

**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA SİSTEMLERİNİN MATEMATİKSEL
PROGRAMLAMA VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME İLE
OPTİMİZASYONU**

Mustafa HAMURCU

TEMMUZ 2020

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Mustafa HAMURCU tarafından hazırlanan SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA SİSTEMLERİNİN MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME İLE OPTİMİZASYONU adlı **Doktora Tezinin** Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Doktora Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Tamer EREN

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan :Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Üye (Danışman) :Prof. Dr. Tamer EREN

Üye :Doç. Dr. Hakan ÇERÇİOĞLU

Üye :Doç. Dr. Evrencan ÖZCAN

Üye :Dr. Öğr. Üyesi Hacı Mehmet ALAKAŞ

... / ... /2020

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Çok kıymetli aileme, rahmetli dedem ve babaanneme...

ÖZET

SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA SİSTEMLERİNİN MATEMATİKSEL PROGRAMLAMA VE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME İLE OPTİMİZASYONU

HAMURCU, Mustafa

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Tamer EREN

Temmuz 2020, 193 Sayfa

Dünya nüfusu hızla artmakta ve 2050 yılına kadar iki katına çıkması beklenmektedir. Ayrıca birçok insanın kırsal alanlardan şehirlere göçü de devam etmektedir. Bu eğilimin, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, önümüzdeki yıllarda daha da hızlanması beklenmektedir. Dünya şehirleri, artan nüfus ve kentleşme nedeniyle sakinlerinin yaşam kalitesini koruma ve geliştirme noktasında birçok zorluk ile karşı karşıya kalmaktadır. Kıt kaynaklar, küresel ısınma ve beraberinde ortaya çıkan iklim değişikliği ve doğal felaketler, büyük yıkımlar ve kayıplar, insanoğlunu problemler karşısında yeni çözümler üretmeye zorlamaktadır. Sonuç itibarıyla, problemlerin çözümünde bilgi ve iletişim teknolojileri ile sürdürülebilir ve akıllı çözümler konusundaki ilgi artmaktadır. Bu kapsamda Türkiye Cumhuriyeti Devleti 11. Kalkınma Planı'nda da öncelikli alanlar belirlenmiş ve daha yaşanabilir şehirler ve yaşam kalitesinin artırılması noktasında beş yıllık program ortaya konulmuştur. 2019-2023 yıllarını kapsayan kalkınma planında %34,8'lik pay ile en büyük kaynağın ulaştırma sistemlerinin geliştirilmesine ayrıldığı görülmüştür. Bütçe harcamaları içinde en büyük payın ulaştırma sistemlerine ayrılması bu alanın önemini gözler önüne sermektedir. Dolayısıyla ulaştırma sistemlerinin, ekonomi ve uluslararası rekabet üzerinde şimdi ve gelecekte oynayacağı temel rol düşünüldüğünde

taşıdığı misyon doğrultusunda tüm etki faktörleri göz önünde bulundurularak etkili ve verimli planlanması kritik öneme sahiptir.

Bu tez kapsamında da ulaşımda sürdürülebilirlik, yeşil ulaşım, karbon ayak izi, paydaş katılımı ve akıllı ulaşım kavramları üzerinde durularak gerçek uygulama örneklerine yer verilmiştir. Tez kapsamında üç ana başlıkta ulaşım planlama incelenmiştir; Araç seçimi, proje seçimi ve yer seçimi problemleri. Araç seçim problemi konusunda dört, proje seçim problemi konusunda yedi ve yer seçimi problemi konusunda bir uygulama olmak üzere toplam 12 uygulama yapılmıştır. Uygulamalarda hedef programlama, kısıt programlama ve çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Bu tez çalışması ile daha sürdürülebilir şehirler oluşturmak amacıyla ulaşım planlaması alanında 3 temel konu ele alınmış ve kentsel yönetim, şehir ve ulaşım planlamacıları vb. karar vericiler için (planlama süreçlerine yardımcı olunması) yol gösterilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ulaştırma sistemleri planlaması, Sürdürülebilirlik, Optimizasyon, Çok kriterli karar verme, Akıllı ulaşım, Yeşil ulaşım, Paydaş katılımı, Karbon ayak izi, Hedef programlama, Kısıt Programlama

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF SUSTAINABLE TRANSPORTATION SYSTEMS WITH MULTICRITERIA DECISION MAKING AND MATHEMATICAL MODELLING

HAMURCU, Mustafa

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, Ph. D. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Tamer EREN

July 2020, 193 pages

The world's population is growing rapidly and is expected to double by 2050. Besides, many people continue to migrate from rural areas to cities. This trend is expected to accelerate further in the coming years, especially in developing countries. Due to the growing population and urbanization, the world's cities face many challenges in preserving and improving the life quality of its inhabitants. Limited resources, global warming, and the emerging climate change and natural disasters, major devastation and losses force humanity to come up with new solutions in the face of problems. As a result, interest in solving problems is increasing interest in information and communication technologies and sustainable and intelligent solutions. In this context, the priority areas also are identified in the 11th Development Plan of Turkey, covering the 2019-2023 period, and a five-year program was put forward to improve more livable cities and the quality of life. In the development plan covering the years 2019-2023, it has been observed that the largest resource rate is allocated to the development of transportation systems with a share of 34.8%. The allocation of the largest share in the budget expenditures to the transportation systems reveals the importance of this area. Therefore, considering the main role that transportation systems will play on the economy and international competition now and in the future, it is critical to plan effectively and efficiently, considering all the impact factors in line with its mission.

Within the scope of this thesis, real application examples are given with emphasis on sustainability in transportation, green transportation, carbon footprint, stakeholder participation and smart transportation. In the thesis, transportation planning is examined under three main topics: vehicle selection, project selection and site selection problem. A total of 12 current problems are applied: four applications in the vehicle selection problem, seven applications in the project selection problem, and one application in the site selection problem. Goal programming, constraint programming and multi-criteria decision-making methods are used in these applications. Three basic issues in transportation planning are discussed to create more sustainable cities with this thesis. It is aimed to guide the decision-makers in their decisions for urban management, city and transportation planners, etc.

Key Words: Transportation Systems Planning, Sustainability, Optimization, Multi-Criteria Decision Making, Smart Transportation, Green Transportation, Stakeholder Engagement, Carbon Footprint, Goal Programming, Constraint Programming

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımcı esirgemeyen, öğrencilik ve asistanlık sürem boyunca maddi ve manevi büyük destek olan, tez yöneticisi hocam, Sayın Prof. Dr. Tamer EREN'e, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm Sayın Doç. Dr. Evrencan ÖZCAN'a, Sayın Doç. Dr. Hakan ÇERÇİÖĞLU'na, Sayın Dr Öğr. Üyesi Hacı Mehmet ALAKAŞ'a verdiği destek ve motivasyondan dolayı teşekkür ederim. Ayrıca her zaman yanımda olan annem ve babama çok teşekkür ediyorum.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIM PLANLAMA.....	7
2.1. Araç Seçim Problemi	8
2.2. Proje Seçim Problemi.....	13
2.3. Yer Seçim Problemi	15
2.4. Ulaşım Planlamada Öne Çıkan Trendler.....	16
2.4.1. Sürdürülebilirlik	16
2.4.2. Paydaş Katılımı	19
2.4.3. Karbon Ayak İzi.....	20
2.4.4. Yeşil Ulaşım.....	21
2.4.5. Akıllı Ulaşım.....	23
3. SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIM PLANLAMADA KARAR VERME.....	25
3.1. Çok Kriterli Karar Verme	27
3.1.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	29
3.1.2. Analitik Ağ Süreci (AAS).....	31
3.1.3. TOPSIS	33
3.1.4. MOORA.....	35
3.1.5. VIKOR	36
3.1.6. Bulanık kümeler	38
3.1.7. ÇKKV Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	39

3.2. Tezde Kullanılan Matematiksel Modeller.....	41
3.2.1. Hedef Programlama	42
3.2.2. Kısıt Programlama	44
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	47
4.1. Araç Seçim Problemi Hakkında Literatür Araştırması	56
4.1.1. Literatürde Toplu Ulaşım Araçlarının Seçimi.....	57
4.1.2. Literatürde Otomobil Seçimi.....	59
4.1.3. Literatürde Trafik Yönetimi için Dron Kullanımı	64
4.2. Literatürde Proje Seçimi	66
4.3. Ulaşım Planlamada Yer Seçimi Problemi ile ilgili Literatür Araştırması.....	67
4.4. Literatür Araştırmasının Sonuçları Değerlendirmesi	68
4.4.1. Problemin Tipine Göre Sınıflandırma.....	69
4.4.2. Uygulama Alanına Göre Sınıflandırma	71
4.4.3. Ulaşım Moduna Göre Sınıflandırma.....	73
4.4.4. Ulaşım Yönetimine Göre Sınıflandırma	73
4.4.5. Kullanılan Yönteme Göre Sınıflandırma	73
4.4.6. Ulaşım Planlama Alanında Yapılan Diğer Çalışmalar.....	74
4.4.7. Tez Kapsamında Yapılan Çalışmaların Literatüre Katkıları.....	74
5. SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA SİSTEMLERİNDE GÜNCEL UYGULAMALAR	76
5.1. Araç Seçim Problemi	76
5.1.1. Kentsel Ulaşımın Geliştirilmesinde Elektrikli Araç Seçimi	76
5.1.2. Yeşil Ulaşım için Elektrikli Otobüs Seçimi	85
5.1.3. Sürdürülebilir Ulaşım: Elektrikli Otomobil Seçimi	95
5.1.4. Sürdürülebilir Trafik Yönetimi İçin En Uygun Dron Seçimi	106
5.2. Proje Seçimi Uygulamaları	119
5.2.1. Sürdürülebilirlik Temelinde Stratejik Planlama.....	119
5.2.2. Monoray Projelerinin Seçimi	130
5.2.3. Raylı Sistem Projelerinin Seçimi	139
5.2.4. Kısıt Programlama ile Proje Sıralama.....	147
5.2.5. Raylı Sistem Projelerinin Önceliklendirilmesinde AAS Kullanımı	152
5.2.7. Akıllı Ulaşım Projelerinin Seçimi.....	159

5.2.7. Şehirler Arası Ulaşım Projelerinin Seçimi.....	166
5.3. Köprü Yeri Seçim Problemi.....	175
5.3.1. Paydaş Katılımına Dayalı Köprü Yeri Seçimi	175
5.4. Uygulamaların Değerlendirilmesi.....	185
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	188
KAYNAKLAR	194
ÖZGEÇMİŞ	256



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. ÇKKV yöntemleri ve kullanım alanları	29
3.2. Bulanık üçgen sayılar	39
3.3. Bulanık ÇKKV uygulamaları.....	39
3.4. ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırılması	40
3.5. Hedef programlama formülasyonu	43
3.6. Kısıt programlama formülasyonu	45
4.1. Ulaştırma ile ilgili literatür araştırmaları	49
4.2. Sürdürülebilirlik boyutları ve değerlendirme kriterleri-Literatür araştırması.....	51
4.3. Literatür araştırması	53
4.4. Literatür araştırmasının özeti	56
4.5. Araç seçimi ile ilgili araştırmalar	58
4.6. Temiz teknolojili araçların seçimi.....	60
4.7. Ulaştırmada dron kullanımı	65
4.8. Ulaşım moduna göre sınıflandırma.....	73
4.9. Kullanılan yönteme göre sınıflandırma.....	74
4.10. Güncel uygulamaların literatüre katkıları	75
5.1. Alternatif elektrikli araç özellikleri.....	79
5.2. TOPSIS yöntemi ile sıralama.....	80
5.3. Oran yöntemine göre sıralama	81
5.4. Referans noktası yöntemine göre sıralama	82
5.5. Sıralama sonuçlarının karşılaştırılması	82
5.6. Sonuçların doğrulanması.....	83
5.7. Spearman sıra korelasyon katsayısı uygunluğu	84
5.8. Seçim alternatifleri	88
5.9. Elektrikli otobüs değerlendirme kriterleri.....	89
5.10. Seçim kriterlerinin ağırlıkları ve kabul seviyesi	91
5.11. TOPSIS ile sonuç sıralaması.....	91
5.12. Sonuçların doğrulanması.....	92

5.13. Duyarlılık analizi ve senaryolar	93
5.14. Alternatif elektrikli otomobil verileri.....	98
5.15. TOPSIS ağırlıklı matrisi.....	101
5.16. TOPSIS ile otomobil alternatiflerinin sıralanması.....	102
5.17. Otomobil seçimi için hedef programlama modeli.....	103
5.18. Otomobil seçimi için senaryolar	104
5.19. Otomobil seçimi için sonuçların karşılaştırılması.....	104
5.20. Hibrit elektrik araçlar için eklenebilecek çevre kısıtı	105
5.21. Dron alternatifleri ve özellikleri.....	110
5.22. AHP ile bulunan kriter ağırlıkları	113
5.23. Ağırlıklı TOSIS sıralaması.....	113
5.24. Ağırlıklı MOORA sıralaması.....	114
5.25. Ağırlıklı VIKOR sıralaması	115
5.26. İstatistiksel benzerlik testi	116
5.27. Sonuçların doğrulanması ve Spearman sıra korelasyon katsayısı	117
5.28. Ağırlıksız sıralama ile sonuçların doğrulanması.....	118
5.29. Değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları	127
5.30. Bulanık TOPSIS ile sıralama sonucu.....	128
5.31. Sonuçların doğrulanması.....	129
5.32. Güzergâhlara uygun araçların taşıma kapasitesi ve yatırım maliyetleri	132
5.33. Değerlendirme kriterlerinin karşılaştırılması	134
5.34. Alternatiflerin öncelik değerleri.....	135
5.35. Monoray proje seçimi için hedef programlama	137
5.36. Kullanılan kaynak ve kapasite miktarı.....	138
5.37. İstanbul için düşünülen raylı sistem projeleri	142
5.38. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve kriter ağırlıkları	143
5.39. Ulaşım çeşitlerinin kriterler bazında ağırlıkları	143
5.40. Ulaşım çeşitlerinin önem ağırlıkları.....	144
5.41. Raylı sistem proje seçimi için matematiksel model.....	145
5.42. Üç farklı bütçe senaryosu ve çözüm sonuçları.....	146
5.43. Planlanan ulaşım projeleri.....	149

5.44. Kısıt programlama modeli	150
5.45. Projelerin seçim sırası ve senaryolar.....	151
5.46. Bütçe senaryoları ve seçim sonuçları.....	151
5.47. AAS ile kullanılacak kriterler ve açıklamaları.....	154
5.48. Yıl için planlanan raylı sistem projeleri.....	155
5.49. Chang yöntemine göre bulanık AAS’de kullanılan ölçek	157
5.50. Ulaşım entegrasyon kriteri ilişkisinin bulanık karşılaştırma matrisi.....	157
5.51. Değerlendirme sonucu ve projelerin sıralanması.....	158
5.52. Önceliklendirme kriterlerinin ağırlıkları	164
5.53. Kriterler bazında Alternatiflerin karşılaştırma sonuçları	164
5.54. Akıllı ulaşım projelerinin öncelik değerleri ve grafiksel gösterim	165
5.55. Şehirler arası alternatif raylı sistem projeleri.....	170
5.56. Kriterler arası karşılaştırma değerleri.....	171
5.57. Normalizasyon ve kriter ağırlıkları.....	172
5.58. Şehirler arası ulaşım projeleri seçimi için HP modeli.....	173
5.59. Sonuç tablosu ve senaryolar.....	174
5.60. Sürdürülebilirlik kriter ağırlıkları-paydaşlar	182
5.61. Alternatiflerin seçim oranları	183
5.62. Yapılan uygulamalar için özet çizelge	187

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Ulaşımında karar verme noktaları	10
1.2. Araç yakıt teknolojileri	12
1.3. Ulaşımında sürdürülebilirlik boyutları	18
3.1. AHP adımları	31
3.2. AAS karar adımları	33
3.3. TOPSIS sıralama adımları	35
3.4. MOORA ile karar verme süreci	36
3.5. VIKOR uygulama adımları	37
5.1. Elektrikli araç seçimi probleminin akış şeması.....	77
5.2. Araç seçimi değerlendirme kriterleri	80
5.3. Elektrikli otobüs seçimi süreci	87
5.4. Seçim problemi için karar hiyerarşisi	90
5.5. Duyarlılık analizi grafiksel gösterimi	94
5.6. Elektrikli otomobil seçimi karar süreci	96
5.7. Elektrikli otomobil seçim kriterleri.....	99
5.8. AHP ile kriterlerin önem sevieleri grafiksel gösterimi	100
5.9. Dron seçim süreci.....	106
5.10. Dron seçim probleminin karar hiyerarşisi.....	112
5.11. Sonuçların karşılaştırılması grafiksel gösterim.....	116
5.12. Araştırma metodolojisi.....	120
5.13. Proje seçimi değerlendirme kriterleri.....	124
5.14. Proje seçim problemi karar hiyerarşisi.....	126
5.15. Monoray projeleri seçimi akış diyagram	131
5.16. Proje seçimi karar hiyerarşisi	133
5.17. Raylı sistem projelerinin seçimi akış şeması	140
5.18. Raylı sistem projeleri seçimi için değerlendirme kriterleri.....	141
5.19. İstanbul mevcut raylı sistem ağı ve planlanan raylı sistem ağı	153

5.20. Problemin ağ yapısı.....	156
5.21. Bulanık değerlerin super decision programında girilmesi	158
5.22. Akıllı ulaşım projeleri seçimi için akış şeması	160
5.23. Akıllı ulaşım projeleri seçim problemi karar hiyerarşisi	163
5.24. Alternatif projelere kriterlerin etkisi	165
5.25. Şehirler arası ulaşım projeleri seçimi için karar verme süreci	168
5.26. Uygulamanın akış şeması.....	176
5.27. Çarşamba'dan bir görünüm	178
5.28. Köprü yeri seçimi için sürdürülebilirlik kriterleri.....	179
5.29. Çarşamba ve alternatif köprü yerleri (A1-A2-A3).....	180
5.30. Yer seçim problemi karar hiyerarşisi	181
5.31. Kriter ağırlıkları grafiksel gösterim	182
5.32. Alternatiflerin seçim sıralamaları grafiksel gösterim.....	184

KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
TOPSIS	Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution
AAS	Analitik Ağ Süreci
MOORA	Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis
VIKOR	Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
İHA	İnsansız Hava Araçları
BÇKKV	Bulanık Çok Kriterli Karar Verme
BAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
YHT	Yüksek Hızlı Tren
HT	Hızlı Tren
ELECTRE	Elimination and Choice Expressing Reality
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
EPA	Environmental Protection Agency
MP	Matematiksel Programlama
KP	Kısıt Programlama
BS	Bulanık Sayılar

1. GİRİŞ

Hızla artan nüfus, şehirleşme, ekonomik faaliyetler ve çeşitlenen tüketim alışkanlıkları çevre ve doğal kaynak üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Çevre kirliliği, iklim değişikliği, çölleşme, ormansızlaşma, biyolojik çeşitlilik kaybı, kuraklık gibi çevre problemleri, her geçen gün insan yaşamını ve kalkınma sürecini daha belirgin bir şekilde etkilemektedir. Yüksek sera gazı emisyonlarının da etkisiyle hızlanan iklim değişikliğinin doğal afetlerin artmasına neden olduğu ve insanlık için ciddi bir tehdit oluşturduğu görülmektedir. Talebin ve tüketimin arttığı dünyada sürdürülebilir çevre ve doğal kaynak yönetimi ile yaşanabilir kentlerin inşası daha da önem kazanmaktadır.

Kentlerin sürdürülebilir gelişimini sağlamaya yönelik; erişilebilir yüksek bağlantılı kentsel ulaşım sisteminin kurulması, afetlere ve iklim değişikliğine karşı dayanıklı altyapı, sürdürülebilir üretim ve tüketim mekanizmasının oluşturulması, uzun vadeli bütünleşik kentsel planlama ve tasarım yapılması ve etkin afet yönetiminin uygulanması gibi çalışmalar, tüm paydaşların katılımını ve kapsamlı bir iş birliğini gerekli kılmaktadır. Artan nüfusun ihtiyaçları ve çeşitlenen tercihleri kalkınma sürecini etkilerken, çevre üzerinde oluşan baskının azaltılması önem kazanmaktadır. Bu çerçevede, çevre kirliliğinin önlenmesi çalışmalarına ve doğal kaynakların korunmasına ve sürdürülebilir kullanımına öncelik verilmektedir.

Şehrin memnuniyetinin sağlanması, daha sürdürülebilir ve yaşanabilir şehirlerin oluşturulmasında şehrin ulaşım alt yapısı kritik bir rol oynamaktadır. Literatürde yer alan birçok çalışmada şehir sürdürülebilirlik göstergeleri arasında yer alan ve akıllı şehirlerin oluşturulmasında yedi bileşenden biri olan ulaşım alt yapısı, şehrin tüm paydaşları için önemli bir gösterge olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tez kapsamında da daha yaşanabilir şehirler oluşturulması için sürdürülebilirlik çerçevesinde yaşam standartlarının arttırılması ve daha sürdürülebilir şehirlerin inşasında ulaştırma sistemlerinin geliştirilmesini amaçlanmaktadır. Ek olarak ulaşım altyapısının desteklenmesi, daha rahat, konforlu, güvenli ve hızlı toplu ulaşım hizmetinin sunulması, CO2 emisyonlarının sıfıra indirilmesi

ve bu bağlamda çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve iklim değişikliği ile mücadele, sürdürülebilir ulaşım politika ve araçlarının önceliklendirilmesi ile daha yeşil bir şehir amaçlanmaktadır.

