar{A}}(X) = 1 - \ddot{U}_A(X) \quad (3.1)$$



**Şekil 3.2:** Bulanık küme işlemleri

### 3.4.2 Bulanık küme ilişkileri

Bulanık küme ilişkilerinin temelinde, klasik kümelerdeki kartezyen çarpanlar yer almaktadır. Kartezyen çarpan, kümelerin elemanlarının çarpımı kadar ortak nokta oluşturmakta ve bu noktalar, bulanık küme kapsamı altında ilişki kümeleri olarak tanımlanmaktadır. İki küme verildiğinde, bu kümelerin çarpımı, bir kümedeki elemanların diğer kümedeki elemanlarla nasıl eşleştirildiğini gösteren karşılıklı çizgi diyagramı kullanılarak görselleştirilmektedir. Bu diyagramda, küme elemanları noktalarla, ilişkiler ise çizgilerle temsil edilmektedir. İlişki matrisindeki üyelik değerleri, çizgilerin varlığına göre belirlenmektedir (Şen Z., 2020).

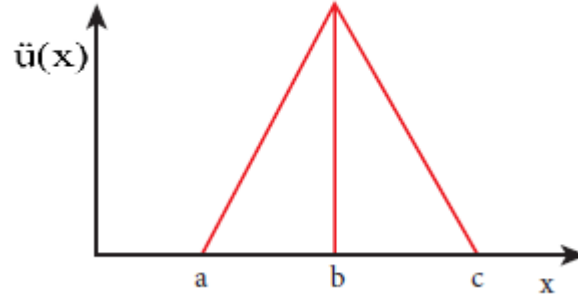
Bulanık kümelerdeki ilişki matrislerinde, üyelik değerleri 0 ve 1 arasında herhangi bir değeri alabilmektedir. Bu durum, klasik kümelerdeki iki değerli (0 veya 1) üyelik derecelerinin aksine, bulanık kümelerdeki daha esnek ve kapsamlı bir ilişki yapısının oluşmasına olanak tanımaktadır. Bu tür ilişkilerde, kümeler arasındaki çeşitli işlemler, üyelik değerleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmektedir. Birleşim, kesişim, tamamlayıcı ve içerme gibi temel küme işlemleri, bulanık kümelerde farklı şekilde tanımlanmakta ve uygulanmaktadır. Birleşim işlemi, her iki kümenin üyelik derecelerinin en büyük değerini alırken, kesişim işlemi en küçük değeri, tamamlayıcı işlem ise mevcut kümenin üyelik derecelerinin zıtlarını almaktadır. İçerme işlemi ise bir kümenin diğerini kapsayıp kapsamadığını değerlendirmektedir (Topel A., 2006).

Bulanık ilişki matrislerindeki üyelik değerlerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler çeşitlidir. Kartezyen çarpan, verilen kümeler arasındaki ilişkiyi belirlemek için en temel yöntemlerden biridir. Bunun yanı sıra, bazı fiziksel sistemlerde girdi ve çıkış ilişkileri gözlemlerle belirlenmekte ve ilişki kapalılık formunda modellenmektedir. Gözlemler, veri setlerinden veya uzman görüşlerinden elde edilebileceği gibi, bu veriler ışığında 0-1 aralığında üyelik dereceleri atanarak bulanık ilişki kurulmaktadır. Ayrıca, verilerin sınıflandırılması ve belirgin desenlerin ortaya çıkması ile ilişki matrisindeki öğelerin değerleri belirlenmektedir. Bu yöntemlerin her biri, bulanık küme ilişkilerinin daha hassas ve dinamik bir şekilde modellenmesine olanak sağlamaktadır.

### **3.4.3 Üyelik fonksiyonları**

Bulanık mantık sistemlerinde üyelik fonksiyonları, dilsel ifadelerin sayısal değerlerle ilişkilendirilmesini sağlayan temel bir yapı taşıdır. Bu fonksiyonlar, belirli bir bulanık kümenin elemanlarının o kümeye ait olma derecesini matematiksel olarak tanımlamaktadır. Üyelik derecesi, 0 ile 1 arasında değişen bir değer almakta olup, bu değer, elemanın küme içindeki konumuna bağlı olarak sürekli bir şekilde değişim göstermektedir. Bu süreklilik, bulanık mantığın klasik küme teorisinden ayrıldığı en temel özelliklerden birini oluşturmaktadır (Yılmaz vd., 2023).

Üyelik fonksiyonları, özellikle bir kümenin sınırlarının keskin olmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Dilsel ifadelerle tanımlanan kavramların sayısal aralıklarla modellenmesi, bu fonksiyonlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Kümenin merkezinde üyelik derecesi maksimum değere ulaşırken, sınırlara yaklaştıkça bu değer dereceli olarak azalmaktadır (Şekil 3.3). Bu durum, kümenin sınır bölgelerindeki elemanların tam olarak o kümeye ait olmadığını, ancak bir geçiş sürecinde bulunduğunu ortaya koymaktadır.



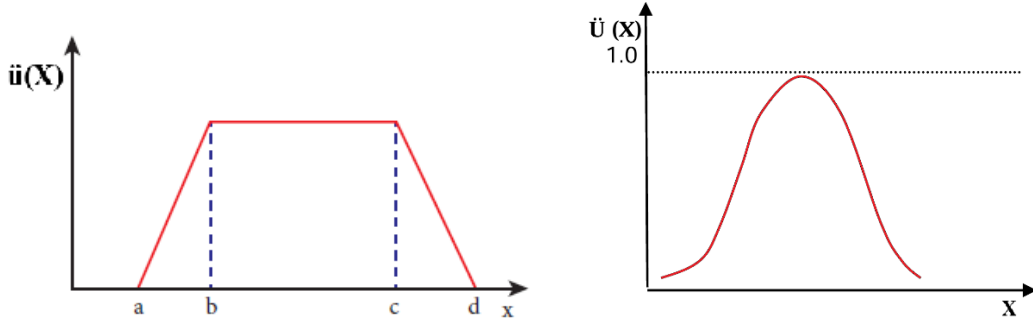
**Şekil 3.3:** Bulanık küme

Akademik perspektiften ele alındığında, üyelik fonksiyonlarının en önemli katkısı, belirsizliği matematiksel olarak ifade edebilme yeteneğidir. Bu özellik, insan düşüncesinin kesin sınırlarla tanımlanamadığı durumlarda büyük bir avantaj sağlamaktadır. Dilsel ifadelerle tanımlanan kavramların modellenmesinde, üyelik fonksiyonları sayesinde bu kavramların sınırları esnek bir şekilde belirlenebilmekte ve bu esneklik, bulanık mantığın gerçek dünya problemlerine uygulanabilirliğini artırmaktadır.

Üyelik fonksiyonlarının geometrik temsili, genellikle bir eğri şeklinde ifade edilmektedir. Bu eğri, kümenin merkezinde en yüksek değere ulaşırken, sınırlara doğru giderek azalmaktadır. Bu tür bir eğri, "önem eğrisi" olarak da adlandırılmakta ve küme içindeki elemanların önem derecesini göstermektedir (Ecer F., 2007). Klasik küme teorisinde bir eleman ya kümeye aittir ya da değildir, ancak bulanık mantıkta bu durum dereceli bir şekilde ifade edilmektedir. Bu nedenle, üyelik fonksiyonları, bulanık mantığın temelini oluşturan en önemli kavramlardan birini teşkil etmektedir.

### 3.4.3.1 Üyelik fonksiyonunun bileşenleri

Üyelik fonksiyonları, geometrik olarak farklı şekillerde temsil edilebilmektedir. Bu şekiller arasında üçgen, yamuk ve çan eğrisi gibi yapılar en yaygın olanlarıdır. Yamuk şeklindeki bir üyelik fonksiyonu, genellikle en genel ve kapsayıcı form olarak kabul edilmektedir (Karataş vd., 2020). Bu fonksiyonun temel bileşenleri, Şekil 3.4' de a-b ve c-d sınır iken a-d dayanak olarak gösterilmektedir. Bu yapı, özellikle dilsel ifadelerin modellenmesinde esneklik sağlamak ve bulanık mantık sistemlerinin uygulanabilirliğini artırmaktadır.



**Şekil 3.4:** Yamuk ve çan üyelik fonksiyon grafikleri

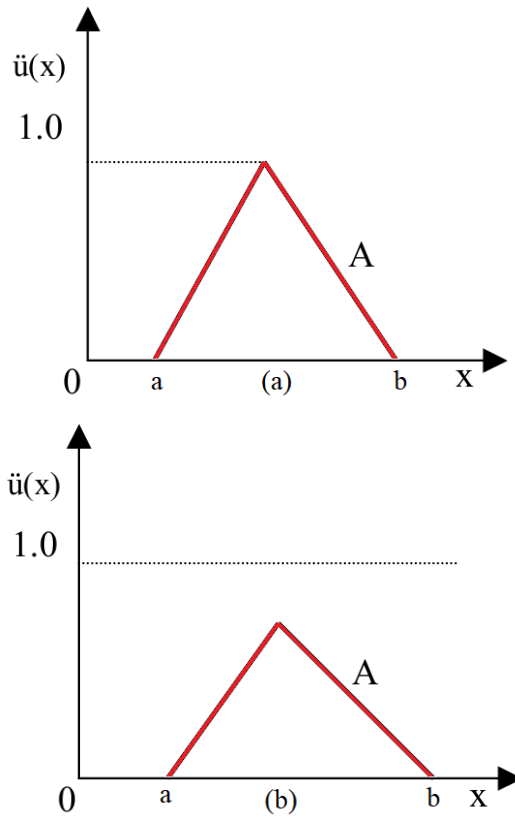
Bulanık kümelerin temel kavramları, üyelik fonksiyonlarının yapısını ve özelliklerini anlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Bir bulanık alt kümede, üyelik derecesi 1 olan elemanların bulunduğu merkezi bölge, o kümenin özü olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgedeki tüm elemanlar için üyelik fonksiyonu değeri  $\mu(x)=1$  şeklindedir. Özellikle üçgen şeklindeki bir üyelik fonksiyonunda, üyelik derecesi 1 olan yalnızca bir eleman bulunmaktadır. Bu durum, üçgen üyelik fonksiyonlarında kümenin özünün tek bir nokta olarak ifade edilmesine neden olmaktadır.

Bir bulanık alt kümenin üyelik derecesi sıfırdan büyük olan tüm elemanlarını içeren aralık, o kümenin dayanağı olarak tanımlanmaktadır. Dayanak bölgesindeki elemanlar için üyelik derecesi  $\mu(x)>0$  şeklindedir. Bu aralık, kümenin etkin olduğu tüm değerleri kapsamakta ve kümenin sınırlarını belirlemektedir. Üyelik derecesi 0 ile 1 arasında değişen elemanların oluşturduğu bölgeler ise sınırlar veya geçiş bölgeleri olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgelerdeki elemanlar, kısmi üyelik derecesine sahip olup, matematiksel olarak  $0<\mu(x)<1$  şeklinde ifade edilmektedir. Tüm üyelik fonksiyonlarında, özün sağında ve solunda olmak üzere iki geçiş bölgesi bulunmaktadır.

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarında, üyelik derecesinin 0.5 olduğu nokta, geçiş noktası olarak tanımlanmaktadır. Bu nokta, bir elemanın kümeye tam olarak ait olup olmadığı konusunda belirsizliğin en yüksek olduğu bölgeyi temsil etmektedir. Ayrıca, XX evrensel kümesi üzerinde tanımlı bir AA bulanık kümesi ve  $\alpha \in [0,1]$  değeri verildiğinde,  $\alpha$ -kesiti ve güçlü  $\alpha$ -kesiti sırasıyla  $\alpha A = \{x | A(x) \geq \alpha\}$  ve  $\alpha + A = \{x | A(x) > \alpha\}$  şeklinde tanımlanmaktadır. Bu kesitler, bulanık kümenin belirli bir üyelik derecesine sahip elemanlarını içeren keskin kümelerdir (Eranıl B., 2008).

Bir bulanık kümenin en büyük üyelik derecesi, o kümenin yüksekliği olarak adlandırılmaktadır. Normal bulanık kümelerde yükseklik değeri 1'e eşit olmaktadır. Normal olmayan bulanık kümelerin normal hale getirilmesi için, kümenin tüm üyelik derecelerinin en büyük üyelik derecesine bölünmesi gerekmektedir. Bu işlem, kümenin yüksekliğini 1'e eşitleyerek normal bir bulanık küme elde edilmesini sağlamaktadır.

Üyelik fonksiyonunun önemli özelliklerinden biri, bir bulanık kümenin normal olup olmadığını belirlememize olanak tanımasıdır. Normal bir bulanık küme, en az bir elemanın üyelik derecesinin 1'e eşit olduğu küme olarak tanımlanmaktadır. Bu durum, kümenin üyelik fonksiyonunun en az bir noktada maksimum değere ulaştığını göstermektedir. Normal olmayan bulanık kümelerde ise üyelik derecesi hiçbir noktada 1'e ulaşmamaktadır. Normal ve normal olmayan bulanık kümelerin karşılaştırmalı örnekleri, Şekil 3.5'de gösterilmiştir (Homaida vd., 2024).



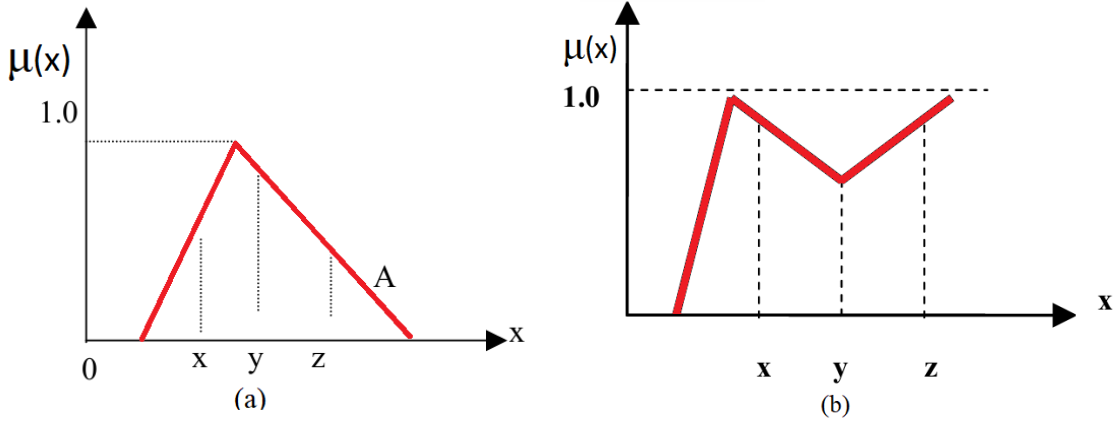
**Şekil 3.5:** Bulanık kümeler (a normal, b normal olmayan)

Bulanık kümelerde dış bükeylik, kümeye ait elemanların düzenli bir yapıda dağıldığını ve üyelik fonksiyonlarının belirli bir uyum içinde değiştiğini gösteren önemli bir özelliktir.

Matematiksel olarak, dış bükey bir bulanık kümede,  $x < y < z$  ilişkisini sağlayan üç eleman için ortadaki elemanın üyelik fonksiyon değeri aşağıdaki bağıntıyı sağlamaktadır (Denklem 3.2):

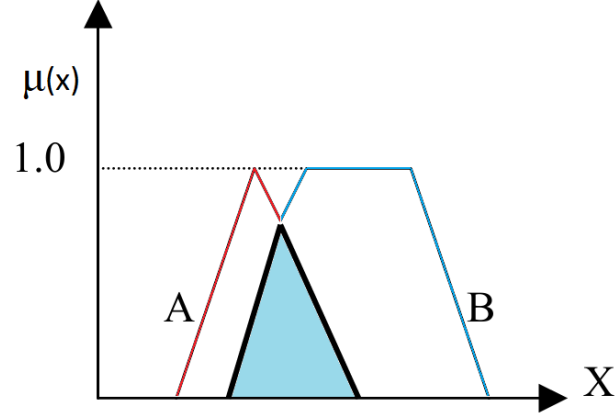
$$\mu_A(y) \geq \min(\mu_A(x), \mu_A(z)) \quad (3.2)$$

Bu ifade, bulanık kümeye ait elemanların üyelik derecelerinin düzensiz biçimde dalgalanmadığını ve belirli bir süreklilik içinde değiştiğini ortaya koymaktadır. Eğer bir bulanık küme bu koşulu sağlıyorsa, dış bükey bulanık küme olarak tanımlanmaktadır. Bu tür kümeler, özellikle bulanık karar verme süreçlerinde ve belirsizliğin yönetilmesinde tutarlı ve öngörülebilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Şekil 3.6'da, dış bükey olan ve olmayan bulanık alt kümelerin yapıları görselleştirilmiştir (Homayda vd., 2024).



**Şekil 3.6:** Bulanık kümeler (a dış bükey, b dış bükey olmayan).

A ve B gibi iki dış bükey bulanık kümenin kesişimi, Şekil 3.7'de gösterildiği üzere, yine dış bükey bir yapı sergilemektedir.

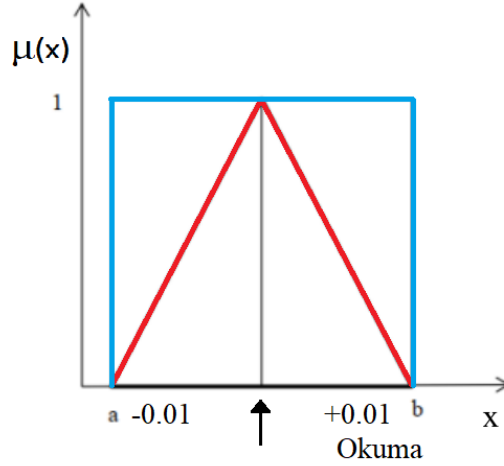


**Şekil 3.7:** Dış bükey bulanık kümelerin kesişimi.

#### 3.4.4 Bulanıklaştırma

Ölçümlerden elde edilen verilerin bulanıklaştırılması, dilsel ifadelerle daha anlamlı hale getirilmesi amacıyla gerçekleştirilmekte olup, bu süreçte gerçek sayılar kullanılmaktadır. Klasik kümelerde belirlenen kesin sınırların bulanık küme formuna dönüştürülmesi, bulanık mantık ve sistem analizleri açısından önemli bir gerekliliktir. Geleneksel yaklaşımlarda, belirli bir aralıktaki tüm elemanların üyelik derecesi 1 olarak kabul edilirken, bulanık küme yaklaşımı belirsizliği dikkate almakta ve üyelik derecelerinin 0 ile 1 arasında değişebileceğini öngörmektedir (Yılmaz vd., 2023).

Bu yaklaşımın temel avantajı, kesin olmayan veya kısmen belirli olan durumları daha esnek bir biçimde modelleyebilmesidir. Belirsizliğin kaynağı sayısal verilerden bağımsız olabilir ve ölçüm sistemlerinin hassasiyeti, çevresel faktörler veya insan algısı gibi değişkenlere bağlı olarak ortaya çıkabilir. Örneğin, bir ölçüm cihazının  $\pm$  %1 hassasiyetle çalışması, yapılan bir  $x$  ölçümünün gerçek değerinin  $x + 0.01$  ile  $x - 0.01$  arasında değişebileceğini göstermektedir. Bu tür durumlar, klasik küme yaklaşımında keskin sınırlarla ifade edilirken, bulanık küme yaklaşımı bu belirsizliği daha gerçekçi bir şekilde temsil etmektedir. Bu farkın klasik ve bulanık kümelerde nasıl ifade edildiği Şekil 3.8'de gösterilmektedir.



**Şekil 3.8:** Duyarlılık.

### 3.4.5 Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi

Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi, Bulanık Doğrusal Programlama (BDP) problemlerinin çözümünde kritik bir aşama olarak değerlendirilmektedir. Bu fonksiyonlar, bulanık kümelerin sınırlarını ve davranışlarını matematiksel olarak ifade etmekte ve problemin doğasına ve amaçlarına uygun bir şekilde tasarlanmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının seçimi, modelin esnekliğini, çözümün doğruluğunu ve uygulanabilirliğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, bu süreçte dikkatli bir analiz yapılması ve problemin yapısının derinlemesine anlaşılması gerekmektedir (Kuruüzüm A., 1999).

Literatürde, üyelik fonksiyonlarının farklı türlerinin mevcut olduğu ve her birinin belirli durumlara özgü avantajlar sunduğu görülmektedir. Doğrusal üyelik fonksiyonları, basit yapıları ve hesaplama kolaylıkları nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Bununla birlikte, daha karmaşık problemlerde parçalı doğrusal, üstel veya s-tipi fonksiyonlar gibi daha esnek yapılar kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar, bulanık kümelerin davranışlarını daha hassas bir şekilde modellemeye olanak tanımaktadır. Özellikle, konkav veya s-tipi fonksiyonlar, belirsizliklerin daha karmaşık olduğu durumlarda daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için kullanışlı bulunmaktadır.

Üyelik fonksiyonlarının seçimi, yalnızca matematiksel bir karar olarak değil, aynı zamanda problemin gerçek dünyadaki yansımalarını da dikkate alan bir süreç olarak ele alınmalıdır. Bir üretim planlama probleminde, kaynak kısıtlarının esnekliği veya müşteri taleplerindeki belirsizlikler, üyelik fonksiyonlarının şeklini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle,

model tasarımı sırasında hem teorik hem de pratik bilgilerin bir arada kullanılması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, farklı üyelik fonksiyonlarının sonuçlar üzerindeki etkilerini karşılaştırmak ve en uygun olanı seçmek, daha sağlam ve güvenilir çözümler elde etmeye katkı sağlayacaktır.

### 3.4.6 Bulanık kural tabanı

İnsan düşüncesi, başlangıçta zihinsel imgeler ve kavramsal şekiller biçiminde ortaya çıkmaktadır. Sayısal kesinlikler ise bu kavramların gelişmesi ve olgunlaşmasıyla birlikte zamanla belirginleşmektedir. Düşünme sürecinin ilk aşamaları belirsizlik içermekte, ancak zamanla daha net ve anlaşılır hale gelmektedir. Bu bağlamda, bulanık küme teorisi, sözel ifadeler ile sayısal ifadeler arasındaki geçişi sağlayan bir köprü işlevi görmektedir.

Bulanık kümeler aracılığıyla sözcüklerin ifade edilebilmesi için, öncelikle X gibi doğal bir dilin kelimelerini içeren bir topluluk kümesi tanımlanmaktadır. Bu kümede yer alan her  $\alpha$  ögesi, belirli bir anlam dünyasında A olarak adlandırılan bir bulanık küme ile ilişkilendirilmektedir.  $\alpha$  ögelerine karşılık gelen üyelik dereceleri belirlenerek, doğal dildeki sözcükler X kümesindeki kelimeler ile Y kümesindeki anlamlar arasında eşleştirilmektedir. Böylece, X kümesindeki her  $\alpha$  ögesi, Y kümesindeki bir A bulanık kümesine karşılık gelmektedir. "Genç" kavramı da belirli üyelik derecelerine sahip bir bulanık alt küme olarak tanımlanmaktadır (Denklem 3.3, Denklem 3.4, Denklem 3.5):

$$A = 'genç' = \int_0^{25} \frac{1}{g} + \int_{25}^{100} \frac{1}{g} \left(1 + \left(\frac{g-25}{5}\right)^2\right)^{-1} \quad (3.3)$$

$$\tilde{U}(\text{genç}, g) = \left(1 + \left(\frac{g-25}{5}\right)^2\right)^{-1} \quad g \geq 25 \text{ yıl} \quad (3.4)$$

$$0 \quad g \geq 25 \text{ yıl} \quad (3.5)$$

Bulanık kuralların birleştirilmesi, bir sistemin modellenmesi sürecinde oluşturulan bulanık kuralların bir araya getirilerek genel bir çıkarım elde edilmesini gerektirmektedir. Bu süreçte, birden fazla bulanık çıkarımın birleştirilmesi için iki temel yöntem bulunmaktadır. İlk yöntemde, sistemi temsil eden ve uygulanan kuralların tamamı "ve" bağlacı ile birleştirilmektedir. Bu, kümeler teorisi çerçevesinde kuralların kesişiminin alınması anlamına gelmektedir. Bu şekilde birleştirilmiş çıkarım, tekil bulanık çıkarımların ( $y_1, y_2, \dots, y_r$ ) kesişimi olarak ifade edilmektedir. Matematiksel olarak bu durum şu şekilde gösterilir (Denklem 3.6):

$$y=y_1 \cap y_2 \cap y_3 \cap \dots \cap y_r \quad (3.6)$$

Bulanık kümeler üzerinden çıkarım yapıldığında ise, üyelik fonksiyonları kullanılarak birleştirilmiş çıkarım şu şekilde hesaplanmaktadır (Denklem 3.7):

$$\mu_Y(y)=\min[\mu_{y_1}(y),\mu_{y_2}(y),\dots,\mu_{y_r}(y)] \quad (3.7)$$

Burada,  $\mu_Y(y)$ , birleştirilmiş çıkarımın üyelik fonksiyonunu temsil etmektedir. İkinci yöntemde ise, kural tabanlı tekil çıkarımlar "veya" bağlacı ile birleştirilmektedir. Bu durumda kuralların birleşimi alınmaktadır. Matematiksel olarak bu durum şu şekilde ifade edilmektedir (Denklem 3.8):

$$y=y_1 \cup y_2 \cup y_3 \cup \dots \cup y_r \quad (3.8)$$

Bulanık kümeler üzerinden çıkarım yapıldığında ise, üyelik fonksiyonları kullanılarak birleştirilmiş çıkarım şu şekilde hesaplanmaktadır (Denklem 3.9):

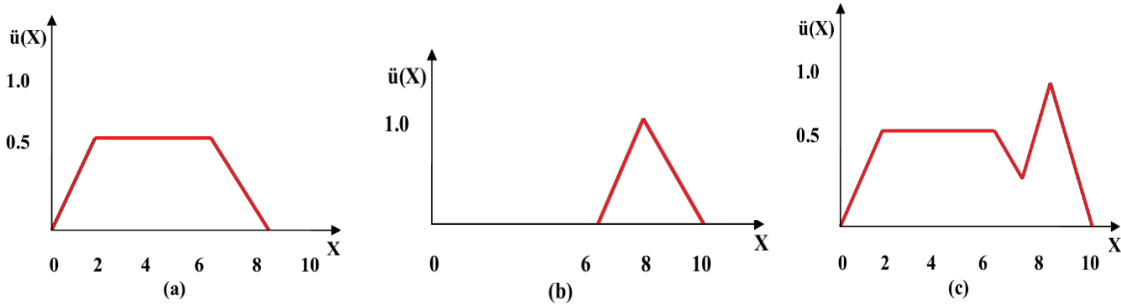
$$\mu_Y(y)=\max[\mu_{y_1}(y),\mu_{y_2}(y),\dots,\mu_{y_r}(y)] \quad (3.9)$$

Burada,  $\mu_Y(y)$ , birleştirilmiş çıkarımın üyelik fonksiyonunu temsil etmektedir. Yapay zeka alanında, bilgi işleme süreçlerinin makineler tarafından gerçekleştirilmesi için kullanılan yöntemlerden biri, bilginin insan diline benzer bir şekilde ifade edilmesidir. Bu yöntem, insan bilgisinin işlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür ifadeler, EĞER-İSE (IF-THEN) kuralları şeklinde yapılandırılmaktadır. Bu kurallar iki ana bölümden oluşmaktadır: Öncül, EĞER kısmı, sistemin girdi koşullarını tanımlamaktadır; Sonuç, İSE kısmı, bu koşullar karşılandığında ortaya çıkan çıkarımı ifade etmektedir. Örnek bir kural şu şekildedir: EĞER (öncül) İSE (sonuç). Bu tür yapıya sahip ifadeler "EĞER-İSE kural tabanlı sistemler" adı verilmektedir. Bu sistemler, bilinen bilgilerin kullanılmasıyla, bu bilgiler ışığında yeni çıkarımlar yapmayı amaçlamaktadır. Bu tür bilgiler, genellikle insanın kişisel deneyimlerine dayanarak oluşturulmakta ve bazen nesnel olmayabilmektedir. Buna karşılık, "derin bilgiler" (örneğin Kepler yasaları veya Newton kuralları) uzun yılların gözlem, deneyim ve birikimleri sonucunda ortaya çıkmakta ve sözel olarak kolayca ifade edilememektedir. Kural tabanlı bilgiler, uzmanlar tarafından sağlanan bilgilerden farklı olarak, uzmanlar dışındaki kaynaklardan da yararlanılarak oluşturulabilmektedir. Bu tür sistemlerde, hem öncül hem de sonuç kısımları bulanıklaştırılarak işlemler gerçekleştirilmektedir. Bu sayede, insan düşüncesindeki belirsizlikler ve esneklikler daha etkili bir şekilde modellenabilmektedir (Uludağ N., 2005).

### 3.4.7 Durulaştırma yöntemleri

Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarının belirlenmesine ilişkin temel ilkeler ve yöntemler ele alınmıştır. Ancak mühendislik projeleri, tasarım süreçleri ve cihaz boyutlandırmaları gibi alanlarda kesin sayısal değerlere gereksinim duyulmaktadır. Bu bağlamda, bulanık biçimde ifade edilen veya elde edilen verilerin kesin sonuçlara dönüştürülmesi gerekmektedir. Yapay zeka çalışmalarında, özellikle insan odaklı sistemlerde, bulanık değişkenler, kümeler, mantık ve sistemler büyük önem taşımaktadır. Ancak, bu sistemlerden elde edilen bulanık çıkarımların sayısal değerlere dönüştürülmesi zorunludur. Bu doğrultuda, bulanık bilgilerin belirli bir kesinlik düzeyine taşınması amacıyla gerçekleştirilen tüm işlemler "durulaştırma" olarak adlandırılmaktadır. Durulaştırma süreci, bulanık mantık sistemlerinin pratik uygulamalardaki etkinliğini artıran temel bileşenlerden biridir (Şen Z., 2001).

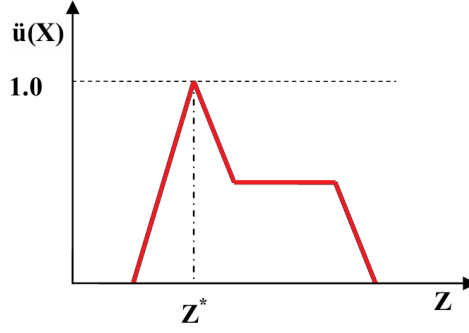
Aşağıda yedi farklı durulaştırma yönteminin temel prensipleri açıklanacaktır. Bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağına, çalışılan problemin niteliğine bağlı olarak, araştırmacı veya tasarım mühendisi karar vermelidir. Ayrıca, aşağıda verilen (Şekil 3.9) çıkarım bulanık kümesinin  $Z$ , elemanlarının  $z$  ve durulaştırılmış değerinin ise  $z^*$  ile ifade edildiği unutulmamalıdır.



**Şekil 3.9:** Tipik bulanık küme çıktısı, (a) bulanık girdi ilk kısım, (b) bulanık girdi ikinci kısım, (c) ikisinin birleşimi.