Yaşanabilir şehirlerin oluşturulmasında temiz enerji/teknoloji, kaynak verimliliği, etkili planlama/karar süreçleri ve toplumun desteği önemli yer tutmaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji ile alternatif yakıtlı araç teknolojileri gelişmiş ve halen gelişme süreci hızla devam etmektedir. Çeşitlenen araç teknolojileri arasından en uygununun seçimi hem tüketiciler hem de toplu ulaşım otobüsleri kullanımında yerel yönetimler için üzerinde önemle durulması gereken konulardır. Kentsel ulaşımın geliştirilmesi konusunda ortaya konulan projelerden daha fazla yararın sağlanması noktasında da sürdürülebilirlik temelinde önceliklendirilmesi ve etkili kaynak kullanımı bağlamında planlanması iyi bir yönetim sağlamaktadır. Ayrıca, yolcu memnuniyetini artırıcı kritik bir rol oynamaktadır. Ulaşım planlamanın tüm karar noktalarında, paydaş katılımının sağlanması ile ortaya konulan projelerin kabulü ve destek bulması daha sürdürülebilir bir ulaşım sistemi ortaya koyacaktır. Tüm bu sebeplerden dolayı çevresel, ekonomik ve sosyal yaşamı büyük ölçüde etkileyen ulaştırma sistemlerinin en önemli konularından olan 3 ana konu: araç seçimi, proje seçimi ve yer seçimi ele alınmıştır. Bu tez kapsamında da bu üç konu ile ilgili güncel uygulamalar yapılmıştır.

Ulaşım problemleri çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik konular nedeniyle kompleks ve zor karar süreçleri içermektedir. Ayrıca bütçeleme ile kaynak kısıtları altında planlama süreci, problemi daha kompleks hale getirmektedir. Yerel yönetimlerde ulaşım ile ilgili problemleri çözebilmek için tüm bu faktörler ve birçok kriter dikkate alınarak en uygun çözümün bulunması gerekmektedir. Çözüm yöntemi olarak çok kriterli karar verme yöntemleri, karar verme süreci için çok uygun araçlardır. Özellikle kaynak kısıtlı proje seçimi problemlerinde hedef programlama, kısıt programlama gibi matematiksel modeller kullanılmaktadır. Bu tezde de bu yöntemler kullanılmıştır.

Bu tezde ulaştırma sistemleri ile ilgili 3 ana konuda 12 güncel uygulama yapılmıştır. Bu ana konular araç seçimi, proje seçimi ve yer seçimidir. Araç seçiminde toplu ulaşım ve

yeşil ulaşım kavramları; proje seçiminde kaynak kullanım etkinliği ve erişilebilirlik gibi hedefler; yer seçim probleminde ise paydaş katılımını hedeflemekle birlikte bu problemlerde sürdürülebilirlik sağlanmaya çalışılmaktadır.

Birinci konu olan araç seçimi, 11. Kalkınma Planı'nda iyi yönetim kapsamında yer alan yeşil büyüme ve emisyon artışının sınırlandırılması ile iklim değişikliğine uyum çabaları ile örtüşmektedir. Elektrikli otomobiller ile daha temiz ve daha sürdürülebilir bir çevre hedeflenmektedir. Elektrikli toplu ulaşım otobüsleri ile de hem daha sürdürülebilir çevre hem de daha sürdürülebilir bir ulaşım sistemi oluşturulması amaçlanmaktadır. Bunlara ek olarak, kalkınma planında öncelikli alanlar içinde yer alan otomotiv sektörü kapsamında elektrikli araçlar için altyapı ve üretim kabiliyetlerinin artırılması ve yurt içinde üretilen elektrikli otobüslerin kullanımının desteklenmesi konunun önemini ortaya koymaktadır. Ayrıca kalkınma planının enerji sektörü önceliğinde, ulaşım kaynaklı karbon salınımının önlenmesine de büyük katkı sağlayacaktır. Elektrikli araçlar ile yeşil şehir vizyonu kapsamında da yaşam kalitesinin artırılması hedeflenmektedir. Ek olarak, temiz enerjili bu araçlar, çevre ve doğal kaynakların korunması ve iyileştirilmesi bakımından çevre ve iklim dostu uygulamalar olarak sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte öncelikli alanlardan biri olan lojistik ve ulaştırma kapsamında karayolu ağında can ve mal güvenliği ile çevre emniyetinin sağlanmasına yönelik denetimler için önermiş olduğumuz ve alternatifleri arasından seçim yaptığımız dron araçlarının trafik kontrolünde kullanılması sürdürülebilir bir trafik kontrolü için kritik bir planlama faaliyeti olduğu görülmektedir. Dron araçları trafik güvenliğini en üst düzeyde sağlayacak ve akıllı ulaşım sistemleri ve akıllı şehirler için de temel oluşturacaktır.

İkinci konu olan proje seçim problemi, 11. Kalkınma Planı'nda lojistik ve enerji altyapısı bağlamında kendine yer bulmaktadır. Türkiye'de tamamlanan, inşası devam eden ve planlanan birçok raylı sistem projesi bulunmaktadır. Kentsel ulaşım ve şehirler arası ulaşımın geliştirilmesi ve sürdürülebilirliğin sağlanması noktasında altyapı yatırımlarının öncelik ve verimlilik odağında değerlendirilmesi kaynak kullanım etkinliğinin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır. Kalkınma planında öncelikli alanlar arasında yer alan bir konu olan raylı sistemler ve raylı sistem araçları daha yaşanabilir şehirler için

sürdürülebilir çözümler olarak görülmektedir. Ayrıca tez kapsamında ele aldığımız proje seçim problemi ile kaynak kullanımı sağlanarak kalkınma planında yer alan kamu yatırım politikaları başlığı altında acil, verimli olmayan, önceliğini kaybeden projelerin önceliklendirilmesinde veya seçiminde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanımı yerel yönetimler için kaynak olacaktır.

Üçüncü konu olan yer seçim problemi de kaynak kullanımı, sürdürülebilirlik ve paydaş katılımı bakımından kalkınma planı ile örtüşmektedir. Etkili kararlar almada iyi yönetim için halkın ve paydaşların karar verme süreçlerine katılmaları önemli bir paya sahiptir.

Bu tez kapsamı, görüldüğü gibi Türkiye'nin 2019-2023 yılları arasında planlamayı öngören 11. Kalkınma planının hedefleri ile uyumludur. Ayrıca, yapılan bu tezin konuları da Badassa vd. (2020)'nin yaptığı literatür araştırmalarında sürdürülebilirlik, sürdürülebilir ulaşım, sürdürülebilir taşıma, altyapı, ulaşım, hareketlilik, toplu ulaşım, iklim değişikliği, kentsel ulaşım, çevre, elektrikli araçlar gibi literatürde en fazla geçen anahtar kelimeleri de bu tez kapsamında kullanılmıştır.

Bu tezde yapılan güncel uygulamalar yerel yönetimlerde görevli yönetim birimleri için hizmet önceliklendirilmesi, stratejik plan ve kaynak tahsisi gibi karar verme süreçlerinde rehber olması ve bilgi vermesi konusunda fayda sağlaması hedeflenmiştir.

On iki adet uygulamada optimizasyon yöntemi olarak hedef programlama ve çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Bu tezde ulaştırma alanında son trendler olan sürdürülebilirlik, paydaş katılımı, akıllı ulaşım, karbon ayak izi ve yeşil ulaşım konularını temel almaktadır.

Tez kapsamında; araç seçimi problemi konusunda 4 uygulama, proje seçim problemi konusunda 7 ve yer seçimi problemi hakkında 1 uygulama olmak üzere 12 güncel uygulama yapılmıştır. Uygulamalarda optimizasyon ve çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmış ve sürdürülebilir şehirler oluşturmak hedeflenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ulaşım planlaması üzerinde durularak ulaşım planlamada kritik öneme sahip problemler ele alınmıştır. Bu problemler, araç seçimi, proje seçimi, yer seçimi problemleridir. Devamında ulaşım planlamasının son trendleri olan sürdürülebilirlik, paydaş katılımı, karbon ayak izi, yeşil ulaşım ve akıllı ulaşım konuları anlatılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, ulaşım planlamada kullanılan analitik yöntemlerden bahsedilmiştir. Matematiksel model ve çok kriterli karar verme olarak değerlendirilen bölümde alt başlıklar halinde yöntemler anlatılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde literatürde yapılan araştırmalar araştırılmıştır. Belirlenen üç problem literatürden desteklenmiştir. Araç seçimi problemi, toplu ulaşım araçlarının seçimi, otomobil seçimi ve trafik kontrol araçlarından dron seçimi başlıkları ile sınırlandırılarak araştırılmıştır. Ulaşımında verimliliğin sağlanması noktasında çok kriterli karar verme (ÇKKV) ve matematiksel modellerinin yaygın kullanıldığı bölümün sonunda tez kapsamında yapılan uygulama çalışmalarının literatüre katkıları Çizelge halinde verilmiştir. Ek olarak literatür araştırmasının değerlendirilerek sürdürülebilir ulaşım planlama süreçleri hakkında sınıflandırmalar yapılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde gerçek hayat uygulamalarına yer verilmiştir. Araç seçimi hakkında, kentsel ulaşımın geliştirilmesinde araç seçimi, yeşil ulaşım otobüslerinin seçimi, elektrikli otomobillerin seçimi ve trafik yönetim araçlarının seçimi olmak üzere dört uygulama yapılmıştır. Yeşil ulaşım için yapılan toplu ulaşım araçlarının seçiminde sıralama yöntemleri kullanılmıştır. Kentsel ulaşımın geliştirilmesi amacıyla yapılan elektrikli otobüs seçiminde ise analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ve TOPSIS yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Toplu ulaşımın yanı sıra çevresel sürdürülebilirlik ile kentsel hava kalitesini arttırmak amacıyla elektrikli otomobil kullanımının desteklediği günümüzde çeşitlenen otomobil teknolojileri arasından ÇKKV ve hedef programlama ile seçim yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Diğer bir problem olan proje seçimi hakkında İstanbul ve Ankara Büyükşehir Belediyelerinde uygulamalar yapılmıştır. Raylı sistem projelerinin seçimi, şehirler arası yüksek hızlı ve hızlı demiryolu projelerinin seçimi, monoray projelerinin seçimi için AHP, analitik ağ süreci (AAS), hedef programlama, kısıt

programlama ve bulanık sayılardan yararlanılmıştır. Üçüncü problem tipi, yer seçimi hakkında, köprü yerinin seçimi olmak üzere bir uygulama örneğine yer verilmiştir. Bölümün başında Çizelge ile özetlenen çalışmalar, analitik süreçler ile birlikte gösterilerek ulaşımda karar verme uygulamaları gösterilmiştir.

Çalışmanın son bölümü olan altıncı bölümde genel bir değerlendirme yapılarak tezin sonuçlarına yer verilmiştir. Yapılan tezin literatüre katkısı genel bağlamda ifade edilmiş ve tezden yararlanabilecek paydaşlar için önerilerde bulunulmuştur.

Bu tezde de araç seçimi, proje seçimi ve yer seçimi problemleri ele alınarak ÇKKV yöntemleri ile güncel uygulama örneklerine yer verilmiştir.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIM PLANLAMA

Her geçen gün şehirlerin nüfusu daha da artmaktadır. 2014 yılında dünya nüfusunun yaklaşık %54'ü kentsel alanlarda yaşamaktaydı. Bu eğilim devam ettiği sürece 2050 yılına kadar dünya nüfusunun %66'sı yaklaşık 6 milyar insan kentsel alanlarda yaşayacağı tahmin edilmektedir. Kentsel alanlarda artan nüfus oranı, beraberinde özel araç kullanımının artmasına yol açmış ve kentsel ulaşım sistemi üzerinde daha fazla baskı oluşturmuştur. Günümüzde de kentsel problemlere ve bu bağlamda kentsel ulaşım için sürdürülebilir çözümler üretilmeye çalışılmaktadır.

Sürdürülebilir bir ulaşım sistemi, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden mevcut ulaşım ve hareketlilik ihtiyaçlarını karşılayan bir sistem olarak tanımlanmıştır (Black, 1997; Richardson, 1999). Diğer yazarlar, mevcut ulaşım ağlarını güçlendirerek ve daha sağlıklı topluluklar oluşturarak ulaşım kararları almak ve alternatif uygulamaları yaygınlaştırarak yeni hedeflerin ortaya çıkarmak olarak tanımlamaktadırlar (Dittmar, 1995; Newman, 1998).

Ulaşım planlama süreci üç ana makro faaliyetle basitleştirilebilir: (a) amaçların, kısıtların, kritik noktaların ve genel stratejilerin tanımlanması; (b) en etkili planlama seçeneğinin (stratejiler, politikalar ve düzenlemeler) belirlenmesi; (c) planlama seçeneklerinin gerçekleştirilmesi. Tüm bu makro-faaliyetlerde planlanan hedeflerin, yürütülecek stratejiler veya politikalar, planlama seçenekleri, farklı müdahale seçenekleri arasındaki öncelikleri sıralama/ ağırlıklandırma için karar vericilerin desteklenmesi gerekir. (de Luca, 2014). Ayrıca planlama sürecinde, demografik yapı, teknoloji, çevresel koşullar, insan kaynağının niteliği ve talepteki değişmelerin sürekli farklılaşması nedeniyle sürdürülebilirliğin sağlanması, sağlıklı bir planlama süreci için temel şarttır.

Kentsel ulaşım ağlarında trafik sıklığı, ekonomiye olduğu kadar doğal çevreye de büyük bir tehdittir ve insan yaşamının kalitesi üzerinde olumsuz etkilere neden

olmaktadır. Ulaşımında, trafik sıkışıklığı, seyahat zamanı, kuyruk uzunluğu, zararlı gaz emisyonları ve trafikte bekleme sürelerini azaltmak için önemli adımlar gerekmektedir.

Kentsel alanların önemli problemlerinden biri olan ulaşım probleminin çözümünde yöneticiler yeni politikalar yapmakta, yeni çözüm yolları geliştirmekte ve projeler üretmektedirler. Artan araç sahipliği ve araç sayısı ile artan trafik hacmi ve sıkışıklığın çözümü için toplu ulaşım teşvik edilmekte ve temiz enerjili araçlar önerilmektedir. Bu alanda teşvik edici yasal düzenlemeler de birçok devlet tarafından yapılmaktadır. Temiz teknoloji araçlar olarak elektrikli otobüs ve otomobillerin kullanılması ile kaynak kullanım etkinliğinin sağlanması, hava kalitesinin artırılması ve karbondioksit salınımının sıfıra indirilmesi ile karbon ayak izinin en küçüklenmesi amaçlanmaktadır. Kentsel ulaşımı geliştirici projelerde de çevresel, ekonomik, sosyal ve teknolojik olarak sürdürülebilirliğin sağlanması, tüm paydaşların fikrine başvurulması, yeşil çevre ve yeşil ulaşım kavramlarının yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır.

Bu bölümde tezde ele alınana araç seçimi, proje seçimi ve yer seçim problemleri anlatılmakta ve ulaşımında son trendeler olan sürdürülebilirlik, yeşil ulaşım, karbon ayak izi, paydaş katılımı ve akıllı ulaşım ele alınmaktadır.

2.1. Araç Seçim Problemi

Dünyadaki birçok şehir, nüfusun hızlı büyümesi ve motorlu taşıtlara yüksek düzeyde bağımlılık neticesinde trafik sıkışıklığı ve kentsel ulaşım problemi ile yüz yüze gelmiştir. Özellikle hava kirliliği insan sağlığı ve çevre için ciddi bir sorun olmuş ve üzerinde özellikle durulması gereken bir konu haline gelmiştir. Ayrıca, ulaşımında yakıtlı araçların yoğun kullanımı nedeniyle de zararlı gaz salınımının, küresel ısınmaya sebebiyet veren faktörler arasındaki payı oldukça yüksektir (Rahimi ve Davoudi, 2018).

Toplu ulaşım alanında planlama ve verimlilik arayışı büyük ölçüde bu alanda yaşanan gelişmeler ve sürdürülebilir bir ulaşım ile ilgilidir. Öyle ki bütün ulaşım otoriteleri toplu

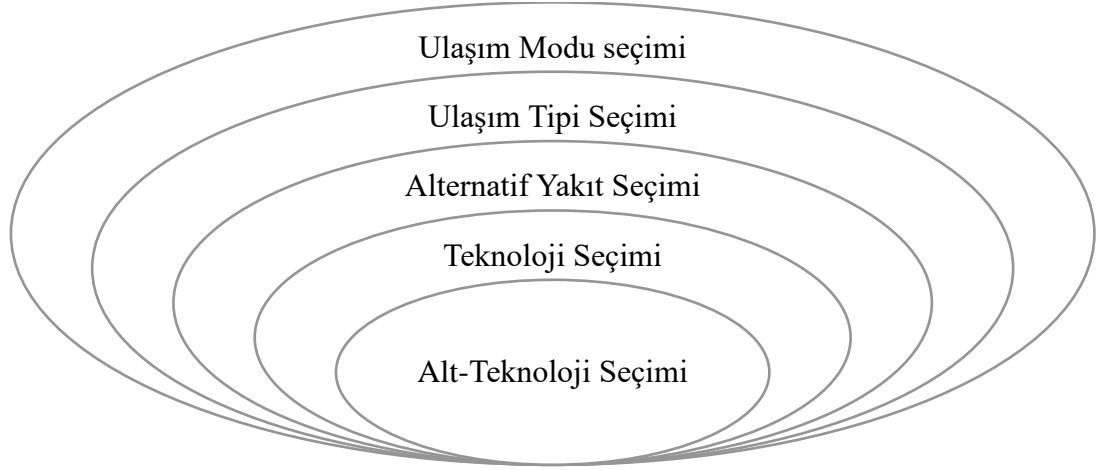
ulaşımın kent içi ulaşımda en çok tercih edilen ulaşım modu olması konusunda çalışmalar yapmakta ve bu yolla kaliteli bir ulaşım sistemine ulaşmanın mümkün olabileceği üzerinde durmaktadırlar. Toplu ulaşım alanında dünya trendlerini şu şekilde sıralayabiliriz; Ulaşım planlamasının tek elden yapılması, çeşitli ulaşım modlarının entegrasi, dinamik bir süreci içeren kent içi trafik ve yaya hareketlerine uygun, hızlı planlama ve ölçüm sistemleri, bütünleşik bir yönetim, toplu ulaşım bilinci ve kültürünün geliştirilmesi, sürdürülebilir politikalar oluşturulması ve ileri teknoloji kullanımının yaygınlaştırılması.

Dolayısıyla, kentsel evre üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için etkili çözümler aramak sürdürülebilirliğin sağlanması noktasında önemlidir. Dünya devletleri ve politika yapıcıları, evre sorunlarını zmek için birçok çalışma yapmaktadırlar. Bu çalışmalarla hava kirliliğinin ve fosil yakıt kaynaklarının tketimeinin etkisinin azaltılması amaçlanmaktadır (Sims vd., 2010). Dolayısıyla kentsel ulaşım, şehir merkezleri için fosil yakıt kullanımı ve karbondioksit emisyonları azaltılması sürdürülebilir kalkınma için önemli bir sorundur. Bilim adamları, şehir planlamacıları ve politika yapıcılar tüm bu sorunlarla başa çıkmak için farklı seçenekler ve sürdürülebilir çözümler aramaktadırlar.

Bu çözümler arasında tıkanıklığı azaltmak için şehir planlamasının ve altyapının iyileştirilmesi; daha az zararlı emisyonla sahip yeni nesil özel motorlu taşıtların geliştirilmesi; aktif ulaşıma yönelik seyahat davranışı geliştirme programlarının oluşturulması ve özel araç kullanımına alternatif ulaşımın sağlanması yer almaktadır (Loukopoulos, 2007). Ayrıca elektrikli taşıtların, hidrojen taşıtlarının, toplu taşıma araçlarının kullanılması veya bisiklet kullanımının teşvik edilmesi de bu seçenekler arasındadır (Mashayekh vd., 2012; Eberle ve von Helholt, 2010; Offer vd., 2010).

11. Kalkınma Planı'nın öncelikli alanlar hedefleri arasında da yeni nesil araçlar için uygun altyapının oluşturulması, enerji verimliliği ve karbon salınımının azaltılması alternatif temiz yakıtlı teknolojilerin desteklenmesi ve yurt içinde üretilen elektrikli otobüslerin şehir içi ve şehir dışı ulaşımda kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik destek ve

düzenlemeler konusunda hedeflere yer verilmiştir. Ayrıca tüm çevresel problemler ve özel araç kaynaklı ulaşım sorunlarının çözümü için de toplu ulaşım sistemlerinin kullanımının özendirilmesi hedeflenmektedir. Dolayısıyla yerel yönetimlerde ulaşım ve çevresel sorunların önüne geçmek amacıyla sürdürülebilir bir çözüm olarak toplu ulaşımı desteklemektedir. Toplu ulaşım genel olarak sürdürülebilir kabul edilir. Ancak geleneksel araç ve otobüslerin kullanımı günümüz teknolojisinde, sürdürülebilir değildir ve çevreye zarar vermektedir. Otobüs pazarı da alternatif yakıtlı araçların üretimi ile çeşitlenmiştir. Bu kapsamda alternatif yakıtlı otobüsler pazarda yer almakta ve bu alanda bilimsel literatürde alternatif yakıt ve alternatif yakıtlı araçların tercihi noktasında birçok çalışma yapılmıştır. Ancak sürdürülebilirlik standartlarını baz alarak daha sürdürülebilir bir sistem hedefi ile temiz teknolojiler arasından seçim yapılması beraberinde daha yaşanabilir bir şehir oluşturma noktasında önemli bir adım atılması sağlanacaktır. Elektrikli otobüsler arasından yapılabilecek bir seçim de sürdürülebilirlik temellerini sağlayan özel bir alt problem tipi olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 1.1’de genelden özele doğru kentsel ulaşımında karar verme noktaları gösterilmektedir. Elektrikli araç seçimi problemi de alt-teknoloji seçimi olarak özel bir yere sahiptir.