#### 3.4.7.1 En yüksek üyelik ilkesi (yükseklik ilkesi)

Bu yöntem, aynı zamanda "yükseklik yöntemi" olarak da adlandırılır. Uygulanabilmesi için, çıkarım bulanık kümelerinin belirgin tepe noktalarına sahip olması gerekmektedir. Şekil 3.10'da bu durulaştırma işleminin grafiksel gösterimi sunulmuştur. Ayrıca, yöntemin matematiksel ifadesi aritmetik notasyonla aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

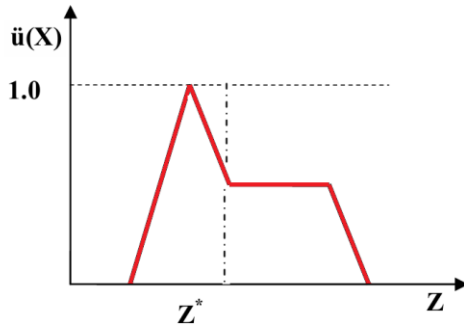


Şekil 3.10: En büyük üyelik derecesi durulaştırması.

### 3.4.7.2 Ağırlık merkezi (sentroid) yöntemi

Bu yöntem, "ağırlık merkezi yöntemi" olarak da bilinmektedir. Durulaştırma teknikleri arasında muhtemelen en sık tercih edilen yöntemlerden biridir. Şekil 3.11'de bu yöntemin grafiksel gösterimi yer almaktadır. Ayrıca, söz konusu durulaştırma işleminin matematiksel ifadesi aşağıdaki denklem aracılığıyla gerçekleştirilir (Denklem 3.10):

$$Z^* = \frac{\int \mu_{\tilde{C}}(z) \cdot z \cdot dz}{\int \mu_{\tilde{C}}(z) \cdot dz} \quad (3.10)$$



Şekil 3.11: Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma.

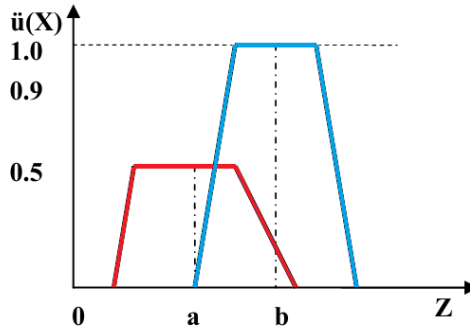
### 3.4.7.3 Ağırlıklı ortalama yöntemi

Bu yöntemin uygulanabilmesi için, üyelik fonksiyonlarının simetrik bir yapıya sahip olması gerekmektedir. İlgili matematiksel işlemler, Denklem 3.11'da belirtilen formülasyon kullanılarak gerçekleştirilir. Burada  $\Sigma$  sembolü, matematiksel anlamda toplama işlemini ifade eder. Söz konusu durulaştırma yöntemi, Şekil 3.12'de görsel olarak açıklanmıştır. Bu yöntemde, çıkışı oluşturan bulanık kümelerin her bir üyelik fonksiyonu, sahip olduğu en yüksek üyelik derecesi değeri ile çarpılır ve bu değerlerin ağırlıklı ortalaması hesaplanır. Örnek

olarak, Şekil 3.11'de yer alan iki bulanık kümenin ağırlıklı ortalaması, Denklem 3.12'de gösterildiği gibi bulunur. Bu durulaştırma tekniği yalnızca simetrik üyelik fonksiyonları için geçerli olduğundan, a ve b değerleri, ilgili şekillerin orta noktalarını temsil etmektedir.

$$Z^* = \frac{\sum \bar{u}_C(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \bar{u}_C(\bar{z})} \quad (3.11)$$

$$Z^* = \frac{a(0.6) + b(0.9)}{0.6 + 0.9} \quad (3.12)$$



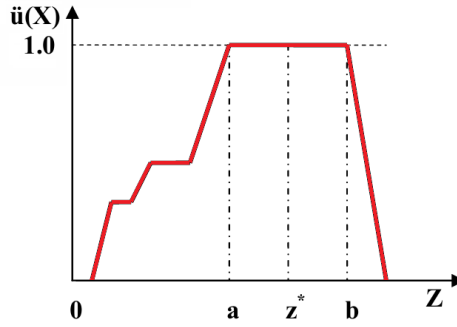
Şekil 3.12: Ağırlıklı ortalama yöntemi durulaştırması.

#### 3.4.7.4 Ortalama en yüksek üyelik (en yükseklerin ortası) yöntemi

Bu teknik, literatürde "ortalama en büyük üyelik yöntemi" olarak da adlandırılmakta olup, birinci durulaştırma prensibi ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Ancak bu yöntemde, üyelik fonksiyonunun en yüksek değerine ulaştığı bölge, tek bir noktayla sınırlı kalmayıp birden fazla noktadan veya geniş bir plato (düzlük) bölgesinden oluşabilmektedir. Başka bir ifadeyle, maksimum üyelik derecesine sahip alan, keskin bir tepe noktası yerine belirli bir yayılıma sahip olabilir. Bu durum, özellikle üyelik fonksiyonunun simetrik veya yayvan tepeli olması halinde daha belirgin hale gelmektedir.

Söz konusu yöntemde, durulaştırılmış değer, en yüksek üyelik derecesine sahip noktaların aritmetik ortalaması alınarak belirlenmektedir. Bu yaklaşım, ani değişimlere duyarlılığı azaltarak daha dengeli bir temsil sağlamaktadır. Özellikle mühendislik uygulamalarında, karar verme süreçlerinde istikrar sağlamak ve gürültüye duyarlılığı azaltmak amacıyla sıklıkla tercih edilmektedir. Şekil 3.13'te bu yöntemin uygulanışına ilişkin detaylı görselleştirme sunulmakta olup, ilgili durulaştırma değeri Denklem 3.13'de verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$Z^* = \frac{a+b}{2} \quad (3.13)$$

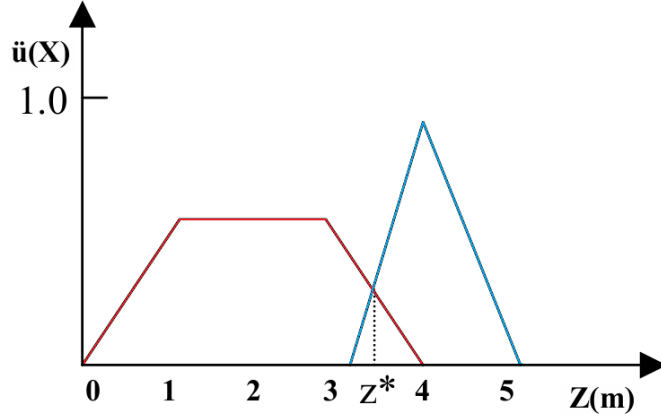


Şekil 3.13: Ortalama en büyük üyelik durulaştırması.

### 3.4.7.5 Toplamların merkezi yöntemi

Bu yöntem, durulaştırma teknikleri arasında en hızlı işlem süresine sahip olanlardan biridir. İki bulanık kümenin birleşimi yerine cebirsel toplamlarının kullanılması ilkesine dayanmaktadır. Ancak, yöntemin temel sakıncalarından biri, örtüşen bölgelerin iki kez toplama dâhil edilmesi olup belirli durumlarda sonuçların sapmasına neden olabilmektedir. Durulaştırılmış değer, Denklem 3.14 ile hesaplanmakta olup yöntemin matematiksel yapısı, ağırlıklı ortalama durulaştırmasına benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte, toplamların merkezi yönteminde ağırlıklar, ilgili üyelik fonksiyonlarının alanlarına dayanmakta; ortalama ağırlıklar yönteminde ise ağırlıklar, doğrudan üyelik derecelerine göre belirlenmektedir. Yöntemin hızlı olması önemli bir avantaj sağlamakla birlikte, hassas uygulamalarda hata payı oluşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Toplamların merkezi yöntemi ile gerçekleştirilen durulaştırma işlemleri, Şekil 3.14'te görselleştirilmiştir.

$$Z^* = \frac{\int Z \sum_{k=1}^n \mu_k(z) dz}{\int \sum_{k=1}^n \mu_k(z) dz} \quad (3.14)$$



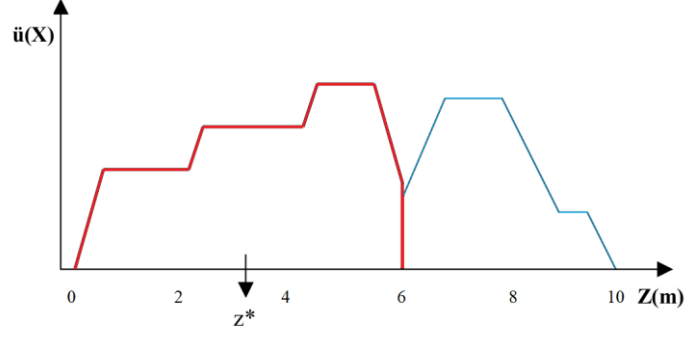
Şekil 3.14: Toplamların merkezi yöntemi ile durulaştırma.

### 3.4.7.6 En büyük alanın merkezi yöntemi

Eğer çıkış bulanık kümesi en az iki dış bükey alt bulanık küme içeriyorsa, durulaştırma işleminde en geniş alana sahip dış bükey bulanık kümenin ağırlık merkezi esas alınmaktadır. Şekil 3.15'te gösterilen durulaştırma süreci, ilgili matematiksel eşitlik doğrultusunda hesaplanmaktadır (Denklem 3.15). En büyük alana sahip dış bükey bulanık kümenin baskın olduğu alt bölgeyi,  $\tilde{U}_{eb\zeta}(Z)$  temsil etmektedir.

Bu yaklaşım, hesaplamalarda işlem süresini optimize etmek açısından avantaj sağlamakla birlikte, sistemin hassasiyetini etkileyebilecek bazı sınırlamalara sahiptir. Özellikle, en büyük alanlı dış bükey kümenin ağırlık merkezinin kullanılması, toplam sistem davranışını tam olarak yansıtamayabilir ve bazı durumlarda küçük ancak önemli bulanık bölgelerin etkisi göz ardı edilebilir. Bununla birlikte, çıkarım bulanık kümesi tamamen dış bükey olduğunda, sonuç  $z$ . sentroid yöntemi ile hesaplanan değer ile aynı olmaktadır. Bu da yöntemin belirli durumlarda oldukça isabetli sonuçlar verdiğini göstermektedir.

$$Z^* = \frac{\int \tilde{u}_{eb\zeta}(z)zdz}{\int \tilde{u}_{eb\zeta}(z)dz} \quad (3.15)$$



**Şekil 3.15:** En büyük alan merkezi ile durulaştırma.

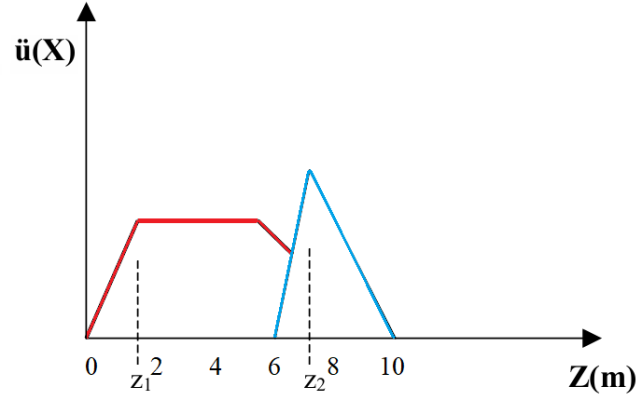
### 3.4.7.7 İlk veya son en yüksek üyelik derecesi

Bu yöntemde, elde edilen çıktıların birleşimi sonucu oluşan bulanık kümede, en yüksek üyelik derecesine sahip en küçük (veya en büyük) bulanık küme değerinin seçilmesi esasına dayanmaktadır.  $Z$  değeri için hesaplamalar aşağıdaki denklemler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. İlk olarak, bulanık küme çıkarımı  $B$  içinde, en büyük yükseklik değeri ( $Y_{eb}$ ) belirlenmektedir (Denklem 3.16):

$$Y_{eb}(B) = EB(\ddot{U}_B(Z)) \quad (3.16)$$

Daha sonra, birinci en büyük değer olan  $zzz$  hesaplanmaktadır. Alternatif bir yaklaşım olarak, en büyük değer ilk yerine son bulanık küme değeri üzerinden belirlenmesi mümkündür. Bu farklı durumlar, Şekil 3.16'da görselleştirilmiştir.

Bu yöntemin temel avantajı, hesaplamaların basit ve doğrudan olmasıdır. Ancak, en büyük üyelik derecesine sahip tek bir değer seçilmesi, daha geniş dağılımlı bulanık kümelerde bilgi kaybına neden olabilmektedir.



**Şekil 3.16:** En büyük ilk veya son üyelik derecesi durulaştırması.

#### 4. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağı (YSA), veriler üzerinde işlem yaparak öğrenme, örüntü tanıma, sınıflandırma, genelleme ve optimizasyon gibi işlevleri yerine getirebilen hesaplama sistemleridir. İnsan beyninin çalışma prensiplerini anlama çabaları, modern dijital teknolojilerin gelişimiyle birlikte hız kazanmış ve bu gelişmeler neticesinde yapay sinir ağı modelleri ortaya çıkmıştır. İnsan beyninin karmaşık yapısının ve öğrenme mekanizmasının taklit edilmesiyle geliştirilen bu sistemler, ileri düzey bilişsel yetenek gerektiren görevlerin makineler aracılığıyla gerçekleştirilmesini mümkün kılan önemli bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir.

Yapay zeka, insan zihninin işleyiş mantığını yazılım ortamına aktararak makinelerin daha akıllı ve verimli çalışmasını sağlayan bir yaklaşımdır. İnsan beyni, yaşantılar yoluyla bilgi edinme, edindiği bilgileri bütünleştirme ve çeşitli problemleri çözme kapasitesine sahiptir. Bu zihinsel süreçlerin makinelerle benzer biçimde yürütülebilmesi amacıyla yapay öğrenme algoritmaları geliştirilmiştir. Bu yöntem, insan beyninin sınırlı işlem hızını aşmak ve daha hızlı hesaplamalar yapılmasına imkân tanımak üzere tasarlanmıştır. Bu sayede makinelerin çevresel verileri işleyerek davranış üretebilme yetkinliği artmış ve bu yetenek, son yirmi yılda birçok alanda yaygın kullanım alanı bulmuştur. Bu çalışmada, yapay öğrenme tekniklerinden biri olan yapay sinir ağı ayrıntılı şekilde incelenmektedir.

Yapay sinir ağlarının temel çalışma yapısı, biyolojik sinir hücresinin işleyişinden esinlenerek oluşturulmuştur. Biyolojik bir nöron; hücre gövdesi, çekirdek ve iki farklı uzantıdan meydana gelir. Dış ortamdan gelen sinyalleri alan kısa ve çok dallı uzantılara dendrit, çıktıyı diğer nöronlara ileten uzun ve tek yapıya ise akson adı verilir. Dendrit ile aksonun bağlantı kurduğu nokta sinaps olarak tanımlanır. Bu yapı, alınan sinyalleri değerlendirir ve belirli bir eşik değeri aşıldığında sinyali bir sonraki nörona iletir.

Yapay sinir ağlarında, dış çevreden ya da diğer nöronlardan gelen bilgiler girdi olarak tanımlanır. Bu girdilerin sinir hücrelerine olan etkisi, bağlantı ağırlıkları ile belirlenir. Ağırlıklar, bir hücreden diğerine aktarılan bilginin sayısal katkısını ifade eder ve ağı

öğrenme sürecinde bu değerler güncellenir. Toplama işlemi, hücreye gelen girdilerin ağırlıklarıyla çarpılarak toplanmasını sağlar ve böylece hücreye ulaşan toplam etki (net girdi) hesaplanır. Ardından, bu net girdi aktivasyon fonksiyonu aracılığıyla işlenir ve hücrenin çıktısı belirlenir. Üretilen çıktılar, sistemin dışına aktarılabilen gibi, diğer hücrelere sinyal olarak da gönderilebilir.

Gelişen teknolojilerle birlikte yapay sinir ağları, özellikle görüntü ve ses işleme, robotik uygulamalar ve diğer yapay zeka temelli sistemlerde kayda değer başarılar elde etmiştir. YSA'lar, biyolojik sinir sistemlerinden esinlenerek oluşturulan, doğrusal olmayan ve çok katmanlı yapılara sahip modellerdir. Nöronlar arasındaki bağlantılar sayesinde veri işleme, öğrenme ve ağırlık/önyargı güncelleme süreçleri gerçekleşir; bu da ağırlık eğitimi sürecini oluşturur. Yapay sinir ağları, başta sınıflandırma, öngörü ve çözümleme gibi temel işlevleri yerine getirmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu modeller; finans sektörü, mühendislik uygulamaları, özellikle de hidrolojik modelleme gibi farklı disiplinlerde etkin şekilde kullanılmaktadır.

Bu tezde çok katmanlı yapay sinir ağlarının kullanılması, güzergah seçimi gibi belirsizlik içeren karmaşık bir problemin modellenmesinde geleneksel yöntemlere kıyasla daha üstün bir yaklaşım sergilemesidir. Bu modelleme tercihi, özellikle insan karar alma süreçlerinin doğasında bulunan kesin olmayan ve kişisel tercihlere bağlı faktörleri (mesafe, zaman, maliyet, trafik durumu vb.) dikkate alarak daha gerçekçi sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır. Çok katmanlı YSA'lar, bu tür problemleri esnek bir şekilde ele alarak, veriler arasındaki karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri başarılı bir şekilde öğrenir. Tezde kullanılan YSA modelinin yüksek bir regresyon katsayısı (R) ve düşük bir ortalama kare hata (MSE) değeri ile çalıştığı belirtilmesi, modelin tahmin yeteneğinin ve güvenilirliğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Regresyon katsayısı, modelin çıktıları ile gerçek değerler arasındaki korelasyonu ifade ederken, ortalama kare hata ise modelin yaptığı tahmin hatalarının büyüklüğünü ölçer. Bu istatistiksel sonuçlar, geliştirilen YSA modelinin, daha önce karşılaşmadığı veriler üzerinde bile tutarlı ve doğru tahminler yapabildiğini ve böylece ulaşım planlaması alanında pratik uygulamalar için daha geçerli bir araç olduğunu kanıtlamaktadır.

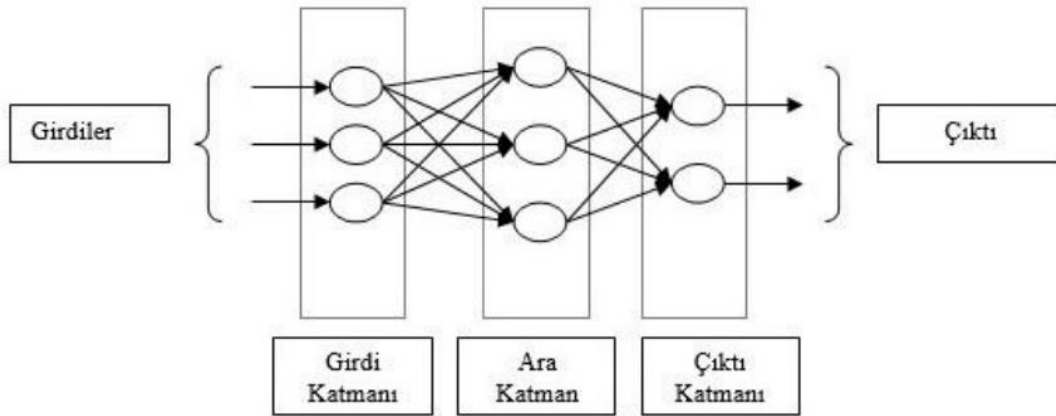
#### 4.1 Yapay Sinir Ağlarının Tarihsel Gelişimi

Yapay sinir ağlarının tarihsel gelişimi 1930'lu yıllara dayanmaktadır. Bu alandaki ilk kuramsal adım, 1933 yılında McCulloch ve Pitts tarafından atılmıştır. Geliştirdikleri model, biyolojik sinir hücrelerinin temel işlevlerini basit mantıksal işlemler yoluyla taklit etmeyi hedeflemiş ve insan beyninin işleyişini matematiksel bir yaklaşımla açıklamaya çalışmıştır. 1939 yılında Donald Hebb, öğrenmenin sinaptik bağlantıların güçlenmesiyle gerçekleştiğini öne süren Hebbian öğrenme kuralını ortaya koymuş ve bu görüş yapay sinir ağlarının teorik temelini oluşturmasına önemli katkılar sağlamıştır. 1950'li yıllarda IBM (International Business Machines) laboratuvarlarında nöral ağlara dayalı ilk simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve bu dönemde yapay nöronların bilgisayarlarda modellenmesi yönünde önemli adımlar atılmıştır. 1957 yılında Frank Rosenblatt tarafından geliştirilen Perceptron modeli, tek katmanlı bir yapıya sahip olup sınıflandırma görevlerinde kullanılabilen ilk yapay sinir ağı modeli olarak dikkat çekmiştir. Perceptron'un bu başarısına rağmen, 1969 yılında Marvin Minsky ve Seymour Papert tarafından yayımlanan çalışmada, Perceptron'un doğrusal ayrılabilir olmayan problemleri çözemediği gösterilmiş ve bu durum yapay sinir ağlarına olan ilgiyi uzun bir süre azaltmıştır.

1980'li yıllarda bu duraklama dönemi, geri yayılım algoritmasının geliştirilmesiyle son bulmuştur. Bu algoritma, çok katmanlı ağların eğitilmesini mümkün kılarak doğrusal olmayan problemlerin çözümüne olanak sağlamıştır. Aynı dönemde Teuvo Kohonen ve John Hopfield gibi araştırmacılar tarafından geliştirilen kendiliğinden organize olan haritalar ve geri beslemeli ağlar, yapay sinir ağlarının çeşitlenmesine ve daha karmaşık problemlerde uygulanmasına katkı sunmuştur. 1990'lı yıllarla birlikte yapay sinir ağları, yalnızca teorik çalışmalarla sınırlı kalmamış, görüntü işleme, konuşma tanıma, finansal tahmin, robotik sistemler ve sağlık uygulamaları gibi birçok alanda pratik çözümler üreten teknolojiler hâline gelmiştir. Geliştirilen modeller, artan işlem gücü ve veri miktarı ile birlikte daha karmaşık yapılara dönüşmüş ve derin öğrenme kavramı bu süreçte ortaya çıkmıştır. Günümüzde yapay sinir ağları, büyük veri analitiği ile entegre şekilde çalışarak yapay zekanın en güçlü araçlarından biri olarak konumlanmakta ve giderek daha geniş bir kullanım alanına ulaşmaktadır.

## 4.2 Yapay Sinir Hücresinin Yapısı

Yapay sinir ağlarının temelini oluşturan yapay sinir hücreleri, biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirilmiş, bilgi işleme ve öğrenme yeteneklerine sahip matematiksel modellerdir. Yapay sinir hücresi yapısal olarak beş ana bileşenden oluşmaktadır (Şekil 4.1). Bu bileşenler; veri girişleri (girdiler), girdi katmanı, ara katmanı, çıktı katmanı ve çıktı birimi şeklinde sıralanmaktadır.



Şekil 4.1: Yapay sinir ağlarının yapısı (Seçmen ve Patır, 2024).

Bir yapay sinir ağının istenen çıktıyı üretebilmesi için, öncelikle belirli veri kümeleriyle eğitilmesi gerekmektedir. Eğitim süreci sonucunda ağ, sunulan veriler üzerinden genelleme yapabilme ve karar verme yetisini kazanmaktadır. Bu öğrenme yeteneği sayesinde, sistem belirli girdilere karşılık anlamlı çıktılar üretebilmektedir. Söz konusu süreç, matematiksel olarak Denklem 4.1 ile ifade edilmektedir.

$$C = \sum_{i=1}^n W_{ij} X_i + b \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'de c, ağı çıktısını; w, ağırlık matrislerini; x, giriş matrisini; n, giriş sayısını; b, bias değerini ve f, aktivasyon fonksiyonunu ifade etmektedir. Yapay sinir ağları, paralel dağıtılmış ağlar, bağlantılı ağlar ve nöromorfik ağlar gibi farklı isimlerle de anılmaktadır.

Girdiler, yapay sinir ağının dış çevreden ya da diğer sinir hücrelerinden aldığı bilgileri ifade etmektedir. Ağırlıklar, sinir hücreleri arasındaki bağlantıların etkisini gösteren katsayılardır ve bir bilginin ilgili hücre üzerindeki önem düzeyini belirlemektedir. Toplama fonksiyonu, bu ağırlıklı girdilerin matematiksel toplamını hesaplayarak hücreye iletilecek net girdiyi oluşturmaktadır. Elde edilen bu net giriş değerı, aktivasyon fonksiyonu tarafından değerlendirilmekte ve sistemin çıktısı bu aşamada üretilmektedir. Oluşan ıktı, dış çevreye aktarılabilceği gibi başka bir sinir hücresine ya da ilgili hücreye geri besleme olarak da yönlendirilebilmektedir.

## 5. ROTA SEÇİMİ

Ulaşım, günlük yaşamın temel unsurlarından biri olup, rota (güzergah) ve ulaşım modu seçimiyle şekillenmektedir. Özellikle bireysel ulaşım yöntemlerini (özel araç, bisiklet, yaya gibi) tercih eden kullanıcılar için güzergah seçimi, seyahat süresini doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Günümüz metropollerinde artan trafik yoğunluğu nedeniyle, güzergah seçimi yol kullanıcıları açısından stratejik bir karar niteliği taşımaktadır. Literatürde yaygın olarak kabul edilen yaklaşım, bireylerin alternatif güzergahları çeşitli maliyet unsurlarını dikkate alarak değerlendirmesi ve en düşük maliyetli güzergahı tercih edeceği varsayımına dayanmaktadır. Bununla birlikte, iki nokta arasındaki güzergah tercihleri, bireysel algı farklılıkları ve trafik sıklığı gibi temel değişkenler doğrultusunda farklılık gösterebilmektedir.

Güzergah seçimini etkileyen başlıca faktörler; seyahat süresi, mesafe, maliyet (yakıt tüketimi ve diğer harcamalar), trafik işaretleri, trafik yoğunluğu ve kuyruklanma durumu, yolun fiziksel özellikleri, çevresel faktörler (örneğin manzara ve alışveriş olanakları), yol çalışmaları ve bireysel alışkanlıklardır. Ancak, tüm bu değişkenlerin aynı anda modellenmesi pratik olmadığı için genellikle zaman ve maliyet değişkenleri öncelikli olarak ele alınmaktadır. Özellikle şehir içi ulaşımında, seyahat süresi en belirleyici parametrelerden biri olarak öne çıkmaktadır.

Ulaşım ağında güzergah seçimi, hem ulaşım planlamacıları hem de yol kullanıcıları açısından çok boyutlu bir optimizasyon problemidir. Seyahat süresi, trafik yoğunluğu, çevresel faktörler ve güvenlik unsurları, kullanıcıların güzergah tercihlerinde belirleyici olmaktadır. Örneğin, bir güzergahın alternatiflere kıyasla daha kısa sürede ulaşım sağlaması, zaman faktörünün önemini vurgulamaktadır. Güvenlik faktörü ise, güzergah üzerindeki kaza riski ile doğrudan ilişkilidir ve bu bağlamda geçmiş trafik kazası verileri analiz edilerek belirlenmektedir. Trafik sıklığı düzeyi, güzergah üzerindeki araç yoğunluğunun yol kapasitesine oranlanmasıyla hesaplanırken, çevresel faktörler genellikle subjektif değerlendirmeler ve puanlama yöntemleri ile ölçülmektedir.

Klasik ulaşım talebi modellemesinin son aşaması olan trafik ataması süreci, güzergah seçim kararlarına dayanmaktadır. Yol kullanıcıları, başlangıç ve varış noktaları arasındaki alternatif güzergahları değerlendirirken algıladıkları maliyetleri dikkate alarak karar

vermektedir. Bu süreçte seyahat süresi, trafik güvenliği, mesafe, maliyet ve trafik yoğunluğu gibi çeşitli değişkenler etkili olmaktadır. Ancak, tüm bu parametrelerin eş zamanlı olarak modellenmesi pratik olmadığından, genellikle zaman ve maliyet değişkenleri öncelikli olarak ele alınmaktadır.

## **5.1 Rota Belirleme Modelleri**

Rota belirleme problemleri, Ulaşım Bilimleri, Operasyonel Araştırmalar ve Yapay Zeka gibi birçok disiplinde geniş bir araştırma alanını temsil etmektedir. En kısa, en hızlı veya en ekonomik yolu bulmaktan çok daha fazlasını içeren bu problemler, özellikle modern kentlerde sürücü davranışlarının karmaşıklığı, trafik dinamikleri ve çok sayıda karar kriterinin varlığı nedeniyle oldukça zorlayıcıdır. Geleneksel rota belirleme algoritmaları, genellikle tek bir optimize edilecek kritere (mesafe veya zaman) odaklanırken, gerçek dünya senaryolarında sürücülerin karar verme süreçleri çok daha fazla faktörden etkilenmektedir.

### **5.1.1 Bulanık mantık (BM) tabanlı modeller**

Bulanık mantık, insan düşünme süreçlerindeki belirsizliği ve esnekliği matematiksel olarak modelleme yeteneği sunar. Rota belirleme bağlamında, BM modelleri, Mesafe, Zaman, Maliyet ve Trafik Durumu gibi kriterlerin "Kısa", "Uzun", "Yoğun", "Akıcı" gibi niteliksel bulanık terimlerle ifade edilmesine olanak tanır. "EĞER-İSE" kuralları aracılığıyla, sürücülerin bu bulanık kriterlere dayalı tercihleri temsil edilir. Bu yaklaşım, özellikle kriterler arasındaki doğrusal olmayan ve sezgisel ilişkileri yakalamada etkilidir ve modelin yorumlanabilirliğini artırır. Çalışmamızda, on adet rota seçimi kriteri için bulanık üyelik fonksiyonları tanımlanarak sürücü davranışının modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

### **5.1.2 Yapay sinir ağları (YSA) tabanlı modeller**

Giriş katmanı, dış ortamdan veya sistemden alınan verileri ağ içerisine iletmektedir. Rota seçimi problemi özelinde, bu katmanda yer alan nöronlara mesafe, zaman, maliyet, trafik durumu, yol kalitesi, trafik ışıkları, güvenlik, erişilebilirlik, çevresel faktörler ve ulaşım modu gibi on adet belirleyici kriter sayısal biçimde beslenmektedir. Bu kriterlerin her biri, geçmiş sürücü davranışları ya da gerçek trafik verileriyle ilişkilendirilerek öğrenme sürecine katkı sağlamaktadır. Gizli katmanlar, giriş verileri üzerinden karmaşık örüntüleri ve ilişkileri öğrenerek sistemin karar verme kapasitesini oluşturmaktadır. Bu katmanların yapısı, yani nöron sayısı ve katman derinliği, modelin öğrenme yeteneğini ve genel başarımını doğrudan

etkilemektedir. Çıkış katmanı ise, işlenen veriler doğrultusunda rota tercih olasılığı gibi çıktılar üretmektedir.