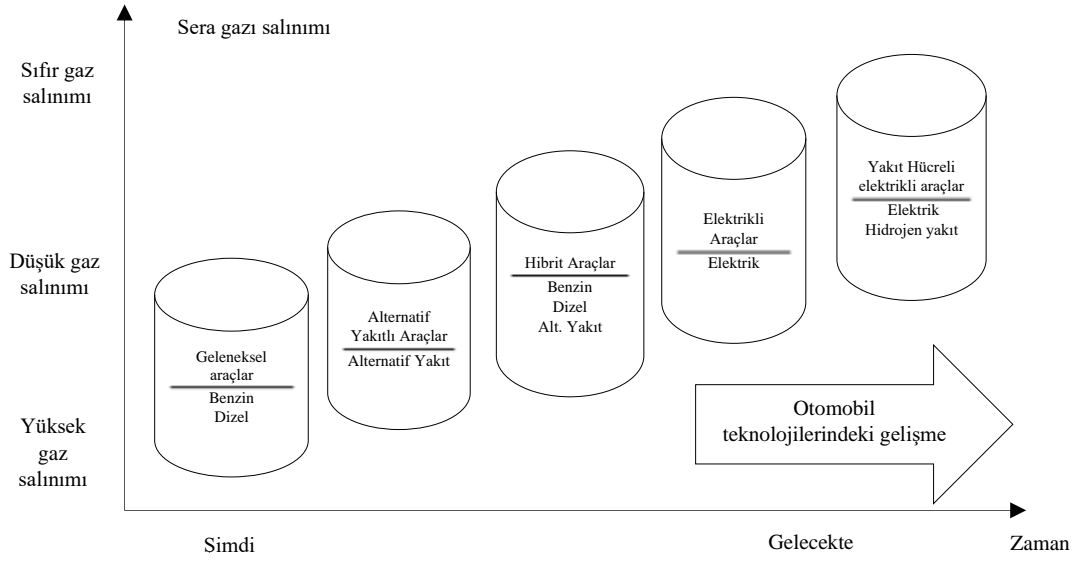


Şekil 1.1. Ulaşımında karar verme noktaları

Günümüzde yönetim ve karar sürecini etkileyen faktörlerin artması ve daha karmaşık hale gelmesiyle, yöneticiler, sorunlarına çözüm bulmak amacıyla farklı teknolojiler, sistemler,

politikalar ve stratejiler arasından bir tercih yapmak zorunda kalmaktadırlar. Sınırlı kaynakların, en fazla faydayı sağlayacak şekilde kullanılabilmesi için ihtiyaçların doğru bir şekilde tespit edilip önceliklendirilmesi, karar verme kavramı içinde değerlendirilmektedir. Özellikle sosyal, çevresel, yapısal, politik vb. somut olmayan faktörlerin göz önüne alındığı ve kısıtlı bütçenin en iyi şekilde kullanılmasının zorunlu olduğu kamu hizmet sektöründe ihtiyaçların önceliklendirilmesi problemiyle sık sık karşılaşmaktadır. Kamu hizmet sektörlerinden biri olan belediyelerde sürekli karar alma problemleriyle karşılaşmaktadır. Yerel yönetimlerin yürütmekte olduğu birçok kamu hizmetinden biri de toplu taşımadır. Toplu taşıma, büyüme ve gelişme sürecindeki şehirlerin temel meselelerinden biridir. Toplu taşıma hizmetinin iyi yapılabilmesi için bu hizmette kullanılacak araç seçiminin de iyi yapılması gerekir. Araç seçiminde birçok kriter etki etmektedir. Kriter sayısının artması, hedefler ve alternatif sayılarının artışı, alınacak aracın seçimini zorlaştırmaktadır.

Her ne kadar toplu ulaşım desteklenmeye çalışılsa da özel araç kullanımının önüne geçilememektedir. Petrol bazlı araçlar hala birçok şehirde ulaşımın en büyük payını oluşturmaktadır. Bu sorunlarla başa çıkmak için, temiz teknolojiyi desteklemek tüm toplumun fikir birliği haline gelmiştir ve elektrikli araçlar düşük karbon geçişinde etkili bir rol oynamaktadır (Daramy-Williams vd., 2019). Ulaşımında temiz teknolojinin geliştirilmesi ve uygulanması, şehir yöneticilerinin ve araştırmacıların kilit odak alanlarından biri olarak ortaya çıkmıştır. Şekil 1.2’de ulaşımında araç yakıt teknolojileri gelişim süreci gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Araç yakıt teknolojileri

Dolayısıyla özel araç kullanımında da sürdürülebilir çözümler gerekmektedir. Yine bu noktada temiz enerjili araçlar ön plana çıkmaktadır. Özel araç kullanımında da çevresel endişeler ve hassasiyet nedeniyle kullanıcılar temiz enerjili araçlara yönelmektedir. Araç pazarı da bu yönde ürün portföyünü şekillendirmektedir. Birçok marka, üretimlerini elektrikli araçlar yönünde dönüştürmektedir. Bu durum, tüketici/kullanıcılar için çeşitlenen araç teknolojileri arasından seçim yapmak gibi bir karar verme noktası ortaya çıkmaktadır.

Ulaşım araçlarının seçiminde olduğu kadar ulaşımın kontrolü de o kadar önemli bir faaliyettir. Dolayısıyla bu durum, veri toplama, veri işleme, bilgi keşfi ve görselleştirme, olay tahmini, acil durum tespiti gibi şehirlerin izlenmesi ile ilgili faaliyetlerin daha önemli hale gelmesine neden olmuştur (Garcia-Aunon vd., 2019).

Sürekli artan trafik hacimlerinin ve tıkanıklık seviyelerinin yönetimi birçok şehrin karşı karşıya kaldığı en kritik zorluklardan biridir. Bu sorunlar, özellikle metropol alanlarda daha da önemli hale gelmiştir. Bu nedenle, kentsel ulaşımdaki trafik akışının durumunu

izlemek, veri toplamak, analiz etmek ve gerektiğinde anlık müdahale etmek sürdürülebilirliğin sağlanması noktasında kritik hale gelmiştir. Bununla birlikte, tüm bu durumların kontrolü için manuel sayaçlar, statik video kamera sistemleri, insanlı araçlar ve hava araçları gibi sadece sınırlı uygulanabilir seçenekler vardır. Bu nedenle, ulaşım planlamacıları ve yöneticileri yeni çözümler aramaktadır ve bu çözümlerin trafikte verilerinin doğru, dinamik ve hızlı bir şekilde gerçek zamanlı olarak elde edilmesini sağlamalıdır (Khan vd., 2017).

Kontrol araçları, çok sayıda kurulu sensör veya ekipman gerektirdiğinden pahalı ve zor bir süreçtir. Ayrıca, tüm ağı kapsamak için çok sayıda personele ihtiyaç duyulmaktadır (Coifman vd., 2006) ve tüm ağı sabit sensörler veya konuşlandırılmış personel ile kapsamak neredeyse mümkün değildir (Puri, 2005). Sorumlu çalışan, statik kameralar ve insanlı hava taşıtlarından video akışlarının alınması ve işlenmesi, trafik bilgilerinin görselleştirilmesi ve toplanması için verimli araçlar olarak önerilmekteydi. Ancak, geleneksel kontrol araçları ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan sürdürülebilir değildir. Dolayısıyla, trafik kontrol ve görüntülemenin sürekliliğini sağlamak, ulaşım sistemlerinin kurulması veya inşa edilmesi kadar temel teşkil eder. Ayrıca, trafik gözetimi ve izlemesi, Ulaştırma Yöneticileri ve Mühendisleri için yıllardır ana araçlardan biri ve trafik yönetimi ve kontrol stratejilerinin ayrılmaz bir parçası olmuştur (Papageorgiou vd., 2008). Bu nedenle, dronlar, sınırlı kaynakların kullanımında sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek için hizmet sağlama noktasında önemli bir rol oynamaktadır. Trafik izleme ve kontrolü, gelecekte kamusal alanların daha iyi kullanılmasına ve çevresel kirliliğin azaltılmasına olanak sağlayan daha akıllı ve daha sürdürülebilir şehirler sağlamak noktasında da önemli faaliyetlerindedir ve dronlar bu faaliyet için en uygun araçlardır (Garcia-Aunon vd., 2019).

2.2. Proje Seçim Problemi

En uygun sürdürülebilir toplu taşıma altyapısı projesinin seçimi genellikle belirsiz ve karmaşık bir prosedüre dayanmaktadır, çünkü birçok değerlendirme kriteri karar verme

sürecine dahil edilmiştir. Bu zorluklar ile başa çıkmak için ÇKKV teknikleri, tüm paydaşlara ve karar vericilere sürdürülebilir ulaşım ile ilgili problemlerde, özellikle de ulaşım sistemlerindeki belirsizlikleri çözmede yardımcı olmaktadır (Mardani vd., 2015a).

Ulaşım projelerinin belirli bir amaç, kapsam, süre, bütçe dahilinde gerçekleştirilmek üzere planlanması, ulaşım planlarının tasarımının tanımını oluşturur. Ulaşım planlama sürecinde karar verme süreçleri kurumlar için bir zorunluluk haline gelmiştir. Ulaşım altyapısı projeleri genellikle önemli miktarda arazi kullanımı, uzun vadeli yatırım ve büyük kaynak gereksinimlerini içerir. Bu unsurlar çevre ve sosyal hayat üzerinde ciddi etkilere neden olabilmektedir. Dolayısıyla, düşünülen her projenin aynı anda haya geçirilmesi mümkün değildir. Bu noktada bir karar verme problemi ortaya çıkmaktadır.

Projelerin seçimi, önceliklendirilmesi veya sıralanması sürecinde sürdürülebilir kalkınma çabalarına katılım esastır. Dolayısıyla ulaştırma altyapısı proje sürdürülebilirlik faktörlerini ve proje performansını gözden geçirmeye çalışmaktadır. Sürdürülebilirlik faktörlerinin ve performansın çevre, ekonomik, sosyal, mühendislik / ulaşım gibi ana faktörler altında değerlendirilmesi daha etkili kaynak kullanımı ve çevre hassasiyeti ile daha yaşanabilir şehirlerin oluşturulması sağlanmış olacaktır. Bu amaçla desteklenecek projelerin seçimi de önemli bir karar verme problemi oluşturmaktadır.

Kalkınma planında da kamu kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı, öncelik ve verimlilik odağında gözden geçirilerek yatırımlarda rasyonelleşmenin sağlanması hedeflenmektedir. Bu kapsamda yerel yönetimlerde yapacakları yatırımlarda sürdürülebilir bir anlayış temelinde kaynak kullanım etkinliğini sağlayarak daha sürdürülebilir ve daha yaşanabilir şehirler oluşturulması yönünde önemli adımlar atılacaktır.

2.3. Yer Seçim Problemi

Ulaşım yatırımları, kentsel alanların biçimlenmesini doğrudan etkileyen, kentsel fonksiyonların yer seçimi kararlarında yönlendirici etkisi olan ve kentin makraform gelişim yönünü belirleyen temel etkenlerden biridir. Ulaşım yatırımları gündeme geldikleri andan itibaren kentin ana dinamiklerinde değişim sürecinin başlamasına ve bölgesel ölçekte mekânın farklı boyutlarda yeniden biçimlenmesine neden olmaktadır.

Ulaşım projeleri, hizmet götürdükleri ya da içinden geçtikleri bölgelere erişilebilirliği arttırdığından bu bölgelerdeki sosyo-ekonomik yapıyı ve arazi kullanımını etkileyerek kentsel mekânın biçimlenmesini doğrudan etkiler. Erişilebilirliğin kolaylaşması bölgelerin çekiciliklerini arttırarak yeni konut, ticaret ve sanayi alanlarının oluşumuna yola açar. Bu durum, orta ve uzun dönemde yeni yapılan ulaşım projeleri üzerinde ilave ulaşım taleplerinin ortaya çıkmasına yol açar. Bu nedenle, kentsel mekânın biçimlenmesinde en önemli etkenlerden biri ulaşım kararları olmuştur. Ayrıca inşa edilecek ulaşım projelerinin çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliği sağlayacak yönde ve ulaşımı iyileştirecek kapsamda çok yönlü ele alınması, yatırımın etkinliği ve kullanılabilirliği bakımından elzemdir. Özellikle gelişmekte olan şehirlerde kurulacak yeni bir ulaşım projesinin uygun olmayan bir karar ile hayata geçirilmesi tüm ulaşım ağını etkileyeceği gibi bölgenin ekonomik gelişimi üzerinde de olumsuz etkiler oluşturacaktır. Dolayısı ile yer seçim problemi olarak ele alınacak bu konu üzerinde önemle durulması gereken ve çok kriterli düşünülmesi ve planlanması gereken kritik öneme sahip karar verme süreçlerindedir.

Kentsel ölçekte yeni bir ulaşım yatırım kararının alınması, yatırımın yapılacağı bölgenin ve yakın çevresinin çekiciliğini arttırmaktadır. Trafik oluşturacak bir ulaşım projesinin hayata geçirilmesinde özellikle şehrin kritik noktalarına erişimi sağlaması, ulaşım maliyetlerini düşürücü yönde olması ve çevreye duyarlı yatırımlar olması hedefleri göz önünde bulundurulmalıdır. Tüm ulaşım faktörleri içinde yolculuk talebi oluşturacak alanların erişilebilirliği, yeni ulaşım yatırımları ve özel araç sahipliliğindeki artış kentsel mekânın biçimlenme sürecini en fazla etkileyen faktörlerdir. Ayrıca, ulaşım projelerinde

tüm paydaşların katılımının sağlanması da toplum tarafından kabul edilebilirliğinin sağlanmasını mümkün kılacaktır.

2.4. Ulaşım Planlamada Öne Çıkan Trendler

Ulaşım planlamada son dönemlerde öne çıkan trendler, sürdürülebilirlik kavramı ve bu kavram ile doğrudan ilişkili olan akıllı ulaşım, yeşil ulaşım, paydaş katılımı ve düşük karbon emisyonunun hedeflendiği karbon ayak izi kavramlarıdır.

2.4.1. Sürdürülebilirlik

Kavram olarak sürdürülebilir ulaşım, birden fazla sistem etkileşime girdiğinde entegrasyon ihtiyacı nedeniyle bütünsel bir yaklaşım gerektirir. Son zamanlarda, araştırmacılar dikkatlerini ulaşım sistemlerinde sürdürülebilirlik konusuna kaydırmışlardır.

Sürdürülebilir kalkınma alanı, son yıllarda daha fazla ilgi görmektedir. Bu durum teknolojik ilerlemeye, toplumsal ihtiyaçlardaki değişikliklere ve yaşam alışkanlıklarının dönüştürülmesine ve yüksek kentsel nüfus artışına bağlanabilir. Sürdürülebilir kalkınma terimi, “gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden günümüzün ihtiyaçlarını karşılama kavramı” olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde yerel yönetimler, kentsel ulaşımı en büyük problemlerden biri olarak görmektedirler. Nüfus yoğunluğu olan şehirlerde sürdürülebilir kalkınma, hızlı kentleşme ve motorlu araçlar tarafından etkilenmektedir. Dolayısıyla sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde politika üretkenler, kentsel alanlarının sürdürülebilir bir şekilde nasıl dönüştürüleceğini araştırmaya büyük önem vermektedirler.

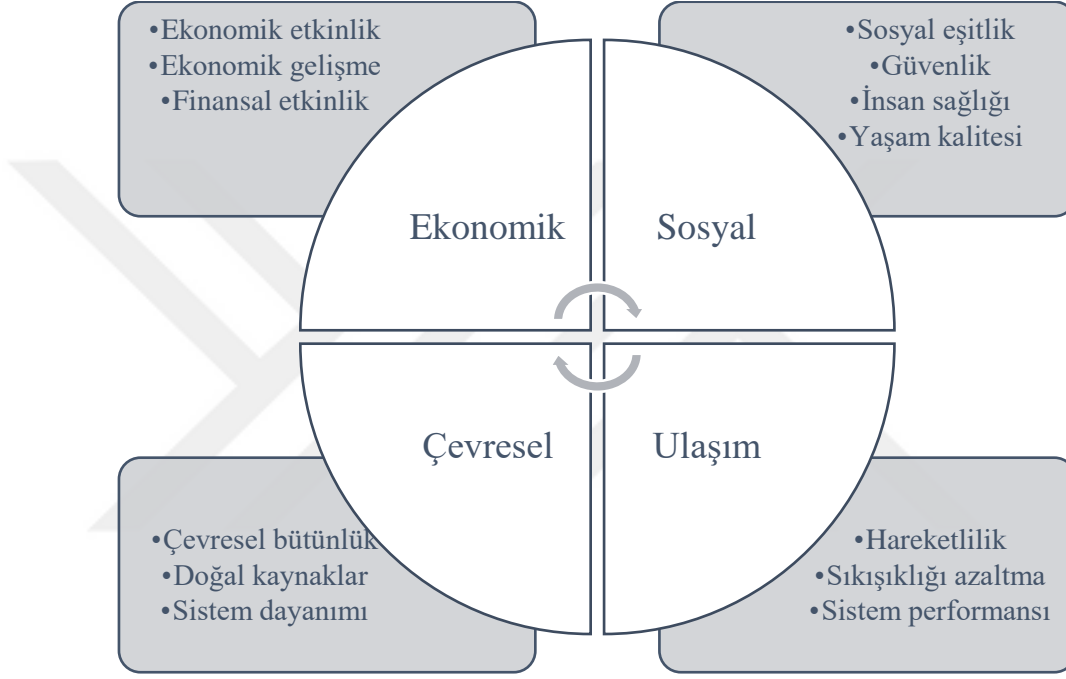
Ekonomik, çevresel ve sosyal hedefleri aynı anda takip ederek sürdürülebilirliğin temel hedeflerine ulaşmak için çeşitli ekonomik, çevresel ve sosyal göstergeler göz önünde bulundurulmalıdır (Ji vd., 2016). Ulaştırma alanında, ilgili literatürde de belirtildiği gibi birçok olumlu ve olumsuz faktör vardır (Esters ve Marinov, 2014). Kentsel ulaşım sistemlerinin rolü, özellikle güzergâh, enerji tüketimi ve hava kalitesi gibi ilgili dışsallıklar anlamında büyümektedir. Sürdürülebilir ulaşım literatürde birçok bilim adamı tarafından tanımlanmıştır (Jeon ve Amekudzi, 2005). Sürdürülebilir ulaşım politikalarının geliştirilmesi genellikle departmanlar arası iş birliğinin yanı sıra yerel ve merkezi hükümet iş birliğini de içerir (Chang ve Chen, 2009). Kısaca sürdürülebilir ulaşım “hareketlilik ihtiyaçlarını karşılayan ve aynı zamanda günümüzde ve gelecekte insan ve ekosistem sağlığını, ekonomik ilerlemeyi ve sosyal adaleti koruyan ve geliştiren ulaşım” olarak tanımlanmaktadır (Deakin vd., 2002).

Avrupa Birliği Konseyi (CEU, 2001) sürdürülebilir bir ulaşım sistemi için aşağıdaki gereklilikleri önermektedir;

- ✓ Halk sağlığına, ekosistemlere ve kuşak eşitliğine saygı göstererek bireylerin, işletmelerin ve toplumun temel erişim ve kalkınma ihtiyaçlarını güvenli ve tutarlı bir şekilde sağlamak;
- ✓ Ulaşım türlerine alternatifler sunan ve rekabetçi yerel kalkınmayı teşvik eden esnek, adil ve adaletli olmak;
- ✓ Atıkları kontrol etmek ve emisyonları yeryüzünün emme kapasitesi altında kalacak şekilde kontrol etmek, yenilenebilir kaynakları ikmal oranlarının altında tüketmek, gürültüyü azaltmak ve uygun yenilenebilir ikame maddeleri geliştirilinceye kadar daha az tüketen kaynaklar kullanmak.

Sürdürülebilir ulaşım, aşağıdaki dört kategoride analiz edilen ve üzerinde önemle durulması gereken kompleks bir çalışma alanıdır (Litman ve Burwel, 2006). Ekonomik konular ticari faaliyetleri, istihdamı ve üretkenliği kapsamaktadır. Araç ve yol kapasitesi

ve trafik akışı, ulaşım uyumluluğuna ilişkin teknik faktörlerdir. Sosyal konular eşitlik, halk sağlığı ve aitliği içerir. Çevre sorunları, kirlilik, iklim değişikliği ve doğal yaşamın bozulmasının önlenmesine yönelik faktörler ise çevresel boyutu içermektedir. Şekil 1.3'te ulaşımda sürdürülebilirlik boyutları gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Ulaşımında sürdürülebilirlik boyutları

Sürdürülebilir kalkınma son binyılın temel zorluklarından biridir. Ulaştırma sektörü ülkenin ekonomik kalkınmasında stratejik bir rol oynamamış, aynı zamanda sürdürülebilirlik konusundaki politik ve bilimsel tartışmanın merkezinde yer almıştır.

Sürdürülebilir ulaşımın temel amaç ve hedefleri, ekonomik faktörü altında etkin hareketlilik, ekonomik kalkınma, işletme etkinliği; sosyal faktörü altında sosyal eşitlik, insan sağlığı ve güvenliği, ücret düzeyi, toplumsal bağlılık ve kültürel koruma ve çevresel

faktörler altında kirlilik azaltma, kaynakların korunması, açık olanların korunması ve bio-çeşitliliğin korunması olarak ifade edilebilir (Litman ve Burwell, 2006).