## 6. BULANIK MANTIK TABANLI ROTA SEÇİM MODELİ

### 6.1 Verilerin Anket Yöntemiyle Elde Edilmesi

#### 6.1.1 Anket formunun tasarımı

Bu çalışmada, Balıkesir İli merkez ilçeleri olan Karesi ve Altıeylül İlçe sınırları içerisinde ulaşım hizmeti alan yol kullanıcılarının tercih edebileceği alternatif güzergah seçeneklerinin belirlenmesi ve bu güzergahlar arasındaki seçim davranışlarının modellenmesi amaçlanmıştır. Söz konusu güzergahlar, yolculuk başlangıç ve bitiş noktaları sabit tutularak, mevcut kent içi ulaşım altyapısı ve trafik yoğunluğu verileri dikkate alınmak suretiyle oluşturulmuştur.

Yolculukların başlangıç ve bitiş noktaları, kent içi ulaşım açısından önemli bir aks üzerinde yer alan Sanayi 2. Kapı ile Yeni İzmir Yolu üzerindeki Yeni Çayırhisar Kavşağı olarak tanımlanmıştır. Bu iki nokta arasındaki güzergahlar, hem gidiş hem de dönüş yönü için ayrı ayrı ele alınarak toplam 10 tane alternatif oluşturulmuştur. Bu güzergahlar, her iki merkez ilçeyi de kapsayan ve kullanıcıların yönsel tercihlerini yansıtacak nitelikte düzenlenmiştir.

Alternatif güzergahlar arasında yapılan tercihler, yapılandırılmış bir anket formu aracılığıyla toplanan verilerle değerlendirilmiştir. Anket, tamamı Balıkesir kent merkezinde ikamet eden veya bu güzergah üzerinde düzenli olarak ulaşım sağlayan katılımcılara uygulanmıştır. Katılımcıların her bir güzergahı değerlendirmesi sırasında dikkate aldığı kriterler; yolculuk süresince kat edilen mesafe, bu yolculuk için harcanan zaman, ulaşım maliyeti, güzergah üzerindeki trafik yoğunluğu, yol kalitesi ve sürüş konforu, trafik ışıkları ve kavşaklar, güzergahın güvenliğine dair algı, kent içi ulaşım ağlarıyla olan bağlantı düzeyi ve erişilebilirlik, çevresel faktörler ile bireysel alışkanlıklar gibi içsel tercihler ile ulaşım modudur.

Çalışmada değerlendirilen alternatif güzergahlar aşağıdaki gibidir:

- Güzergah 1: Sanayi 2. Kapı – Bandırma Caddesi (Cd.) – Vasıfçınar Cd. – Stadyum Cd. – 100. Yıl Teknik Lisesi Cd. – Savaştepe Cd. – Yeni İzmir Cd.
- Güzergah 2: Sanayi 2. Kapı – Bandırma Cd. – Vasıfçınar Cd. – Yeni İzmir Cd.

- Güzergah 3: Sanayi 2. Kapı – 339. Sk. – 209. Sk. – Demiryolu Üst Geçidi – Yıldırım Cd. – Cengiz Topel Cd. – Stadyum Cd. – Mehmetçik Cd. – Beyoğlu Cd. – Savaştepe Cd. – Yeni İzmir Cd.
- Güzergah 4: Sanayi 2. Kapı – Bandırma Cd. – 339. Sk. – 209. Sk. – Demiryolu Üst Geçidi – Yıldırım Cd. – Rüzgar Cd. – Savaştepe Cd. – Yeni İzmir Cd.
- Güzergah 5: Sanayi 2. Kapı – Bandırma Cd. – 339. Sk. – Kepsut Cd. – Atatürk Cd. – Ofis Cd. – Azerbaycan Cd. – Yıldırım Cd. – Rüzgar Cd. – Yuvam Sk. – 100. Yıl Teknik Lisesi Cd. – Yeni Çayırhisar Yolu – Yeni İzmir Cd.
- Güzergah 6: Sanayi 2. Kapı – Bandırma Cd. – Atatürk Cd. – Mustafa Tepmeci Myd. – Fatih Sultan Mehmet Cd. – Cengiz Topel Cd. – Stadyum Cd. – Mehmetçik Cd. – Beyoğlu Cd. – Savaştepe Cd. – Yeni İzmir Cd.
- Güzergah 7: Sanayi 2. Kapı – Bandırma Cd. – Vasıfçınar Mh. – Gazi Blv. – (Turan Cd. – Anafartalar Cd.) / (Örücüler Cd. – Atalar Cd.) – Anafartalar Cd. – Soma Cd. – Yakup Şevki Paşa Cd. – Dokuma Cd. – 190. Sk. – 334. Sk. – Yeni İzmir Cd.
- Güzergah 8: Sanayi 2. Kapı – Atatürk Blv. – Çengel Cd. – Sıtkı Yırcalı Cd. – Mehmet Akif Ersoy Cd. – Çevreyolu Cd. – Ertuğrul Gazi Cd. – Semra Sk. – Eski Beyköy Yolu – Kıyı Sk. – 1. Başpınar Sk. – Dr. Ahmet Toprak Cd. – Gazi Blv. – Vasıfçınar Cd. – Yeni İzmir Cd.
- Güzergah 9: Sanayi 2. Kapı – Bandırma Cd. – Balıkesir-İzmir Çevre Yolu – Yeni İzmir Yolu
- Güzergah 10: Sanayi 2. Kapı – 9. Sk. – 369. Sk. – Faruk Kula Cd. – Balıkesir-İzmir Çevre Yolu – Yeni İzmir Yolu

Bu çalışmada incelenen güzergahlar, Balıkesir kent merkezinde Sanayi 2. Kapı ile Yeni İzmir Caddesi arasında tanımlanmıştır. Başlangıç ve bitiş noktalarının bu şekilde belirlenmesinin temel nedeni, söz konusu koridorun kent içi ulaşımında yüksek yolculuk talebine sahip olması ve günlük trafik hareketliliğinin yoğun olarak gözlemlendiği bir aks üzerinde bulunmasıdır. Bu iki nokta, kentin sanayi bölgesi ile merkezi iş ve yerleşim alanlarını birbirine bağladığı için, kullanıcıların farklı ulaşım ihtiyaçlarını temsil edebilecek niteliktedir.

Seçilen güzergahların belirlenmesinde ise şu kriterler dikkate alınmıştır:

- Ulaşım Talebinin Yoğunluğu: Başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki güzergahlar, Balıkesir kent merkezinde yolculuk talebinin en yüksek olduğu bölgelerden geçmektedir.
- Alternatif Çeşitliliği: Çalışmaya dahil edilen 10 güzergah, aynı iki nokta arasında farklı yol seçenekleri sunarak kullanıcıların mesafe, zaman, maliyet, trafik yoğunluğu, güvenlik, konfor ve çevresel faktörlere göre farklı tercihler yapabilmesine olanak tanımaktadır.
- Kentsel Ulaşımın Temsil Gücü: Güzergahlar, kent merkezindeki ana arterleri, tali yolları ve kavşak düzenlerini kapsamakta, böylece Balıkesir'in kent içi ulaşım karakteristiğini temsil etmektedir.
- Uygulama ve Veri Toplama Kolaylığı: Anket uygulamaları açısından kullanıcıların aşına olduğu, sık kullanılan güzergahların seçilmesi, veri toplamanın güvenilirliğini artırmıştır.

Bu çerçevede, başlangıç ve bitiş noktaları ile güzergahların seçimi, Balıkesir kent merkezindeki gerçek yolculuk davranışlarını temsil etme, alternatif tercihler arasındaki farklılıkları yansıtmaya ve ulaşım sistemine ilişkin kapsamlı bir analiz yapma amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu çok kriterli değerlendirme yaklaşımı, katılımcıların güzergah tercihlerinde hangi faktörlerin baskın olduğunu ortaya koymakta ve daha sonra uygulanacak bulanık mantık tabanlı çok kriterli karar verme modellerine girdi sağlamaktadır.

Tezin ekler bölümünde yalnızca Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine yönelik güzergah bilgileri ve on adet kritere göre tercih puanlandırma (1'den 10'a kadar puan) sorularının anket görüntülerine yer verilmiştir. Aynı anket soruları, Karesi İlçesinden Altıeylül İlçesine yönelik uygulamada da kullanılmıştır. Ancak tekrara düşmemek ve ekler bölümünde gereksiz kalabalık oluşturmamak amacıyla yalnızca bir yöndeki uygulama örnekleri sunulmuştur.

### **6.1.2 Anket verilerinin analizi ve değerlendirilmesi**

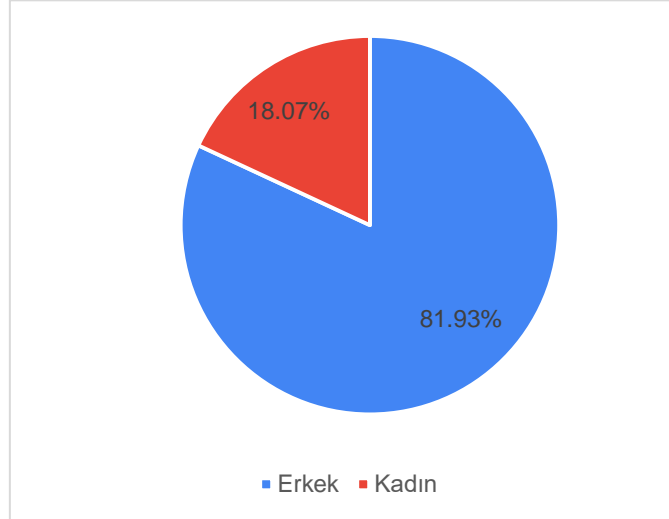
Katılımcıların demografik özellikleri, çalışmanın güvenilirliğini ve elde edilen bulguların yorumlanabilirliğini artırmak açısından önemli bir yere sahiptir. Bu doğrultuda, cinsiyet,

eğitim durumu, ikamet edilen ilçe ve yaş bilgilerine dayalı olarak yapılan analizler, araştırma grubunun genel profilini ortaya koymaktadır.

Katılımcıların cinsiyet dağılımını incelendiğinde, %81,93'ünün (n=68) erkek, %18,07'sinin (n=15) ise kadın olduğu belirlenmiştir (Tablo 6.1). Bu durum, kent içi ulaşım tercihlerini etkileyen faktörlerin değerlendirilmesinde erkek katılımcıların görüşlerinin ağırlıklı olduğunu ve toplumsal cinsiyet dağılımının çalışmaya yansıdağını göstermektedir. Kadın katılım oranının sınırlı olması, ulaşım alanındaki araştırmalarda toplumsal cinsiyet temsiliyetinin hâlá önemli bir mesele olduğunu ortaya koymaktadır. Bu veriler, görsel olarak Şekil 6.1'de sunulan pasta grafiği ile de desteklenmektedir.

**Tablo 6.1:** Ankete katılanların cinsiyete göre dağılımını

Cinsiyet	Frekans (n)	Yüzde (%)
Erkek	68	81,93
Kadın	15	18,07
<b>Toplam</b>	<b>83</b>	<b>100</b>



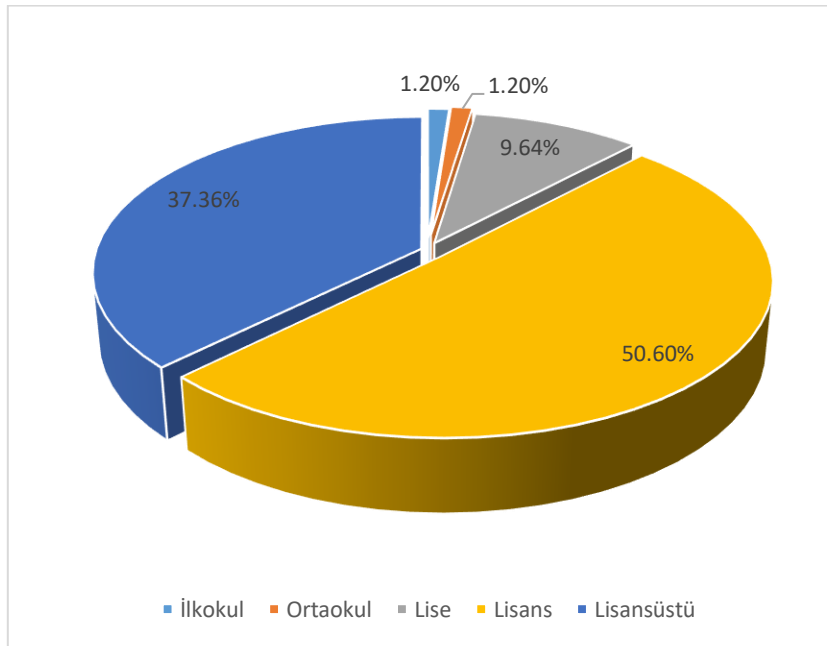
**Şekil 6.1:** Ankete katılanların cinsiyet dağılımını.

Eğitim durumu açısından değerlendirildiğinde, katılımcıların büyük çoğunluğunun yükseköğretim düzeyinde eğitime sahip olduğu görülmektedir. Katılımcıların %50,6'sı (n=42) lisans, %37,36'sı (n=31) ise lisansüstü eğitim düzeyine sahiptir (Tablo 6.2). Lise mezunlarının oranını %9,64 (n=8) olup, ilkokul ve ortaokul mezunlarının oranını ise her biri için %1,2 (n=1) düzeyindedir. Bu dağılım, ankete katılan bireylerin büyük ölçüde eğitilmiş bir

profilden oluştuğunu ve ulaşım ile ilgili tercihlerini rasyonel bir çerçevede değerlendirme eğiliminde olduklarını göstermektedir. Bu veriler, görsel olarak Şekil 6.2’de sunulan pasta grafiği ile de desteklenmektedir.

**Tablo 6.2:** Ankete katılanların eğitim durum dağılımı

Eğitim Durumu	Frekans (n)	Yüzde (%)
İlkokul	1	1,2
Ortaokul	1	1,2
Lise	8	9,64
Lisans	42	50,6
Lisansüstü	31	37,36
<b>Toplam</b>	<b>83</b>	<b>100</b>



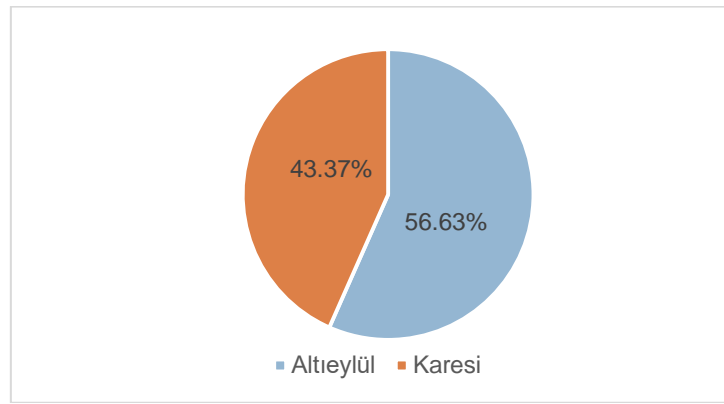
**Şekil 6.2:** Ankete katılanların eğitim durumu dağılımı.

İkamet edilen ilçe bilgilerine bakıldığında, katılımcıların %56,63’ü (n=47) Altıeylül, %43,37’si (n=36) ise Karesi ilçesinde ikamet etmektedir (Tablo 6.3). Her iki ilçenin nüfus büyüklükleri ve kentsel yayılım özellikleri dikkate alındığında, Şekil 6.3’te bu dağılımın dengeli olduğu ve güzergah tercihlerine ilişkin kullanıcı eğilimlerinin mekansal temsil açısından yeterli düzeyde kapsandığı değerlendirilmektedir. Ayrıca katılımcıların yaş bilgileri de dikkate alınmış ve yaş ortalamasının 53 olduğu belirlenmiştir. Bu veri, ulaşım

ilişkin kararların daha çok orta ve ileri yaş grubundaki bireyler tarafından verildiğini, dolayısıyla modelin bu yaş grubunun deneyim ve beklentilerini yansıtacak şekilde oluşturulması gerektiğini göstermektedir.

**Tablo 6.3:** Ankete katılanların ikamet ettiği ilçe

İkamet Edilen İlçe	Frekans (n)	Yüzde (%)
Altıeylül	47	56,63
Karesi	36	43,37
<b>Toplam</b>	<b>83</b>	<b>100</b>

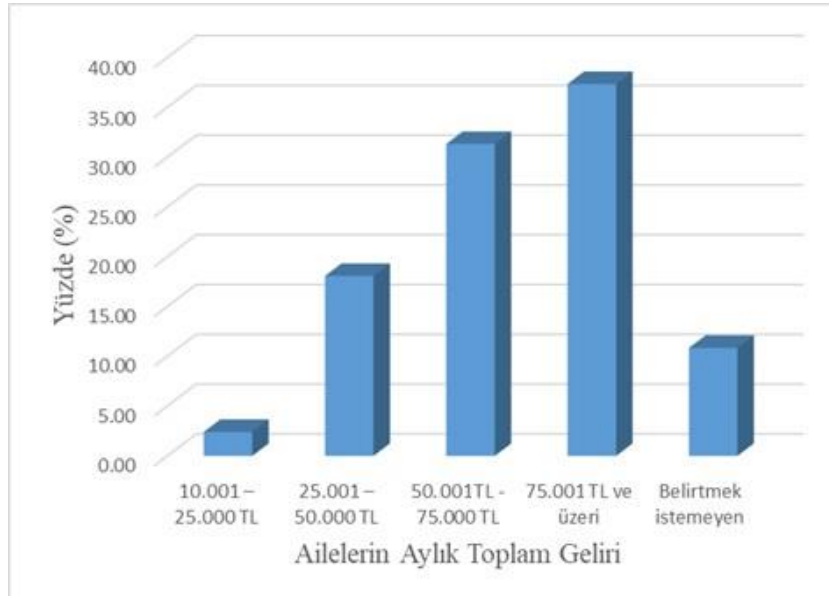


**Şekil 6.3:** Ankete katılanların ikamet ettiği ilçe dağılımı.

Katılımcıların ailesinin aylık toplam gelir dağılımı incelendiğinde, en yüksek payın %37,35 ile 75.001 Türk Lirası (TL) ve üzeri gelir grubuna ait olduğu görülmektedir. Bunu %31,33 ile 50.001-75.000 TL aralığı takip etmektedir. Katılımcıların %18,07'si 25.001-50.000 TL aralığında, %2,41'i ise 10.001-25.000 TL gelir grubunda yer almakta olup, %10,84'lük bir kesim bu bilgiyi paylaşmamıştır (Tablo 6.4, Şekil 6.4). Bu durum, örnekleme yüksek gelir düzeyine sahip bireylerin ağırlıkta olduğunu ortaya koymaktadır.

**Tablo 6.4:** Ankete katılanların ailesinin aylık toplam geliri

Hanelerin Ulaşılabilir Bütçe	Frekans (n)	Yüzde (%)
10.001 – 25.000 TL	2	2,41
25.001 – 50.000 TL	15	18,07
50.001 TL - 75.000 TL	26	31,33
75.001 TL ve üzeri	31	37,35
Belirtmek istemeyen	9	10,84
<b>Toplam</b>	<b>83</b>	<b>100</b>

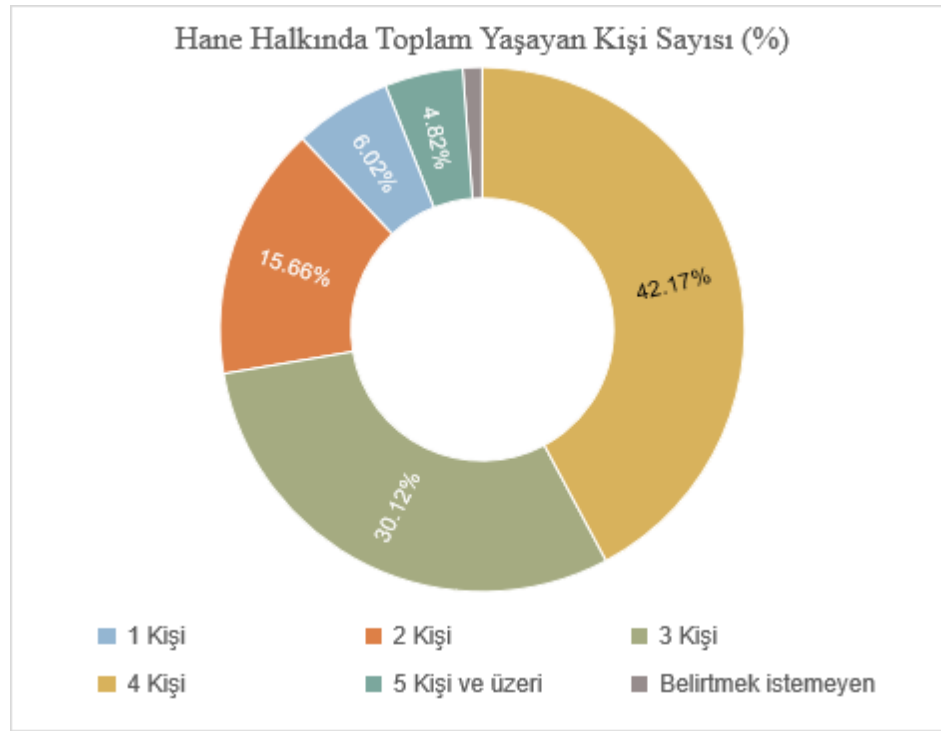


**Şekil 6.4:** Ankete katılanların ailesinin aylık toplam geliri.

Hane halkında yaşayan toplam kişi sayısı verileri incelendiğinde, %42,17 oranı ile 4 kişilik hanelerin baskın olduğu görülmektedir. Bu grubu %30,12 ile 3 kişilik ve %15,66 ile 2 kişilik haneler izlemektedir. Tek kişilik hane oranı %6,02 iken, 5 kişi ve üzeri kalabalık haneler yalnızca %4,82 oranında temsil edilmektedir. %1,20 oranında katılımcı ise bu bilgiyi belirtmemiştir (Tablo 6.5, Şekil 6.5). Bu veriler, katılımcıların büyük çoğunluğunun orta büyüklükte aile yapısına sahip olduğunu göstermektedir.

**Tablo 6.5:** Ankete katılanların hane halkında toplam yaşayan kişi sayısı

Hane Halkında Toplam Yaşayan Kişi Sayısı	Frekans (n)	Yüzde (%)
1 Kişi	5	6,02
2 Kişi	13	15,66
3 Kişi	25	30,12
4 Kişi	35	42,17
5 Kişi ve üzeri	4	4,82
Belirtmek istemeyen	1	1,20
<b>Toplam</b>	<b>83</b>	<b>100</b>

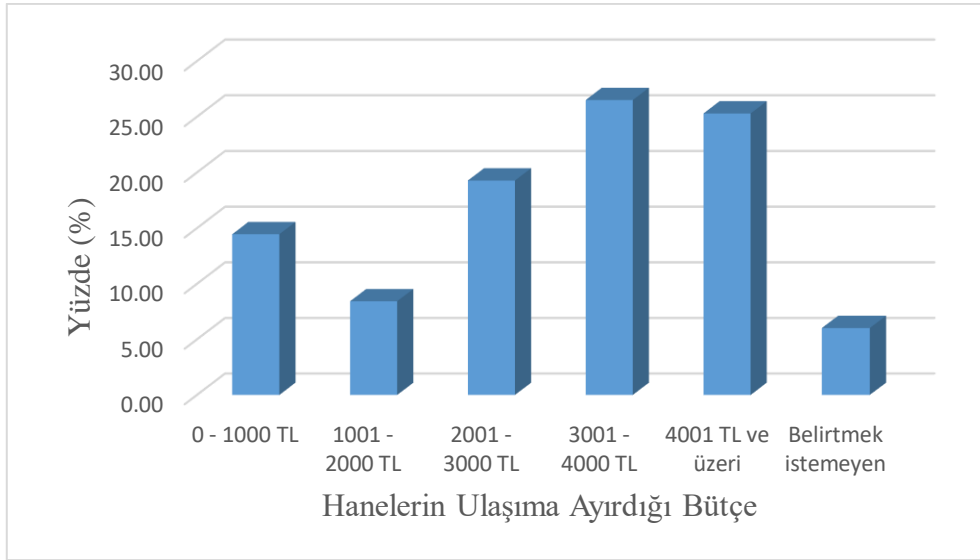


**Şekil 6.5:** Ankete katılanların hane halkında toplam yaşayan kişi sayısı.

Hanelerin ulaşımaya ayırdığı aylık bütçe dağılımına bakıldığında, %26,51 ile 3001-4000 TL aralığının en yüksek orana sahip olduğu görülmektedir. Bunu %25,30 ile 4001 TL ve üzeri harcama yapan haneler takip etmektedir. Katılımcıların %19,28'i 2001-3000 TL, %8,43'ü 1001-2000 TL ve %14,46'sı 0-1000 TL aralığında ulaşımaya bütçe ayırmaktadır. %6,02'lik kesim ise bu bilgiyi paylaşmamıştır (Tablo 6.6 ve Şekil 6.6). Bu bulgular, ulaşımaya yönelik harcamalarda orta ve yüksek bütçeli grupların öne çıktığını göstermektedir.

**Tablo 6.6:** Ankete katılan hanelerin ulaşımına ayırdığı bütçe

Hanelerin Ulaşımına Ayırdığı Bütçe	Frekans (n)	Yüzde (%)
0 - 1000 TL	12	14,46
1001 - 2000 TL	7	8,43
2001 - 3000 TL	16	19,28
3001 - 4000 TL	22	26,51
4001 TL ve üzeri	21	25,30
Belirtmek istemeyen	5	6,02
<b>Toplam</b>	<b>83</b>	<b>100</b>



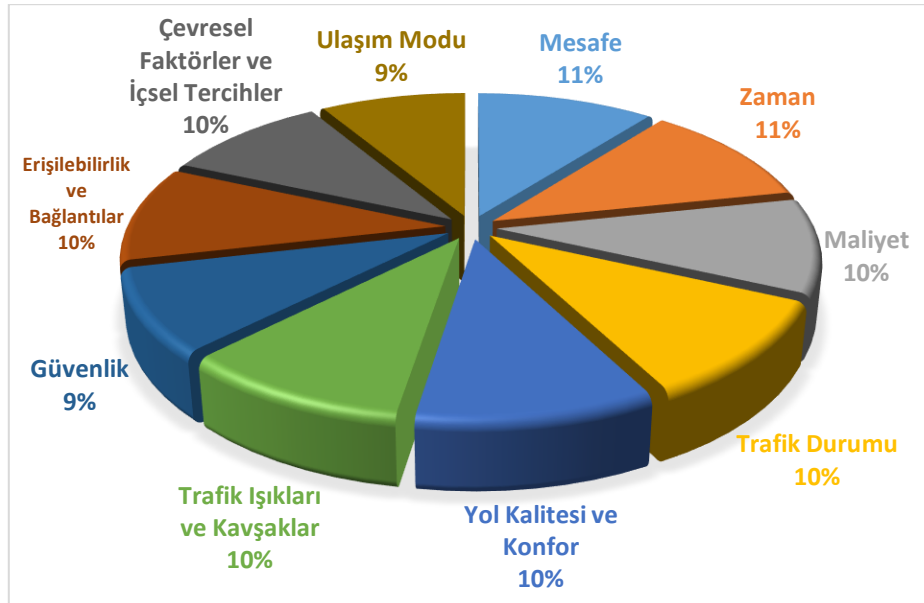
**Şekil 6.6:** Ankete katılan hanelerin ulaşımına ayırdığı bütçe.

Anket çalışmasında katılımcılardan, her bir güzergaha ilişkin tercih düzeylerini puanlamaları istenmiştir. Bu kapsamda, her bir güzergah için verilen puanlar ile bu puanı veren kişi sayılarının çarpılmasıyla ağırlıklı puanlar hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 6.8). Daha sonra, bu ağırlıklı puanların toplamı esas alınarak her bir güzergahın yüzdesel dağılımı belirlenmiştir. Böylece, güzergahların görece tercih edilebilirlik düzeyleri daha net bir şekilde ortaya konmuştur.

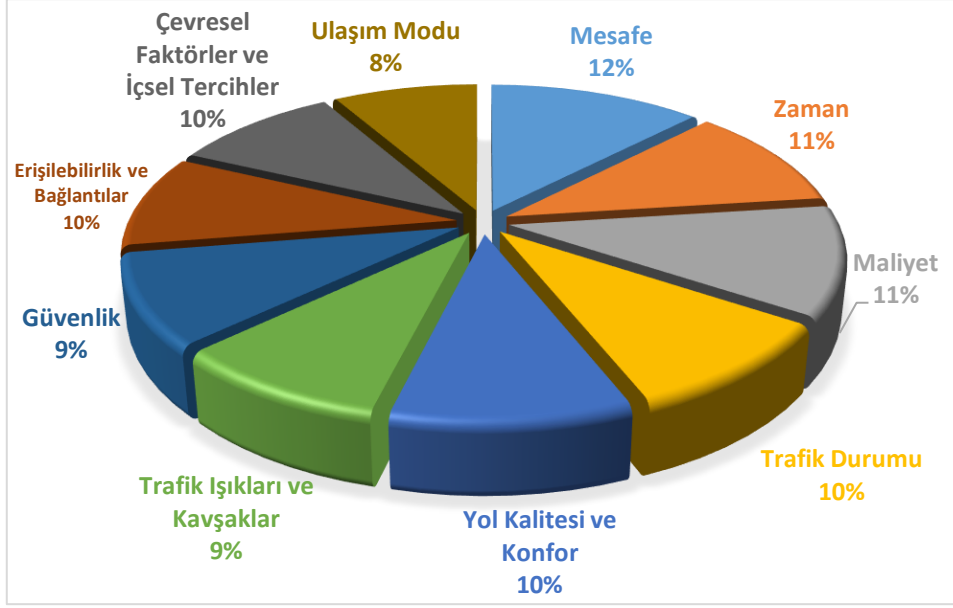
Bulgular, Karesi İlçesinden Altıeylül İlçesine ve ters yönde gerçekleştirilen güzergah seçimlerinde, mesafe, zaman ve trafik yoğunluğu kriterlerinin, karar sürecinde en yüksek ağırlıklarla öne çıktığı tespit edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, bazı güzergahlarda mesafe kriterinin %13'e, zaman ve trafik yoğunluğu kriterlerinin ise %12-13

aralığına kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum, kullanıcıların güzergah tercihinde en çok hızlı ulaşım ve verimli hareket kabiliyeti beklentisine odaklandıklarını açıkça ortaya koymaktadır.