Hayatın birçok alanına etki eden ulaşım sistemlerinin sürdürülebilir hale getirilmesine yönelik öne sürülen stratejilerden bazıları araç ve yakıt teknolojilerindeki değişiklikler, yol ve araç operasyonlarındaki gelişmeler ve talep yönetimi gibi sıralanabilir (Dekain, 2001)

2.4.2. Paydaş Katılımı

Ulaştırma kararlarında en önemli faktörlerden biri de halkın katılımıdır. Halkın katılımı veya paydaşların ulaşım planlamasına katılımı, sürdürülebilir planlama için önemli olan eğilimlerdir. Halkın karar alma sürecine dahil olduğu gelişmiş bir ülkede giderek artan sayıda uygulama bulunmaktadır (Gil vd., 2011). Son yıllarda yapılan birçok araştırma halkın katılımı ve paydaş katılımı üzerine odaklanmıştır (Bkz. Pyrialakou vd., 2019; Giuffrida vd., 2019; Ignaccolo vd., 2019; Leyden vd., 2017; Casello vd., 2015). Halkın katılımı, toplumu etkileyecek bir karar verme durumunda, karar verme gruplarından biri olarak karar alma sürecine katılım olarak tanımlanmaktadır (O' Faircheallaigh, 2010).

Sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir ulaşım, Jeon ve Amekudzi (2005), Litman ve Burwell (2006), Awasthi ve Chauhan (2011), Shiau (2012) ve birçok bilim adamı tarafından literatürde tanımlanmıştır. Sürdürülebilir ulaşımın "hareketlilik ihtiyaçlarını karşılayan ulaşım, aynı zamanda insan ve ekosistem sağlığını, ekonomik ilerlemeyi ve sosyal adaleti her zaman, şimdi ve gelecekte koruyarak ve geliştirerek" olarak tanımlamak mümkündür (Deakin vd., 2002). Mevcut bir eğilim olarak sürdürülebilir ulaşım, dikkate alınması gereken ana başlıklarla önemli bir çalışma alanıdır. Ana başlıklar ekonomik, teknik, sosyal ve çevresel kategorilerde analiz edilebilir (Litman ve Burwell, 2006). Bu kategoriler sırasıyla; ticari faaliyetler, istihdam ve verimlilik; araç ve yol kapasitesi ve akış uyumu; şehir sakinlerinin faaliyetleri, kirlilik, iklim değişikliği ve doğal çevrenin bozulmasının önlenmesidir (Walker vd., 2006).

Halkın karar alma sürecine katılımı, birçok planlama sürecinde olduğu gibi ulaşım kararlarında da sürdürülebilir planlamanın ayrılmaz bir bileşenidir. Ulaşım, şehir sakinlerinin kentsel yaşamındaki çeşitli yönleriyle doğrudan bağlantılıdır. Bu nedenle, ulaşım projelerinin başlangıcında paydaşların planlama adımlarına dahil olması önemlidir. Böylece, bilgi paylaşımı ile toplum değerleri ve ihtiyaçları göz önünde bulundurularak paydaşların da desteği veya büyük çoğunluğunun katılımı ile kararlar alınacaktır. Bilginin paylaşılması ve planlama aşamalarına entegre edilmesi, planlama süreçlerinde birçok avantaj sağlar. Bu avantajlardan bazıları, plancılara bilinçli kararlar almalarında, planlama etkinliğini artırmalarına, güven ve hesap verebilirlik hassasiyetine, yerel düzeyde dava ve kamuoyunun olumsuz düşüncelerini azaltmalarına ve iş birliği ve uzlaşma inşasına yardımcı olmalarıdır (Gazillo vd., 2013).

2.4.3. Karbon Ayak İzi

Hızlı nüfus artışı, kentleşme, ekonomik faaliyetler, çeşitlenen tüketim alışkanlıkları; çevre ve doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Çevre kirliliği, iklim değişikliği, çölleşme, ormansızlaşma, su kıtlığı ve küresel ısınmayla ilgili sorunlar dünya gündemindeki yerini korumaktadır. Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için küresel ölçekte yaygınlaşan üretim modeli “yeşil ekonomi” kavramı ile ifade edilmektedir. Bir düşük karbon ekonomisi olan yeşil ekonomik dönüşüm sürecinde, üretim sektörlerinde temiz üretim ve eko-verimlilik ile hem çevrenin korunması hem de rekabetçiliğin artırılması öngörülmektedir (Kalkınma Bakanlığı, 2013).

Mathis Wackernagel ve William Rees tarafından ortaya atılan ekolojik ayak izi, ekolojik sürdürülebilirliği ölçen bir doğal kaynak muhasebe aracıdır. Ekolojik ayak izi, mevcut teknoloji ve kaynak yönetimiyle bir bireyin, topluluğun ya da faaliyetin tükettiği kaynakları üretmek ve yarattığı atığı bertaraf etmek için gereken biyolojik olarak verimli toprak ve su alanı olarak tanımlanmaktadır (Wackernagel ve Rees, 2004).

2.4.4. Yeşil Ulaşım

Yeşil ulaşım, yeşil altyapının bir parçasıdır. Doğaya verilen zararı en aza indirerek insanların ideal sürelerde ve konforlu koşullarda erişimini hedefler. Yeşil ulaşım, aynı zamanda sürdürülebilir ulaşımır. Bilindiği gibi sürdürülebilirlik çevresel, ekonomik ve sosyal faktörleri ile üç faktörlü bir yapıdır. Çeşitli çalışmalarda teknoloji, güvenlik, ulaşım gibi ana başlıklarda bu yapıya dahil edilmiştir. Çevresel olarak sürdürülebilir ulaşım en az emisyon oluşturan, yaygın, otomobil kullanımının azaltıldığı, dağınık kentsel gelişmeyi önleyebilen, kontrollü gelişme sağlayan bir ulaşım sistemidir. EPA (Environmental Protection Agency)'nın tanımıyla çevresel faydalar: karbon emisyonunu azaltmak, hava kalitesini artırmak, ek rekreasyon alanları oluşturmak, verimli arazi kullanımı, insan sağlığını iyileştirmek, taşkınlardan koruma, içme suyu kaynaklarını koruma, yeraltı sularını yenilemek, havzanın sağlığını iyileştirmek, vahşi yaşam alanlarını korumak veya onarmak, kanalizasyon taşması olaylarını azaltmak, bozulmuş suları geri kazandırmak için düzenleyici şartları yerine getirmek olarak sıralanabilir. Ekonomik açıdan sürdürülebilir ulaşım, yakıt kullanımını azaltan, enerji verimliliğini artıran, altyapı yatırımlarının ve kullanımının verimli ve etkin olduğu, kaza ve kaybedilen zaman maliyetlerinin, trafik sıkışıklığının azaltıldığı bir ulaşım sistemidir. Yine EPA'nın tanımında ekonomik faydalar: sabit altyapı inşaat maliyetlerini azaltmak, yaşlanan altyapıyı korumak, arazi değerlerini artırmak, ekonomik kalkınmayı teşvik etmek, enerji tüketimini ve maliyetleri azaltmak, yaşam döngüsü maliyet tasarruflarını artırmak olarak sıralanır. Sosyal açıdan sürdürülebilir ulaşım ise maliyetinin herkes tarafından ödenebilir düzeyde olduğu, herkese erişilebilirlik sağlayan bir ulaşım sistemidir (Sutcliffe, 2012). EPA sosyal faydaları kentsel yeşil alanlar kurmak, yaya ve bisiklet erişimini sağlamak, yaşanılabilirliği ve kentsel yeşil alanı artıran cazip sokak manzaraları ve çatılar yaratmak, halkı yağmur suyu yönetimi, kentsel ısıyla ısı adalarını azaltma konusundaki rolleri hakkında eğitmek olarak sıralar.

Kentsel yeşil ulaşım sistemi, trafik, ekoloji, doğa kaynakları ve çevre gibi birçok alanla ilgilidir ve çok seviyeli, çok amaçlı ve karmaşık bir sistemdir (Ma vd., 2017). Çok doğaldır

ki yeşil ulaşım yaklaşımı, kentin yeşil altyapı çalışmalarından ayrı düşünülemez. Yeşil ulaşım altyapısı kentlerin doğal yaklaşımların bütünleştirilmesiyle ulaşmaya çalıştığı sürdürülebilirlik hedefleriyle sıkı ilişkilidir.

Ulaşımından söz edildiğinde, kentlerin sınırlarının bile belirgin olmadığı bir ağdan söz ediyoruz. Bu nedenle anlayış sürekliliğinin kent dışındaki ulaşım altyapısında da sürdürülmesi gerekir. AB komisyonu yeşil altyapı projelerinin amacını, ekosistem sağlığını ve direncini arttırmak, biyolojik çeşitliliğin korunmasına katkıda bulunmak ve doğal kaynakların düzenlenmesi gibi ekosistem hizmetlerini geliştirmek olarak tanımlamaktadır (Naumann vd., 2011).

Yeşil ulaşım altyapısı çok geniş uygulama alanına sahiptir. Bunlar yağmur suyunun filtrelenmesini ve depolanmasını sağlayan geçirgen yüzey kaplamaları, yeşil sokaklar, yeşil kaldırımlar, yaya yolları, yeşil otoparklar, drenaj kanalları, yeşil çatılar, yeşil duvarlar, parklar, göletler olarak sıralanabilir.

Ulaşım unsurları, yeşil ulaşım yakınlık derecesine göre yaya, bisiklet, toplu taşıma, taksinakil aracı, birden fazla kişinin bindiği otomobil (araç paylaşımı), tek kişilik otomobil ve uçak olarak yeşil ulaşım piramidinde ifade edilmektedir. Yaya olmak en yeşil, diğer bir deyişle en önceliklidir. En düşük öncelikli olan tek kişilik araçların trafikteki kullanımınıdır. Daha sağlıklı olması, daha az gürültü ve kirlilik oluşturması ve daha fazla topluluk duygusu için bisiklet kullanımına ve yaya ulaşımına toplumda ihtiyaç vardır. Bugün her zamankinden daha fazla uçaktan yararlanıyoruz, az yürüyoruz ve bisiklet kullanımımızı desteklemeyen bir topografyaya sahip olan şehrimizde çok azımız bu olanağı kullanmaktayız. Ulaşımın belkemiğini özel araçlarımız oluşturmaktadır.

Genel olarak yeşil ulaşım, “aynı amaca hizmet eden alternatif ulaşım hizmetleriyle karşılaştırıldığında, insan sağlığı ve doğal çevre üzerinde az veya daha az olumsuz etkiye sahip” bir ulaşım hizmeti türü olarak tanımlanmaktadır (Björklund, 2011). Yeşil ulaşım kavramının özü, minimum sosyal maliyetle maksimum trafik verimliliğini sağlamak ve kentsel sürdürülebilir kalkınma gereksinimini karşılama ve aynı zamanda çevreye olan

hasarı azaltmak için yaşam ortamının gelişim trendine uyumu sağlayan bir kentsel trafik sistemi oluşturmayı kapsamaktadır (Daning vd., 2011). Yeşil ulaşımında önceliklerimizi; (1) mevcut araçların karbon emisyonunu azaltmak, elektrikli araçları desteklemek; (2) toplu ulaşımına geçilmesi teşvik edici, yolcu konforunu dikkate alan çözümler geliştirmek, (3) ulaşımında türle arası entegrasyonu sağlamak ve bisiklet ve yaya yolu gibi motorsuz ulaşım ile bütünleştirmek. Bu tanıma dayanarak, bu dönemde mevcut olan yeşil ulaşım modları çoğunlukla bisiklet, yayalar, yeşil enerjili toplu taşıma, elektrikli bisikletler / araç / motosiklet, scooter, hibrid otomobil vb. içerir.

2.4.5. Akıllı Ulaşım

Akıllı hareketlilik, akıllı yönetim, akıllı çevre ve akıllı insanlar gibi akıllı şehrin tanımlanmış bileşenleri vardır. Bu bileşenler, halk sağlığı, enerji ve su hizmetleri, şehir yönetimi ve ekonomik kalkınma, ulaşım, güvenlik ve acil servisler ve atık yönetimi gibi akıllı şehir uygulamalarının oluşturulmasına ve geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (Silva vd., 2018). Akıllı şehir tasarımının temel amacı, düşük maliyetlerle verimli altyapı ve hizmetler sunmaktır.

Ulaşım altyapısı ve araçların bilgi ve iletişim teknolojileri ile birleştirilmesi ulaşım alanına farklı bir boyut kazandırmıştır. Yapay zekâ ve ulaşımın kombinasyonu olan Akıllı Ulaşım Sistemleri, kablosuz ve kablolu iletişim tabanlı bilgi ve bilgi işlem, kontrol algoritması, elektronik ve diğer teknolojileri içeren ileri teknolojik uygulamalardır. Akıllı ulaşım, insan-araċ altyapı-merkez arasında çok yönlü veri alışverişi sağlanması, trafik güvenliğinin artması, hareketliliğin artırılması, yolların kapasitesine uygun olarak kullanımı, enerji verimliliği sağlayarak çevreye verilen zararın azaltılması gibi konular üzerinde ulaşım sektörünü ileriye taşımayı hedeflemektedir. Akıllı ulaşımın içeriğinde bireylerin, kurumların ve ulaştırma sektörünün mevcut ve gelecekteki verimliliğinin artırılması, karayolu ulaşımındaki zaman kayıplarının azaltılması, karayolu ulaştırmasında kişisel hareket kabiliyetinin, uyum ve konforun artırılması için geliştirilmiş uygulamalar vardır.

Akıllı şehir bileşenlerinden akıllı ekonomi, endüstriyi; akıllı insanlar, eğitim; akıllı yönetim, e-demokrasi; akıllı hareketlilik, lojistik ve altyapılar; akıllı çevre verimlilik ve sürdürülebilirlik ve akıllı yaşam, güvenlik ve kalite yönüyle şehir yaşamını etkilemektedir.

Sonuç olarak, sürdürülebilir ulaşım, yeşil ulaşım, ulaşımında düşük karbon ayak izi, akıllı ulaşım ve tüm bu süreçlerde paydaş katılımı birbirinden ayrı düşünülmemesi gereken birbirini destekleyen ve bütünlük olarak var olan kavramlardır. Dolayısıyla kaynak kullanım etkinliğinin sağlanması, çevre duyarlılığı, yaşam kalitesinde artış hedefi ve temiz teknoloji kullanımı günümüz literatürünün ana hedeflerini oluşturmaktadır.

3. SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIM PLANLAMADA KARAR VERME

Ulaştırma sistemlerinin çeşitli unsurları için kamu yatırımlarının yapılmasına yönelik stratejik kararların, doğru bir değerlendirme için çok kriterli değerlendirmelere dayandırılması gerekmektedir (Tabucanon ve Lee, 1995; Tsamboulas vd, 2007; Jacyna ve Wasiak, 2015).

Kamu bütçesini, mevcut ulaşım sistemlerinin verimliliğini ve kapasitesini artırmak ve / veya hızla gelişmekte olan şehirlerde artan ulaşım talebini karşılamak için yeni arzlar oluşturmak için kullanmak gerekmektedir. Bu nedenle, ulaşım altyapısı projelerinin seçimi için çeşitli karar kriterlerini dikkate alarak sağlam ve mantıklı bir değerlendirme yöntemi gerekmektedir (Tsamboulas, 2007; Barfod ve Leleur, 2014). Bu noktada çevre, ulaşım ve sosyal faktörler dikkate alınarak karar vermede uygun bir değerlendirme yöntemi olarak çok kriterli karar analizi (ÇKKV) tercih edilmektedir (Vreeker vd., 2002; Tsamboulas, 2007; Browne ve Ryan, 2011). Bazı durumlarda, ÇKKV kalitesini artırmak için fayda-maliyet analizi gibi farklı analizler ile de birleştirilebilir.

ÇKKV'nin karar sürecinde kullanılması, (1) Karar alma sürecinde memnuniyetin artması: (2) kararın kalitesinin artırılması ve (3) karar vericilerin verimliliğini arttırmıştır (Belton ve Stewart, 2002; Goodwin ve Wright, 2009; Keeney ve Raiffa, 1993; von Winterfeldt ve Edwards, 1986).

ÇKKV, (i) ilgili konuların karmaşıklığı, (ii) çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri bütünsel olarak kapsama ihtiyacı ve (iii) fayda-maliyet analizi ve çevresel etki değerlendirmesi gibi geleneksel araçların yetersizliği nedeniyle tercih edilmektedir (Bristow ve Nellthorp, 2000; Browne ve Ryan, 2011).

ÇKKV ve hedef programlama modelleri, mühendislik ve sosyal bilimlerde kapsamlı uygulamalara sahip yöneylem araştırması ve yönetim biliminin önemli araçlarıdır. Karar

verme problemlerindeki karmaşıklık, tek bir hedefle modelleme ve çözümedeki zorluklardan kaynaklanmaktadır. HP modelleri, karar vericinin belirlediği sınır düzeylerinden veya hedeflerden sapmaları en aza indirerek birden fazla hedefi optimize eden mesafeye dayalı bir yöntemdir. Sapmalar sıfıra getirildiğinde, modelin belirlenen hedeflerine ulaşılabilir, ek olarak sapmalar pozitif ve negatif olabilir, bu değerlerin aşılması veya birden fazla kısıtlamaya tabi olarak hedeflerin çözülmesi sağlanabilir. HP modellerinin popüleritesi, Lee (1972) ve Ignizio'nun (1976) temel çalışmaları ile genişletildi. Romero (1991) tarafından belirtildiği gibi, HP en çok kullanılan ÇKKV tekniğidir. HP modelleme çerçevesinin anlaşılması ve uygulanması kolaydır ve çoğu ticari matematiksel programlama yazılımı kullanılarak çözülebilir.

ÇKKV, çeşitli karar problemlerinde alternatifleri değerlendirme yoluyla seçme için yaygın olarak kullanılmaktadır. ÇKKV yöntemleri, bir problemde alternatifleri ve kriterleri tanımlanabilen her alanda kullanılabilir.

ÇKKV yöntemleri, analitik süreçler ile kriterlerin önem seviyelerini ve alternatiflerin tercih ağırlıklarını verirler. Çeşitli kriterlerle karar verme süreci genel uygulamaları aşağıdaki aşamalarla karakterize edilir (Gore, 1992):

- Problem amacının tanımlanması;
- Değerlendirme kriterlerinin tasarımı;
- Alternatiflerin belirlenmesi, değerlendirme ve seçim;
- Uygulama ve süreç kontrolü.

ÇKKV yöntemleri, endüstri, tarım, finans, eğitim, kaynak kullanımı, pazarlama, yönetim, tedarik zinciri yönetimi, gibi birçok sektör ve alt alanlarda seçim, analiz ve değerlendirme amaçları ile yaygın kullanıma sahiptir. Bu alanlardan biri de ulaşım sektörüdür. Son yıllarda ÇKKV yöntemleri kullanılarak ulaşım sorunlarının çözümü ile ilgili çok sayıda

makale literatürde bulunmaktadır. Pedroso vd. (2018) toplu taşımacılık seçeneklerinin performansını çok kriterli analizler kullanarak değerlendirmiştir. Alkharabsheh vd. (2019), AHP üzerinden kentsel ulaşım için yolcu talebini gerçek dünya uygulamalarında değerlendirmiştir. Güner (2018) toplu taşıma sistemlerinin kalitesini ölçmek ve ÇKKV ile otobüs ulaşım güzergahlarını sıralamak üzerine çalışmıştır. Errampalli vd. (2018) Hindistan şehirlerinde toplu taşıma modları arasındaki entegrasyonun değerlendirilmesi için bir uygulama yapmışlardır. Erdoğan ve Kaya (2020), metrobüs sistemi arızalarından kaynaklanan riskleri ortadan kaldırmak için bakım karar destek sistemine dayalı sistematik bir yaklaşım sunmuş ve değerlendirme sürecinde ÇKKV kullanmışlardır. Mohammadi vd. (2020) kentsel demiryolu vagonlarında yolcuların konfor seviyesi için çok kriterli bir değerlendirme yapmıştır. Khayamim vd. (2019) kentsel ulaşım altyapısı projelerini seçmek ve zamanlamak için ÇKKV yöntemlerini kullanmışlardır. Mahmoudi vd. (2019a) kentsel ulaşım ağının sürdürülebilirlik değerlendirme kriterleri üzerine çalışmışlardır. Stankovic vd. (2019) trafik erişilebilirliğine ilişkin kriter ağırlıklarını belirlemek için ÇKKV yaklaşımı önermişlerdir.

3.1. Çok Kriterli Karar Verme

ÇKKV, kamu işletmeleri veya özel sektör tarafından birçok alanda; ulaştırma projelerinin seçimi, ulaştırma sistemi altyapısına yapılan yatırımın değerlendirilmesi, ulaştırma sistemlerinde karar verme politikasının verimliliğini, teknolojilerin seçimi ve ulaştırma alternatiflerinin seçimi gibi alanlarda kullanılan önemli bir bilgi elde etme aracıdır.

Ulaşım planı ve projeleri başta doğal çevre, sosyal yapı, ekonomi ve teknik konular olmak üzere çeşitli alanları etkilemektedir. Bu nedenle, ulaşım konusunda karar vermenin birden fazla faktörü göz önünde bulundurması gerekmektedir. Dolayısıyla ÇKKV teknikleri, bir dizi alternatifin (nicel veya nitel) göreceli değerlendirilmesine yardımcı olmak için iyi yöntemlerdir. Literatürde çeşitli karar verme yöntemleri mevcuttur. Bunlardan bazıları; AHP (Saaty, 1977), analitik ağ süreci (Saaty, 1999), TOPSIS (Hwang ve Yoon, 1981); ELECTRE (Elimination and choice expressing reality, Roy, 1990); PROMETHEE (Brans

ve Vincke, 1985), VIKOR (Opricovic ve Tzeng, 2007) ve MOORA (Brauers ve Zavadskas, 2006).

Bu yöntemlerden AHP ve AAS ağırlıklı sonuçlar verirken. TOPSIS, MOORA, VIKOR ise sıralama yapmaktadır ve en iyi alternatifin seçimini sağlamaktadırlar. Bu yöntemler, kompleks karar problemlerinde önemli rol oynayarak karar vericilere seçimlerinde yardımcı olmaktadır. Karar probleminin boyutunun değişmesi, artması veya küçülmesi karar verme aracını değiştirebilmekle birlikte karar sürecinde bir değişiklik söz konusu olmamaktadır. Bir karar verme problemi 3 ana adımdan oluşmaktadır; (1) karar probleminin yapısının oluşturulması, (2) kriter ve alternatiflerin belirlenmesi, (3) karşılaştırmaların yapılması.