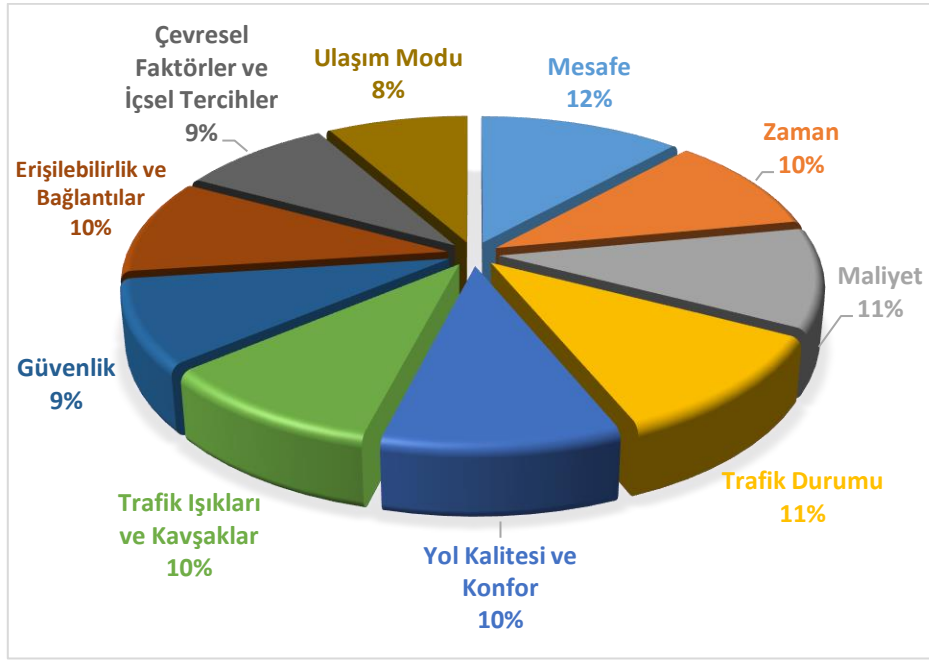
Her iki yönlü değerlendirmede, güzergah 1, 3, 5, 7 ve 8'in özellikle zaman tasarrufu ve düşük trafik yoğunluğu açısından ön planda tercih edildiği; buna karşılık güzergah 4 ve 6'nın daha çok yol kalitesi ve sürüş konforu bakımından öne çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca ulaşım modu, erişilebilirlik ve bağlantılar, güvenlik, çevresel etkenler ve içsel tercihler gibi kriterlerin genel olarak %7-%9 aralığında kaldığı görülmektedir. Bu durum, söz konusu kriterlerin kullanıcı tercihlerinde ikincil öneme sahip olduğunu, ancak tamamen göz ardı edilmediğini göstermektedir. Özellikle güvenlik ve çevresel etkilerin daha düşük oranlarda kalması, kısa vadeli fayda (zaman ve mesafe) beklentilerinin uzun vadeli sürdürülebilirlik faktörlerinin önüne geçtiğine işaret etmektedir ve aşağıda Karesi'den Altıeylül yönünde katılımcıların güzergah tercih eğilimleri detaylı olarak sunulmuştur (Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11, Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16).



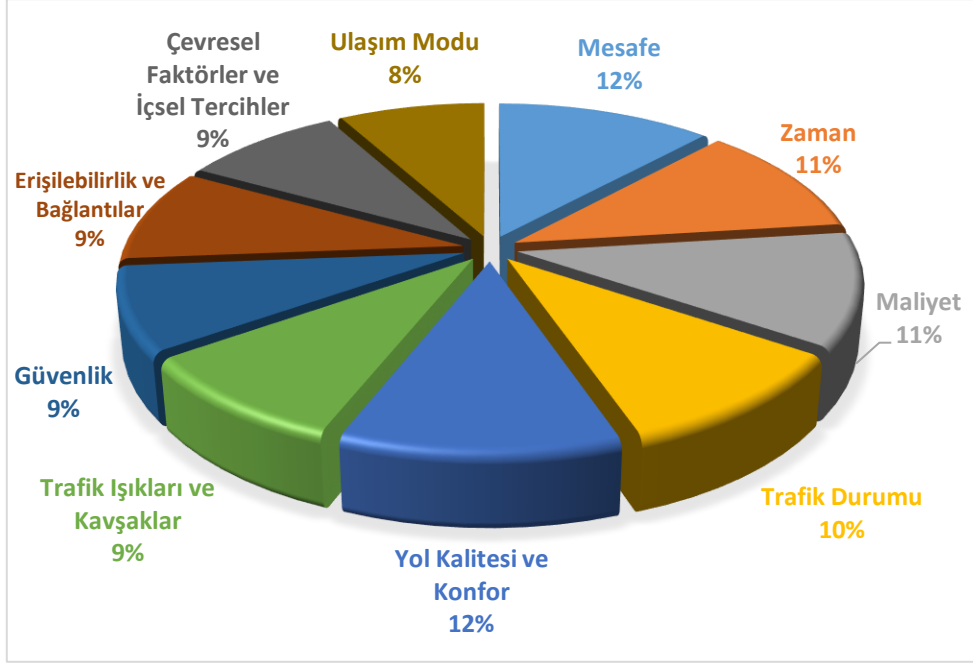
**Şekil 6.7:** Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 1'in tercih dağılımı.



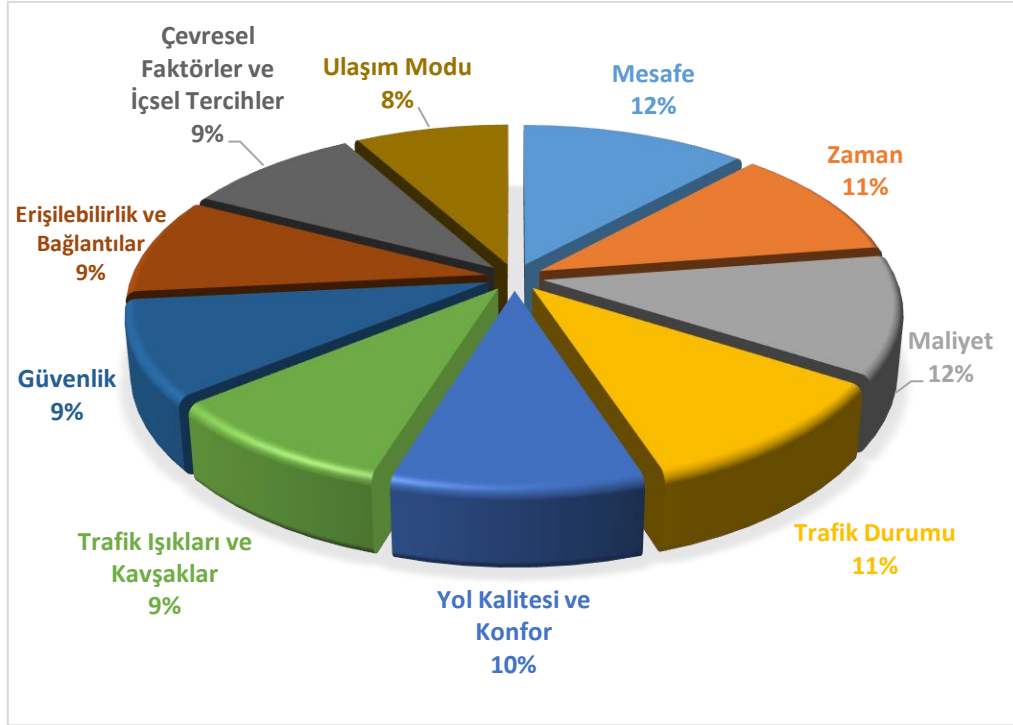
**Şekil 6.8:** Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 2'nin tercih dağılımı.



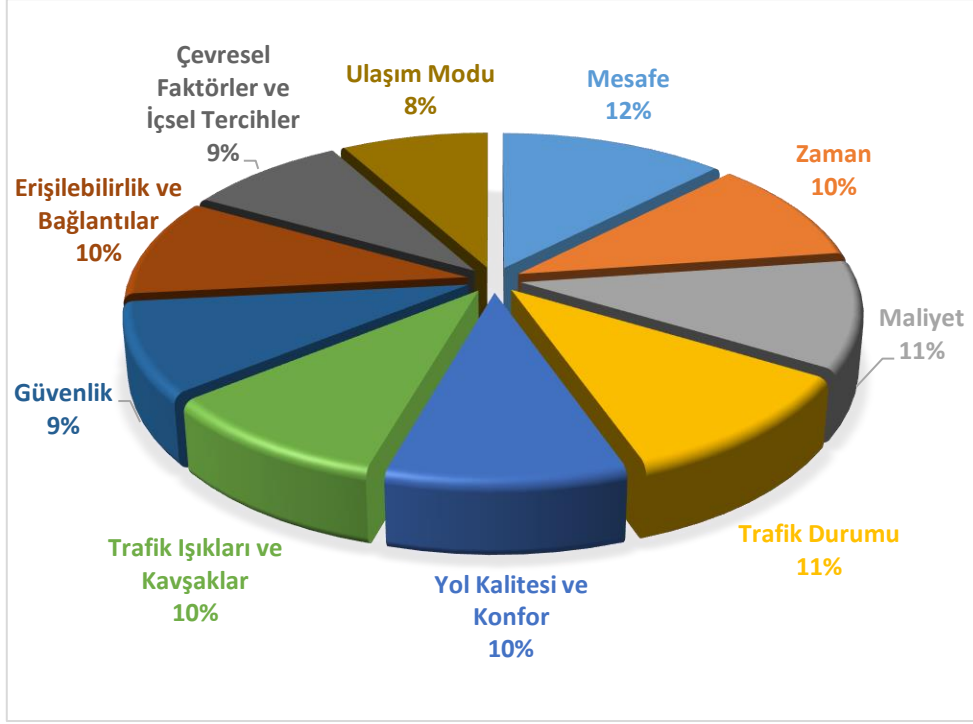
**Şekil 6.9:** Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 3'ün tercih dağılımı.



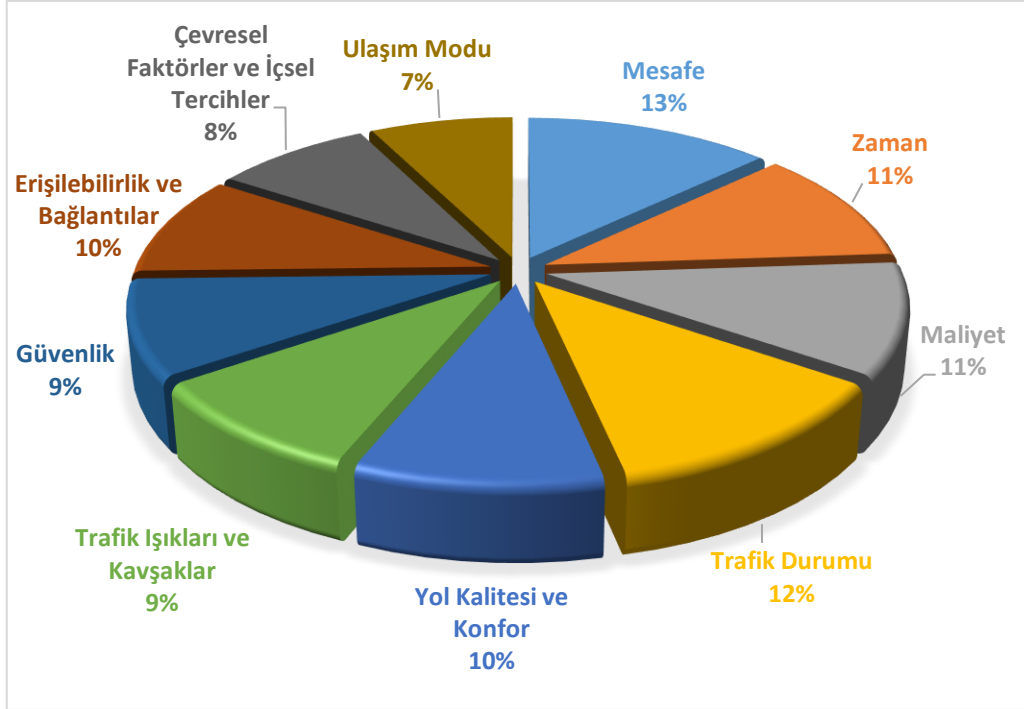
Şekil 6.10: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 4'ün tercih dağılımı.



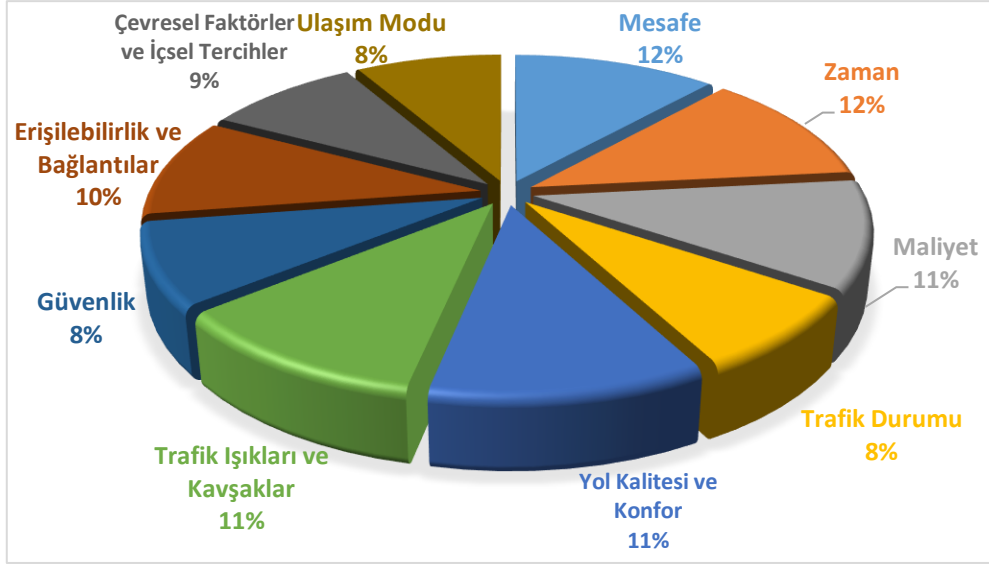
Şekil 6.11: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 5'in tercih dağılımı.



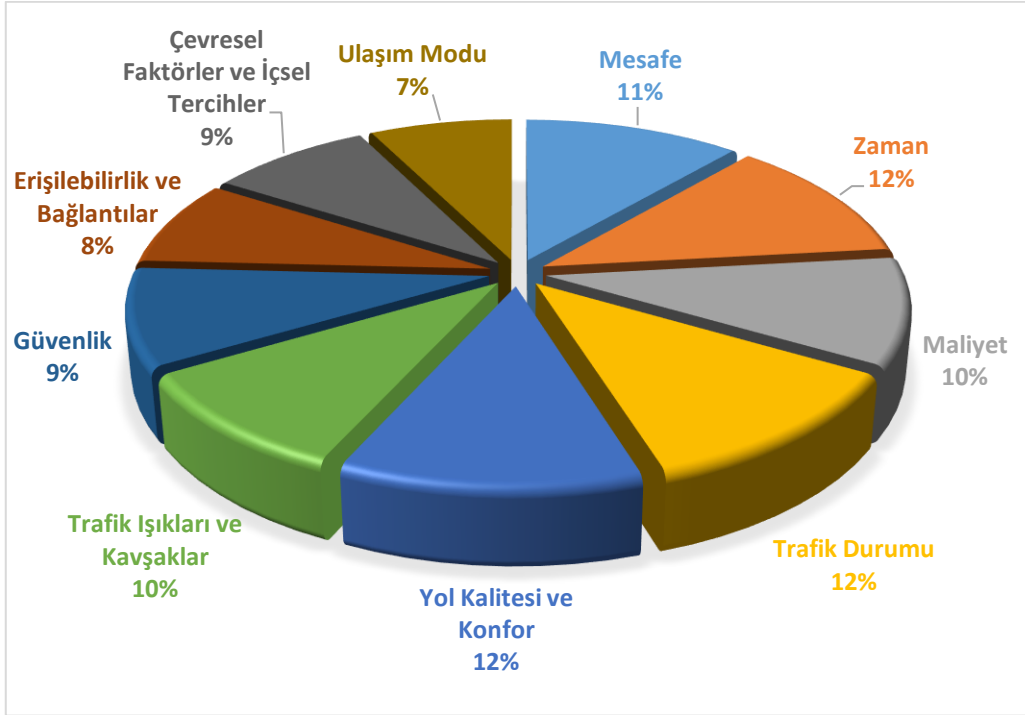
Şekil 6.12: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 6'nın tercih dağılımı.



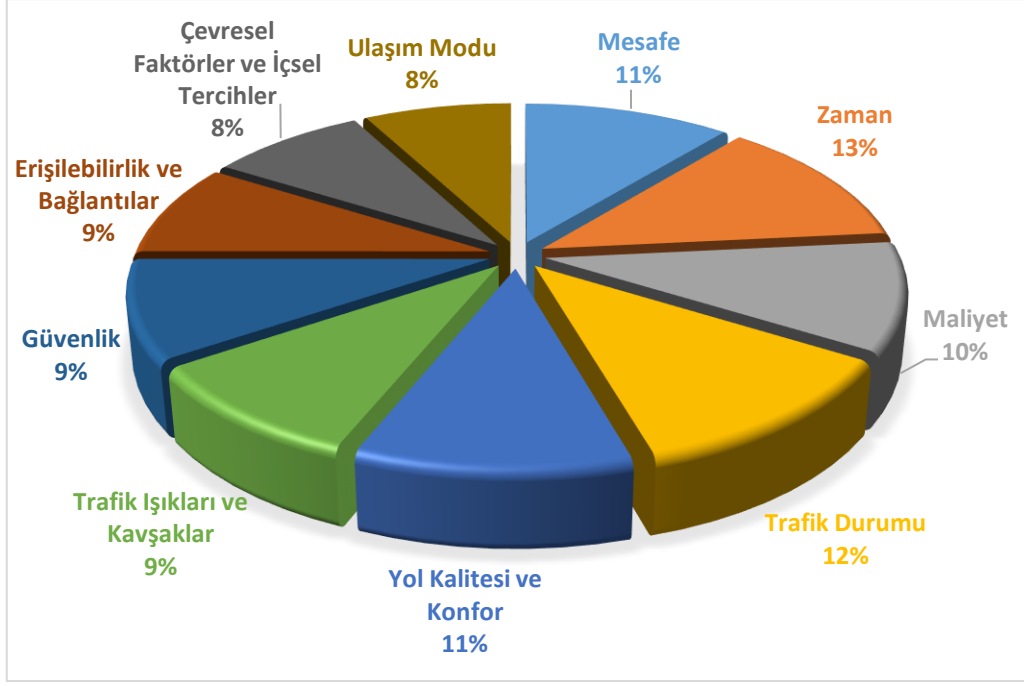
Şekil 6.13: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 7'nin tercih dağılımı.



Şekil 6.14: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 8'in tercih dağılımı.



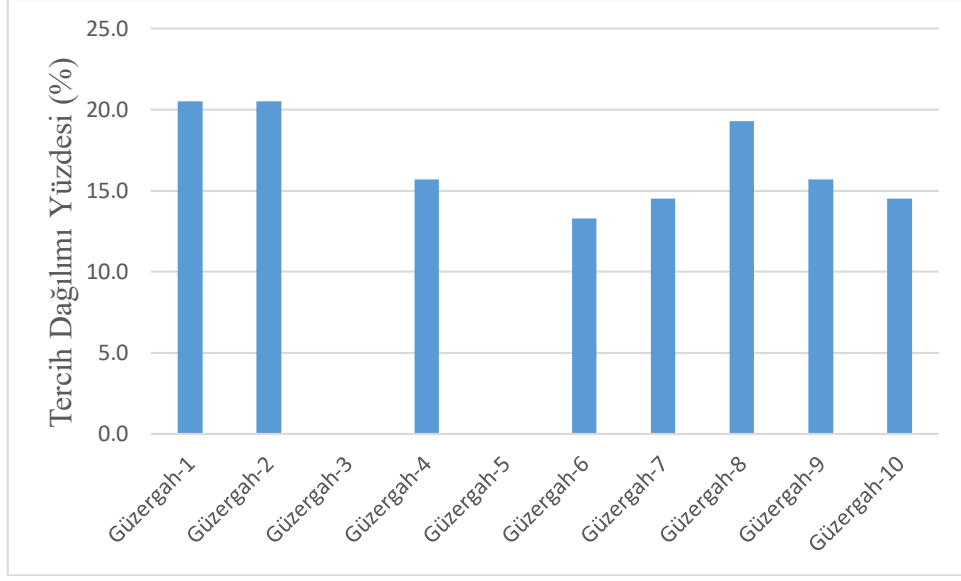
Şekil 6.15: Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 9'un tercih dağılımı.



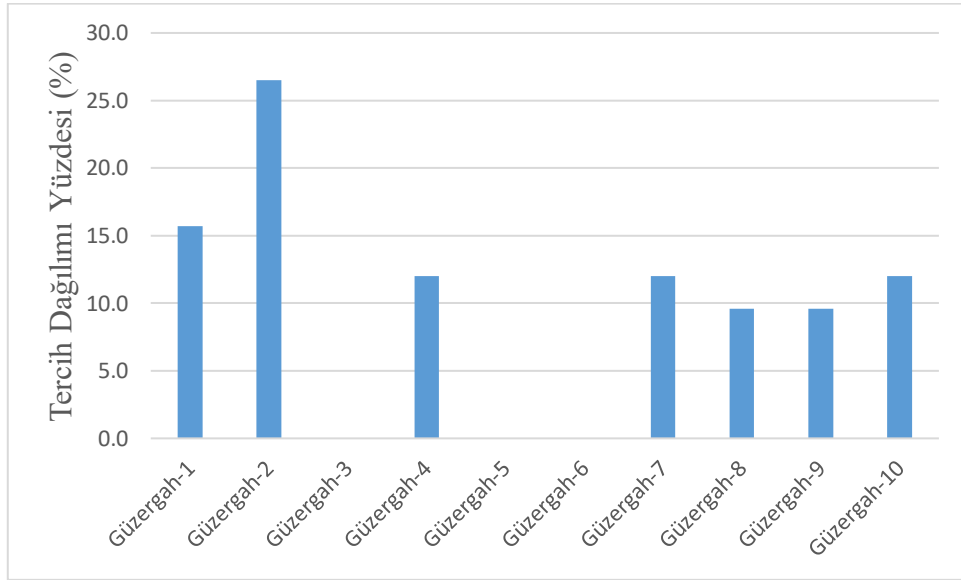
**Şekil 6.16:** Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergah 10'un tercih dağılımı.

Ankete katılanların Karesi İlçesinden Altıeylül İlçesine yönelik güzergah tercihleri, birinci, ikinci ve üçüncü tercihlerde farklılık göstermektedir. Birinci tercihte, güzergah 1 ve güzergah 2, her biri %20,5 oranıyla en yüksek tercih oranına sahiptir. Bunu sırasıyla %19,3 ile güzergah 8 ve %15,7 ile güzergah 4 ve güzergah 9 takip etmektedir (Şekil 5.27). İkinci tercihte, güzergah 2 tercih oranını %26,5'e yükseltmiş olup diğer güzergahların oranları azalmaktadır (Şekil 5.28). Üçüncü tercihte ise güzergah 9, %21,7 ile en fazla tercih edilen güzergah konumundadır; bunu güzergah 3 (%18,1) ve güzergah 10 (%14,5) izlemektedir (Şekil 5.29). güzergah 3, 5 ve 6 ise bazı tercihlerde tercih edilme oranı %0 olarak belirlenmiştir.

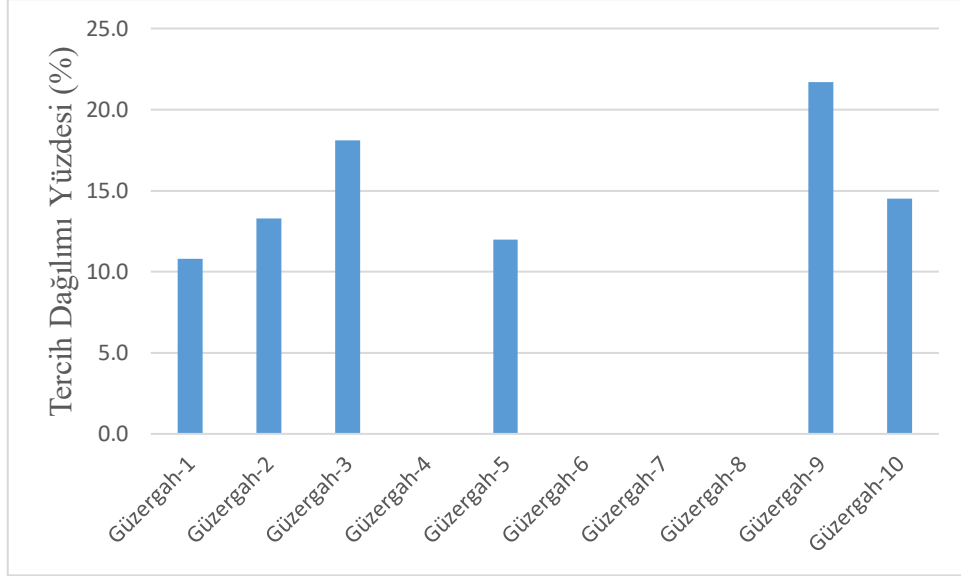
Bu veriler doğrultusunda, kullanıcıların güzergah seçiminde belirli güzergahları yoğun olarak tercih ettikleri, özellikle güzergah 1, 2, 8 ve 9'un farklı tercihlerde öne çıktığı söylenebilir. Öte yandan, bazı güzergahların (güzergah 3, 5 ve 6) tercih edilme oranlarının düşük veya yok denecek seviyede olması, bu güzergahların kullanıcılar tarafından daha az cazip bulunduğunu göstermektedir.



**Şekil 6.17:** Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergahlar arasında 1. tercihe ilişkin dağılım.



**Şekil 6.18:** Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergahlar arasında 2. tercihe ilişkin dağılım.



**Şekil 6.19:** Karesi ilçesinden Altıeylül ilçesine yönelik güzergahlar arasında 3. tercihe ilişkin dağılım.

Balıkesir il merkezini oluşturan Altıeylül ve Karesi ilçelerinin 2024 yılı itibarıyla nüfus bilgileri (Türkiye İstatistik Kurumu, 2025) şu şekildedir (Tablo 6.7):

**Tablo 6.7:** Balıkesir İli merkezi Karesi ve Altıeylül İlçelerinin nüfus bilgileri

İlçe	Nüfus (Toplam)
Karesi	190.427 kişi
Altıeylül	185.351 kişi
<b>Merkez Toplamı</b>	<b>375.778 kişi</b>

Bu çalışma kapsamında kullanılan toplam nüfus verisi güncel istatistiklere dayalı olarak oluşturulmuş olup, Balıkesir şehir merkezindeki yol kullanıcı potansiyelinin alt sınırını temsil etmektedir. Ancak söz konusu 375.778 kişilik nüfus, yalnızca kent merkezini değil, aynı zamanda merkeze bağlı köy ve mahallelerin nüfusunu da kapsamaktadır. Balıkesir’de kırsal kesimden kent merkezine gelerek trafiğe katılan bireylerin sayısına ilişkin özel bir veri kaynağı bulunmamakta; ayrıca bu tür bir analiz için mahalle düzeyinde detaylı ayrım yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, çalışmada böyle bir yöntem uygulanmamıştır.

Dolayısıyla bu araştırmada kabul edilen alt sınır 375.778 kişi değildir; ayrıca bireysel yol kullanıcıları ile toplu taşıma kullanıcılarını ayıracak resmi istatistikler de mevcut olmadığından, çalışma alanındaki toplam yol kullanıcı sayısı kesin olarak belirlenememektedir. Bu durum, örneklem büyüklüğü ile toplam yolcu sayısı arasında doğrudan bir karşılaştırma yapılmasına da olanak vermemektedir.

Öte yandan, anket sonuçlarından elde edilen veriler, bulanık mantık modelinde kural tabanlarının oluşturulması ve sürücü davranış eğilimlerinin temsil edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Dolayısıyla, bu araştırmada esas olan katılımcı sayısından çok, elde edilen verilerin davranışsal tercihleri yansıtırma gücüdür. Bu bağlamda, 83 katılımcının verilerinin bulanık mantık modeli için yeterli ya da yetersiz olduğu yönünde nicel bir değerlendirme yapılması uygun görülmemektedir.

Geleneksel sayısal hesaplamalardan farklı olarak, bulanık mantık, gerçek dünyadaki karmaşık karar süreçlerini daha esnek bir şekilde temsil edebilmekte ve düşük örneklem büyüklükleriyle bile güvenilir sonuçlar sunabilmektedir. 83 kişilik örneklem, katılımcıların güzergah seçim tercihlerinin belirsizlik içerdiği ve çeşitli faktörlerin etkili olduğu durumları modellenmesinde yeterli veriyi sağlamaktadır. Bu teknik, farklı güzergah seçeneklerinin birbirine yakın değerler ve değerlendirmelerle karşılaştırılmasına olanak tanır, böylece kk bir örneklemle dahi doğru sonuçlar elde edilebilir.

Yapay sinir ağlarının, örneklem sayısı kk olsa bile modelin parametrelerini öğrenmesi ve doğrulama hatalarını minimize etmesi mümkündür. 83 kişilik örneklem büyüklüğü, yapay sinir ağları için yeterli bir veri seti sunar nk bu yöntem, giriş verileri ile hedef çıktılar arasındaki karmaşık ilişkileri öğrenmek için genellikle büyük örneklem yerine, veri çeşitliliği ve doğru parametrisasyon ile optimize edilebilir. Ayrıca, YSA'ların genelleme yeteneği, kk veri setlerinde bile anlamlı sonuçlar üretmek için yeterli esnekliği sunmaktadır.

Sonuç olarak, 83 kişilik bir katılımcı rneklemi, Balıkesir İli için yapılacak güzergah seçim tercihlerinin bulanık mantık ve yapay sinir ağları ile modellenmesinde istatistiksel açıdan yeterli bir büyüklük sunmaktadır. Hem bulanık mantık hem de yapay sinir ağları gibi ileri düzey yapay zeka tekniklerinin özellikleri göz önünde bulundurulduğunda, kk ve orta

ölçekli veri setlerinin etkin bir şekilde analiz edilebileceği, bu sayede güvenilir ve geçerli sonuçların elde edilebileceği söylenebilir.

## **6.2 Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Veri Modellemesi**

Veri modellemesi, gerçek dünya problemlerini matematiksel veya kavramsal bir yapıya dönüştürerek analiz edilebilir ve yönetilebilir hale getirme sürecidir. Geleneksel keskin veri modelleme yaklaşımları, genellikle verideki belirsizlik, esneklik veya bulanıklığı yeterince temsil edemez. Bu bağlayıcı sınırlamalar, özellikle insan düşünme süreçlerinin veya karmaşık dinamik sistemlerin modellenmesinde önemli zorluklar yaratır. Bulanık mantık yaklaşımı, bu tür belirsizlikleri doğrudan modelleme yeteneği sayesinde veri modellemede güçlü bir alternatif sunmaktadır.

### **6.2.1 Bulanık model parametrelerinin tanımlanması**

Bulanık mantık sistemlerinin (BMS) performansını ve doğruluğunu belirleyen en kritik aşamalardan biri, sistemde kullanılacak parametrelerin dikkatli ve sistematik biçimde tanımlanmasıdır. Bu parametreler, üyelik fonksiyonlarının şekil ve aralıklarının belirlenmesini, kural tabanında yer alan öncül-sonuç ilişkilerinin yapılandırılmasını, ayrıca çıkarım mekanizması ile durulaştırma yönteminin seçimini kapsar. Parametrelerin uygun biçimde tanımlanması, modelin gerçek dünya verilerini daha isabetli temsil etmesine ve karar verme sürecinde daha sağlıklı sonuçlar üretmesine olanak tanır.

Çalışmada, güzergah alternatiflerinin değerlendirilmesine yönelik olarak geliştirilen bulanık mantık tabanlı karar destek modelinde, toplamda on adet giriş kriteri belirlenmiştir. Her biri, rota seçimini etkileyen önemli bir faktörü temsil eden bu kriterler; mesafe, zaman, maliyet, trafik durumu, yol kalitesi ve konfor, trafik ışıkları ve kavşaklar, güvenlik, erişilebilirlik ve bağlantılar, çevresel faktörler ve içsel tercihler ile ulaşım modu olarak sıralanmıştır. Söz konusu değişkenler, gerçek dünyada niteliksel veya niceliksel olarak ölçülse de belirsizlik ve yoruma açıklık taşıdıkları için, uygun üyelik fonksiyonları aracılığıyla bulanıklaştırılarak sisteme dahil edilmiştir.

Giriş kriterlerinin her biri için genellikle üç üyelik fonksiyonu (örneğin düşük, orta, yüksek) tanımlanmış, bu fonksiyonların şekli ve sınır değerleri uzman görüşleri ve ilgili literatürden

yararlanılarak belirlenmiştir. Böylece, her bir rotaya ilişkin veriler sisteme uygun biçimde entegre edilmiş ve bu veriler üzerinden bulanık çıkarım işlemi gerçekleştirilmiştir. Modelin karar üretme sürecinde kullanılan kural tabanı, giriş kriterlerinin çeşitli kombinasyonlarını içeren kurallardan oluşturulmuş; karar ağacının kapsayıcı ve tutarlı olması sağlanmıştır.

Çıkarım mekanizması olarak Mamdani tipi yaklaşım benimsenmiş, durulaştırma aşamasında ise ağırlıklı ortalama (sentroid) yöntemi tercih edilmiştir. Modelde yalnızca bir adet çıkış değişkeni tanımlanmıştır: “Rota Seçim Olasılığı”. Bu değişken, değerlendirme süreci sonunda her bir güzergah alternatifinin kullanıcı açısından ne ölçüde uygun olduğunu ifade eden bir üyelik derecesi üretir. 0 ile 1 arasında değişen bu değer, ilgili rotanın tercih edilme potansiyelini temsil eder ve durulaştırma işlemi sonucunda net bir sayısal değere dönüştürülerek karar sürecine katkı sunar. Her bir rota için, giriş parametrelerine dayalı olarak hesaplanan toplam puanlar ve bu puanlara karşılık gelen üyelik fonksiyonu sınıflandırmaları, modelin sonuç üretme yapısını daha anlaşılır kılmak adına tablolar halinde sunulmuştur (Tablo 6.8, Tablo 6.9).

Bu kapsamlı tanımlamalarla birlikte geliştirilen bulanık model, çok sayıda belirsizliği aynı anda değerlendirebilme yeteneği sayesinde, karmaşık karar problemlerine uygulanabilir, esnek ve kullanıcı dostu bir yapı sunmaktadır. Modelin temel bileşenleri olan kriter seçimleri, üyelik fonksiyonları ve çıkarım kuralları dikkatle yapılandırılmış; bu sayede, rota tercih sürecinin gerçek koşullara uyumlu biçimde betimlenmesi mümkün hale getirilmiştir.

**Tablo 6.8:** Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine güzergah tercih puanları

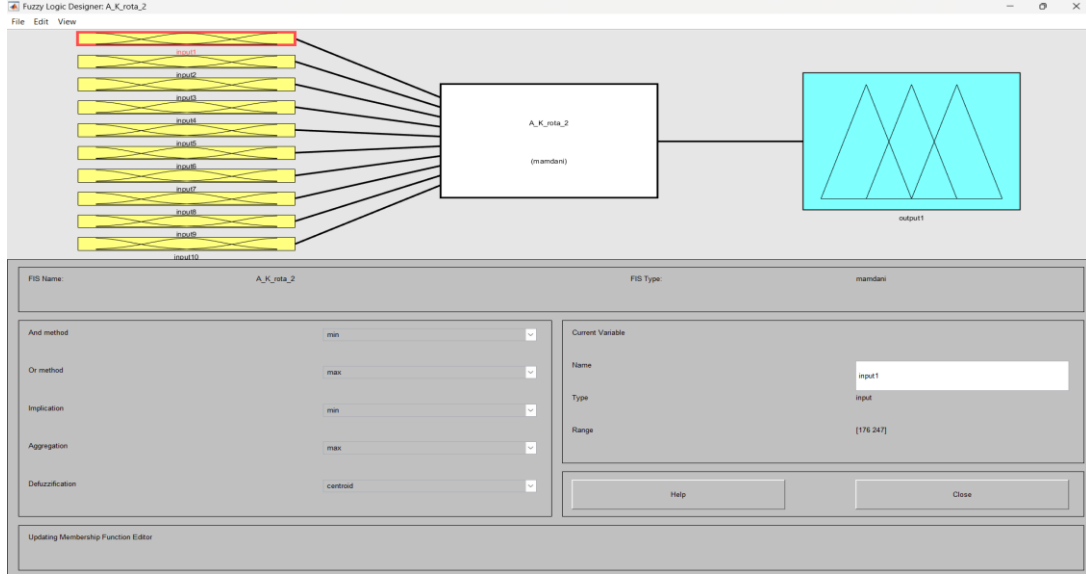
	Mesafe	Zaman	Maliyet	Trafik Durumu	Yol Kalitesi ve Konfor	Trafik Işıkları ve Kavşaklar	Güvenlik	Erişilebilirlik ve Bağlantılar	Çevresel Faktörler ve İçsel Tercihler	Ulaşım Modu
Güzergah 1	220	238	173	238	187	194	153	156	153	130
Güzergah 2	235	223	178	212	164	176	168	178	171	153
Güzergah 3	181	178	158	167	154	149	128	141	124	119
Güzergah 4	247	267	237	262	217	209	175	201	174	174
Güzergah 5	192	208	182	184	192	191	129	145	139	136
Güzergah 6	211	213	173	210	161	158	145	171	167	155
Güzergah 7	178	161	151	172	129	122	115	115	117	116
Güzergah 8	176	166	155	166	134	127	109	113	100	114
Güzergah 9	196	198	167	211	178	179	145	161	150	139
Güzergah 10	201	200	183	209	184	174	146	177	147	134
En Büyük Değer	247	267	237	262	217	209	175	201	174	174
En Küçük Değer	176	161	151	166	129	122	109	113	100	114

**Tablo 6.9:** Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine üyelik fonksiyonuna göre sınıflandırma aralıkları

	YÜKSEK (mf3)	ORTA (mf2)	LOW (mf1)
Mesafe	[247 223]	[222 198]	[197 176]
Zaman	[267 232]	[231 196]	[195 160]
Maliyet	[237 208]	[207 178]	[177 148]
Trafik Durumu	[262 230]	[229 197]	[196 164]
Yol Kalitesi ve Konfor	[217 188]	[187 158]	[157 128]
Trafik Işıkları ve Kavşaklar	[209 180]	[179 150]	[149 120]
Güvenlik	[175 153]	[152 130]	[129 107]
Erişilebilirlik ve Bağlantılar	[201 172]	[171 142]	[141 112]
Çevresel Faktörler ve İçsel Tercihler	[174 149]	[148 123]	[122 97]
Ulaşım Modu	[174 154]	[153 133]	[132 112]

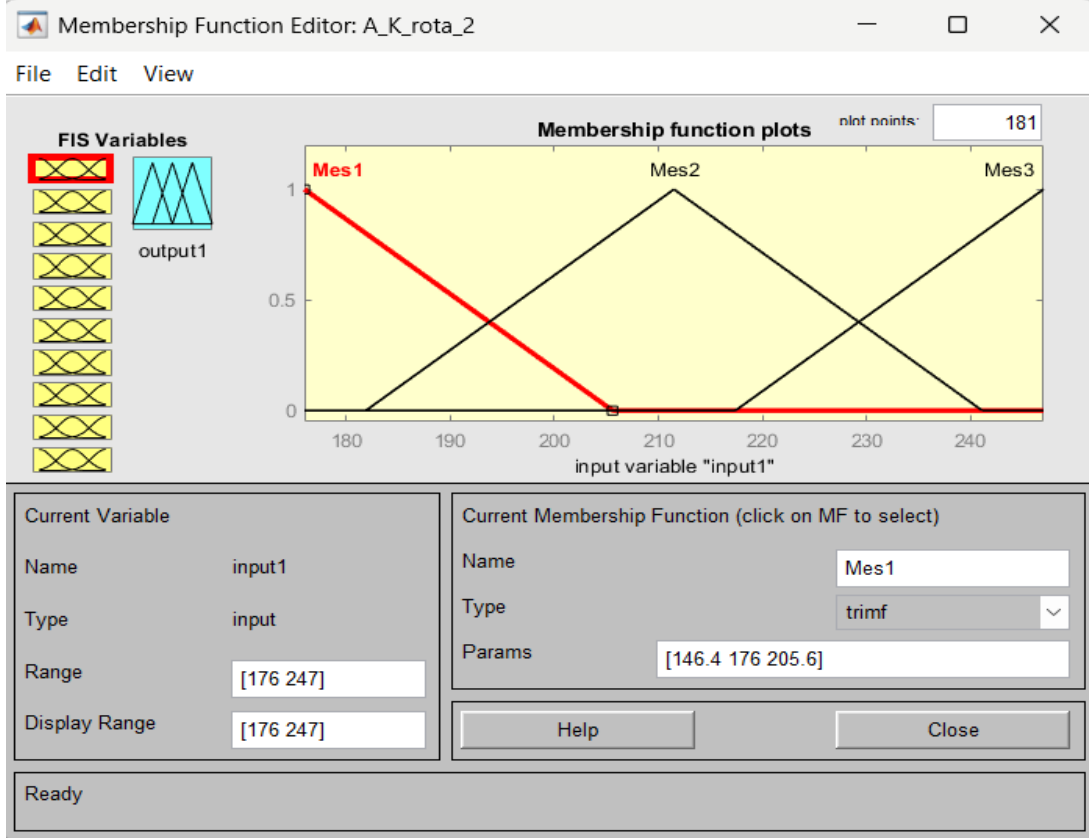
## 6.2.2 Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi ve tanımlanması

Üyelik fonksiyonları, bulanık kümeleri tanımlayan ve keskin giriş/çıkış değerlerini bulanık üyelik derecelerine dönüştüren temel yapı taşlarıdır. Üyelik fonksiyonlarının tipi ve parametreleri, sistemin hassasiyetini ve genelleme yeteneğini doğrudan etkiler. Aşağıda MATLAB programına ait bulanık mantık tasarım ekranı ve giriş parametreleri üyelik fonksiyonları oluşturma (editleme) ekranı verilmektedir (Şekil 6.20, Şekil 6.21):



Şekil 6.20: Bulanık mantık tasarım ekranı.

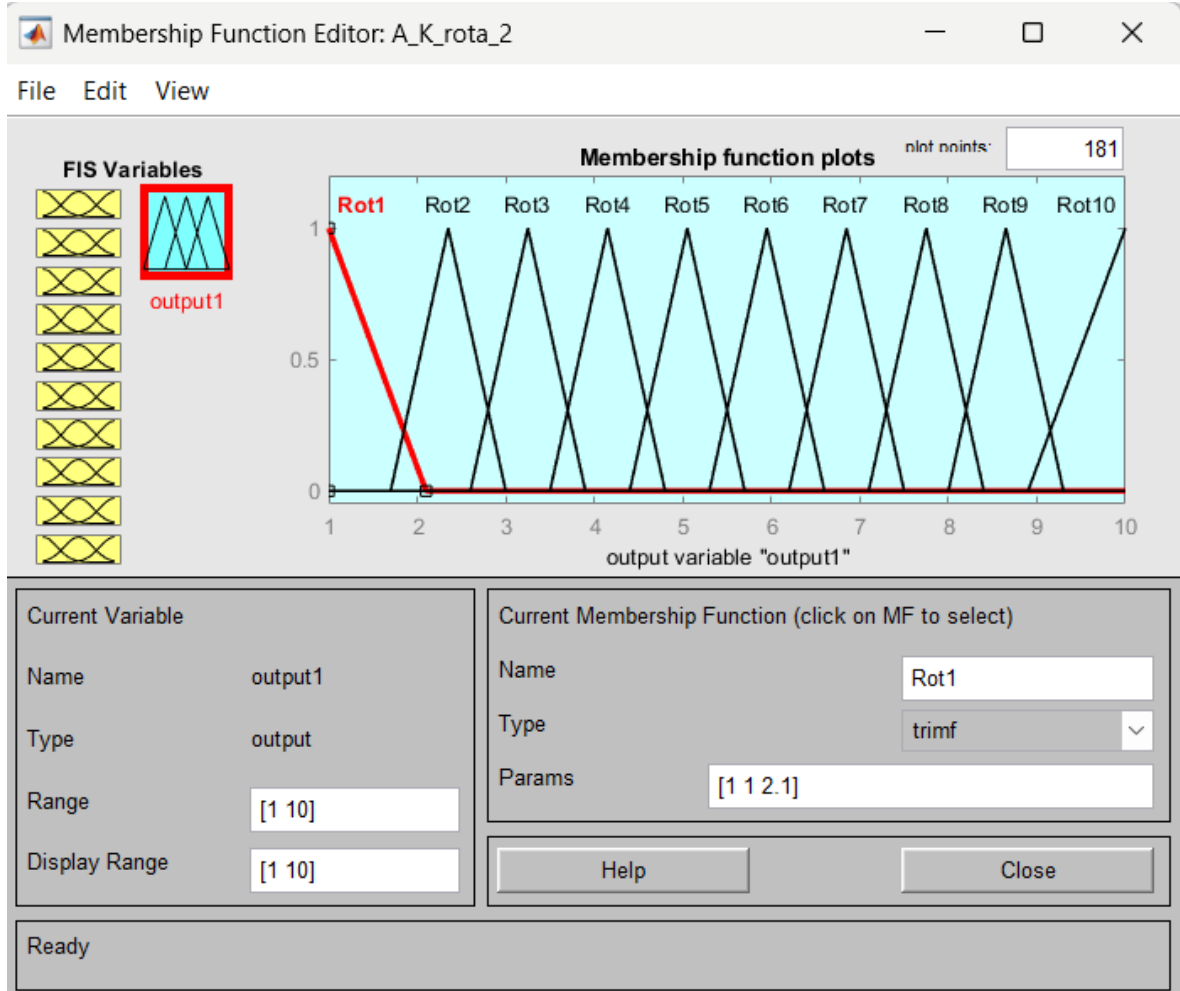
Şekil 6.21’de sunulan grafik doğrultusunda, bu çalışmada tanımlanan "input1" adlı giriş değişkeni için üç adet bulanık küme belirlenmiştir: Mes1, Mes2 ve Mes3. Söz konusu kümeler, üçgen (trimf) üyelik fonksiyonları kullanılarak modellenmiş ve değişkenin çalışma aralığı [176, 247] olarak tanımlanmıştır. Düşük değerleri temsil eden Mes1 kümesi, [146.4, 176, 205.6] parametrelerine sahip olup, bu aralıkta 176 değeri tam üyelik derecesine, uç noktalar ise sıfır üyelik derecesine sahiptir. Mes2 ve Mes3 kümeleri ise sırasıyla orta ve yüksek düzeyleri ifade edecek şekilde yapılandırılmıştır. Her bir üyelik fonksiyonunun merkezi ve yayılımı, ilgili giriş aralığındaki belirsizliğin modellenmesini sağlamaktadır. Bu durum, sistemin giriş verilerine karşı hassasiyetini ve bulanıklaştırma sürecindeki doğruluğunu artırmaktadır.



**Şekil 6.21:** Giriş parametreleri üyelik fonksiyonları oluşturma (editleme) ekranı.

Mesafe, zaman, maliyet, trafik durumu, yol kalitesi ve konfor, trafik ışıkları ve kavşaklar, güvenlik, erişilebilirlik, ve bağlantılar, çevresel faktörler ve içsel tercih ve ulaşım modu olmak üzere toplam 10 adet kriter belirlenmiştir. Her bir kriter için birer adet giriş değişkeni tanımlanmış ve her giriş değişkenine ait üç adet üyelik fonksiyonu; düşük, orta ve yüksek oluşturulmuştur. Üyelik fonksiyonlarının sınırları, anket verilerinden elde edilen dağılımlar dikkate alınarak düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç kategoriye ayrılarak belirlenmiştir. Çıkış değişkeni olan "output1" için, Şekil 6.22'de gösterildiği üzere, Rot1'den Rot10'a kadar on adet bulanık küme tanımlanmıştır. Bu kümeler üçgen (trimf) üyelik fonksiyonları ile modellenmiş ve değişkenin çalışma aralığı [1, 10] olarak belirlenmiştir. Rot1 kümesi [1, 1, 2.1] parametrelerine sahip olup çıkışın en düşük değerlerini temsil etmekte, Rot10 ise en yüksek değer aralığını ifade edecek şekilde yapılandırılmıştır. Her bir çıkış üyelik fonksiyonu, Altıeylül'den Karesi'ye kadar olan güzergahlar üzerindeki farklı rota alternatiflerini temsil etmektedir. Bu üyelik fonksiyonları, sistemin çıktısını sayısal değerler yerine belirli derecelerde bulanık kümelerle temsil ederek karar verme sürecine esneklik kazandırmaktadır. 10 adet çıkış kümesi kullanılması, sistemin daha yüksek ayırım

hassasiyetiyle çalışmasını sağlamakta ve önerilen rota seçiminde daha nüanslı ve duyarlı bir değerlendirme yapılmasına imkan tanımaktadır.

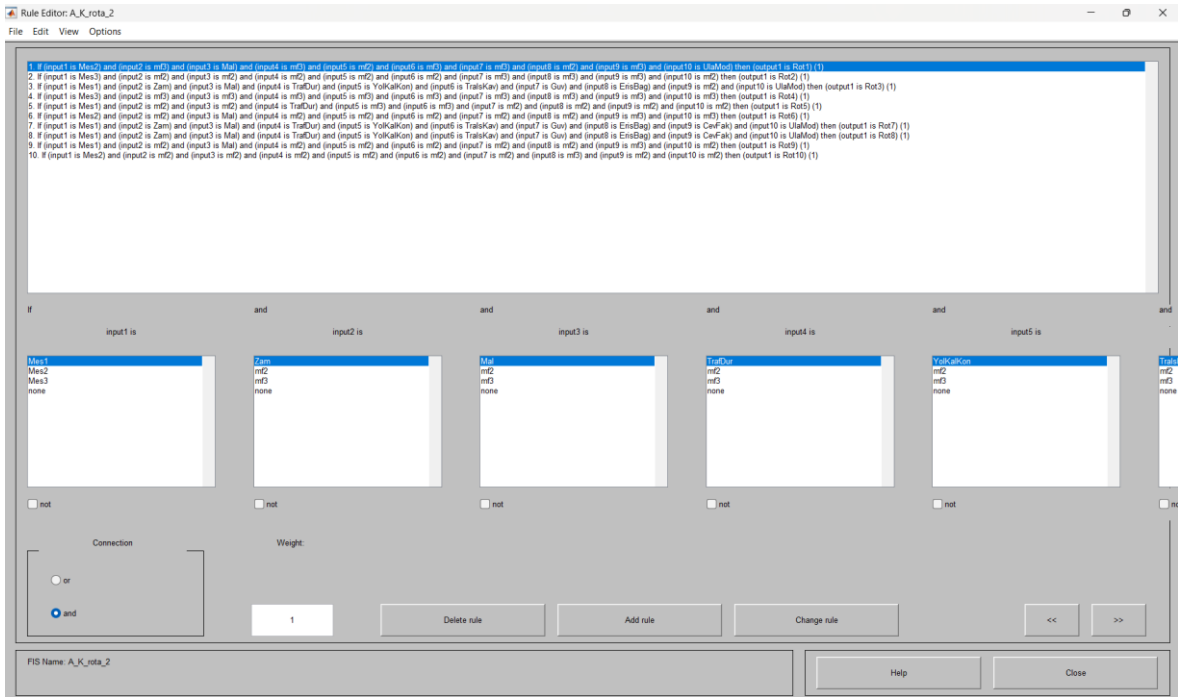


Şekil 6.22: Çıkış parametreleri üyelik fonksiyonları oluşturma (editleme) ekranı.

### 6.2.3 Bulanık kural tabanının oluşturulması

Bulanık kural tabanı, bulanık çıkarım sisteminin karar verme mekanizmasının temelini oluşturmaktadır. Bu kurallar, "EĞER-İSE" (IF-THEN) yapısı kullanılarak ifade edilmekte olup, giriş değişkenlerinin belirli bulanık kümelerdeki üyelik durumlarına bağlı olarak çıkış değişkenlerinin davranışını tanımlamaktadır. Şekil 6.23'te sunulan kural editörü arayüzü, geliştirilen bulanık mantık sistemine ait kural tabanını göstermektedir. Sistem, toplam on adet kural içermekte olup, bu kurallar on adet giriş değişkeni ("input1"den "input10"a) ile bir adet çıkış değişkeni ("output1") arasındaki ilişkileri modellemektedir. Her bir kural, "and" bağlacıyla birbirine bağlanan birden fazla öncül ve tek bir sonuç içermektedir. Örneğin, birinci kural "IF (input1 is Mes2) and (input2 is mf3) and (input3 is Mal) and

(input4 is mf3) and (input5 is mf2) and (input6 is mf3) and (input7 is mf3) and (input8 is mf2) and (input9 is mf3) and (input10 is UlaMod) THEN (output1 is Rot1) (1)" biçiminde ifade edilmiştir. Parantez içindeki "(1)" ifadesi, kuralın ağırlığını belirtmekte olup, tüm kurallara eşit ağırlık verilmiştir. Bu kural tabanında yer alan Mes2 kuralı mf2 aralığına, Mal kuralı mf1 aralığına, UlaMod kuralı ise mf1 aralığına denk gelmektedir. Kural tabanının genişliği, sistemin karmaşık ilişkileri yakalama ve farklı giriş kombinasyonlarına uygun çıkışlar üretme kapasitesini ortaya koymaktadır. Bu kurallar, uzman bilgisi veya deneysel verilere dayanarak oluşturulmuş olup, sistemin genel davranışını yönlendiren mantıksal çıkarım mekanizmasını teşkil etmektedir.



**Şekil 6.23:** Her bir rotaya ait bulanık kural tabanının oluşturma ekranı.

Örnek Senaryonun (kural tabanı) oluşturulması aşağıda verilmiştir. Örnekte verdiğimiz rotada (Rota 1), kriterlerin üyelik dereceleri şöyledir:

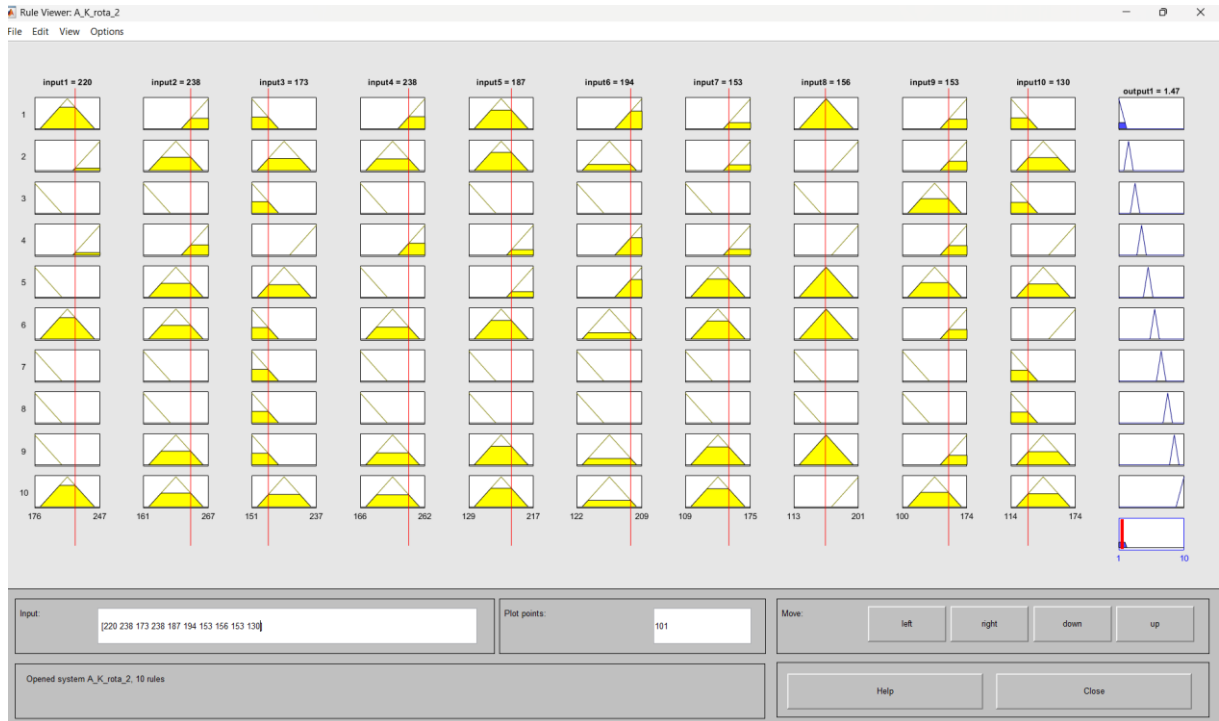
- Mesafe → Orta (mf2)
- Zaman → Yüksek (mf3)
- Maliyet → Düşük (mf1)
- Trafik → Yüksek (mf3)
- Yol kalitesi → Orta (mf2)
- Trafik ışıkları ve kavşaklar → Yüksek (mf3)

- Güvenlik → Yüksek (mf3)
- Erişilebilirlik ve bağlantılar → Orta (mf2)
- Çevresel faktörler → Yüksek (mf3)
- Ulaşım modu → Düşük (mf1)

Bu kombinasyon, Rota 1'in seçilmesini sağlayan bir kural kümesine karşılık gelmektedir. Kurallar şu şekildedir:

**IF** Mesafe=Orta **AND** Zaman=Yüksek **AND** Maliyet=Düşük **AND** ... **THEN** Çıkış=Rota1.

Şekil 6.24, bulanık mantık sisteminin kural görüntüleyici arayüzü kullanılarak gerçekleştirilen analizini göstermektedir. Sistem, Tablo 6.9'da verilen on adet giriş değişkenine ait değerlerin değerlendirilmesi sonucunda belirli bir rota seçimini sağlamaktadır. Görüntülenen veriler, giriş parametrelerinin bulanık kural tabanı çerçevesinde nasıl işlendiğini ve karşılık gelen çıkış değerlerinin elde edilme sürecini ortaya koymaktadır.



**Şekil 6.24:** Bulanık kuralların grafiksel (analiz) gösterimi.

**Tablo 6.10:** Bulanık kural tabanında input (giriş) değerleri

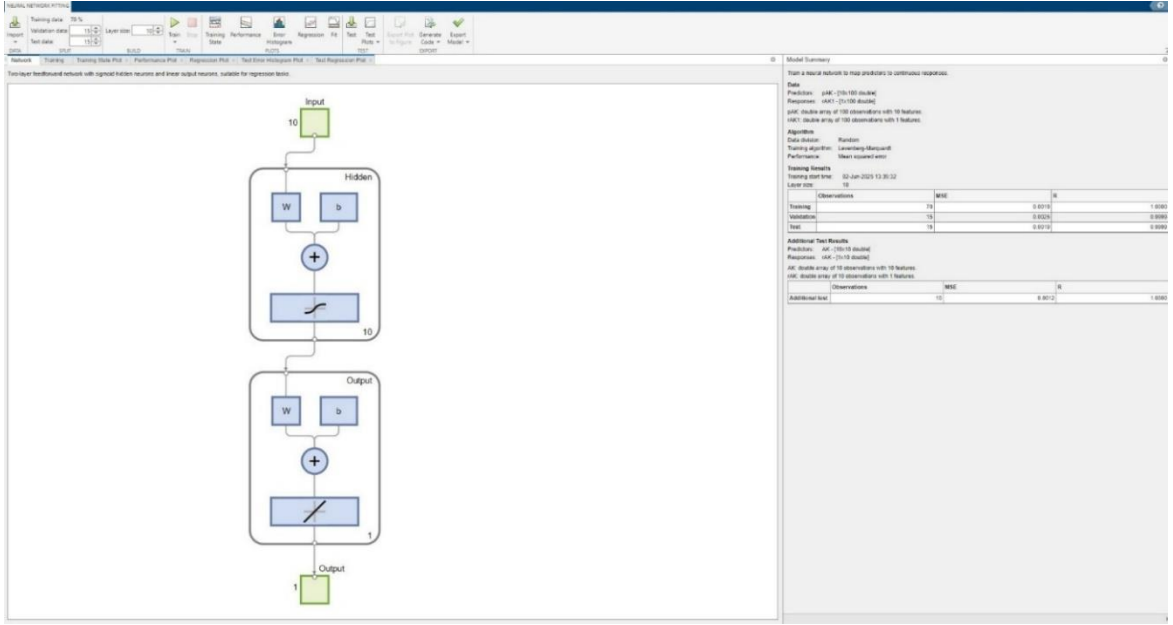
Parametre	Değer
Input1	220
Input2	238
Input3	173
Input4	238
Input5	187
Input6	194
Input7	153
Input8	156
Input9	153
Input10	130

Bu değerler kullanıcı tarafından sağlanan ham veri girişlerini temsil etmektedir. Durulaşma işlemi sonucunda çıkış değeri 1.47 elde edilmiştir. Durulaştırma işlemi sonucunda elde edilen 1.47 değeri, en yakın tam sayıya yuvarlandığında 1 olarak kabul edilmiştir. Bu sonuç, modelin çıktısının kullanıcı tercihlerinin 1 numaralı güzergaha yöneldiğini göstermektedir. Dolayısıyla durulaştırma işlemi ile elde edilen değer, yol kullanıcılarının karar verme sürecinde güzergah 1'in diğer alternatiflere kıyasla daha yüksek tercih edilme eğilimine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Tablo 6.9'da yer alan yüksek değerler, özellikle Input1, Input2 ve Input4 parametrelerinin yüksek üyelik fonksiyonlarına güçlü derecede ait olduğunu göstermektedir. Çıkış parametresi belirli değer aralıklarıyla modellenmiş farklı rotaları temsil eden üyelik fonksiyonları aracılığıyla sistemin karar mekanizmasını oluşturur. Kural tabanı 10 giriş değişkeni ve çok sayıda kombinasyonu içermesi nedeniyle karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle kural sayısını ve hesaplama yükünü azaltmak amacıyla ileri çalışmalarda Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) gibi yöntemler kullanılabilir.

## 7. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ROTA SEÇİMİNİN MODELLENMESİ

### 7.1 Yapay Sinir Ağı Modelinin Yapısı ve Veri Hazırlama Süreci

Yapay sinir ağı modelinde, ara katmandaki nöron sayısının farklı kombinasyonları denenmiş ve on adet nöron içeren yapı en yüksek performansla sonuçlanmıştır. Modelin yapısı, Şekil 7.1’de gösterilmektedir. Daha fazla nöron kullanımı modelin performansında anlamlı bir iyileşme sağlamamış, bu durum modelin optimal karmaşıklığa ulaştığını göstermektedir.



Şekil 7.1: Yapay sinir ağının model yapısı.