ÇKKV yöntemleri literatürde sıklıkla kullanılan metotlardır. ÇKKV yöntemleri tek tek ayrı ayrı kullanılabildiği gibi karma uygulamaları da etkili sonuçlar vermektedir.

Son yıllarda yapılan güncel çalışmalar Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi karar verme yöntemleri birbirinden bağımsız olarak kullanılabileceği gibi birbiri ile hibrid şekilde de kullanılmaktadır. Ayrıca matematiksel modeller ile de entegre edilebilme imkânı vardır. Bu tez kapsamında kullanılan ÇKKV yöntemleri sırasıyla öz bir şekilde açıklanmıştır. Detaylı anlatım için konu içinde verilen kaynaklar incelenebilir.

Çizelge 3.1. ÇKKV yöntemleri ve kullanım alanları

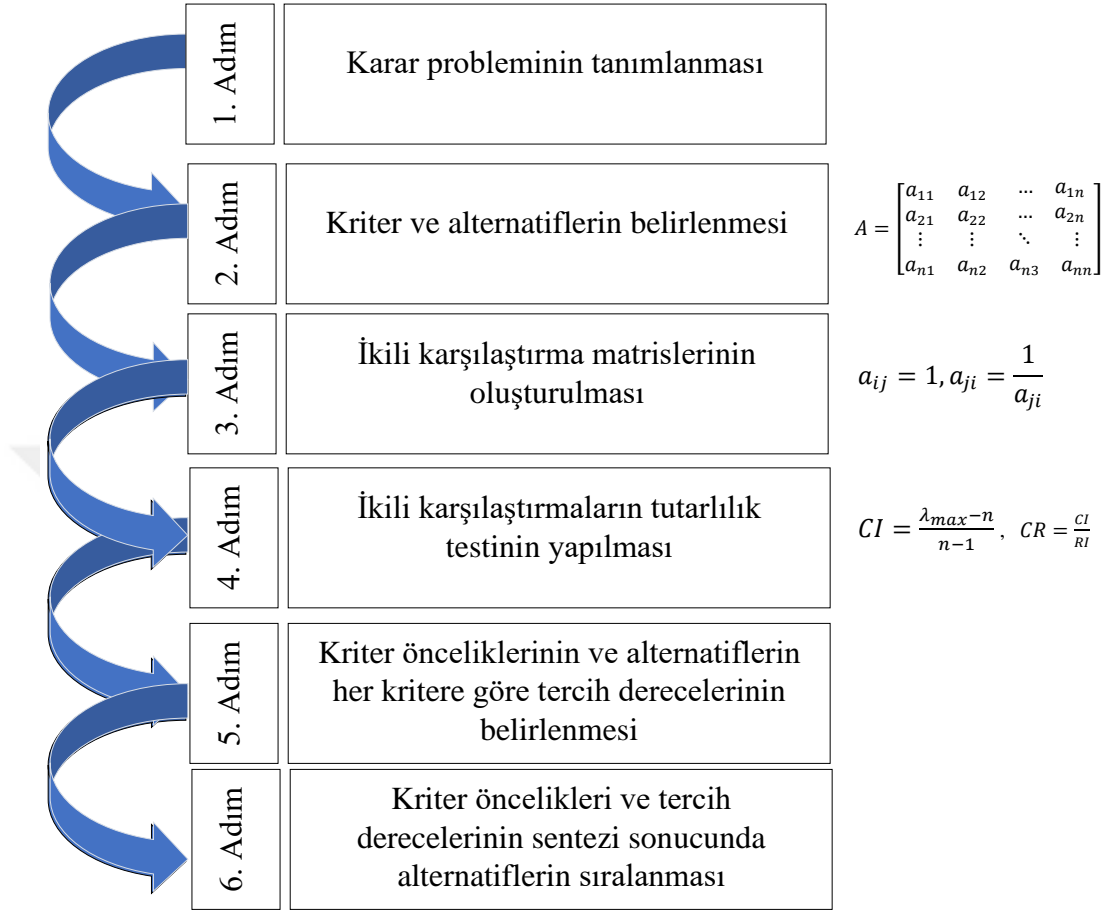
Yöntem	Yazarlar	Uygulama	Problem
AHP	Zhou ve Yang, (2020)	Enerji	Risk yönetimi
AAS	Abdel-Baset vd. (2019)	Endüstri	Tedarikçi seçimi
TOPSIS	Kannan ve Navneethakrishnan, (2020)	Endüstri	Parametre optimizasyonu
VIKOR	Awasthi vd. (2018a)	Endüstri	Tedarikçi seçimi
	Gupta (2018)	Ulaşım	Hizmet kalitesini değerlendirme
	Wang vd. (2019)	Enerji	Teknoloji seçimi
	Kumar vd. (2020)	Ulaşım	Performans değerlendirme
MOORA	Şimşek vd. (2015)	Endüstri	Tedarikçi seçimi
	Sarkar vd. (2015)	Endüstri	Makine seçimi
	Gadakh vd. (2016)	Endüstri	Malzeme seçimi
HP	Hocaoğlu (2019)	Savunma	Optimizasyon
	Kaçmaz vd. (2019)	Endüstri	Personel çizelgeleme
AHP-TOPSIS	Hamurcu ve Eren (2020b)	Ulaşım	Elektrikli otobüs seçimi
	Kamalakannan vd. (2020)	Endüstri	Tedarikçi seçimi
AHP-HP	Gür vd. (2017)	Ulaşım	Proje seçimi
	Cyril vd. (2019)	Ulaşım	Performans optimizasyonu
	Hamurcu ve Eren (2018a)	Ulaşım	Proje seçimi
AHP-ÇKKV-	Özcan vd. (2019)	Enerji	Bakım stratejisi optimizasyonu
MP	Karaman ve Çerçioğlu, (2015)	Sağlık	Proje seçimi
	Ozcan vd. (2017)	Enerji	Bakım stratejisi seçimi

3.1.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

AHP yöntemi 1970'lerde Saaty tarafından karar verme problemlerinin çözümü için ortaya atılmıştır. ÇKKV yöntemi olan AHP yöntemi, karar verme sürecindeki soyut ve somut ölçütleri aynı anda ele alma olanağı sağlar. Somut ölçütlerle anlatılmak istenen, insanın ölçme bilgisine ihtiyaç duyulmayan fiziksel objektif bilgidir. Soyut ölçütlerle anlatılmak istenen ise; bireylerin subjektif fikirleri, duyguları ve inançlarını kapsayan muhakemelerdir (Saaty ve Vargas, 2006). AHP, birden fazla seviyeden oluşan hiyerarşik

bir yapıda, ölçütlerin ikili karşılaştırmalarını temel alarak karar verme süreçlerinin modellenmesini sağlar. AHP ile karar sürecinde, karar seviyeleri arasında tek yönlü bir hiyerarşik ilişki tanımlanır. Hiyerarşik yapı; problemin doğasında var olan karmaşık ilişkilerin bir bütün halinde ifade edilmesini sağlar ve karar vericinin her bir seviyedeki elemanların aynı önem düzeyinde olup olmadığını değerlendirmesine yardımcı olur (Saaty, 1990). Hiyerarşik modelin en üst basamağında karar modelinin genel amacı bulunur. Genel amaçtan ölçütlere daha sonra alt ölçütlere ve en sonunda alternatiflere kadar uzanan bir hiyerarşik yapı geliştirilir. Hiyerarşik yapıyı tesis eden ölçütlerin görece önemlerinin belirlenmesi için ikili karşılaştırma işlemleri yapılır. Sonrasında ikili karşılaştırmalarla elde edilen yerel ağırlıklar daha sonra genel ağırlıklara dönüştürülür ve alternatifler AHP yöntemi ile elde edilen genel ağırlıklar ölçeğinde sıralanır. Şekil 3.1’de AHP ile karar verme süreci adımları gösterilmektedir.

AHP yönteminin güçlü yanları; karmaşık problemlerin modellenmesine imkân tanıyan yapısı, ikili karşılaştırmalar aracılığıyla karar vericilerin problemin küçük bir kısmına odaklanmasını sağlaması, tutarlılığın kontrol edilmesi, geniş uygulama alanları bulması ve grup olarak karar vermeye imkân tanımasıdır. Bunların yanı sıra AHP’nin bir diğer önemli özelliği, doğrusal programlama, kalite fonksiyon yayılımı, bulanık mantık gibi farklı yöntemlerle birleştirerek kullanmada sunduğu esnekliktir (Vaidya ve Kumar, 2006). AHP’nin zayıf yanları ise; sözel ifadelerin sayısal bir ölçeğe dönüştürülmesi, ölçütlerin göreceli önem seviyelerini değerlendirirken ölçütlerin karşılıklı değişim ölçeklerine ilişkin bir fikir vermemesi, yeni alternatiflerin devreye girmesi halinde var olan alternatiflerin sırasında değişme olma durumu, hiyerarşisinin genişlemesi ile ikili karşılaştırma sayısında yaşanan artıştır (Goodwin ve Wright, 2004). Dolayısıyla artan alternatif veya kriter sayıları karar sürecinde daha fazla matematiksel işlem yapmayı gerektirmektedir. Bu yöntem, üretim, yönetim, finans, ulaşım gibi birçok alanda karar vericilere yardımcı olmak amacıyla bir araç olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. AHP adımları

3.1.2. Analitik Ağ Süreci (AAS)

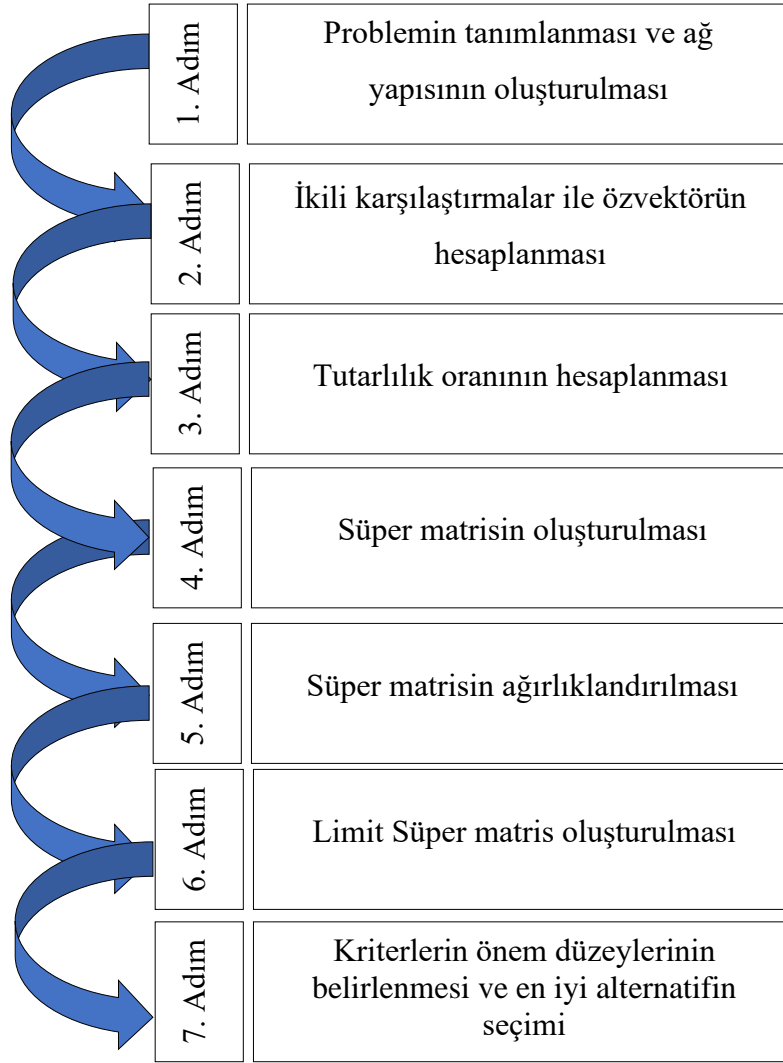
ÇKKV tekniklerinin ulaştırma sistemi problemlerine ilişkin kararlara yardımcı olmak için yeterli olduğunu önermek için sistematik bir inceleme sunar. Sürdürülebilir toplu taşıma altyapısı projesi ile ilgili kararlar, kriterler arasında karşılıklı bağımlılık içeren çok kriterler içermektedir (Mardani vd., 2015a; Mardani vd., 2015b). AAS yöntemi uygulanabilir; AAS tekniği AHP'nin daha gelişmiş versiyonudur. AHP yaklaşımı, çok amaçlı kararların çözümü için hiyerarşik bir yapı ile sunulmaktadır. Bununla birlikte, karar unsurları hiyerarşik yapı modelinde genellikle birbirine bağımlı ve karmaşıktır.

Saaty (2001) AAS'yi karar sıralaması öncelikleri için önerir, çünkü hiyerarşik yapının karar düzeyleri arasındaki kısıtlamaları serbest bırakır.

AAS yöntemi, yeşil tedarikçi geliştirme değerlendirme (Dou vd., 2014), tedarikçi seçimi (Abdel-Baset vd., 2019), sağlık alanında (Nilashi vd., 2016), CO2 azaltma stratejileri yönetimi (Theißen ve Spinler, 2014; Zhang, 2017), yeşil tedarikçi seçimi (Hashemi vd., 2015) dahil olmak üzere birçok akademik alanda yaygın olarak uygulanmıştır.

Karar verme problemlerinden birçoğu faktörler arasındaki bağımlılıklardan ve kendi içindeki etkileşimlerden dolayı hiyerarşik olarak yapılandırılmamaktadır. Bu tür karar verme problemlerini analiz etmek, kümeler arasındaki etkileşimleri göz önünde bulundurmayı gerektirmektedir. Saaty alternatif ve kriter arasındaki bu tarz bağımlılıkların olduğu problemlerde kullanmak üzere AAS yöntemini önermiştir. Şekil 3.2’de AAS yöntemi adımları gösterilmektedir.

Bu ilişkiler ikili karşılaştırmalar kullanılarak ölçülür. Önem düzeyine, eşit önemden aşırı derecede öneme kadar bir aralığı temsil etmek için 1-9 arası bir ölçek kullanılarak karar verilebilir.



Şekil 3.2. AAS karar adımları

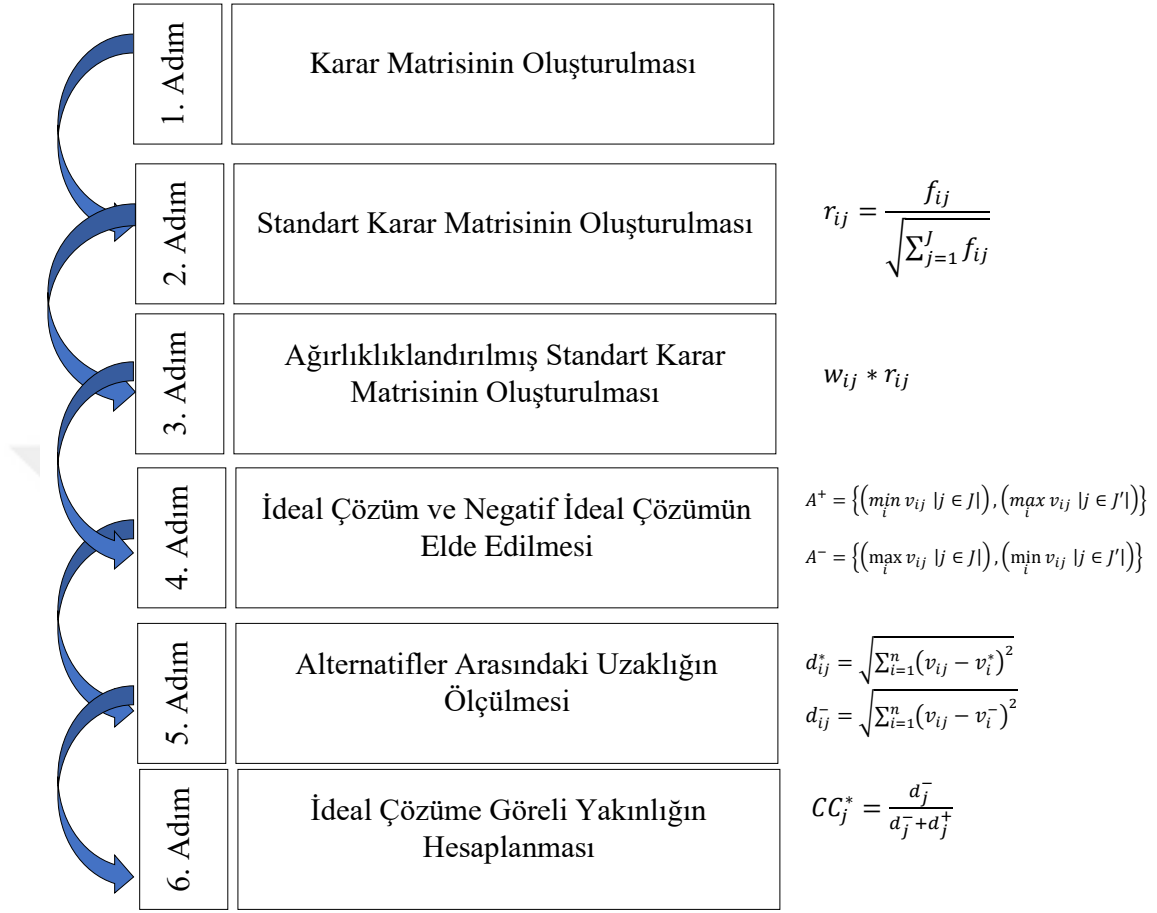
3.1.3. TOPSIS

TOPSIS yöntemi dört nedenden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk olarak, bu yöntem, mantığı rasyonel ve anlaşılabilir (1); hesaplama süreçleri basittir (2); karar süreci, basit bir matematiksel formda tasvir edilen her bir kriter için en iyi alternatiflerin izlenmesine izin verir (3); önem ağırlıkları karşılaştırma prosedürlerine dahil edilebilmektedir (4). Karar sürecinde net değerler üzerinde değerlendirme yapılabileceği

gibi bulanık sayılar kullanılarak da değerdendirmelerde bulunulabilir. Bulanık kümleler ile bulanık TOPSIS, insan düşüncesinin doğal olarak öznel doğasının belirsizliğı nedeniyle eksik ve belirsiz bilgilerle başa çıkmak için avantajlı bir süreç sağlar. Bu nedenle, bu bulanık yöntem bulanık ortamda kompleks karar problemlerinin çözümü için iyi sonuç verir.

Hwang ve Yoon (Hwang ve Yoon, 1981) tarafından önerilen pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm kavramına dayanan TOPSIS yöntemi, rasyonel ve anlaşılabilir bir mantığa sahiptir. Hesaplama süreçlerinin basit olduğu düşünöldüğünde, sıralama için birçok alanda kullanılmıştır. Ayrıca, bu yöntemin yaygın olarak kullanılmasının diğere nedenleri, basit bir matematiksel formölasyonda tasvir edilen her bir kriter için en iyi alternatiflerin takip edilmesini sağlayan rasyonel, anlaşılabilir ve hesaplama işleminin kolaylığıdır. Ayrıca, ağırlıkların önemi karşılaştırma prosedürlerine dahil edilebilir.

AHP metodolojisinin çok sayıda kriter ve alternatifi dikkate almadaki zorluğu nedeniyle, karar vericinin yaptığı ikili karşılaştırmaların sayısı makul bir eşiğın altında kalmalıdır (Dağdeviren vd., 2009). TOPSIS yöntemiyle birleştirerek kullanılan AHP metodolojisi, çok sayıda ikili karşılaştırma yapmaya gerek kalmadan sadece kriterlerin ağırlıklarını elde etmemize izin vererek daha kısa çözüm süresi sunmaktadır (Sánchez-Lozano ve Rodríguez, 2020). TOPSIS yöntemi adımları Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

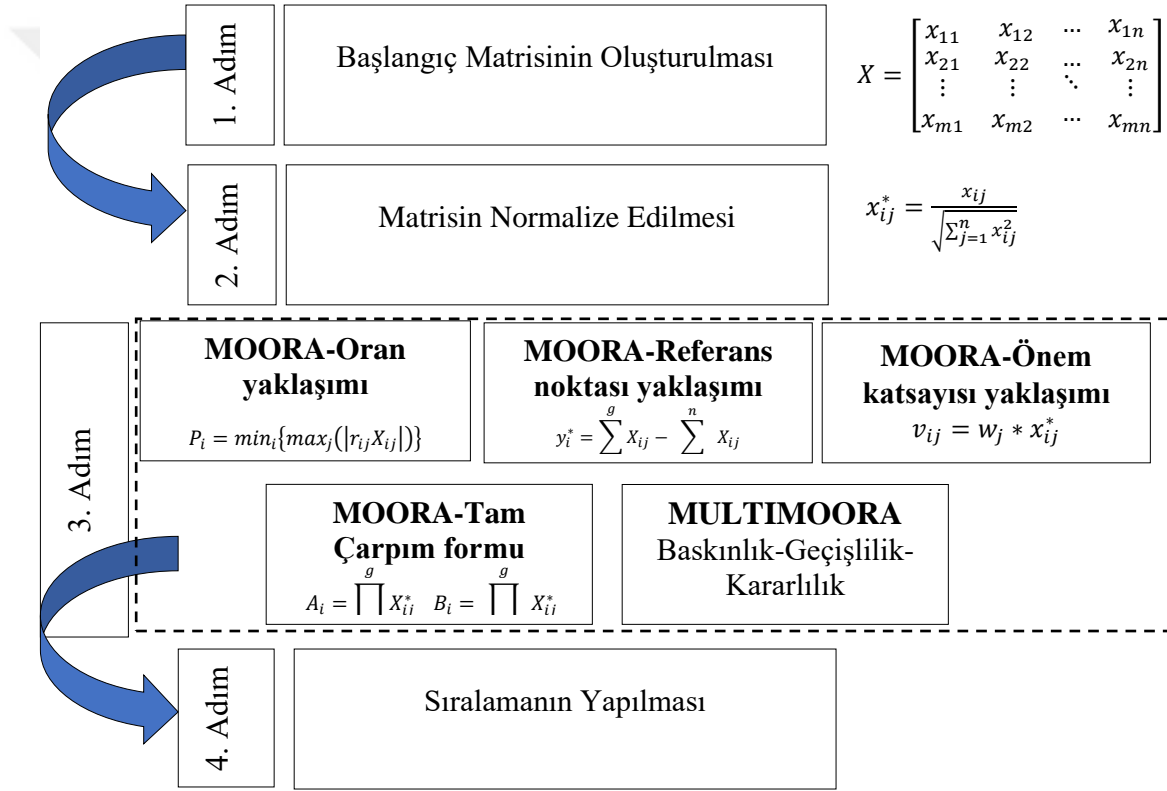


Şekil 3.3. TOPSIS sıralama adımları

3.1.4. MOORA

MOORA yöntemi ilk defa Brauers tarafından 2004 yılında kompleks karar problemlerinin çözümü için tanıtılmıştır. Kısa bir çözüm süresi sunan bu yöntem, basit matematiksel işlemlere dayanmaktadır. MOORA yönteminin çeşitli versiyonları olmasına rağmen en fazla kullanılan 2 yöntem MOORA oran yöntemi ve MOORA referans noktası yöntemidir (Brauers ve Zavadskas, 2006)

MOORA yöntemi, karar vericilere, belirli kısıtlamalara tabi iki veya daha fazla çelişen kriteri veya hedefi eşzamanlı olarak optimize etme imkânı sunmaktadır. MOORA, ÇKKV yöntemleri arasında nispeten yeni bir yöntem olmasına rağmen literatürde farklı alanlara uygulanmıştır. Bu uygulamalardan bazıları; malzeme seçimi (Karande ve Chakraborty, 2012), strateji seçimi (Dey vd., 2012), bankaların etkinlik analizi (Özbek, 2015) ve imalat sistemi seçimidir (Mandal ve Sarkar, 2012). MOORA ile karar verme süreci Şekil 3.4'te gösterilmektedir. Karar sürecinin detayları için verilen referanslara bakılabilir.

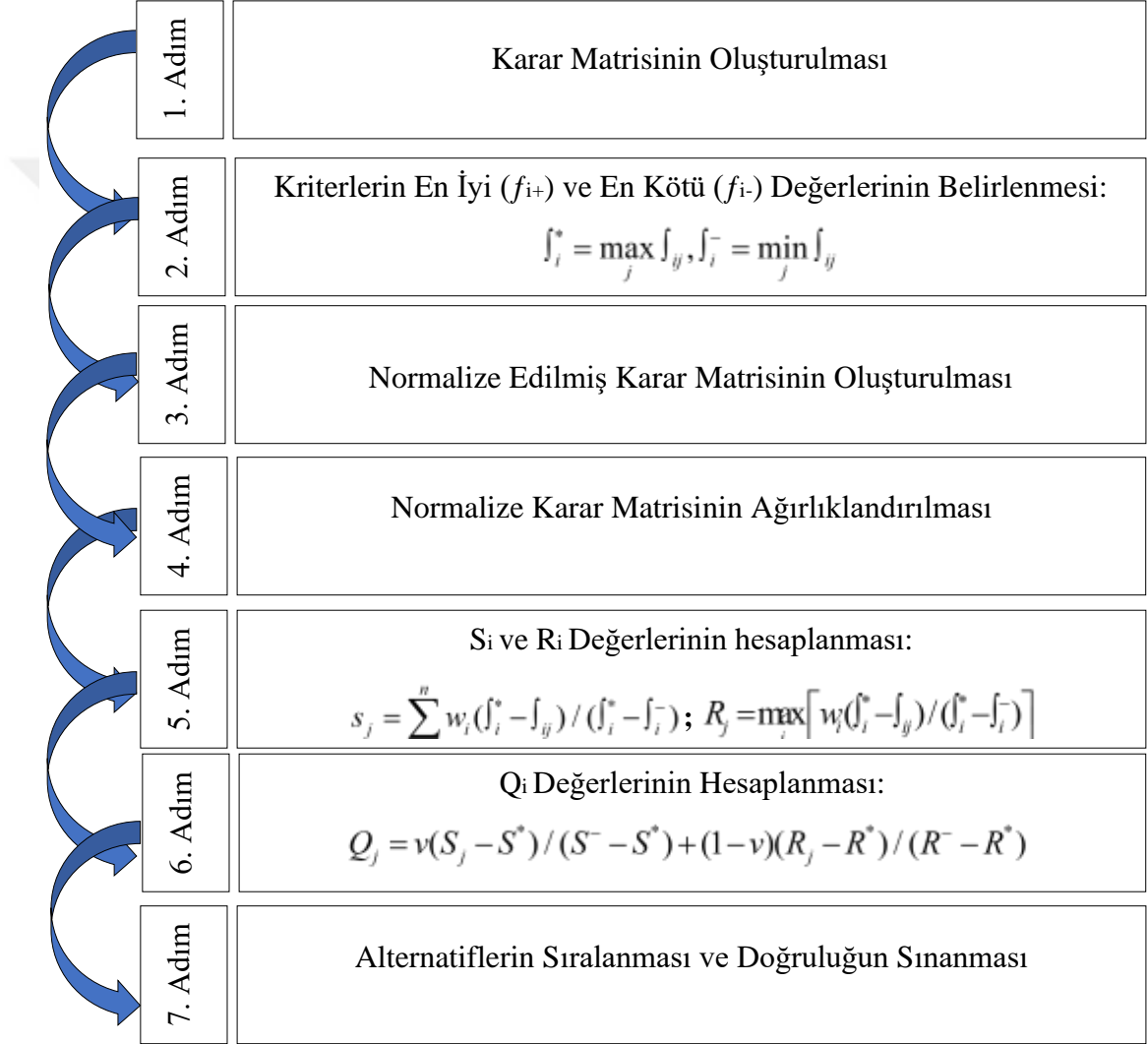


Şekil 3.4. MOORA ile karar verme süreci

3.1.5. VIKOR

VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemi, Opricovic tarafından 1998 yılında çelişkili kriterler ile bir problemin uzlaşık çözümünün belirlenmesi ve seçilen alternatifler kümesinin sıralanmasına odaklanarak karar vericiye

nihai bir karara ulaşmasında yardımcı olmak amacıyla ortaya atılmıştır (Opricovic ve Tzeng, 2004). Yöntemin temeli, alternatifler için değerlendirme kriterlerini de dikkate alarak bir “ideal çözüme yakınlık” ya da uzlaşık çözümün bulunmasıdır. Uzlaşık çözüm, ortak kabul üzerinde anlaşmaya varılmış ideale en yakın çözümdür (Zhang ve Wei, 2013).



Şekil 3.5. VIKOR uygulama adımları

VIKOR yöntemi, ideal çözüme yakınlığa göre sıralama yapan ve uzlaşık çözüm sağlayan bir yöntemdir. Yöntem, maksimum grup faydasını ve buna bağlı olarak karşıt görüşlerin

minimum pişmanlığını sonuca etki ettirebilmesi yönüyle karar vericilere yardımcı olmaktadır Hesaplamaları oldukça basit ve açıktır (Ju ve Wang, 2013). Şekil 3.5'te VIKOR uygulama adımları gösterilmektedir (VIKOR yöntemi detaylı süreci için Awasthi vd., 2018; Gupta, 2018; Wang vd., 2019; Kumar vd., 2020) tarafından yapılan çalışmalar incelenebilir).

3.1.6. Bulanık Kümeler

Zadeh (1965) tarafından sunulan bulanık küme teorisi çeşitli parametrelere ilişkin belirsizlikler ile başa çıkmak için uygulanmaktadır. İnsan yargısı genellikle 'eşit', 'orta', 'güçlü', 'çok güçlü', 'son derece' ve 'önemli bir derece' gibi belirsiz bir dilsel ifadelerle karakterize edilir. Karar vericiler bu dilsel ifadeleri kullanarak belirsiz olayları ve nesnelere ölçerler. Bulanık teori, karar vericilerin, verilerin dilsel değerlendirilmesi sürecindeki zorluklarla başa çıkmasını sağlar.

Genellikle, bulanık kümeler üyelik işlevleri tarafından tanımlanır. Bulanık kümeler, kısmi A üyeliğine sahip X'in herhangi bir ögesinin x derecesini temsil eder. Bir ögenin kümeye ait olma derecesi 0 ile 1 arasındaki değerle tanımlanır. X ögesi, gerçekten μ_A ise A'ya aitse $\mu_A(x) = 1$ ve $\mu_A(x) = 0$ ise açıkça değil. Üyelik değeri ne kadar yüksekse, $\mu_A(x)$, x ögesinin A kümesine aitliği o kadar büyük olur.

Üçgen bulanık sayı (l, m, u) olarak tanımlanır; l, m ve u parametreleri sırasıyla bir bulanık olayı tanımlayan mümkün olan en küçük değeri, ortanca değeri ve mümkün olan en büyük değeri gösterir. (l, m, u) aşağıdaki üçgen tip üyelik işlevine sahiptir. Bulanık kümeler, dilsel ifadelerin kullanıldığı verilerin net olarak ifade edilemediği durumlarda kullanılan puslu sayılardır. Literatürde birçok alanda ÇKKV yöntemleri ile kullanılmıştır. Çizelge 3.2'de bulanık kümeler ile ÇKKV yöntemlerinin birlikte kullanıldığı, literatürde yer alan son çalışmalar gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Bulanık üçgen sayılar

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < l \text{ ve } x > u \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \end{cases} \quad (3.1)$$

Üçgen bulanık sayılar üzerindeki aritmetik işlemlerin ayrıntılı tanımları ve tartışmaları için Dubois ve Prade (1978), Giachetti ve Young (1997), Kaufmann ve Gupta (1988), Wagenknecht vd. (2001) ve Zadeh (1965)'in çalışmalarına bakılabilir. Çizelge 3.3'te de bulanık ÇKKV yöntemleri uygulama örneklerine yer verilmiştir.

Çizelge 3.3. Bulanık ÇKKV uygulamaları

Metot	Uygulama Alanı	Referans
Bulanık AHP	Enerji	Wang vd. (2020)
	Endüstri	Kahraman vd. (2020)
	Ulaşım	Moslem vd. (2019a)
Bulanık ANP	Ulaşım	Mahdi Rezaie vd. (2020)
Bulanık TOPSIS	Enerji	Anser vd. (2019)
Bulanık VIKOR	Enerji	Solangi vd. (2019)
Bulanık MOORA	Endüstri	Bera, vd. (2019)

3.1.7. ÇKKV Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Karar vericilere yardımcı olmak amacıyla birçok karar verme yöntemi kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında AHP, AAS, TOPSIS, MOORA ve VIKOR yöntemleri kullanılmıştır.

AHP ve AAS yöntemleri ağırlıklar neticesinde bir sıralama, grublama veya seçim yapar. AHP karar hiyerarşisi ile kriterler arasında bağımsızlığı varsayar. AAS ise kriterler ve alternatifler arasında hem içsel hem de dışsal ilişkileri dikkate alır ve birbirini etkilediğini modele katar. Dolayısıyla AAS, AHP' nin bir adım daha gelişmiş versiyonudur denilebilir. Hesaplama olarak da daha karmaşıktır. AHP ve AAS yöntemleri uygulamalarında kriter ve alternatif sayısı arttıkça karar verme süreci uzamakta ve hesaplama sayısı artmaktadır.

MOORA yönteminin MOORA-Oran, MOORA-Referans noktası, MOORA-Önem katsayısı, MOORA-Tam Çarpım Formu ve MULTIMOORA olmak üzere farklı modelleri geliştirilmiştir. MOORA yöntemi; hesaplama süresi, basitlik, matematiksel işlem, kararlılık ve veri türü açısından farklılaşmaktadır. ÇKKV yöntemleri, Çizelge 3.4'te karşılaştırılmıştır (Chakraborty, 2011). MOORA yönteminin karşılaştırılan yöntemlere göre daha üstün olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.4. ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırılması

ÇKKV Yöntemleri	Basitlik	Hesaplama Süresi	Güvenirlilik	Matematiksel İşlemler	Veri Türü
MOORA	Çok basit	Çok az	İyi	Asgari	Nicel
AHS	Çok kritik	Çok fazla	Zayıf	Azami	Karma
AAS	Zor	Uzun	İyi	Azami	Karma
TOPSIS	Orta	Orta	Orta	Makul	Nicel
VIKOR	Basit	Az	Orta	Makul	Nicel

TOPSIS ve MOORA, karar verme yöntemleri arasında en benzer yöntemlerdir. Her iki yöntem, karar matrisini normalleştirmek için vektör normalleştirme prosedürünü kullanır (Kecek ve Demirag, 2016; Wang vd., 2019). TOPSIS yöntemi üç nedenden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang ve Chang, 2007). İlk olarak, bu yöntem mantığı rasyonel

ve anlaşılabilir (1); hesaplama süreçleri basittir (2); karar süreci, basit bir matematiksel formda tasvir edilen her bir kriter için en iyi alternatiflerin izlenmesine izin verir (3).

MOORA yöntemi temeli dört faktöre sahiptir; (1) her bir hedef için seçenekler, (2) normalizasyon, (3) optimizasyon ve (4) her alternatifin önem sırası (Majumder ve Maity, 2017). Bu yöntem karar verme sürecini daha güvenilir kılar. MOORA yöntemi yeni bir yöntemdir ve AHP, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE, PROMETHEE gibi diğer ÇKKV yöntemlerine göre bazı avantajlara sahiptir. Örneğin: hesaplama süresi çok kısadır; Çok basit ve asgari matematiksel hesaplamalar içerir (Hafezalkotob vd., 2019; Brauers ve Zavadskas, 2012).

Mesafe tabanlı yöntemler olarak bilinen TOPSIS ve VIKOR yöntemleri, uzlaşma sıralamasına dayalı analitik bir hesaplama sürecine sahiptir. TOPSIS yöntemi, vektör normalizasyonu yoluyla en iyi sıralama alternatifini hesaplamak için ideal ve negatif-ideal çözümlerden uzaklıkları kullanır. Kısaca, TOPSIS negatif ideal çözümden uzaklığı eşzamanlı olarak maksimize ederek ve pozitif ideal çözüme olan mesafeyi en aza indirerek bir sonuç elde eder, ancak bu mesafelerin önemini göz ardı eder (Opricovic ve Tzeng, 2004). VIKOR yöntemi normalleştirme ve kullanımı için doğrusal araçlar kullanır. Nihai sıralamada ideal çözümden uzaklık dikkate alınır. Fayda grubunu maksimuma çıkararak ve pişmanlık grubunu minimize ederek en iyi alternatifi tercih eder. VIKOR yöntemi pozitif ve negatif ideal çözüm oranını hesaplar; bu nedenle, VIKOR yöntemi bir avantaj oranı ile bir uzlaşma çözümü önerir.

3.2. Tezde Kullanılan Matematiksel Modeller

Tez kapsamında kısıt programlama ve hedef programlama matematiksel modelleri kullanılmıştır.

3.2.1. Hedef Programlama

Hedef programlama (HP), çok kriterli problemleri analiz etmek için kullanılan, iyi bilinen ve çok popüler bir araçtır. HP tekniklerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi, HP'yi ÇKKV problemleri ile başa çıkmak için en çok tercih edilen araçlardan biri haline getirmiştir. Uygulama alanları mühendislik, yönetim ve sosyal bilimler de dahil olmak üzere son derece geniştir.

Kaynak tahsisi için karar vericilere yardımcı olmaya çalışan HP yöntemi ilk olarak 1955'te önerilmiştir (Charnes vd., 1955). HP yöntemi, başarı hedefleri ile gerçekleşen sonuçlar arasındaki sapmaları en aza indirmeyi amaçlamaktadır. HP yöntemi, kaynakların sınırlamalarını dikkate aldığı için mühendislik uygulamalarında çok amaçlı sorunların çoğuna uygulanmıştır (Yang vd., 2016). HP, özellikle çelişen hedeflerin olduğu yerlerde karar analizinde geniş bir uygulamaya sahiptir. Bu matematiksel modelleme aracı kullanılarak, çeşitli uygulamaları ile mühendislik, yönetim ve sosyal bilimlerle ilgili araştırmalarda özellikle kullanılmıştır. (Colapinto vd., 2015).

HP'deki amaç, ulaşılmak istenen hedefler arasındaki sapmaları minimize etmektir. Doğrusal programlamanın simplex algoritmasında yer alan bu gibi sapmalar aylak değişkenler olarak isimlendirilirken, bu sapma değişkenler HP'de yeniden anlamlandırılırlar. Sapma değişkenler her bir hedeften hem pozitif yönde hem de negatif yönde sapmalar şeklinde iki boyutta gösterilir. Amaç fonksiyonu yalnızca bu sapma değişkenlerden oluşturulur. Formülasyonun genel gösterim ise Çizelge 3.5'te gösterilmektedir.

Burada, x_j karar değişkenleri, b_i i-nci hedef için istenilen değer, n karar değişkenlerinin toplam sayısı m ise toplam kısıt sayısıdır. P_k : öncelik w_k : ağırlık ve a_{ij} : parametrelerdir. HP'de amaç, hedefler arasındaki sapmaların minimize yapılması olduğu için bu sapma değişkenleri hem negatif hem pozitif yönde olmak üzere iki boyutta gösterilir. Aynı anda hem pozitif hem de negatif sapma oluşamaz dolayısıyla sapma değişkenlerin en az bir tanesinin sıfıra eşit olması gerekmektedir.

Çizelge 3.5. Hedef programlama formülasyonu

Hedef	$\text{Min } Z = [P_1 w_1 (d_1^+, d_1^-) + \dots + P_k w_k (d_k^+, d_k^-)]$	(3.1)
Kısıtlar	$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - d_i^+ + d_i^- = b_i \quad (\forall i)$	(3.2)
	$d_i^+, d_i^-, x_j \geq 0 \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$	(3.3)

İstenmeyen sapma değişkenlerin oluşturulmasından hemen sonra HP formülasyonu kurulur.

- d_i^+ :pozitif sapma değişkeni $i = 1, \dots, m$
- d_i^- :negatif sapma değişkeni $i = 1, \dots, m$

Belirlenen bütün değişkenler arasından pozitif veya negatif yönde sapma değişkenleri minimize edilmeye çalışılır.

Çok amaçlı programlama teknikleri arasında yer alan HP birçok amacı aynı anda gerçekleştirecek tek model ortaya koymaktadır. 0-1 hedef programlama ise HP'yi daha özele indirgeyerek karar verme sürecine dahil etmektedir. HP, her bir hedeften sapmaların toplamı olan bir işlevin en aza indirilmesini gerektirir. Bir diğer fark, Doğrusal programlama optimize edilecek nesnel bir işlev üzerinde çalışırken, mutlak kısıtlamalara tabi olmakla birlikte, HP, hedeflerine daha fazla veya daha az ölçüde ulaşılabilen önceliklerle daha nesnel işlevler üzerinde çalışır. Bu nedenle HP modeli, optimize etmekten ziyade tatmin edici bir çözüm hedefleyen doğrusal programlama modelinden daha esnektir (Rehman, 2019).

Doğrusal Programlama ile karşılaşılan bir karar problemi, takip edilecek bir hedefin belirlenmesini gerektirir ve bu da hedefin kendisini tam olarak ifade edebilecek fayda kriterini optimize eder. Sorun daha zıt hedefleri incelese bile, bu durum doğrusal programlamanın kanonik yaklaşımı, farklı hedeflerin doğrudan karşılaştırılabilir olmasını sağlayan tek bir ortak payda ile ifade edilebileceğini varsayar. Dolayısıyla, birden fazla çatışan hedef arasında doğrudan uzlaşmış bir çözümün belirlenebildiği problemlerde, HP gibi çok amaçlı yöntemlerin kullanılması tercih edilir.

3.2.2. Kısıt Programlama

Kısıt programlama hesaplama ve mantığa dayalı tekniklerin kombinasyonuna dayanan bir programlama yaklaşımıdır. Kısıtlar, her birisi tanımlanan bir alandaki değerlerden birisini alabilen değişkenler arasındaki ilişkileri ifade etmek amacıyla kullanılan formlardır. Kısıt programlama, tanımlı alanlardan oluşan değişkenlerin kombinasyonu olarak tanımlanabilir. Bu yaklaşımda, ana mantık problemin sahip olduğu kısıtların matematiksel ve mantıksal ifadelerle oluşturulması ve uygun çözüm alanlarının tanımlanmasıdır. Tanımlanan çözüm alanlarından değişkenlerin alabileceği uygun değerler bulunur ve problemin çözümü elde edilir. Verilen bir problemi kısıt programlama ile çözmek için kısıt sağlama problemi olarak formüle etmek gerekir (Vermuyten vd., 2018; Gür vd., 2019) Gerçek hayat problemlerindeki heterojen kısıtları modelleme sürecinde kolaylık sağlayan kısıt programlama yöntemi, matematiksel modellemelere alternatif olarak geliştirilmiştir. Yapısı modelleme, arama ve filtreleme olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Değişkenler arasındaki ilişkileri gösterme özelliği sayesinde klasik matematiksel programlama yönteminden sıyrılmaktadır. En önemli özelliği matematiksel kısıtlar içermesinin yanı sıra mantıksal ve sembolik ifadelere modelde yer vermesidir. Bir kısıt programlama yapısı şu şekilde tanımlanmaktadır:

Tanımlama yapılırken ilk olarak $\{X, D, C\}$ ifadelerinden yararlanılmaktadır. Bu ifadelerde " X_i " bir karar değişkeni olmak üzere, bu değişkenin alabileceği değerler kümesi S_i ile tanımlanmaktadır. Karar değişkenlerinin alabileceği değerleri sınırlayan bir C_k kısıtlar

kümesinden oluşan yapının bütünü kısıt programlamayı ifade etmektedir. Bir çözümün olabilmemesi, bütün karar değişkenlerinin bütün kısıtları sağlayan ve tanımlı oldukları alanlardan bir değeri almaları ile mümkündür (Vermuyten vd., 2018). Ele alınan problem için tüm çözüm alanı ise $D_1 x, \dots, x D_n$ olarak temsil edilir. Genel bir kısıt programlama yapısı Çizelge 3.6'daki gibi gösterilebilir (Apt, 2003).