Model eğitimi için kullanılan veri seti, Altıeylül’den Karesi’ye rota tercihlerini yansıtan anket verilerinden oluşturulmuştur. Orijinal veri setine rastgele gürültü eklenmesi, modelin belirli örnekleri ezberlemektense genel örüntüleri öğrenmesini desteklemiş ve genelleme yeteneğinde artış sağlamıştır. Bu veri çeşitlendirme yöntemi, özellikle sınırlı sayıda özgün veriye dayanan modellerde overfitting riskini (modelin eğitim verisine gereğinden fazla uyum sağlaması ve bu nedenle yeni, daha önce görmediği veriler üzerinde düşük performans göstermesi durumu) azaltmak açısından etkili olmuştur.

#### 7.1.1 Veri setinin oluşturulması

Aşağıda Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine 10 adet rota için kriter değerleri MATLAB ortamında girilmiştir:

**Tablo 7.1:** Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine yönelik kriter ve rota matrisi

% Rota numaraları									
rAK = [1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0];									
% Orijinal kriter matrisi (10x10)									
AK = [220	238	173	238	187	194	153	156	153	130;
235	223	178	212	164	176	168	178	171	153;
181	178	158	167	154	149	128	141	124	119;
247	267	237	262	217	209	175	201	174	174;
192	208	182	184	192	191	129	145	139	136;
211	213	173	210	161	158	145	171	167	155;
178	161	151	172	129	122	115	115	117	116;
176	166	155	166	134	127	109	113	100	114;
196	198	167	211	178	179	145	161	150	139;
201	200	183	209	184	174	146	177	147	134]

Modelin giriş verisi olan AK matrisi, 10 gözleme ait 10 parametreden (güzergahlara ait tercih puanları) oluşmaktadır. Her satır bir gözlem, her sütun ise bir parametreyi temsil etmektedir. Orijinal veri matrisine, her biri 10×10 boyutunda olan ve dAK1 ile dAK10 arasında tanımlanan 10 farklı rastgele bozunum matrisi eklenmiştir (Tablo 7.2). Böylece, toplamda 10 farklı bozulmuş giriş veri seti oluşturulmuştur. Hedef veri vektörü olan rAK (1×10) 10 kez tekrar edilerek, toplam 100 örnekten oluşan rAK1 hedef vektörü elde edilmiştir.

**Tablo 7.2:** Bozunum matrisi

$dAK1 = 1 \cdot \text{rand}(10,10) - 0.5$
$dAK2 = 1 \cdot \text{rand}(10,10) - 0.5$
$dAK3 = 1 \cdot \text{rand}(10,10) - 0.5$
$dAK4 = 1 \cdot \text{rand}(10,10) - 0.5$
$dAK5 = 1 \cdot \text{rand}(10,10) - 0.5$
$dAK6 = 1 \cdot \text{rand}(10,10) - 0.5$
$dAK7 = 1 \cdot \text{rand}(10,10) - 0.5$
$dAK8 = 1 \cdot \text{rand}(10,10) - 0.5$
$dAK9 = 1 \cdot \text{rand}(10,10) - 0.5$
$dAK10 = 1 \cdot \text{rand}(10,10) - 0.5$
$pAK = [AK + dAK1 \quad AK + dAK2 \quad AK + dAK3 \quad AK + dAK4 \quad AK + dAK5 \quad AK + dAK6$ $AK + dAK7 \quad AK + dAK8 \quad AK + dAK9 \quad AK + dAK10]$
$rAK1 = [rAK \quad rAK \quad rAK \quad rAK \quad rAK \quad rAK \quad rAK \quad rAK \quad rAK \quad rAK]$

### 7.1.2 Ağ yapısı ve eğitim süreci

Yapay sinir ağı modeli, regresyon problemlerinde hızlı yakınsama sağlaması nedeniyle Levenberg-Marquardt algoritması (trainlm) kullanılarak eğitilmiştir. Ağ mimarisi, tek bir gizli katmandan oluşmakta ve bu katmanda 10 nöron bulunmaktadır. Veri seti, %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test olarak üçe bölünmüştür. Tablo 7.3, modelin oluşturulması, veri setinin bölünmesi ve eğitim sürecinin temel adımlarını özetlemektedir.

**Tablo 7.3:** Yapay Sinir Ağı Eğitiminde Kullanılan MATLAB Kodları

Kod Satırı	Açıklama
<code>net = fitnet(10, 'trainlm');</code>	Bizim çalışmada, tek gizli katmanda 10 nöronlu sinir ağı oluşturulmuş ve Levenberg-Marquardt algoritması tercih edilmiştir.
<code>net.divideParam.trainRatio = 0.70;</code>	Veri setinin %70'i eğitim için ayrılmıştır.
<code>net.divideParam.valRatio = 0.15;</code>	Veri setinin %15'i doğrulama için ayrılmıştır.
<code>net.divideParam.testRatio = 0.15;</code>	Veri setinin %15'i test için ayrılmıştır.
<code>[net, tr] = train(net, x, t);</code>	Model, giriş (x) ve hedef (t) verileri kullanılarak eğitilmiştir.

Model eğitimi tamamlandıktan sonra performans değerlendirmesi yapılmış ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Ortalama Kare Hata (MSE) değeri 0.0012 olarak bulunmuş, Regresyon Katsayısı (R) ise 1.0000'a ulaşmıştır. Bu sonuçlar, yapay sinir ağının giriş verilerinden hedef değerleri yüksek doğrulukla tahmin ettiğini göstermektedir. Ayrıca, performans ölçütleri modelin hem eğitim hem de test aşamalarında başarılı bir şekilde genelleme yapabildiğini ortaya koymaktadır.

## 7.2 Model Görselleştirmeleri

Modelin öğrenme performansı ve genelleme yeteneği, çeşitli grafiklerle görsel olarak desteklenmiştir. Bu grafikler arasında performans eğrisi, eğitim durumu grafiği, hata histogramı, regresyon doğruluğu grafiği ve gerçek ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması yer almaktadır. Modelin eğitilmesinde kullanılan MATLAB kodu ise şu şekildedir:

```
% Girdi ve hedef verilerin tanımlanması
```

```
x = pAK;
```

```
t = rAK1;
```

```
% Eğitim algoritmasının seçilmesi
```

```
trainFcn = 'trainlm'; % Levenberg-Marquardt algoritması
```

```
% Ağ yapısının oluşturulması
```

```
hiddenLayerSize = 10;
```

```
net = fitnet(hiddenLayerSize, trainFcn);
```

```
% Veri setinin eğitim, doğrulama ve test olarak bölünmesi
```

```
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
```

```
net.divideParam.valRatio = 15/100;
```

```
net.divideParam.testRatio = 15/100;
```

```
% Ağın eğitilmesi
```

```
[net, tr] = train(net, x, t);
```

```
% Modelin test edilmesi ve performansın hesaplanması
```

```
y = net(x);
```

```
e = gsubtract(t, y);
```

```
performance = perform(net, t, y);
```

```
% Ağ yapısının görselleştirilmesi
```

```
view(net);
```

```
% Grafiklerin oluşturulması (aktif etmek için yorum satırı kaldırılmalı)
```

```
% figure, plotperform(tr)
```

```
% figure, plottrainstate(tr)
```

```
% figure, ploterrhist(e)
```

```
% figure, plotregression(t,y)
```

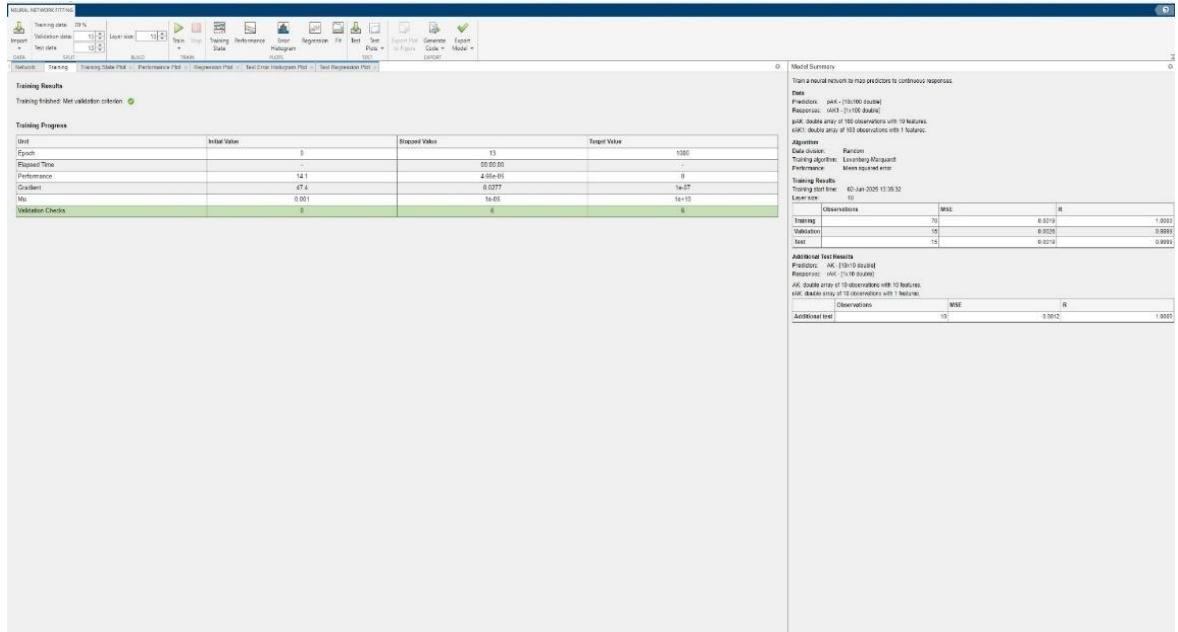
```
% figure, plotfit(net,x,t)
```

Eğitim sürecine ilişkin özet bilgiler Tablo 7.4'te sunulmuştur. Model çıktıları, oldukça düşük bir Ortalama Kare Hata (MSE) ve yüksek regresyon katsayısı ( $R \approx 1$ ) değerleriyle yüksek doğruluk göstermektedir. Bu sonuçlar, oluşturulan ağ mimarisinin veri seti üzerindeki öğrenme kapasitesinin güçlü olduğunu ve modelin başarılı bir genelleme yeteneğine sahip olduğunu doğrulamaktadır. Şekil 7.2'de, yapay sinir ağı eğitiminin hedef değerlere ulaşma başarımı analiz edilmiştir. Şeklin sağ kısmında yer alan özet tabloda, toplam 100 adet verinin %70'i eğitim, %15'i doğrulama (validation) ve kalan %15'i test amacıyla kullanıldığı

belirtilmiştir. Ağın farklı veri setleri üzerindeki performans sonuçları Tablo 7.5'te detaylı olarak verilmiştir.

**Tablo 7.4:** Eğitim süreci bilgileri

Ölçüt	Başlangıç Değeri	Durdurulan Değer	Hedef Değer
Epoch	0	13	1000
Geçen Süre	-	00:00:09	-
Performans (MSE)	14.1	4.66e-05	0
Gradient	47.4	0.277	1e-07
Mu	0.001	1e-05	1e+10
Validation Checks	0	6	6



**Şekil 7.2:** Başarı analiz ekranı.

**Tablo 7.5:** Performans göstergeleri

Veri Kümesi	Gözlem Sayısı	MSE	R (Korelasyon Katsayısı)
Eğitim	70	0.0019	1.0000
Doğrulama	15	0.0026	0.9999
Test	15	0.0019	0.9999
Ek Test	10	0.0012	1.0000

Eğitim süreci, doğrulama kriterinin sağlanması sonucunda durdurulmuştur. Bu durum, ağırlık erken durdurma mekanizması sayesinde aşırı öğrenmeden kaçınıldığını ve modelin genelleme kapasitesinin korunduğunu göstermektedir (Şekil 7.3). Eğitim süreci göstergeleri Tablo 7.6’da verilmiştir.



**Şekil 7.3:** Başarı analiz ekranının MATLAB özel ekranı.

**Tablo 7.6:** Eğitim süreci göstergeleri

Değişken	Başlangıç Değeri	Durdurma Değeri	Hedef Değeri
Epoch	0	14	1000
Performans (MSE)	20.4	$1.02 \times 10^{-5}$	0
Gradyan	68.4	$8.81 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-7}$
Mu (Damping Faktörü)	0.001	$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{10}$
Doğrulama Kontrolü	0	6	6

Modelin eğitim süreci, toplam 14 epoch sonunda tamamlanmış ve doğrulama performansı esas alınarak hedeflenen maksimum epoch sayısı olan 1000'e ulaşmadan durdurulmuştur. Eğitimde performans ölçütü olarak Ortalama Kare Hata (Mean Squared Error, MSE) kullanılmış ve bu değer eğitim sonunda  $1.02 \times 10^{-5}$  seviyesine kadar düşmüştür. Bu düşük hata oranı, modelin hedef değerlere yüksek doğrulukla yaklaşabildiğini ve öğrenme sürecinin başarılı geçtiğini göstermektedir.

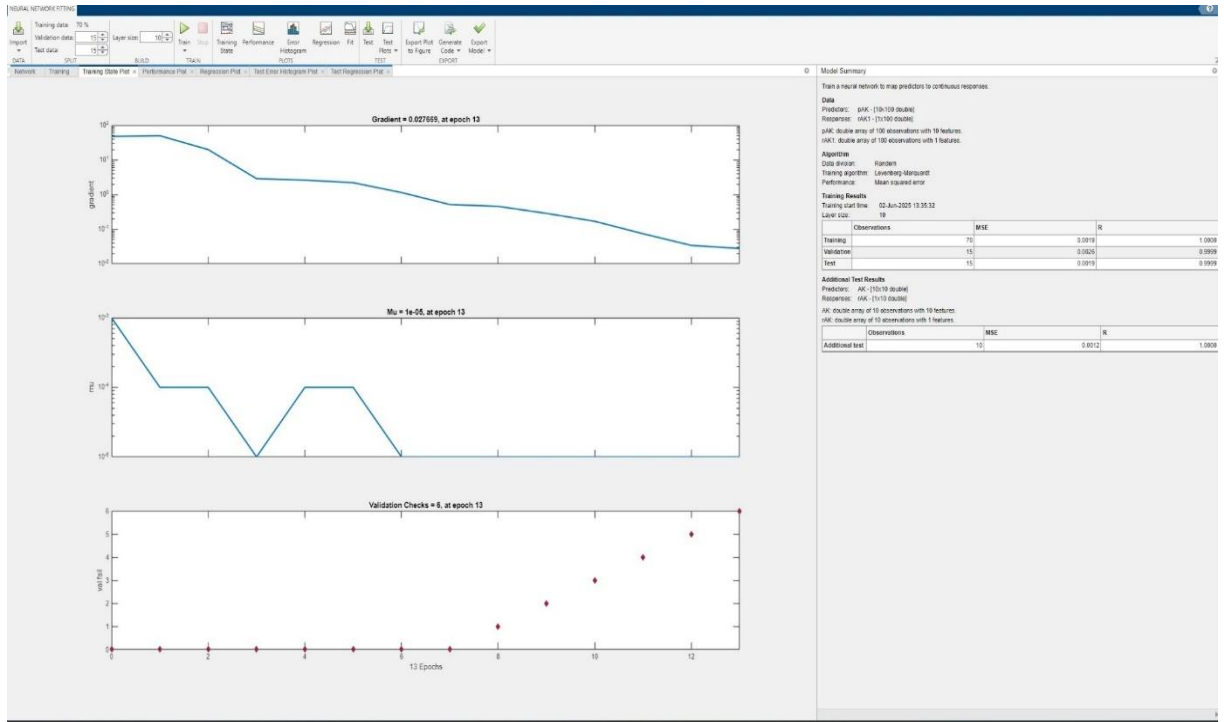
Gradyan değeri, başlangıçta 68.4 iken eğitim sonunda  $8.81 \times 10^{-4}$  düzeyine inerek hata fonksiyonunun minimum noktaya yakınsadığını ortaya koymuştur. Öğrenme sürecinde adaptif güncelleme için kullanılan damping katsayısı olan Mu parametresi ise, başlangıçta 0.001 iken eğitim ilerledikçe  $1 \times 10^{-5}$  seviyesine kadar azaltılmıştır. Bu değişim, modelin giderek daha ince ayarlamalarla öğrenme gerçekleştirdiğini göstermektedir.

Eğitim, doğrulama setinde performans iyileşmesi görülmeyen 6 ardışık epoch'un ardından, erken durdurma mekanizmasının devreye girmesiyle sonlandırılmıştır. Bu durum, modelin aşırı öğrenmeye karşı korunduğunu ve genelleme yeteneğinin sürdürüldüğünü ifade etmektedir. Bu durum, modelin aşırı öğrenmeden korunarak optimal düzeyde durdurulduğunu göstermektedir.

Bulgular, yapay sinir ağı modelinin eğitim süreci boyunca etkin şekilde optimize edildiğini ve aşırı öğrenme riski taşımadan yüksek doğrulukla genelleme yapabildiğini ortaya

koymaktadır. Eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt yönteminin tercih edilmesi, hızlı yakınsama sağlamış ve düşük hata düzeylerine ulaşılmasına olanak tanımıştır. Eğitim sonunda elde edilen oldukça düşük MSE değeri ile birlikte gradyan değerinin belirgin şekilde azalması, modelin başarılı bir şekilde eğitildiğini ve hedef değerlere etkili biçimde ulaşabildiğini doğrulamaktadır.

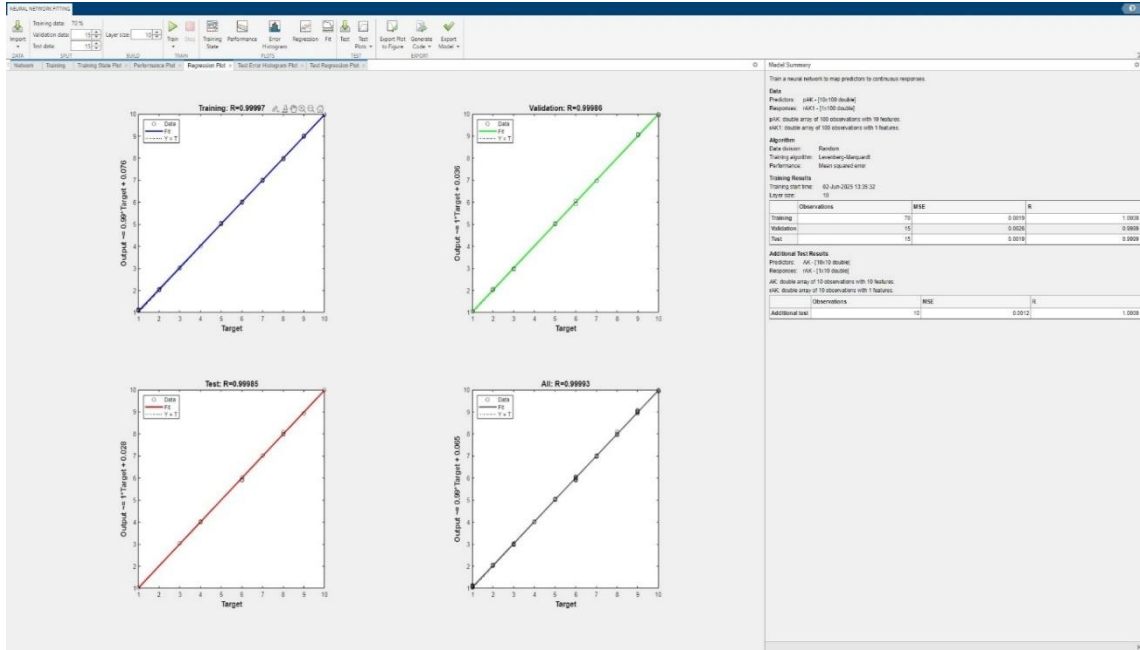
Şekil 7.4'te, MATLAB Neural Network Fitting Tool (nftool) arayüzü kullanılarak eğitilen yapay sinir ağına ait "Training State" (Eğitim Durumu) grafikleri ile modelin genel parametrelerini gösteren özet ekran yer almaktadır. Bu görseller, eğitim sürecinin izlenebilirliğini ve model performansının görsel olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır.



Şekil 7.4: Eğitim durumu grafiği ve model özeti.

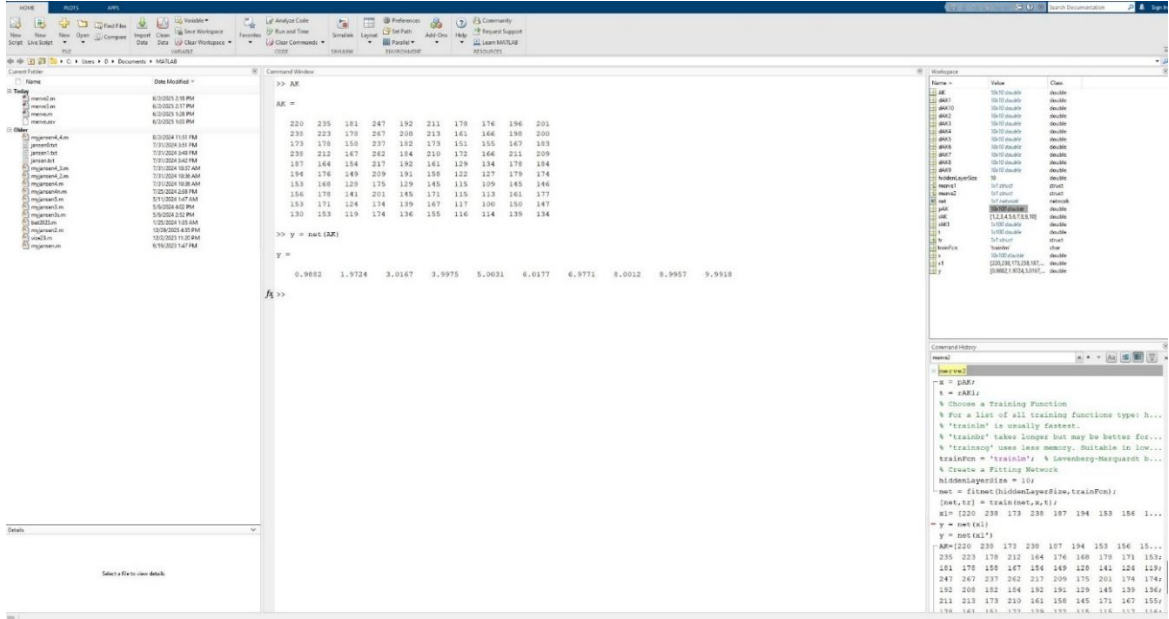
Şekil 7.5'te, yapay sinir ağı modelinin eğitim, doğrulama ve test veri kümeleri üzerindeki regresyon performansı grafiksel olarak sunulmuştur. Analiz bulguları, modelin tüm veri kümelerinde son derece yüksek bir uyum sağladığını ortaya koymaktadır. Eğitim verileri üzerinde elde edilen  $R^2$  değerinin 1.000 olması, modelin öğrenme sürecinde veri setindeki ilişkileri eksiksiz biçimde kavradığını göstermektedir. Benzer şekilde, doğrulama verileri üzerindeki tam uyum, modelin yalnızca eğitildiği verileri ezberlemekle kalmayıp, genelleme yeteneğinin de güçlü olduğunu kanıtlamaktadır. Test verileri üzerinde de  $R^2$  değerinin 1.000

olarak hesaplanması, modelin daha önce karşılaşmadığı veriler üzerinde dahi yüksek doğrulukla tahmin yapabildiğini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, geliştirilen YSA modelinin regresyon analizlerinde son derece başarılı bir performans sergilediğini ve güvenilir bir tahmin aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 7.5: Regresyon analizi grafiği.

Şekil 7.6’da, Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine yapılan seyahatlere ilişkin on farklı kriter doğrultusunda geliştirilen yapay sinir ağı modeli kullanılarak elde edilen bulgular sunulmaktadır. Bu kapsamda, “AK” değişkeni, anket sonuçlarına dayanarak Altıeylül’den Karesi’ye yönelik rota tercih puanlarını temsil etmektedir. Net (AK) ifadesi, eğitilmiş sinir ağı yapısını tanımlamakta olup, bu değişken modele giriş olarak verildiğinde, “y” ile gösterilen rota tercih çıktı değişkeni elde edilmiştir. Bulgular incelendiğinde, farklı rotalara karşılık gelen “y” değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu ve modelin tutarlı çıktılar ürettiği görülmektedir.



Şekil 7.6: YSA modelinin rota tercih çıktı değerleri.

Bulanık mantık yönteminde de örnek olarak verilen girdi değerleri (Bkz. Tablo 6.10) kullanılarak “y” değişkeninin ilk değeri, rota 1’e karşılık gelen 0.9882 olarak hesaplanmıştır. İkinci değeri ise, güzergah 2’ye tekabül eden 1.9724’tür. Bu bulgular, modelin kriter ağırlıklarını değerlendirerek hangi rotanın tercih edilmesi gerektiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. AK matrisinin birinci sütunu, rota 1’i tercih eden sürücülerin mesafe, zaman, maliyet gibi kriterlere verdikleri puanların bileşimini yansıtmaktadır. Daha önce bulanık mantık yaklaşımıyla gerçekleştirilen analizde olduğu gibi, bu çalışmada da YSA modeli, sürücülerin verdiği puanlara karşılık gelen rota tercihlerini belirleyebilmekte ve bu tercihleri yüksek doğrulukla modelleyebilmektedir.

### 7.3 Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Sonuçlarının Karşılaştırmalı Analizi

Bu bölümde, her iki yapay zeka tekniğinin genelleme performanslarının karşılaştırılabilmesi amacıyla, Tablo 7.7’de sunulan 4. güzergaha ait kriter değerleri dikkate alınmıştır. Karşılaştırma sürecinde, ilgili güzergaha ilişkin en büyük ve en küçük değer aralıkları (Bkz. Tablo 6.8) da göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda, örnek bir uygulama olarak MATLAB ortamında “kar” adlı bir değişken tanımlanmış ve söz konusu değişkenin elde edilme süreci Şekil 7.7’de gösterilmiştir. Sistem, girilen on adet girdi değerini (242, 260, 237, 260, 215, 205, 175, 200, 170, 171) esas alarak kural tabanını işletmiş ve buna bağlı olarak yaklaşık 4.15 düzeyinde (güzergah 4) bir çıktı değeri üretmiştir (Şekil 7.8).

**Tablo 7.7:** Rotaların tercih puanlarına göre değer aralığı sınıflandırma tablosu

	Mesafe	Zaman	Maliyet	Trafik Durumu	Yol Kalitesi ve Konfor	Trafik İşıkları ve Kavşaklar	Güvenlik	Erişilebilirlik ve Bağlantılar	Çevresel Faktörler ve İçsel Tercihler	Ulaşım Modu
Güzergah 1	220 (orta)	238 (yüksek)	173 (düşük)	238 (yüksek)	187 (orta)	194 (yüksek)	153 (yüksek)	156 (orta)	153 (yüksek)	130 (düşük)
Güzergah 2	235 (yüksek)	223 (orta)	178 (orta)	212 (orta)	164 (orta)	176 (orta)	168 (yüksek)	178 (yüksek)	171 (yüksek)	153 (orta)
Güzergah 3	181 (düşük)	178 (düşük)	158 (düşük)	167 (düşük)	154 (düşük)	149 (düşük)	128 (düşük)	141 (düşük)	124 (orta)	119 (düşük)
Güzergah 4	247 (yüksek)	267 (yüksek)	237 (yüksek)	262 (yüksek)	217 (yüksek)	209 (yüksek)	175 (yüksek)	201 (yüksek)	174 (yüksek)	174 (yüksek)
Güzergah 5	192 (düşük)	208 (orta)	182 (orta)	184 (düşük)	192 (yüksek)	191 (yüksek)	129 (düşük)	145 (orta)	139 (orta)	136 (orta)
Güzergah 6	211 (orta)	213 (orta)	173 (düşük)	210 (orta)	161 (orta)	158 (orta)	145 (orta)	171 (orta)	167 (yüksek)	155 (yüksek)
Güzergah 7	178 (düşük)	161 (düşük)	151 (düşük)	172 (düşük)	129 (düşük)	122 (düşük)	115 (düşük)	115 (düşük)	117 (düşük)	116 (düşük)
Güzergah 8	176 (düşük)	166 (düşük)	155 (düşük)	166 (düşük)	134 (düşük)	127 (düşük)	109 (düşük)	113 (düşük)	100 (düşük)	114 (düşük)
Güzergah 9	196 (düşük)	198 (orta)	167 (düşük)	211 (orta)	178 (orta)	179 (orta)	145 (orta)	161 (orta)	150 (yüksek)	139 (orta)
Güzergah 10	201 (orta)	200 (orta)	183 (orta)	209 (orta)	184 (orta)	174 (orta)	146 (orta)	177 (yüksek)	147 (orta)	134 (orta)

```
Command Window
>> kar = [242 260 237 260 215 205 175 200 170 171];
>> y=net(kar')

y =

    4.2086

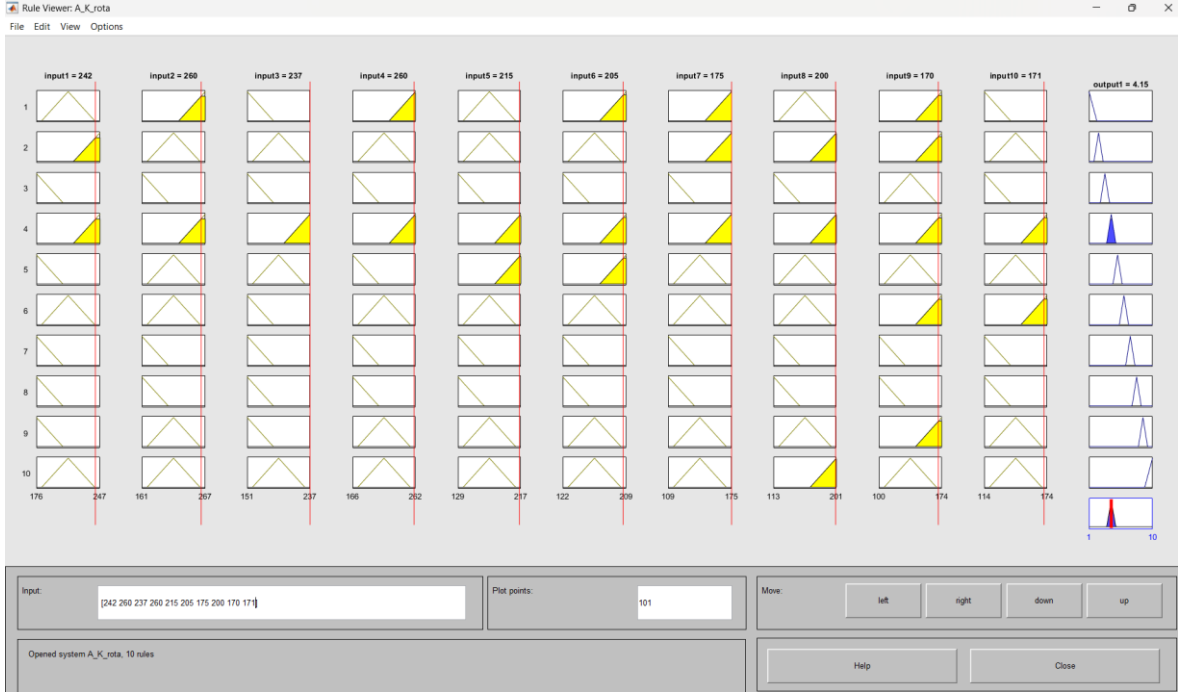
>> output = evalfis(A_K_rota, kar)

output =

    4.1500

fx >> |
```

**Şekil 7.7:** MATLAB ortamında “kar” değişkeninin oluşturulma ekranı.



**Şekil 7.8:** Bulanık mantık yöntemi ile güzergah 4'e ait örnek davranış analizi ekranı.

Yapay sinir ağı modeli, 'y = net(kar)' komutu ile beslenmiş ve model çıktısı olarak 4.2086 değeri (güzergah 4) elde edilmiştir. Benzer şekilde, bulanık mantık modeli 'output = evalfis(A\_K\_rota, kar)' komutu ile çalıştırılmış ve 4.1500 sonucunu (güzergah 4) üretmiştir. Bu bulgular, her iki yapay zeka metodolojisinin de eğitim veri kümesinden farklı girdiler aldığı anda, insan bilişsel süreçlerine benzer şekilde bu verileri tutarlı biçimde yorumlayabildiğini ve optimal rota seçiminde güvenilir sonuçlar üretebildiğini göstermektedir.