Çizelge 3.6. Kısıt programlama formülasyonu

Hedef	$Min H = [X_1, \dots, X_n]$	(3.4)
Kısıtlar	$C_j = \{C_1, \dots, C_m\} \quad (\forall i \in \{1, \dots, m\})$	(3.5)
Kısıtlar	$X_i \in D_i, \quad (\forall i \in \{1, \dots, n\})$	(3.6)

Kısıt programlama amaç fonksiyonunun olup olmamasına göre iki tipte sınıflandırılır. Birinci tip olan “Kısıt Sağlama Problemleri” amaç fonksiyonu olmadan modellenir ve uygun bir çözüm veya bütün çözümler bulunana kadar çalıştırılır. Amaç fonksiyonu eklenerek çözülen kısıt programlama problemleri ise “Kısıt Optimizasyon Problemleri” olarak adlandırılır.

Kısıt programlama yönteminde çözüm süreçleri aşağıdaki aşamalara göre ilerlemektedir (Eren vd., 2019): İlk olarak her bir değişken için oluşturulan tanım kümesinden tüm kısıtları sağlamayan değerler çıkartılır. Böylece tüm kısıtları sağlayan değerler ile tanım kümesi güncellenmiş olur. Daha sonra tüm değişkenlere kısıtları sağlaması için değer ataması yapılan çözüm araması yapılır. Bu süreç arama ağacı olarak adlandırılmaktadır ve karar değişkeni bir düğüm değişkenlerin alabileceği değerler ise dal olarak gösterilmektedir. Mevcut problem alt problemlere bölünerek dallanmalar oluşturulur. Arama ağacındaki değişkenlere değer ataması yapılarak düğüm-dal yapısı oluşturulmuş olur. Eğer tüm değişkenlere atanan değerler tüm kısıtları sağlıyorsa problem tamamlanmış

ve çözüm elde edilmiş olarak kabul edilmektedir. Eğer herhangi bir değer için bile değişken tanımlanmazsa bu durumda geri dönüş algoritması adı verilen sistem devreye girmektedir. Bu sistem ile diğer dallar denenmekte ve istenilen değer bulunana kadar çözüm süreci devam ettirilmektedir. Dallanma süreçleri boyunca çözümsüzlüğe götürebilecek değerlerin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu durum diğer dallara geri dönüşleri azaltmayı sağlamaktadır.



4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölüm, sürdürülebilir ulaşım altyapısı seçim problemleri ile ilgili güncel literatürü araştırmakta ve tartışmaktadır. Yeşil ulaşım, akıllı ulaşım, sürdürülebilir kriterler, karbon ayak izi değerlendirmesi ve çeşitli kısıt ve hedef kısıtları altında proje seçimi kavramlarını içeren çeşitli uygulamalar sunmaktadır.

Bir ulaşım sisteminin verimliliği, mevcut teknolojiler, devlet politikaları, planlama süreci ve kontrol stratejileri gibi çeşitli unsurlara bağlıdır. Bu unsurlar arasındaki etkileşim oldukça karmaşıktır ve bu karmaşık ve kompleks yapı bir karar verme sürecini gerekli kılmaktadır. Ulaşım planlama süreci ve gerçek zamanlı kontrol stratejileri son yıllarda geniş çapta incelenmiştir ve ÇKKV araçlarının kullanımı bu alanda daha da odak nokta olmaya devam etmektedir.

Sürdürülebilirlik son on yılda üzerinde daha önemle durulan bir konu olmuştur. Bu bağlamda, daha önce yapılmış birkaç çalışmada sürdürülebilirlik mühendisliği alanında bu sorunun çözümü için farklı teknikler ve yaklaşımlar kullanılmıştır. ÇKKV, bu alanda karar vericilere yardımcı olmak için sistematik bir yaklaşım sunan önemli bir tekniktir. Sürdürülebilirliği sağlamak için sürdürülebilir mühendislik farklı yöntemlerin uygulanmasını gerektiren potansiyel bir çözüm olarak önerilmektedir. Örnekler arasında enerji verimliliği sağlayan malzemelerden yapılmış tesislerin inşası, atmosfere karbondioksit salmayan enerji formları bulma, elektrikli araçlar tasarlama vb. verilebilir. Sürdürülebilir mühendislik sistemi küresel bir ekosistemin parçası olarak görülmektedir. Abraham'a göre, sürdürülebilir mühendisliğin aşağıdaki temel ilkeleri ortaya koymaktadır (Abraham, 2005);

- Sistem analizini kullanmak ve çevresel etki değerlendirme araçlarını entegre etmek;
- Doğal ekosistemlerin iyileştirilmesi;

- Yaşam döngüsü düşüncesini kullanma;
- Yalnızca temiz ve güvenli malzeme kullanma;
- Doğal kaynakların tüketiminin en aza indirilmesi;
- Atıkların önlenmesi;
- Coğrafi alan ve kültür göz önünde bulundurarak mühendislik çözümlerini uygulamak;
- İnovasyon tabanlı çözümler üretmek;
- Çözüm geliştirme sürecine tüm paydaşları ve toplumu dahil etmek.

Mühendislik, ürünlerin süreçleri, üretimi, tasarımı ve işletimi gibi pratik amaçlara yönelik bilimsel ve matematiksel ilkelerin uygulanması, çevresel, ekonomik ve sosyal faktörlerin getirdiği kısıtlamaları hesaba katmaktır. İnsan gelişimi ve faaliyetinin genel sürdürülebilirliği için kritik olan mühendislik sürdürülebilirliğini ele almak için dikkate alınması gereken çeşitli faktörler vardır. Son yıllarda, karar verme teorisi, sürdürülebilir mühendislik ve çevresel sürdürülebilirlik gibi farklı alanlardaki geniş uygulamaları nedeniyle yoğun bir araştırma faaliyetine konu olmuştur.

Ek olarak, mühendislik alt başlığı altında endüstri mühendisliği açısından sistem bütünlüğü gerektiren sürdürülebilirlik kavramı için yine mühendisliğin önemli bir alanı olan bilgiyi elde etme yollarından, karar verme bilimi kullanılarak bütünleşik ve etkili bir karar süreci ortaya konularak sürdürülebilirlik için sistematik yapılar oluşturulabilir ve gerçek zamanlı çözümler ortaya koyulabilmektedir. Ulaşım planlama süreçlerinde de inşaat mühendisleri, şehir ve bölge planlama uzmanları, trafik mühendislerinin ağırlıklı çalıştığı ulaşım alanında bu tez ile endüstri mühendisliği bakış açısı sunulmaktadır.

Karar verme teorisi yaklaşımı, özellikle mühendislik süreçlerindeki sürdürülebilir mühendislik ve çevresel sürdürülebilirlik sorunları için belirsizlik sorunlarına gerçek zamanlı çözümler sunmanın önemli bir aracı haline gelmiştir. Son yıllarda, çevresel sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir mühendislik alanlarındaki sorunları çözmek için çeşitli teknik ve yöntemler kullanılmıştır. ÇKKV, sürdürülebilir mühendisliğin çeşitli alanlarında uygulanan önemli bir yöntemdir. Literatür araştırmaları ile ulaşırma planlamasının önemi üzerinde durularak, ulaşımın gelişme trendi içinde araştırmalar yapılmıştır. Farklı mühendislik alanları, sürdürülebilirlik, akıllı ulaşım, ulaşırmda trendler ve planlama süreçlerinde kullanılan araçlar gözden geçirmiştir. Çizelge 4.1'de araştırmacılar tarafından yapılan ÇKKV, sürdürülebilirlik, ulaşırma planlama ile ilgili literatür araştırmaları gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Ulaşırma ile ilgili literatür araştırmaları

Yazar/lar (Yıl)	Çalışmanın Kapsamı	Sürdürülebilir Ulaşım	Akıllı Ulaşım	ÇKKV	Optimizasyon
Waller vd. (2008)	Ulaşırma modu seçimi	✓			
Farahani vd (2013)	Kentsel ulaşırma ağ dizaynı				✓
Kabir vd. (2014)	Altyapı yönetimi			✓	
SteadieSeifi vd. (2014)	Yük taşımacılığı				
Demir vd. (2014)	Yük taşımacılığı	✓			
Pérez vd. (2015)	Kentsel yolcu taşımacılığı			✓	
Mardani vd. (2015a)	ÇKKV teknikleri			✓	
Mardani vd. (2016)	Ulaşırma sistemlerinde ÇKKV			✓	
Miller vd. (2016)	Toplu ulaşırma	✓			
Sierra vd. (2018)	Altyapının sürdürülebilir değerlendirmesi	✓		✓	
Engbrethsen ve Dauzère-Pérès (2019)	Ulaşırma mod seçimi	✓		✓	
Stojčić vd. (2019)	Sürdürülebilir mühendislik	✓		✓	
Tran vd. (2019)	Akıllı Şehir projelerinde ÇKKV		✓	✓	
Badassa vd. (2020)	Sürdürülebilir ulaşırma	✓			
Yannis vd. (2020)	Ulaşırma sektörü			✓	

Literatürde sürdürülebilirlik çerçevesinde yapılan değerlendirmelerde teknolojik (Tek), çevresel (Çev), ekonomik (Eko), sosyal (Sos), Güvenlik (Güv) ve politika (Pol) olmak üzere ana kriterler bağlamında değerlendirmeler yapılmıştır. Ancak bu ana kriterlerden Çevresel-Ekonomik-Sosyal sürdürülebilirlik kavramları daha önce çıkmış ve diğer ana başlıklar bu 3 başlık altında yer bulmuştur. Literatürde ulaşımda sürdürülebilirlik bakımından yapılan çok kriterli analiz çalışmaları Çizelge 4.2’de listelenmiştir.

Mühendislikte sürdürülebilirlik son yıllarda en çok tartışılan konulardan biridir ve mühendislik sürdürülebilir kalkınma ve optimizasyonunda anahtar faktörlerden birini temsil etmektedir. ÇKKV tekniklerine dayanan sürdürülebilir çok disiplinli yaklaşımlar gelecekte daha kolay proses teknolojisi sağlar. Mühendislik, ürünlerin süreçleri, üretimi, tasarımı ve işletimi gibi pratik amaçlara yönelik bilimsel ve matematiksel ilkelerin uygulanması, çevresel, ekonomik ve sosyal faktörlerin getirdiği kısıtlamaların muhasebeleştirilmesidir. Genel olarak insani gelişme ve faaliyetin sürdürülebilirliği için kritik olan mühendislik sürdürülebilirliğini ele almak için dikkate alınması gereken çeşitli faktörler vardır. Bu bağlamda, son yıllarda, karar verme teorisi, sürdürülebilir mühendislik ve çevresel sürdürülebilirlik gibi farklı alanlardaki geniş uygulamaları nedeniyle yoğun araştırma faaliyetlerine konu olmuştur. Karar verme teorisi yaklaşımı, özellikle mühendislik süreçlerindeki sürdürülebilir mühendislik ve çevresel sürdürülebilirlik sorunları için belirsizlik sorunlarına gerçek zamanlı çözümler sunmanın önemli bir aracı haline gelmiştir (Zavadskas vd., 2020).

2003-2020 yılları arasını kapsayan literatür araştırmasında, ulaşım planlama, proje seçimi, ulaşım altyapısı, analiz, seçim, politika, sürdürülebilirlik, paydaş katılımı, yeşil ulaşım, akıllı ulaşım, karbon ayak izi, düşük karbon salınımı, ulaşımda ÇKKV, AHP, TOPSIS, VIKOR, MOORA, bulanık kümeler, HP ve kısıt programlama anahtar kelimelerine yer verilmiştir. Çizelge 4.3’te sürdürülebilirlik temelinde literatürde yer alan çalışmalar analiz edilmiştir. Çizelge 4.3 ile gösterilen literatür araştırmasının özeti Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Sürdürülebilirlik boyutları ve değerlendirme kriterleri-Literatür araştırması

Çalışmanın Amacı	Kullanılan kriterler	Referans
Karayolu yolcu taşımacılığı için alternatif yakıtlar	Tek-Eko-Çev---	Yedla ve Shrestha (2003)
Yol hizalama çeşitleri	Tek-Eko-Çev---	Ferrari (2003)
Gelişmiş sürücü yardımcı teknolojileri	Tek-Eko-Çev-Sos-Güv-	Macharis vd. (2004)
Toplu ulaşım için alternatif yakıtlar	Tek-Eko-Çev---	Tzeng vd. (2005)
Karayolu altyapı yatırımları	Tek-Eko-Çev-Sos--	Çalışkan (2006)
Kentsel yol yatırımı	Tek-Eko-Çev--Güv-	Tudela vd. (2006)
Alternatif yakıt üretimi	-Eko-Çev---	Quintero vd. (2008)
Demiryolu altyapı yatırımı	Tek--Çev-Sos--	Liu ve Lai (2009)
Ulaştırma modlarının etkilerini değerlendirme	Tek--Çev--Güv-	Tuzkaya (2009)
İntermodal yük terminallerinin yeri	Tek-Eko-Çev-Sos-Güv-	Kayıkcı (2010)
Demiryolu altyapı yatırımı	Tek-Eko-Çev-Sos--	Mohajeri ve Amin (2010)
Yolcu taşıma çözümleri	Tek-Eko-Çev--Güv-	Awasthi ve Chauhan (2011)
Karayolu altyapı yatırımı	Tek-Eko-Çev-Sos--	Barfod vd. (2011)
İntermodal yük terminallerinin yeri	Tek-Eko-Çev--Güv-Pol	Portugal vd. (2011)
Temiz karayolu yolcu taşımacılığını destekleme politikası	Tek-Eko-Çev-Sos--Pol	Turcksin vd. (2011)
Şehir içi otobüs taşımacılığında kullanıcı tercihlerinin analizi	Tek---Güv-	Duleba vd. (2012)
Hava taşımacılığı için alternatif yakıtlar	Tek-Eko-Çev---	Haddad ve Fawaz (2012)
Karayolu yolcu taşımacılığı için alternatif yakıtlar	Tek-Eko-Çev-Sos--	Tsita ve Pilavachi (2012)
Elektrikli araçlar için potansiyel pazarların belirlenmesi	Tek-Eko-Çev---Pol	Zubaryeva vd. (2012)
Karayolu altyapı yatırımı	Tek--Çev-Sos-Güv-	Jones vd. (2013)
Yolcu taşımacılığı için kirliliği azaltan politikalar	-Eko-Çev-Sos--	Rossi vd. (2013)
Kentsel yolcu taşımacılığı çözümleri	Tek--Çev-Sos-Güv-	Shiau ve Liu (2013)
Karayolu yolcu taşımacılığı için alternatif yakıtlar	Tek-Eko-Çev-Sos--	Tsita ve Pilavachi (2013)
Yük taşımacılığı için yol ağları	Tek-Eko-Çev-Sos-Güv-	Vermote vd. (2013)
Toplu yolcu taşımacılığı çözümleri	Tek-Eko-Çev--Güv-	De Luca (2014)
Yol hizalama çeşitleri	Tek-Eko-Çev-Sos--	Gardziejczyk ve Zabicki (2014)
Yük limanı terminallerinin yeri	Tek---Sos-Güv-	Gogas vd. (2014)
Yolcu taşımacılığı için kirliliği azaltan politikalar	Tek-Eko-Çev---	Javid vd. (2014)
Yük taşımacılığı için çok modlu rotalar	Tek-Eko-Çev---Pol	Kengpol vd. (2014)
Toplu yolcu taşımacılığı çözümleri	Tek-Eko-Çev--Güv-	Nosal ve Solecka (2014)
Yolcu hareketliliğini geliştirme politikası	Tek-Eko-Çev---	Verma vd. (2014)
Biyoyakıt üretimi için kaynaklar	-Eko-Çev-Sos--	von Doderer ve Kleynhans (2014)
Karayolu yolcu taşımacılığı için alternatif yakıtlar	Tek-Eko-Çev---	Lanjewar vd. (2015)
Yük taşımacılığında modal seçim	Tek-Eko-Çev--Güv-	Macharis vd. (2015)
Deniz taşımacılığı için alternatif yakıtlar	Tek-Eko-Çev-Sos--Pol	Ren ve Lützen (2015)
Yolcu taşıma çözümleri	Tek-Eko-Çev--Güv-	Buwana vd. (2016)

Çizelge 4.2. Sürdürülebilirlik boyutları ve değerlendirme kriterleri-Literatür araştırması
(Devam)

Çalışmanın Amacı	Kullanılan kriterler	Referans
Yolcu hareketliliğini geliştirme politikası	Tek-Eko-Çev-Sos--	Curiel-Esparza vd. (2016)
Altyapı projelerinin seçimi	Trans-Eko-çev-Sos	Yang vd. (2016)
Kentsel hareketlilik projelerinin değerlendirilmesi	Tek-Eko-Çev-Sos	Awasthi vd. (2018a)
Temiz enerjili araçların seçimi	Tek-Eko-Çev-Sos-Pol	Li vd. (2019)
Alternatif yakıtlı araçlar	Tek- Eko-Çev-Sos	Liang vd. (2019)
Kentsel ulaşım ağ dizaynı	Eko-Çev-Sos	Mahmoudi vd. (2019b)

Yapılan literatür araştırması araç seçim problemi, proje seçim problemi ve yer seçim problemleri üzerinde ayrı başlıklar halinde detaylandırılmıştır. Araç seçim probleminde; elektrikli otomobillerin ve toplu ulaşımın geliştirilmesinde elektrikli otobüslerin seçimi üzerinde durularak, bir bölümde trafik kontrol araçları olan dronların seçimi üzerine literatür incelenmiştir. Proje seçim probleminde; raylı sistem projelerinin önceliklendirilmesi ve seçimi, monoray projelerinin seçimi, değerlendirilmesi, kentsel ulaşım projelerinin seçimi, ulaşım planlama ile ilintili olarak strateji seçimi, politika seçimi, kentsel ulaşım projeleri, şehirler arası ulaşım, akıllı ulaşım projelerinin seçimi alanlarında yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Yer seçim probleminde ise ulaşım planlama temelinde karar problemleri araştırılmıştır.