Bulanık Mantık (BM), insan uzmanlığını bilgisayar sistemlerine aktarmayı amaçlayan bir yöntem olarak geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, klasik matematiksel modelleme yöntemlerinin aksine, sistemin davranışı uzman kişilerin tecrübelerine dayanarak tanımlanır. Modelleme süreci, önceden belirlenmiş sabit denklemler veya formüllerle değil, doğal dil ifadeleriyle oluşturulan "Eğer... ise..." (IF-THEN) kural tabanlarıyla yürütülür (Zadeh, 1965). Bu yönüyle BM, özellikle nicel verilerin yetersiz olduğu ya da sistem davranışının sözel ifadelerle daha iyi tanımlanabildiği durumlarda tercih edilmektedir.

Bulanık mantık sistemlerinde, aynı probleme farklı uzmanlar tarafından geliştirilen kural setleri farklılık gösterebilir. Bu durum, BM'nin hem güçlü yönlerinden biri hem de

geliştirilme motivasyonudur. Yani sistemin davranışı, tamamen alan uzmanının bilgi ve sezgilerine bağlı olarak modellenebilir. Bu esneklik, bulanık mantığı belirsizlik içeren, karmaşık ve klasik matematiksel yöntemlerle tanımlanması zor olan problemlerde etkili bir çözüm haline getirmektedir (Mendel, 1995).

Öte yandan, Yapay Sinir Ağları (YSA), biyolojik sinir sistemlerinden esinlenerek geliştirilen, veri odaklı öğrenme sistemleridir. YSA'ların temel amacı, giriş ve çıkış verileri arasındaki ilişkiyi öğrenerek bir transfer fonksiyonu oluşturmaktır. Bu süreçte, ağın yapısal özellikleri (gizli katman sayısı, her katmandaki nöron sayısı ve nöronlar arası bağlantılar) önceden sabit değildir. Bu parametreler genellikle deneme-yanılma yöntemiyle iteratif olarak belirlenir (Haykin, 2009).

YSA modellerinde genellikle az sayıda nöron ve katman içeren ağ yapıları tercih edilir. Bunun temel nedeni, sade yapıların eğitim süresini kısaltması ve aşırı öğrenme (overfitting) riskini azaltmasıdır. Ancak nöron sayısının çok düşük olması durumunda modelin genelleme kapasitesi azalabilir. Bu noktada, elde edilen sonuçların yaklaşık doğrulukta olması çoğu uygulama için yeterli kabul edilir. Çünkü hem YSA'da hem de BM'de öğrenme, birebir sonuç üretmeyi değil, sistem davranışını yaklaşık olarak tahmin edebilmeyi hedefler. Bu bağlamda, öğrenme süreci ezberleme ile karıştırılmamalıdır (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016).

Her iki metodolojinin farklı kriter değerleri altında benzer sonuçlar üretmesi ve tutarlı rota değerlendirmeleri yapabilmesi, yapay zeka tekniklerinin insan karar alma mekanizmalarını başarılı biçimde modellediğini ve yüksek genelleme yeteneğine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Yapay zeka tekniklerinin ulaşım planlamasında karar verme süreçlerine entegre edilebilecek güvenilir araçlar olduğunu göstermektedir.

Altıeylül-Karesi güzergahının ulaşım performansının yüksek olduğu ve yapay sinir ağları ile bulanık mantık modellerinin birbirini tamamladığı gözlemlenmiştir. Bulanık mantığın esnek yapısı ile yapay sinir ağlarının güçlü öngörü yeteneği, ulaşım planlamasında bütünleşik ve

etkin bir yaklaşım sunmakta olup, akıllı ulaşım sistemleri ve kentsel planlama politikalarına katkı sağlayabilmektedir.

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 8.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, karmaşık ve çok kriterli bir karar problemi olan rota seçiminde sürücü davranışının modellenmesi, Bulanık Mantık (BM) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yaklaşımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. On farklı güzergah için tanımlanan Mesafe, Zaman, Maliyet, Trafik Durumu, Yol Kalitesi ve Konfor, Trafik Işıkları ve Kavşaklar, Güvenlik, Erişilebilirlik ve Bağlantılar, Çevresel Faktörler ve İçsel Tercihler ile Ulaşım Modu olmak üzere on adet kriter, sürücülerin rota seçim tercihlerini etkileyen ana faktörler olarak belirlenmiştir. Bu kriterlerin "Rota Seçim Olasılığı" üzerindeki etkisi, her iki modelleme yaklaşımıyla da başarıyla incelenmiştir.

Bu çalışmada, gerçekleştirilen anket sonuçlarından hareketle Altıeylül-Karesi ve Karesi-Altıeylül rotaları belirlenmiş ve bu rotalara ilişkin kriterler puanlanmıştır. Uygulanan istatistiksel analizler neticesinde elde edilen veriler doğrultusunda bir bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. Bulanık mantık sisteminde giriş ve çıkış fonksiyonları ile üyelik fonksiyonlarının özellikleri, anket sonuçları temel alınarak seçilmiştir. Tablo ve grafiklerden çıkarılan yorumlara dayanarak, bulanık mantık kuralları araştırmacıların değerlendirmeleri doğrultusunda tanımlanmıştır.

Yapay sinir ağlarında ise giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki ilişkiler, insan yorumundan bağımsız olarak öğrenme algoritmaları vasıtasıyla otomatik olarak parametrelerin optimizasyonu esasına dayanmaktadır. Önceki bölümde sunulan karşılaştırma sonuçları, her iki yöntemin de insanların rota tercihlerini yüksek doğrulukla modellediğini ve birbirine yakın performans sergilediğini ortaya koymuştur.

İleriki çalışmalarda, bu modellerin geliştirilmesine yönelik çeşitli yöntemler incelenecektir. Bulanık mantık sisteminde farklı üyelik fonksiyonları ve kural tabanlarının etkisi araştırılabilir. Yapay sinir ağlarında ise farklı katman yapıları, nöron sayıları ve öğrenme algoritmaları denenerek model performansı optimize edilebilir. Ayrıca, bulanık mantık ile yapay sinir ağlarının entegre edildiği hibrit modeller (örneğin ANFIS) veya derin öğrenme teknikleri üzerine çalışmalar yapılarak mevcut modellerin geliştirilmesi mümkündür.

Yapay Sinir Ağları, karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri veri tabanlı öğrenme yeteneği ile rota seçim probleminde alternatif bir modelleme sağlamıştır. YSA modeli, on adet giriş kriteri arasındaki karmaşık ve doğrusal olmayan etkileşimleri otomatik olarak öğrenerek rota seçim olasılığını tahmin etme yeteneği göstermiştir. Bu, özellikle uzman bilgisinin tam olarak yakalayamadığı veya açıkça ifade edilemeyen gizli örüntüleri ortaya çıkarmada etkili olmuştur. Yeterli ve temsili bir veri seti ile eğitildiğinde, YSA modeli, sürücülerin gerçek rota tercihleriyle yüksek korelasyon gösteren tahminler üretmiştir. Test verileri üzerinde elde edilen yüksek doğruluk oranları, YSA'nın rota seçimi davranışını başarılı bir şekilde genelleme yeteneğini doğrulamıştır. YSA'nın adaptif doğası, yeni sürücü davranışları veya değişen yol koşulları (örneğin, yeni trafik dinamikleri) ile sürekli olarak yeniden eğitilebilme potansiyelini sunar. Bu, modelin zamanla gelişen ve dinamik ortamlara uyum sağlayabilen sağlam bir sistem olmasını sağlar.

Hem Bulanık Mantık hem de Yapay Sinir Ağları yaklaşımları, rota seçimi problemine farklı ancak tamamlayıcı perspektifler sunmuştur. Bulanık Mantık, modelin neden belirli bir kararı verdiğini açıklama yeteneği açısından öne çıkarken, YSA, büyük ve karmaşık veri setlerinden en iyi tahmini yapma konusunda üstünlük göstermiştir.

Bu çalışma, çok kriterli karar verme problemlerinde sürücü davranışının modellenmesinde BM ve YSA'nın bireysel güçlü yönlerini vurgulamıştır. Özellikle, her iki yöntemin de geleneksel keskin modelleme yaklaşımlarının yetersiz kaldığı belirsizlik ve subjektiflik unsurlarını başarılı bir şekilde ele alabildiği gösterilmiştir.

Tezin temel katkısı, sürücülerin rota seçimi süreçlerini etkileyen birden fazla karmaşık kriteri bütüncül bir yaklaşımla ele alarak, hem kural tabanlı (BM) hem de veri tabanlı (YSA) zeki sistemlerle modellemesidir. Elde edilen bulgular, akıllı ulaşım sistemleri, kişiselleştirilmiş navigasyon uygulamaları ve sürücü destek sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir temel teşkil etmektedir. Gelecekteki çalışmalar, bu iki yaklaşımın hibrit modellerle birleştirilerek hem yorumlanabilirliğin hem de tahmin doğruluğunun aynı anda maksimize edilmesi üzerine odaklanabilir.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar;

1. Anket sonucunda, Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine giden yol kullanıcıları ile Karesi İlçesinden Altıeylül İlçesine giden yol kullanıcılarının 1. Tercih güzergah 2 olmuştur.
2. Anket sonucunda, Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine giden yol kullanıcıları ile Karesi İlçesinden Altıeylül İlçesine giden yol kullanıcılarının güzergah tercihlerinin 1. Kriteri Mesafe olmuştur.
3. Anket sonucunda, Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek isteyen yol kullanıcılarının 2. ve 3. güzergah tercihleri birbirinden farklıdır.
4. Anket sonucunda, Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek isteyen yol kullanıcıları için Mesafe ve Zaman kriterleri, aynı derecede önemli kriterlerdir.
5. Anket sonucunda, Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine giden yol kullanıcıları ile Karesi İlçesinden Altıeylül İlçesine giden yol kullanıcılarının güzergah tercihlerinin 2. Kriteri Trafik Durumu olmuştur.
6. Anket sonucunda, En çok tercih edilen güzergahın kriteri Mesafe olmuştur.

## 8.2 Öneriler

Bu tez çalışmasında, rota seçimi probleminde sürücü davranışının modellenmesi için bulanık mantık ve yapay sinir ağları yaklaşımları kullanılarak önemli bulgular elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, gelecekteki çalışmalar için çeşitli öneriler sunulmaktadır. Bu öneriler, modelin geliştirilmesi, uygulanabilirliğinin artırılması ve potansiyel yeni araştırma alanlarının keşfedilmesi amacını taşımaktadır.

Mevcut modellerin performansını ve adaptasyon yeteneğini artırmak amacıyla, BM ve YSA'nın entegre edildiği hibrit sistemlerin (örn. ANFIS) geliştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca, farklı YSA mimarileri ve gelişmiş öğrenme algoritmalarının rota seçimi problemine uygulanması, modelin tahmin gücünü ve karmaşık ilişkileri yakalama kapasitesini artırabilir.

Modelin gerçek dünya senaryolarına uyumunu ve genelleme yeteneğini pekiştirmek için daha kapsamlı, dinamik ve gerçek zamanlı veri setlerinin (örn. trafik sensör verileri, mobil kullanıcı verileri) entegrasyonu kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte, çok modlu ulaşım senaryolarına yönelik model genişletmelerinin yapılması, uygulamanın kapsayıcılığını artıracaktır.

Modelin karar verme süreçlerinin şeffaflığını artırmak amacıyla Açıklanabilir Yapay Zeka (Explainable Artificial Intelligence - XAI) yöntemlerinin entegrasyonu önerilmektedir. Ayrıca, sürücülerin değişen tercihleri ve dinamik çevre koşulları doğrultusunda model parametrelerinin veya kural setlerinin otomatik olarak güncellenebileceği adaptif öğrenme mekanizmalarının araştırılması, sistemin uzun vadeli etkinliğini sağlayacaktır.

## 9. KAYNAKLAR

- Arslan, T. and Khisty, C. J.** (2005). A rational reasoning method from fuzzy perceptions in route choice. *Fuzzy Sets and Systems*, 150(3), 419-435.
- Belohlavek, R., Dauben, J. W., and Klir, G. J.** (2017). *Fuzzy logic and mathematics: a historical perspective*. Oxford University Press.
- Binetti, M. & De Mitri, M.** (2002). Traffic assignment model with fuzzy travel cost. In *Proceedings of the 13th Mini-EURO Conference on Uncertainty in Transportation*, Bari, Italy, 805-812.
- Dhulipala, S., Kedia, A., and Katti, B. K.** (2020). Multi-route choice modelling in a metropolitan context: A comparative analysis using multinomial logit and fuzzy logic based approaches. *European Transport-Transporti Europei*, 79, 1-17.
- Dilek, E., Talih, Ö., ve Ceylan, H.** (2023). Ulusal akıllı ulaşım sistemleri mimarisinin yaygınlaştırılması: türkiye önerisi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, cilt 6, no. 2, 353-392.
- Ecer, F.** (2007). Üyelik fonksiyonu olarak üçgen bulanık sayılar mı yamuk bulanık sayılar mı?. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(2), 161-180.
- Eranıl, B.** (2008). Bulanık hedef programlama yaklaşımı ve tedarikçi seçimi problemine uygulanması (Master's thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Giles, R.** (1976). Łukasiewicz logic and fuzzy set theory. *International Journal of Man-Machine Studies*, 8(3), 313-327.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A.** (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Haykin, S.** (2009). *Neural networks and learning machines* (3rd ed.). Pearson Education.
- Henn, V.** (2002). What is the meaning of fuzzy costs in fuzzy traffic assignment models, 231-239s. In *Proceedings of the 13th Mini EURO Conference Handling Uncertainty in the Analysis of Traffic and Transportation Systems*, Bari.
- Homada, A., Pekalp, M. H., ve Ebegil, M.** (2024) Bulanık Küme ve Bulanık Sayı: Uygulamalarla Aritmetik İşlemler. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 223-247.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Karataş, F., Koyuncu, İ., Tuna, M., ve Alçın, M.** (2020). Bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının fpga üzerinde gerçekleştirilmesi. *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, 1(1), 1-9.
- Keskenler, M. F. ve Keskenler, E. F.** (2017). Bulanık mantığın tarihi gelişimi. *Takvim-i Vekayi*, 5(1), 1-10.
- Klir, G. J. and Yuan, B. (Eds.)**. (1996). *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A Zadeh* (Vol. 6). World Scientific.
- Kuruüzüm, A.** (1999). Bulanık amaç katsayılı doğrusal programlama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 27-36.
- Kocamaz, U. E.** (2018). Kaotik sistemlerin klasik ve zeki yaklaşımlar ile kontrolü (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- Lin, C. T. and Lee, C. S. G.** (1991). Neural-network-based fuzzy logic control and decision system. *IEEE Transactions on computers*, 40(12), 1320-1336.
- Lo, H. P. and Lam, W.S.** (1997). A Modified multinomial logit model of route choice for drivers using the transportation information system. In *Proceedings of 9th Mini-EURO Conference* (Yugoslav Operation Res. Society, Budva, Yugoslavia), 295-299.
- Lotan, T. and Koutsopoulos, H. N.** (1993). Models for route choice behavior in the presence of information using concepts from fuzzy set theory and approximate reasoning *Transportation*, cilt 20, 129-155.
- Mahmassani, H. S. & Srinivasan, K.** (2002). Perception and Judgment Processes in Traveller Decisions Under Real-Time Traffic Information, 266-268s. In *Proceedings of the 13th Mini EURO Conference Handling Uncertainty in the Analysis of Traffic and Transportation Systems*, Bari.
- Mendel, J. M.** (1995). Fuzzy logic systems for engineering: A tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 83(3), 345–377. <https://doi.org/10.1109/5.364485>
- Murat, Y. Ş. ve Kulak, O.** (2005). Ulaşım ağlarında bilgi aksiyomu kullanılarak güzergah (rota) seçimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 11, no. 3. 425-435.
- Murat, Y. S.** (2006). Comparison of fuzzy logic and artificial neural networks approaches in vehicle delay modeling. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14(5), 316-334.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Murat, Y. S. ve Uludağ, N.** (2008). Route choice modelling in urban transportation networks using fuzzy logic and logistic regression methods.
- Özdemir, A., Alaybeyoğlu, A., ve Balbal, K. F.** (2019). Bulanık mantığın eğitim alanındaki uygulamaları. *Bilim Eğitim Sanat ve Teknoloji Dergisi*, 3(1), 45-50.
- Sarı, M., Murat, Y. ve Kırabalı, M.** (2005). Bulanık modelleme yaklaşımı ve uygulamaları. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, no. 009, 77-92.
- Seçmen, M. Z., & Patır,** (2024) S. Narx (Doğrusal olmayan otoregresif dışsal girdili) Yapay sinir ağları model ile otomobil satışı talep tahmini. *Güncel Pazarlama Yaklaşımları ve Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 31-47.
- Şen, Z.** (2001). Bulanık mantık ve modelleme ilkeleri. *Bilge Kültür Sanat*, İstanbul.
- Şen, Z.** (2020). Bulanık mantık ilkeleri ve modelleme. *Su Vakfı*.
- Topel, A.** (2006). Analitik hiyerarşi prosesinin bulanık mantık ortamındaki uygulamaları- bulanık analitik hiyerarşi prosesi. *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2025). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) sonuçları, 2024. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2024-49856>
- Uludağ, N.** (2005). Ulaşım ağlarında rota seçim probleminin bulanık mantık ile modellenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Yılmaz, H. ve Şahin, M. E.** (2023). Bulanık Mantık Kavramına Genel Bir Bakış. *Takvim-i Vekayi*, 11(1), 94-129.
- Yiğit, N.** (2018) Kompleks bulanık kümeler ve uygulamaları (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü). *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Ana Bilim Dalı*.
- Vythoulkas, P. C. & Koutsopoulos, H. N.** (2003). Modeling discrete choice behavior using concepts from fuzzy set theory, approximate reasoning and neural networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 11(1), 51-73.
- Zadeh, L. A.** (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

## **KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

**Zadeh, L. A.** (1996). Towards a theory of fuzzy systems. Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A. Zadeh, 83-104.

# **EKLER**

## **EKLER**

EK A: Güzergah Seçim Davranışı Modelleme Anketi Görüntüsü

# T.C. Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Güzergah Seçim Davranışı Modelleme Anketi

Değerli Katılımcı,

Bu anket,

Kentiçi Ulaşımında Güzergah Seçim Tercihlerinin Yapay Zeka Yöntemleriyle Analizi (Balıkesir Örneği) konulu yüksek lisans tezi kapsamında hazırlanmıştır. Çalışmamızın amacı, yol kullanıcılarının rota seçim davranışlarındaki belirsizlikleri modelleyebilmektir. Kent içi rota seçimleriyle ilgili olarak hazırlanan bu çalışmanın, katılımcıların ulaşım alışkanlıklarını, tercih ettikleri yöntemleri ve faktörleri daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır.

Ankette yer alan sorulara vereceğiniz yanıtlar **tamamen gönüllülük esasına dayalıdır** ve **anonim olarak** değerlendirilecektir. Kişisel bilgileriniz gizli tutulacak; hiçbir şekilde üçüncü şahıslarla paylaşılmayacaktır.

Ankete vereceğiniz dürüst ve samimi yanıtlar, araştırmanın bilimsel geçerliliği açısından büyük önem taşımaktadır. **Araştırmanın amacına ulaşabilmesi, sizlerin değerli katkılarına bağlıdır.**

**Katılımınız için şimdiden teşekkür ederim.**

Saygılarımla,

Havva Merve AKDAŞ, İnşaat Mühendisi

T.C. Balıkesir Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi/İnşaat Mühendisliği Bölümü

dm\_akdas@hotmail.com

---

**Şekil A.1:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:1

Havva Merve AKDAŞ tarafından yürütülen bu araştırma anketine davet edilmiş bulunuyorsunuz. Bu araştırmaya katılıp katılmama kararını vermeden önce, araştırmanın neden ve nasıl yapılacağını bilmeniz gerekmektedir. **Bu çalışmaya katılmak tamamen gönüllülük esasına dayanmaktadır.** Çalışmaya katılmama veya katıldıktan sonra herhangi bir anda çalışmadan çıkma hakkına sahiptir. **Çalışmayı yanıtlamanız, araştırmaya katılım için onam verdiğiniz biçimde yorumlanacaktır.**

Yukarıda yer alan bilgilendirme ışığında, bu araştırmaya hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın gönüllü olarak katılmayı onaylıyor musunuz?

- Onaylıyorum.
- Onaylamıyorum.

18 yaşından büyük müsünüz? \*  
(18 yaşından büyüklerin anketi doldurmaları gerekmektedir.)

- Evet
- Hayır

Yaşınız \*

Yanıtınız \_\_\_\_\_

Cinsiyetiniz

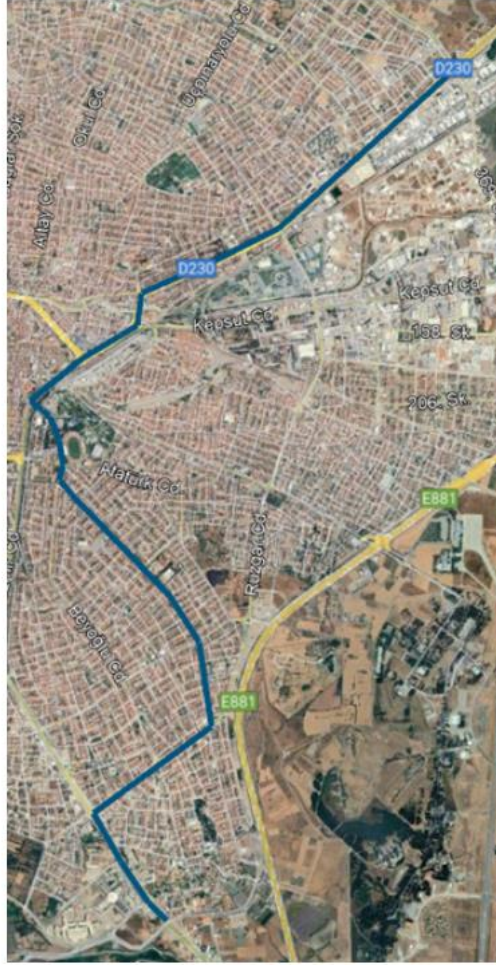
- Kadın
- Erkek

**Şekil A.2:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:2

## Güzergah Bilgileri

Aşağıda verilen güzergahlar, Balıkesir Merkez İlçeleri (Karesi ve Altieylül İlçeleri) için yol kullanıcılarının tercih edebileceği alternatifler olarak belirlenmiştir. (Gidişli-Dönüşlü) Alternatif güzergahların geçtiği yerler, kent merkezindeki kavşaklarda yapılan araç sayımları doğrultusunda trafik yoğunluğuna bağlı olarak belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında yolcuğun başlangıç/bitiş noktaları, Sanayi 2. Kapı/Yeni İzmir Yolu Üzeri-Yeni Çayırhisar Kavşağı olacak şekilde ve yolculuğun, ilçelerin birinde başlayıp diğerinde bittiğini kabul ederek soruları cevaplayınız.

### Güzergah 1 Bilgisi



**Şekil A.3:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:3

## Güzergah 2 Bilgisi



Şekil A.4: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:4

### Güzergah 3 Bilgisi



Şekil A.5: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:5

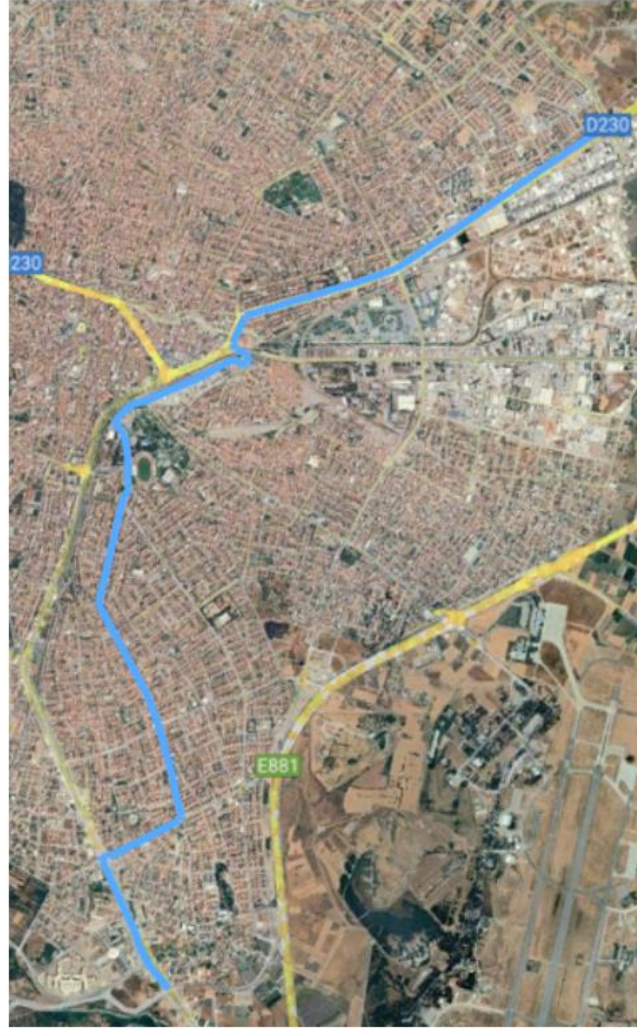


## Güzergah 5 Bilgisi



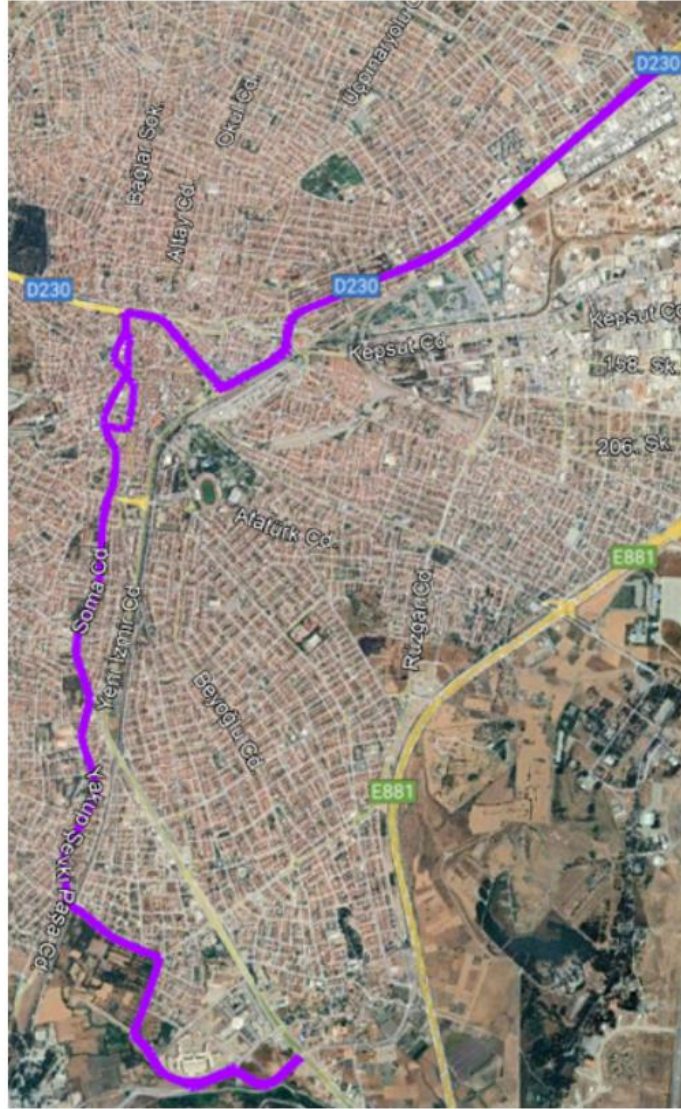
Şekil A.7: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:7

## Güzergah 6 Bilgisi



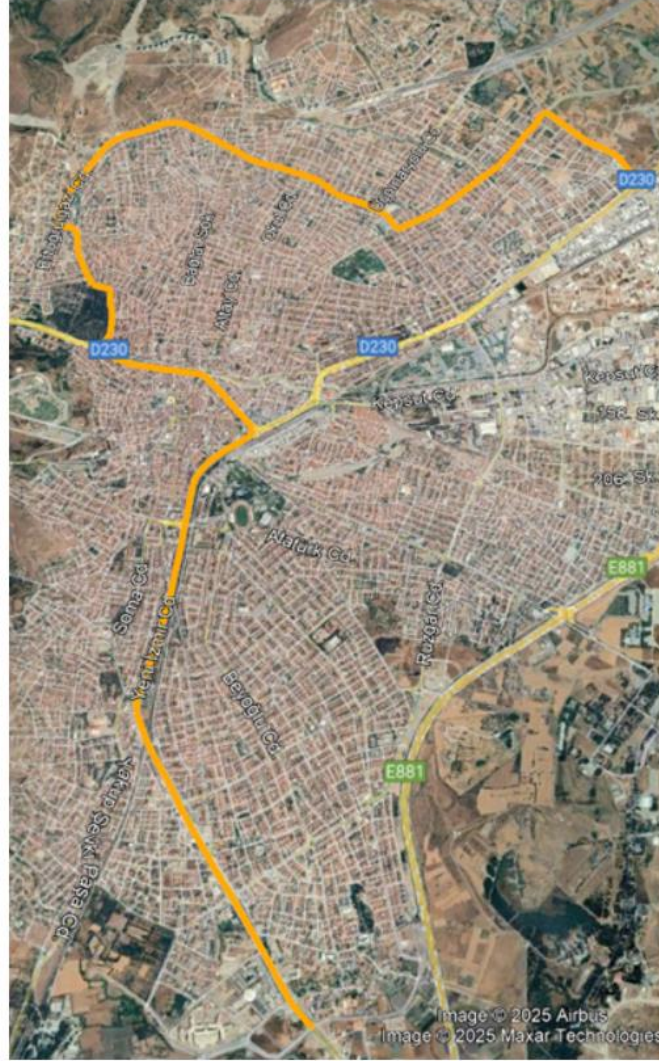
Şekil A.8: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:8

## Güzergah 7 Bilgisi



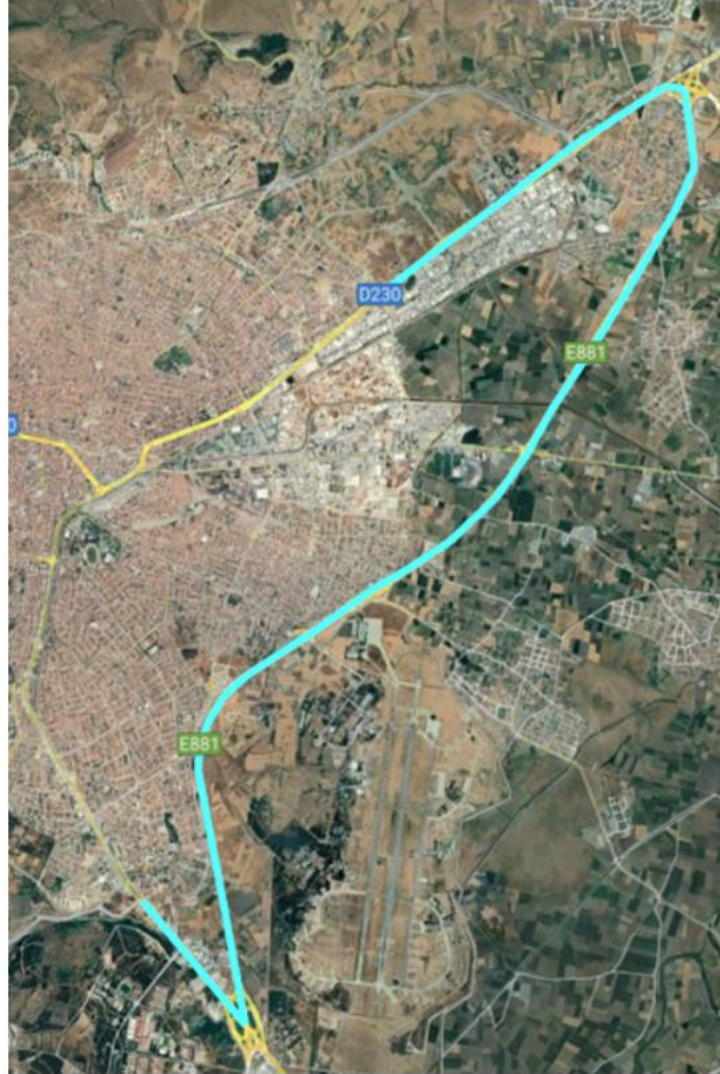
Şekil A.9: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:9

## Güzergah 8 Bilgisi



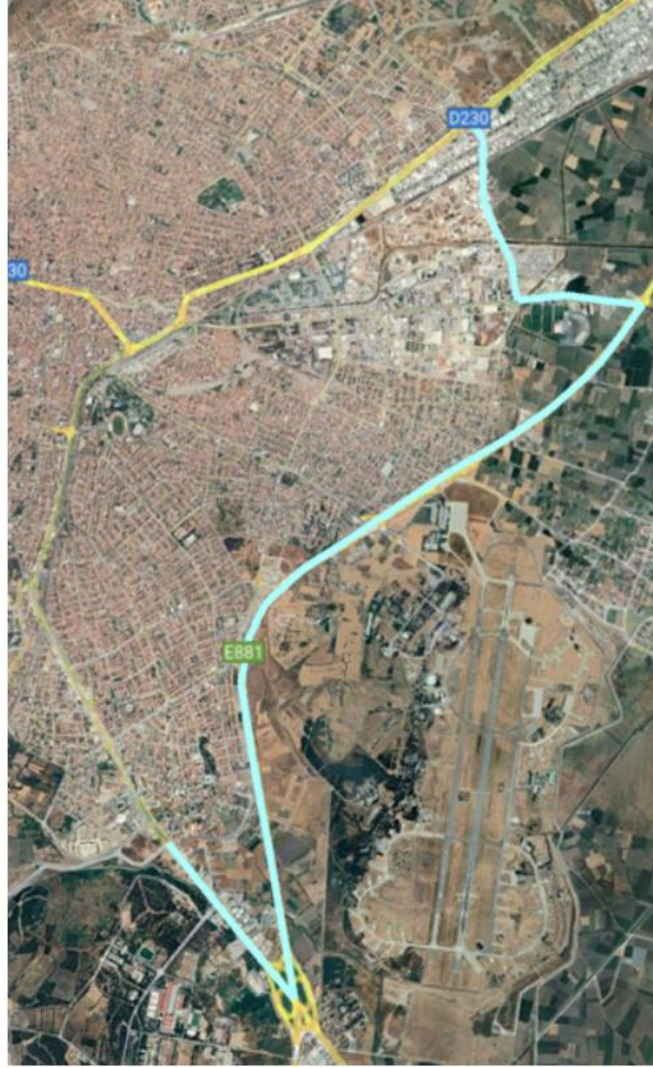
Şekil A.10: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:10

## Güzergah 9 Bilgisi



**Şekil A.11:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:11

Güzergah 10 Bilgisi



Şekil A.12: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:12

**Altaylül İlçesinden Karesi İlçesine** gitmek isteseyiz, yukarıda belirtilen güzergahlardan hangisini tercih edersiniz? \*



Güzergah 1 (Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.-Vasıfçınar Cd.- Yeni İzmir Cd.)



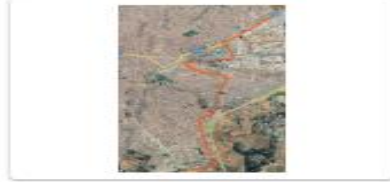
Güzergah 2 (Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.-Vasıfçınar Cd.- Yeni İzmir Cd.)



Güzergah 3 (Sanayi 2. Kapı-339. Sk.-209. Sk.-Demiryolu Üst Geçiti-Yıldırım Cd.-Cengiz Topel Cd.-Stadyum Cd.-Mehmetçik Cd.-Beyoğlu Cd.-Savaştepe Cd.-Yeni İzmir Cd.)



Güzergah 4 (Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.- 339. Sk.-209. Sk.-Demiryolu Üst Geçiti-Yıldırım Cd.-Rüzgar Cd.-Savaştepe Cd.- Yeni İzmir Cd.)



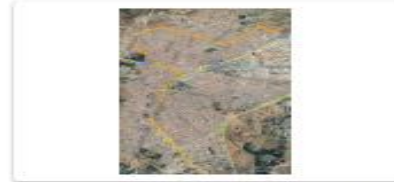
Güzergah 5 (Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.- 339. Sk.-Kepsut Cd.-Atatürk Cd.-Ofis Cd.-Azerbaycan Cd.-Yıldırım Cd.-Rüzgar Cd.-Yuvam Sk.- 100. Yıl Teknik Lisesi Cd.-Yeni Çayırhisar Yolu- Yeni İzmir Cd.)



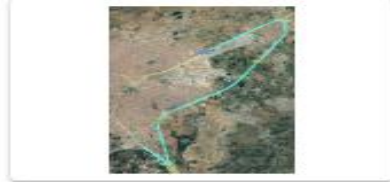
Güzergah 6 (Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.-Atatürk Cd.-Mustafa Tepmeci Myd.-Fatih Sultan Mehmet Cd.-Cengiz Topel Cd.-Stadyum Cd.-Mehmetçik Cd.-Beyoğlu Cd.-Savaştepe Cd.-Yeni İzmir Cd.)



Güzergah 7 (Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.-Vasıfçınar Mh.-Gazi Blv.-(Turan Cd.-Anafartalar Cd.), (Örücüler Cd.-Atalar Cd.)-Anafartalar Cd.-Soma Cd.-Yakup Şevki Paşa Cd.-Dokuma Cd.-190. Sk.-334. Sk.-Yeni İzmir Cd.)



Güzergah 8 (Sanayi 2. Kapı-Atatürk Blv.-Çengel Cd.-Sıtkı Yırcalı Cd.- Mehmet Akif Ersoy Cd.-Çevreyolu Cd.-Ertuğrul Gazi Cd.-Semra Sk.-Eski Beyköy Yolu- Kıyı Sk.-1. Başpınar Sk.-Dr. Ahmet Toprak Cd.-Gazi Blv.-Vasıfçınar Cd.-Yeni İzmir Cd.)



Güzergah 9 (Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.-Balıkesir-İzmir Çevre Yolu-Yeni İzmir Yolu)



Güzergah 10 (Sanayi 2. Kapı-9. Sk.-369. Sk.-Faruk Kula Cd.-Balıkesir-İzmir Çevre Yolu-Yeni İzmir Yolu)

Şekil A.13: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:13



**Altıeyül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için Güzergah 1'i seçmenizin sebebini verilen parametrelere göre derecelendiriniz.**

(1 en düşük puan, 10 en yüksek puan)

(Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.-Vasıfçınar Cd.-Stadyum Cd.-100. Yıl Teknik Lisesi Cd.-Savaştepe Cd.-Yeni İzmir Cd.)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mesafe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zaman	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maliyet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Durumu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Yol Kalitesi ve Konfor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik İşiklan ve Kavşaklar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Güvenlik	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erişilebilirlik ve Bağlantılar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Çevresel Faktörler ve İçsel Tercihler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ulaşım Modu (Yaya, Bisiklet, Araç)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

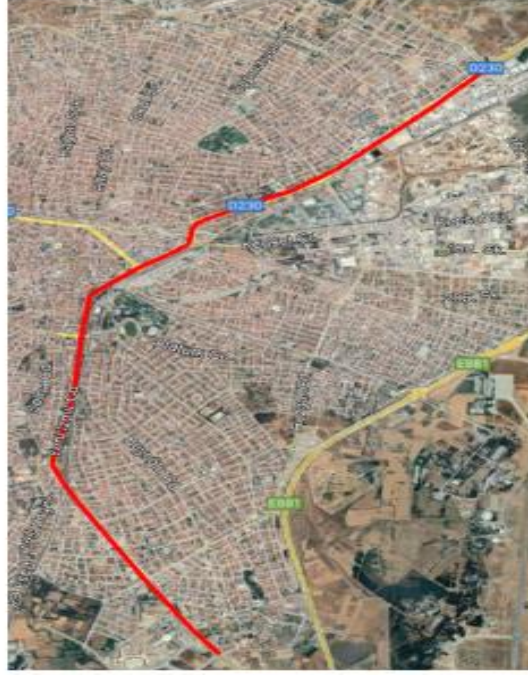
**Şekil A.15:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:15



**Altıeyfül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için** Güzergah 2'yi seçmenizin sebebini verilen parametrelere göre derecelendiriniz.

(1 en düşük puan, 10 en yüksek puan)

(Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.-Vasıfçınar Cd.-Yeni İzmir Cd.)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mesafe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zaman	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maliyet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Durumu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Yol Kalitesi ve Konfor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Işıkları ve Kavşaklar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Güvenlik	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erişilebilirlik ve Bağlantılar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Çevresel Faktörler ve İçsel Tercihler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ulaşım Modu (Yaya, Bisiklet, Araç)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Şekil A.17: Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:17



**Altıeyül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için Güzergah 3'ü seçmenizin sebebini verilen parametrelere göre derecelendiriniz.**

(1 en düşük puan, 10 en yüksek puan)

(Sanayi 2. Kapı-339. Sk.-209. Sk.-Demiryolu Üst Geçiti-Yıldırım Cd.-Cengiz Topel Cd.-Stadyum Cd.-Mehmetçik Cd.-Beyoğlu Cd.-Savaştepe Cd.-Yeni İzmir Cd.)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mesafe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zaman	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maliyet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Durumu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Yol Kalitesi ve Konfor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Işıkları ve Kavşaklar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Güvenlik	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erişilebilirlik ve Bağlantılar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Çevresel Faktörler ve İçsel Tercihler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ulaşım Modu (Yaya, Bisiklet, Araç):	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Şekil A.19:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:19

**Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için Güzergah 4'ü** seçme eğiliminizi puanlayınız.

(örneğin: 1 numarasını işaretlemek 1. tercihim, 10 numarasını işaretlemek 10. tercihim olur anlamındadır.)

(Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.- 339. Sk.-209. Sk.- Demiryolu Üst Geçiti-Yıldırım Cd.-Rüzgar Cd.-Savaştepe Cd.- Yeni İzmir Cd.)



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Şekil A.20:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:20

**Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için Güzergah 4'ü seçmenizin sebebini verilen parametrelere göre derecelendiriniz.**

(1 en düşük puan, 10 en yüksek puan)

(Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.-339. Sk.-209. Sk.-Demiryolu Üst Geçiti-Yıldırım Cd.-RüzgarCd.-Savaştepe Cd.-Yeni İzmir Cd.)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mesafe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zaman	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maliyet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Durumu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Yol Kalitesi ve Konfor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Işıkları ve Kavşaklar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Güvenlik	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erişilebilirlik ve Bağlantılar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Çevresel Faktörler ve İçsel Tercihler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ulaşım Modu (Yaya, Bisiklet, Araç)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Şekil A.21:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:21

**Altıeyül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için Güzergah 5'i** seçme eğiliminizi \*  
puanlayınız.

(örneğin: 1 numarasını işaretlemek 1. tercihim, 10 numarasını işaretlemek 10. tercih olur anlamındadır.)

(Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.- 339. Sk.-Kepsut Cd.-Atatürk Cd.-Ofis Cd.-Azerbaycan Cd.-Yıldırım Cd.-Rüzgar Cd.-Yuvam Sk.- 100. Yıl Teknik Lisesi Cd.-Yeni Çayırhisar Yolu- Yeni İzmir Cd.)



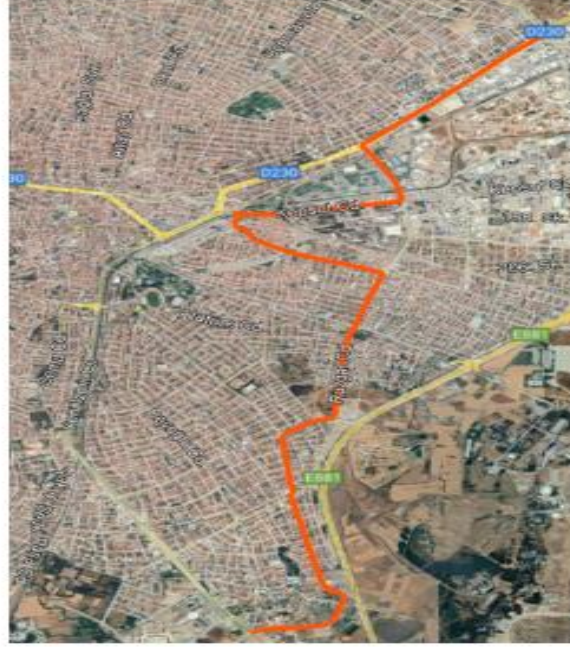
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

**Şekil A.22:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:22

**Altıeyül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için Güzergah 5'i seçmenizin** sebebini verilen parametrelere göre derecelendiriniz.

(1 en düşük puan, 10 en yüksek puan)

(Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.-339. Sk.-KepsutCd.-Atatürk Cd.-Ofis Cd.-Azerbaycan Cd.- Yıldırım Cd.-RüzgarCd.-Yuvam Sk.-100. Yıl Teknik Lisesi Cd.-Yeni Çayırhisar Yolu-Yeni İzmir Cd.)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mesafe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zaman	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maliyet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Durumu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Yol Kalitesi ve Konfor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Işıkları ve Kavşaklar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Güvenlik	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erişilebilirlik ve Bağlantılar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Çevresel Faktörler ve İçsel Tercihler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ulaşım Modu (Yaya, Bisiklet, Araç)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Şekil A.23:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:23



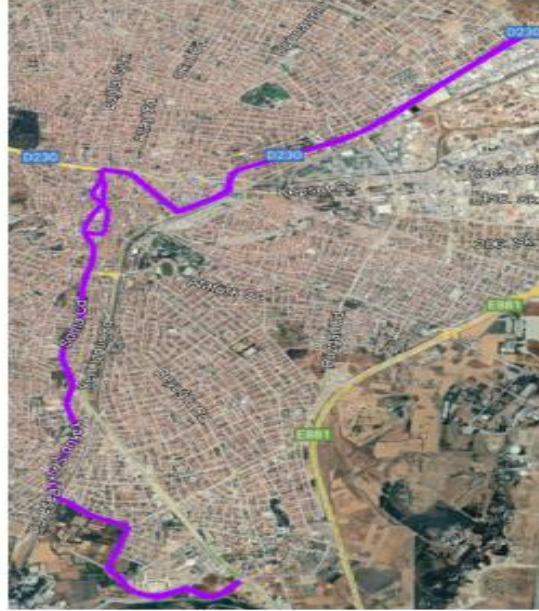




**Altıeyül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için Güzergah 7'yi seçmeniz sebebi** verilen parametrelere göre derecelendiriniz.

(1 en düşük puan, 10 en yüksek puan)

(Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.-Vasıfçınar Mh.-Gazi Blv.-(Turan Cd.-Anafartalar Cd.),(Örücüler Cd.-Atalar Cd.)-Anafartalar Cd.-Soma Cd.-Yakup Şevki Paşa Cd.-Dokuma Cd.-190. Sk.-334. Sk.-Yeni İzmir Cd.)



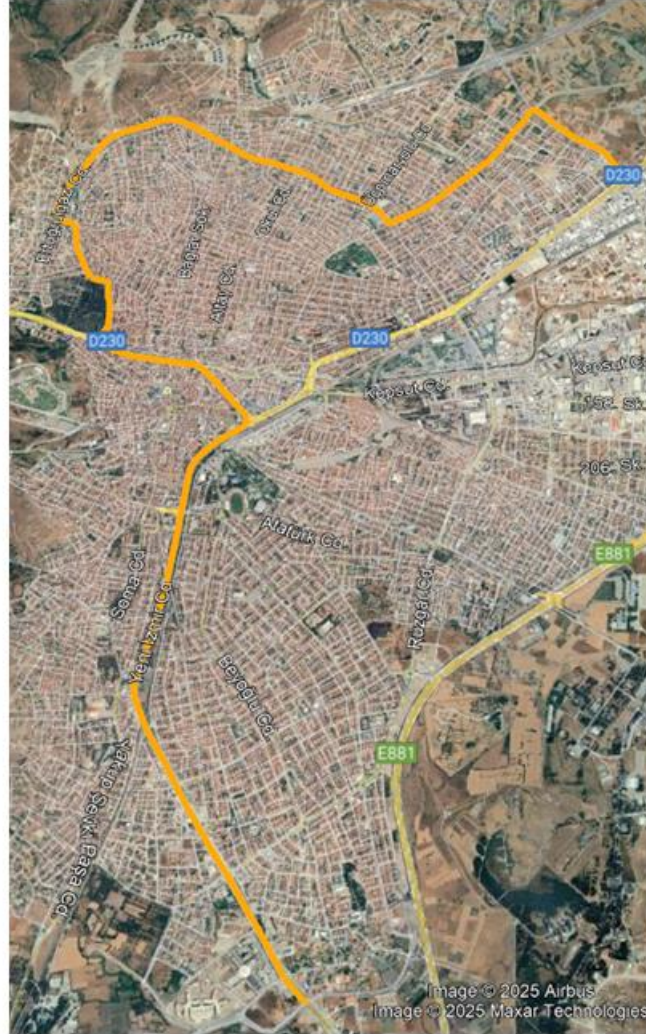
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mesafe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zaman	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maliyet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Durumu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Yol Kalitesi ve Konfor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik İşikları ve Kavşaklar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Güvenlik	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erişilebilirlik ve Bağlantılar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Çevresel Faktörler ve İçsel Tercihler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ulaşım Modu (Yaya, Bisiklet, Araç)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Şekil A.27:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:27

**Altıeyül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için Güzergah 8'i** seçme eğiliminizi puanlayınız.

(örneğin: 1 numarasını işaretlemek 1. tercihim, 10 numarasını işaretlemek 10. tercihim olur anlamındadır.)

(Sanayi 2. Kapı-Atatürk Blv.-Çengel Cd.-Sıtkı Yırcalı Cd.- Mehmet Akif Ersoy Cd.-Çevreyolu Cd.-Ertuğrul Gazi Cd.-Semra Sk.-Eski Beyköy Yolu- Kıyı Sk.-1. Başpınar Sk.-Dr. Ahmet Toprak Cd.-Gazi Blv.-Vasıfçınar Cd.-Yeni İzmir Cd.)



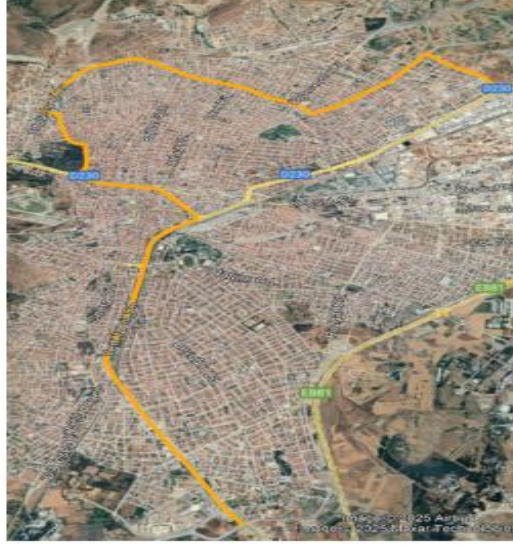
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Şekil A.28:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:28

**Altıeyül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için Güzergah 8'i seçmenizin sebebini verilen parametrelere göre derecelendiriniz.**

(1 en düşük puan, 10 en yüksek puan)

(Sanayi 2. Kapı-Atatürk Blv.-Çengel Cd.-Sıtkı Yırcalı Cd.-Mehmet Akif Ersoy Cd.-Çevreyolu Cd.-Ertuğrul Gazi Cd.-Semra Sk.-Eski Beyköy Yolu- Kıyı Sk.-1. Başpınar Sk.-Dr. Ahmet Toprak Cd.-Gazi Blv.-Vasıfçınar Cd.-Yeni İzmir Cd.)



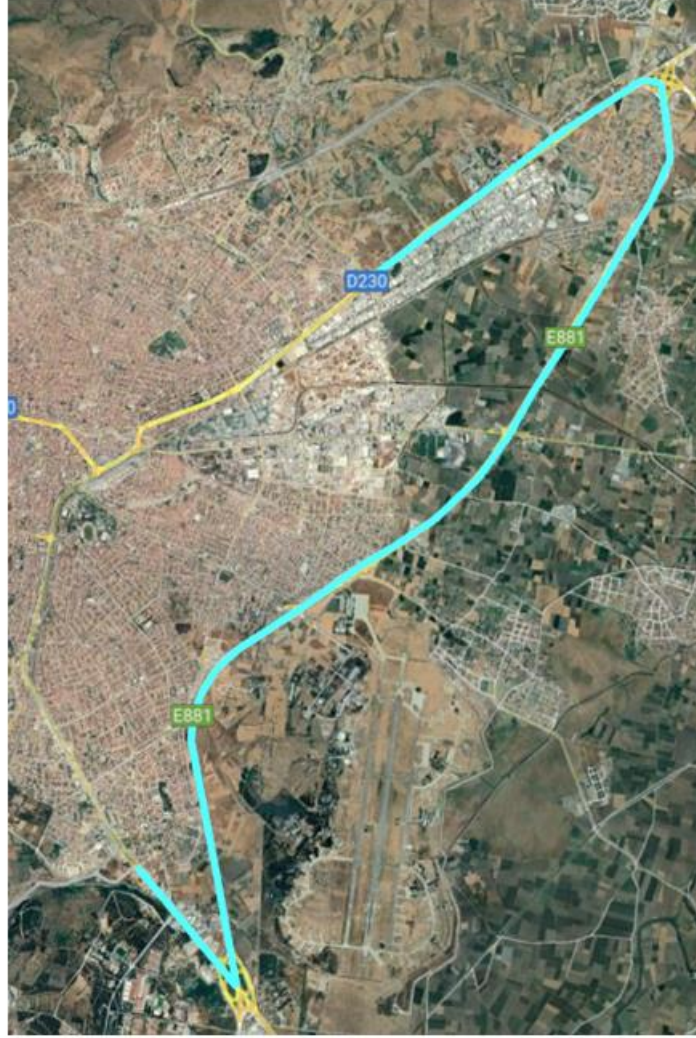
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mesafe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zaman	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maliyet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Durumu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Yol Kalitesi ve Konfor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Işıkları ve Kavşaklar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Güvenlik	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erişilebilirlik ve Bağlantılar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Çevresel Faktörler ve İçsel Tercihler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ulaşım Modu (Yaya, Bisiklet, Araç)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Şekil A.29:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:29

**Altıeyül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için Güzergah 9'u** seçme eğiliminizi puanlayınız.

(örneğin: 1 numarasını işaretlemek 1. tercihim, 10 numarasını işaretlemek 10. tercihim olur anlamındadır.)

(Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.-Balıkesir-İzmir Çevre Yolu-Yeni İzmir Yolu)



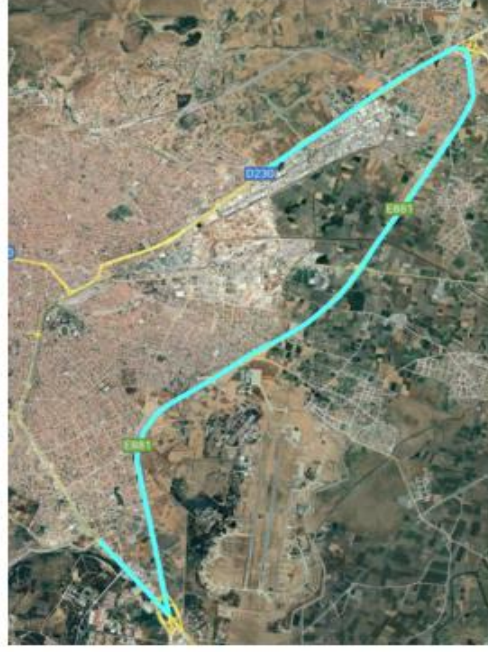
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

**Şekil A.30:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:30

**Altıeyül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için** Güzergah 9'u seçmenizin sebebini verilen parametrelere göre derecelendiriniz.

(1 en düşük puan, 10 en yüksek puan)

(Sanayi 2. Kapı-Bandırma Cd.-Balıkesir-İzmir Çevre Yolu-Yeni İzmir Yolu)



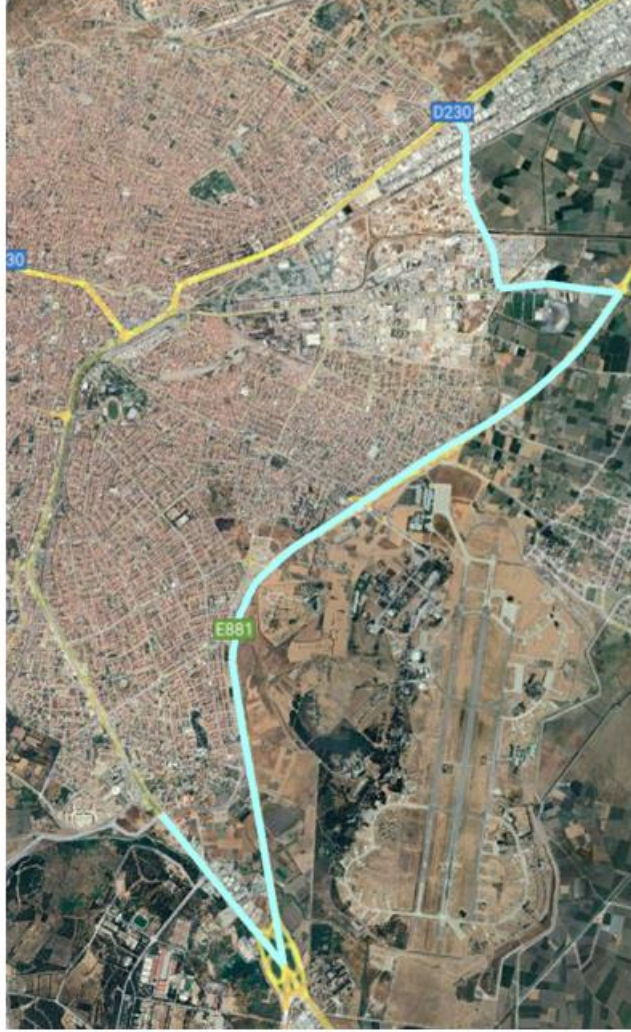
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mesafe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zaman	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maliyet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Durumu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Yol Kalitesi ve Konfor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik İşikları ve Kavşaklar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Güvenlik	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erişilebilirlik ve Bağlantılar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Çevresel Faktörler ve İçsel Tercihler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ulaşım Modu (Yaya, Bisiklet, Araç)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Şekil A.31:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:31

**Altıeylül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için Güzergah 10'u** seçme eğiliminizi puanlayınız.

(örneğin: 1 numarasını işaretlemek 1. tercihim, 10 numarasını işaretlemek 10. tercihim olur anlamındadır.)

(Sanayi 2. Kapı-9. Sk.-369. Sk.-Faruk Kula Cd.- Balıkesir-İzmir Çevre Yolu-Yeni İzmir Yolu)



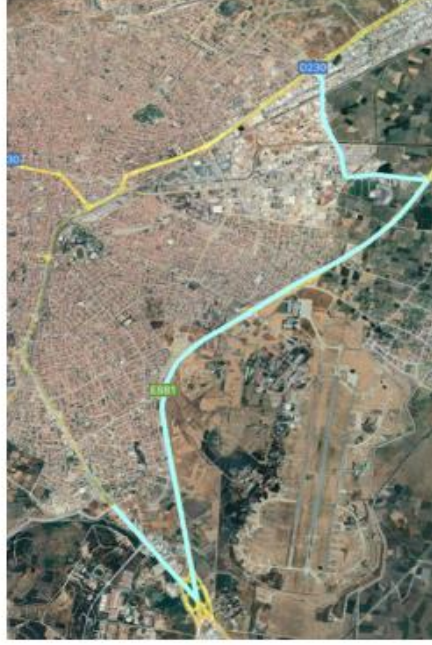
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Şekil A.32:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:32

**Altaylül İlçesinden Karesi İlçesine gitmek için Güzergah 10'u seçmenizin sebebini verilen parametrelere göre derecelendiriniz.**

(1 en düşük puan, 10 en yüksek puan)

(Sanayi 2. Kapı-9. Sk.-369. Sk.-Faruk Kula Cd.-Balıkesir-İzmir Çevre Yolu-Yeni İzmir Yolu)



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mesafe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zaman	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Maliyet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Durumu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Yol Kalitesi ve Konfor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Trafik Işıkları ve Kavşaklar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Güvenlik	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erişilebilirlik ve Bağlantılar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Çevresel Faktörler ve İçsel Tercihler	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ulaşım Modu (Yaya, Bisiklet, Araç)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Şekil A.33:** Güzergah seçim davranışı modelleme anketi görüntüsü no:33

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Havva Merve AKDAŞ  
Doğum tarihi ve yeri : 25/01/1989- BALIKESİR  
e-posta : merve\_yoran@msn.com

### Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği/Ulaştırma Anabilim Dalı	2025
Lisans	Anadolu Üniversitesi/İktisat Fakültesi/İktisat	2022
Y. Lisans (Tezsiz)	Balıkesir Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/ İş Sağlığı ve Güvenliği	2017
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2013
Lise	Sırrı Yırcalı Anadolu Lisesi	2007