Çizelge 4.3. Literatür araştırması

Yazar/lar (Yıl)	Çok kriterli Karar Verme Teknikleri										Ulaşım Planlamada Son Trendler				
	AHP	AAS	TOPSIS	VIKOR	MOORA	Bulanık Uygulama	Diğer	Hedef programlama	Kısıt Programlama	Yöntem yok	Akıllı Ulaşım	Yeşil Ulaşım	Karbon Ayak İzi	Paydaş Katılımı	Sürdürülebilirlik
Hamurcu ve Eren (2020a)			✓	✓	✓										✓
Broniewicz ve Ogrodnik (2020)	✓		✓			✓									✓
Chen ve Wang (2020)										✓					
Henke vd. (2020)							✓								✓
Mao vd. (2020)							✓								✓
Carteni vd. (2020)											✓				✓
Hamurcu ve Eren (2020b)	✓		✓												✓
Hamurcu ve Eren (2020c)	✓		✓			✓									✓
Cyril vd. (2019)	✓														✓
Liang vd. (2019)			✓			✓	✓	✓							✓
Li vd. (2019)	✓			✓											✓
Wu ve Chen (2019)	✓							✓							✓
Mahmoudi vd. (2019a)							✓								✓
Yigitcanlar vd. (2019)									✓						✓
Moslem vd. (2019b)	✓												✓		✓
Moslem ve Duleba (2019)	✓					✓									✓
Liang (2019)															✓
Awasthi ve Omrani (2019)							✓								✓
Li vd. (2019)			✓				✓						✓		✓
Chen vd. (2019)					✓		✓								✓
Mukul vd. (2019)	✓										✓				✓
Büyüközkan ve Mukul (2019)						✓	✓				✓				✓
Mahmoudi vd. (2019b)							✓								✓
Wang vd. (2019)	✓						✓								✓
Sayyadi ve Awasthi (2018b)		✓													✓
Lee (2018)							✓						✓		✓
Awasthi vd. (2018b)			✓	✓		✓	✓								✓
Özcan vd. (2018)															✓
Duleba ve Moslem (2018)															✓
Büyüközkan vd. (2018)						✓	✓								✓
Mavi vd. (2018)							✓								✓
Florindo vd. (2018)			✓			✓	✓					✓			✓
Guo vd. (2018)							✓				✓				✓
Lee vd. (20018)												✓			✓

Çizelge 4.3. Literatür araştırması (Devam)

Yazar/lar (Yıl)	Çok kriterli Karar Verme Teknikleri										Ulaşım Planlamada Son Trendler				
	AHP	AAS	TOPSIS	VIKOR	MOORA	Bulanık Uygulama	Diğer	Hedef programlama	Kısıt Programlama	Yöntem yok	Akıllı Ulaşım	Yeşil Ulaşım	Karbon Ayak İzi	Paydaş Katılımı	Sürdürülebilirlik
Florindo vd. (2018)			✓			✓						✓			✓
Pamucar vd. (2018)							✓								✓
Jiang vd. (2018)							✓								✓
Barfod (2018)															
Ignaccolo vd. (2017)	✓													✓	
Ma vd. (2017)	✓						✓					✓			
Bibri ve Krogstie (2017)										✓					✓
Ma vd. (2017)	✓						✓								
Salehi vd. (2017)							✓					✓			
Le Pira vd. (2017a)							✓							✓	
Le Pira vd. (2017b)							✓							✓	
Le Pira vd. (2017c)							✓							✓	
Marcucci vd. (2017)							✓							✓	
Inti ve Tandon (2017)	✓					✓								✓	
Zevevic vd. (2017)		✓		✓		✓	✓							✓	✓
Mavi vd. (2017)					✓	✓	✓							✓	✓
Osorio-Tejada vd. (2017)						✓	✓							✓	✓
Yang vd. (2016)		✓					✓		✓				✓		✓
Cruel-Esparza vd. (2016)	✓			✓			✓							✓	✓
Le Pira vd. (2016)														✓	✓
Erkul vd. (2016)														✓	✓
Aditjandra vd. (2016)												✓			
Barić vd. (2016)	✓														✓
Narić ve Pilko (2016)	✓														✓
Mitropoulos ve Prevedouros (2016)							✓							✓	✓
Dimi'c, vd. (2016)		✓				✓	✓							✓	✓
Rajak vd. (2016)						✓	✓							✓	✓
Yavuz vd. (2015)						✓	✓							✓	✓
Cascetta vd. (2015)										✓				✓	
Macharis ve Bernardini (2015)							✓							✓	
Gopalakrishnan vd. (2015)							✓				✓			✓	✓
Pryn vd. (2015)	✓													✓	✓
Le Pira vd. (2015)	✓													✓	✓
Cadena ve Magro (2015)							✓							✓	✓
Rao vd. (2015)							✓							✓	✓
Vermote vd. (2014)							✓							✓	✓

Çizelge 4.3. Literatür araştırması (Devam)

Yazar/lar (Yıl)	Çok kriterli Karar Verme Teknikleri										Ulaşım Planlamada Son Trendler				
	AHP	AAS	TOPSIS	VIKOR	MOORA	Bulanık Uygulama	Diğer	Hedef programlama	Kısıt Programlama	Yöntem yok	Akıllı Ulaşım	Yeşil Ulaşım	Karbon Ayak İzi	Paydaş Katılımı	Sürdürülebilirlik
Nosal ve Solecka (2014)	✓														✓
Luca (2014)	✓														
Javid vd. (2014)	✓														
Onat vd. (2014)							✓								
Jones vd. (2013)	✓														
Ivonic' vd. (2013)		✓													
Do ve Chen (2013)	✓														
Streimikiene vd. (2013)			✓												
Cascetta ve Pagliara (2012)															
Awasthi ve Chauhan (2012)	✓		✓												
Awasthi vd. (2011)			✓												
Awasthi ve Chauhan (2011)	✓														
Turcksin vd. (2011)	✓														
Jeon vd. (2010)															
Castillo vd. (2010)	✓														
Lopez ve Monzon (2010)															
Bojkovic vd. (2010)															
Turskis ve Zavadskas (2010)	✓														
Awasthi ve Omrani (2009)	✓														
Capson Gouvea vd. (2009)	✓														
Mohamadabadi vd. (2009)															
Tzeng vd. (2005)	✓		✓	✓											
Shang vd. (2004)		✓													
Yedla ve Shrestha (2003)	✓														

Sürdürülebilirlik konusunda birçok çalışma olmasına rağmen sürdürülebilirlik alanında sınırları zorlayan kavramlar olan yeşil ulaşım, karbon ayak izi, paydaş katılımı ve akıllı ulaşım konularında literatürün kısıtlı olduğu görülmektedir. Ayrıca ÇKKV yöntemleri arasında AHP'nin daha fazla kullanıldığı sıralama yöntemlerinin geri planda kaldığı görülmektedir. HP ve kısıt programlama yöntemleri ise sürdürülebilirlik alanında iki çalışma yer almakta, kısıt programlamaya ise hiç rastlanmamaktadır.

Çizelge 4.4. Literatür araştırmasının özeti

Yöntem	Sürdürülebilirlik	Yeşil Ulaşım	Karbon Ayak İzi	Paydaş Katılımı	Akıllı Ulaşım
AHP	25	3	1	4	2
AAS	6	-	1	-	-
TOPSIS	11	2	2	-	-
VIKOR	6	-	-	-	-
MOORA	3	-	-	-	-
Bulanık kümeler	16	1	1	-	1
Diğer	38	5	4	7	3
Hedef					
Programlama	2	-	1	-	1
Kısıt					
Programlama	-	-	-	-	-

4.1. Araç Seçim Problemi Hakkında Literatür Araştırması

Hava kalitesi insan sağlığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir, dünyanın birçok yerinde hava kirliliği tehlikeli seviyelerde ve her yıl düşük hava kalitesi nedeniyle dünya çapında milyonlarca erken ölüm gerçekleşmektedir. Bu durumun en önemli faktörlerinden biri ulaşım araçlarının zararlı gaz salınımıdır ve buna bağlı olarak bir diğer faktör olan küresel ısınma ve etkileridir. Sadece içten yanmalı motorları kullanan geleneksel araçlar büyük miktarlarda fosil yakıt tüketmesi nedeniyle, ulaşım sektörü sera gazı emisyonları üzerinde en önemli etkiye sahiptir. Bu küresel etkileşimlerden ekosistemin tüm paydaşları ve doğal kaynaklar etkilenmektedir. Dolayısıyla çevre dostu olan araçların kullanımı ile ulaşım kaynaklı emisyonun azaltılması önemli bir hal almaktadır. Kentsel alanlarda toplu ulaşımın teşvik edilmesi ile onlarca özel aracın trafikten çekilmesi ve toplu ulaşım teknolojisinde de temiz enerjilerin kullanımıyla emisyonun tamamen elimine edilmesi sağlanabilecektir. Buna ek olarak önüne geçilemeyen özel araç kullanımı da temiz enerji ile çevresel sürdürülebilirlik sağlanılabilecektir. Bu bakımdan araç seçim probleminin iki boyutu ortaya çıkmaktadır ve bu kısımda iki alt başlıkta incelenecektir. Biri kentsel ulaşımın iyileştirilmesinde toplu ulaşım aralarının seçimi ve diğeri özel araç sahipliği için

otomobil seçimidir. Diğer bir alt başlık ise ulaşım planlama kadar öneme sahip olan trafik kontrol amacı ile dron araçlarının seçimi hakkındadır.

4.1.1. Literatürde Toplu Ulaşım Araçlarının Seçimi

Şehir yöneticilerinin ve planlamacılarının toplu taşıma araçlarına olan yaygın ilgisi bilimsel çalışmaları da büyük ölçüde etkilemiştir. Son yıllarda ÇKKV yöntemleri, bulanık ve hibrit uygulamalar ve analitik yöntemler kullanılarak ulaştırma için alternatifleri sıralayan veya seçen çok sayıda çalışma yayınlanmıştır. Bu çalışmalarda AAS, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE, bulanık sayılar ve hibrit yaklaşımlar gibi yöntemler kullanılmıştır. Kompleks bir karar süreci olması nedeniyle çeşitli kriterler ve alt kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. İncelenen literatür araştırması, referans, yıl, amaç ve çalışma yöntemi açısından Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Kentsel ulaşımın geliştirilmesinde fosil yakıt bağımlılığının önüne geçmek ve daha temiz bir çevre için alternatif yakıt ve alternatif teknoloji arayışları uzun yıllara dayanmaktadır. Bu durum ortaya çıkan alternatif yakıtlar ile literatüre yansımış ve alternatif yakıtlı araçların seçimi çalışmaları hız kazanmıştır. Bu tez kapsamında da teknoloji seçimi temelinde elektrikli araç teknolojileri arasından seçimler yapılmıştır.

ÇKKV süreçleri, karar vericilere çok sayıda faktör ve kriter varlığında çelişkili kriterleri içeren karmaşık uygulamalarda kararların sistematik bir şekilde çözme konusunda yardımcı olmaktadır. ÇKKV'nin ulaşımdaki uygulamaları, son yıllarda gün geçtikçe daha da artmaktadır. Hsiao vd. (2011) düşük kirletici emisyonlu otobüs sistemlerini seçmek için hava kalitesini iyileştirmek amacıyla AHP ve TOPSIS hibrid karar verme süreçlerini kullanmıştır. Vahdani vd. (2011), alternatif yakıtlı otobüs seçimi için bulanık ortam altında iki yeni ÇKKV yöntemi önermişlerdir. Onat vd. (2016), yaklaşımlarında TOPSIS ve sezgisel yöntemleri kullanmışlardır. Alternatif araç teknolojilerinin yaşam döngüsünü sürdürülebilirlik performansı açısından sıralamışlardır. Büyüközkan vd. (2018), grup karar verme süreciyle sezgisel bulanık Choquet integrali kullanarak otobüs

teknolojilerinin seçim sürecine odaklanmış ve çalışmalarında sürdürülebilirliğe dayalı kentsel ulaşım alternatiflerini değerlendirmişlerdir. Aydın ve Kahraman (2014) karar süreçlerinde, bulanık AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak toplu ulaşım için araç seçimi uygulaması yapmışlardır.

Çizelge 4.5. Araç seçimi ile ilgili araştırmalar

Yazar (Yıl)	Amaç	Yöntem
Hamurcu ve Eren (2020a)	Kentsel ulaşımı geliştirmek	TOPSIS-MOORA
Süt vd. (2019)	Ring araçlarının seçimi	AHP-TOPSIS
Büyüközkan vd. (2018)	Sürdürülebilir kentsel ulaşım alternatiflerinin seçimi	Bulanık Choquet integral
Dinç vd. (2018)	Tramvay seçimi	Bulanık AHP/AHP
Mukherjee (2017)	Alternatif yakıtların seçimi	BÇKKV
Oztaysi vd. (2017)	Alternatif yakıt teknolojisinin seçimi	Interval-valued intuitionistic fuzzy sets
Hamurcu ve Eren (2017b)	Monoray teknolojisi seçimi	AHP-TOPSIS
Onat vd. (2016a)	Alternatif araç teknolojilerinin sürdürülebilir performansı	TOPSIS- Bulanık kümeler
Onat vd. (2016b)	Alternatif yolcu araçları için sürdürülebilirlik değerlendirmesi	ÇKKV
Lanjewar vd. (2015)	Yakıt seçimi	Grap theory- AHP
Yavuz vd. (2015)	Alternatif yakıtlı araçları değerlendirme	Hesitant fuzzy logic
Petschnig vd. (2014)	Alternatif yakıtlı araçların benimsenmesinin belirleyicilerinin araştırılması	Yapısal eşitlik modellemesi
Aydın ve Kahraman (2014)	Otobüs Seçimi	Bulanık AHP-VIKOR
Vahdani vd. (2011)	Alternatif yakıtlı otobüslerin seçimi	Bulanık ÇKKV
Patil ve Heder (2010)	Alternatif yakıtlı toplu ulaşım otobüsleri için yatırım kararı verme	ÇKKV
Hsiao vd. (2005)	Düşük emisyonlu otobüslerin seçimi	BAHP-TOPSIS
Tzeng vd. (2005)	Toplu ulaşım için alternatif yakıtlı otobüs seçimi	ÇKKV
Yedla vd. (2003)	Araç Seçimi	AHP

Bu çalışmalara ek olarak, literatürde alternatif yakıtlı araç teknolojisi ile ilgili bazı uygulama ve değerlendirme çalışmaları da vardır (Oztaysi vd., 2017; Mukherjee, 2017; Vaughan vd., 2018; Sehatpour vd., 2017; Yavuz vd., 2015; Li vd., 2019). Günümüzde konvansiyonel araçlar yerini yavaş yavaş elektrikli araçlara bırakmaktadır. Gelişen teknoloji ile artan çevresel hassasiyet elektrikli araçlara olan ilgiyi arttırmıştır. Üzerinde önemle durulan teknolojilerden olan elektrikli araçlar literatürde yoğun bir şekilde yer edinmiştir. Elektrikli araç alanında, çevresel etki değerlendirmesi (Choma vd., 2017; Ensslen vd., 2017; Nordelöf vd., 2014), çevresel yaşam döngüsü değerlendirmesi (Ercan vd., 2015; Zhang vd., 2019), şarj teknolojileri ve pil teknolojileri (Shareef vd., 2016; Fotouhi vd., 2016; Song vd., 2018; Mahadik ve Vadirajacharya, 2019; Chiranjeevi vd., 2020) şarj altyapısı ve şarj istasyonlarının konum planlaması (Andrenacci vd., 2016; Xu vd., 2016; Kong vd., 2017; Guo ve Zhao, 2015; Awasthi vd., 2017; Deveci vd., 2018 ; Lin vd., 2020) gibi çalışmalar bilimsel literatürde yer almaktadır.

4.1.2. Literatürde Otomobil Seçimi

Elektrikli araç teknolojisinin çevre dostu olma, daha sessiz çalışma, daha düşük yakıt ve bakım maliyetleri, daha iyi hızlanma ve daha yüksek enerji verimliliği gibi avantajları olmasına rağmen (De Clerck vd., 2018; Graff Zivin vd., 2014) bazı dezavantajları vardır. Bu dezavantajlar özellikle daha pahalı, daha kısa menzil, daha uzun şarj süresi, yetersiz pil kapasitesi ve yetersiz altyapıdır. Elektrikli araçların yaygınlaştırılması için bu özellikler iyileştirilmelidir. Bu henüz altyapılarını tamamlamayan ülkeler için daha büyük bir sorundur. Bu nedenle, araçtan bağımsız olarak altyapının kurulması ve elektrikli araçların spesifik özelliklerinin geliştirilmesi elektrikli araçların yaygınlaşması için en önemli faktörlerdir. Birçok araştırmacı elektrikli araç altyapısının kurulması üzerine odaklanmışlardır (Huang ve Kockelman, 2020; Kabli vd., 2020; Lin vd., 2020).

Literatürde ÇKKV kullanılarak elektrikli araç teknolojisinin seçimi ile ilgili bazı çalışmalar bulunmaktadır. Son literatür Çizelge 4.6'da gösterilmektedir. Khan vd. (2020), ÇKKV yöntemini kullanarak piyasada bulunan yedi hibrid elektrikli araç arasından seçim

yapmışlardır. Çalışmalarında ekonomik, çevresel ve sosyal perspektif ana kriterler altında yer alan on değerlendirme kriteri dikkate alınmıştır. Alt kriterler satın alma maliyeti, bakım maliyeti ve kayıt maliyeti, yakıt ekonomisi, akünün ömrü, otomobilin konforu ve güvenilirliği, sera gazı emisyonları, istihdam fırsatları, güvenlik özellikleridir. Hamurcu ve Eren (2020b) elektrikli otobüs teknolojilerinin seçimi üzerine çalışmış ve AHP-TOPSIS yöntemlerini birlikte kullanmışlardır.

Çizelge 4 6. Temiz teknoloji araçların seçimi

Yazar/lar-(Yıl)	Araç tipi (Alternatifler)	ÇKKV metodu	Basım Yeri
Khan vd. (2020)	Hibrid elektrikli araçlar	Bulanık TOPSIS	Air Quality, Atmosphere & Health Sustainability
Hamurcu ve Eren (2020b)	Elektrikli otobüs teknolojileri	AHP-TOPSIS	Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications
Biswas vd. (2020)	Alternatif elektrikli araçlar	CRITIC-CoCoSo	Transport
Hamurcu ve Eren (2020a)	Elektrikli otobüs teknolojileri	MOORA-TOPIS	Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, SN Applied Sciences
Biswas ve Das (2019)	Ticari elektrikli araçlar	AHP-MABAC	Technological Forecasting and Social Change
Iç ve Şimşek (2019)	Hibrid elektrikli araçlar	TOPSIS	Energy policy
Liang vd. (2019)	Alternatif yakıtlı araçlar	Fuzzy AHP-TOPSIS	Transportation Research Part D: Transport and Environment, Energy,
Li vd. (2019)	Temiz enerjili araç teknolojileri	AHP-VIKOR	
Büyüközkan vd. (2018)	Alternatif yakıtlı otobüsler	ÇKKV	
Al-Alawi ve Coker (2018)	Alternatif araç teknolojilerinin seçimi	PROMETHEE	

Ayrıca, çeşitli amaçlar için çeşitli içten yanmalı motorlu araç teknolojilerinin de literatürde ÇKKV kullanarak yapılan çalışmalarda bulunmaktadır; arazi aracı seçimi (Starčević vd., 2019), otomobil seçimi (Apak vd., 2012), bir otomobil satın alma modeli seçme (Byun, 2001), araba seçimi (Singh ve Avikal, 2019), iki tekerlekli otomobilin değerlendirilmesi (Yogi, 2018), otomobil sektörü uygulaması (Tunçel vd., 2017), ambulans tedarikçi firma seçimi (Alakaş vd., 2019).

Araştırmacıların çoğu, seçim süreci için ÇKKV yöntemlerini analiz etmiş ve kentsel ulaşım ve karar verme süreçlerinin iyileştirilmesi için çeşitli karar verme modelleri önermişlerdir. Bu çalışmalarda, kentsel ulaşımı iyileştirmek amacıyla karar verme yöntemlerini kullanarak en iyi alternatifini seçmek için çeşitli makaleler yapılmıştır. AHP, TOPSIS, MOORA, VIKOR, PROMETHEE, CRITIC-CoCoSo, hibrid elektrikli araç hakkında (İç ve Şimşek, 2019; Khan vd., 2020); ticari elektrikli araçlar (Biswas ve Das, 2019; Biswas vd., 2020), elektrikli otobüs teknolojisi (Hamurcu ve Eren, 2020a; Hamurcu ve Eren, 2020b), alternatif araç teknolojisi seçimi (Al-Alawi ve Coker, 2018; Büyüközkan vd., 2018)) ve temiz enerjili araç teknolojileri (Li vd., 2019) üzerinde uygulamalar yapılmıştır.

Kullanıcı tercihlerinin analizi de değerlendirme faktörlerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Kullanıcı tercihleri üzerine de literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Elektrikli araç tüketicileri açısından yapılan değerlendirmelerde, tüketici davranışları hakkında mevcut literatür araştırmalarında çeşitli sonuçlar elde edilmektedir. Literatürde, tüketicilerin elektrikli araçlara ilişkin tercihleri ve davranışları son yıllarda birçok çalışma ile incelenmiştir. Örneğin, Liu vd. (2017), ÇKKV yöntemlerini kullanarak Çin'deki elektrikli araçların yaygınlaşmasını etkileyen faktörleri araştırmışlardır. Çalışmalarında kullanılan değerlendirme boyutları sanayi ve üretim sistemleri, araçla ilgili faktörler, pazarlar ve kullanıcı uygulamaları, sembolik anlam, altyapı ve kentsel planlama, politika ile ilgili faktörler ve dış faktörlerdir. Bu boyutlara bağlı olarak 21 alt faktör kullanmışlardır. Sonuçlarına göre elektrikli araçların yaygınlaşmasını etkileyen kilit faktörler teknolojik düzey, politikalar ve düzenlemeler, tüketici kabulü ve beklentisi, fiyat ve modeller, piyasa yapısı ve rekabet olarak belirtmişlerdir.

Liao vd. (2017) tüketici tercihleri hakkında kapsamlı bir inceleme sunmuşlardır. Tüketici tercihlerini, ekonomik ve psikolojik yaklaşıma, uygulanan modelleme tekniklerine, finansal, teknik, altyapı ve politika özelliklerine göre farklı açılardan değerlendirmişlerdir. Çalışmada, elektrikli araç tercihi çalışmalarının genellikle finansal, teknik, altyapı ve politika özelliklerini içerdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, satın alma fiyatı, işletme maliyeti, sürüş menzili, şarj süresi, motor gücü, hızlanma süresi, maksimum hız, CO2 emisyonu, marka, marka çeşitliliği, garanti, şarj durumu gibi finansal, teknik ve altyapı özellikleri açısından önemli faktörlerden bahsetmişlerdir. Bunun yanı sıra, fiyatlandırma politikaları, satın alma fiyatını düşürme, ücretsiz otopark, ücret azaltma, arazi kullanımı politikası gibi önemli bir tercih faktörü olan politika özellikleri hakkındaki bulgularına da genel bir bakış sunmuşlardır. Bu bulgulara ek olarak, sosyo-ekonomik ve demografik özelliklerin seçim çalışmalarında en sık yer alan bireysel ilişkili değişkenlerin kategorileri (örneğin cinsiyet, yaş, gelir, eğitim düzeyi ve hane halkı kompozisyonu) olduğunu belirtmişlerdir.

Ma vd. (2019), tüketicilerin elektrikli araçlar için tercihlerinin çevrimiçi davranışlarını analiz etmişlerdir. Higgins vd. (2017); Du vd. (2016); Safari (2018); Fetene vd. (2017); Hidrue vd. (2011); Tanaka vd. (2014); Langbroek vd. (2016); Lane vd. (2018); Massiani (2015); Mohamed vd. (2018); Plötz vd. (2014); Fetene vd. (2017); Helveston vd. (2015) gibi araştırmacıların çalışmalarından yararlanarak düzenlenmiş özet tablosunda kısaca boyut, pil, şarj, menzil, güç aktarma organı tipi, sınıflandırma, yakıt ekonomisi ve marka önemi faktörler olarak listelenmiştir.

Guo vd. (2020) elektrikli araç tercih faktörlerini politika araçları, operasyonel maliyetler, demografik değişkenler ve psikolojik belirleyiciler olarak dört kategoride sınırlanmışlardır. Bu kategorileri sırasıyla takip eden alt faktörler; sübvansiyonlar ve ücret indirimleri, vergiler, lisans kontrolü ve kamu alımlarından oluşur; toplam maliyet, satın alma maliyeti, seyahat maliyeti, bakım maliyeti ve enerji fiyatı; cinsiyet, yaş, eğitim, hane halkı büyüklüğü ve aile geliri, kişisel tercih ve algı, öz-yeterlilik ve müdahale etkinliği ve çevre bilincidir.

Wang vd. (2020) tüketicilerin yeni enerjili araç satın alma niyetlerini analiz etmişlerdir. Araştırmalarında, 2013-2019 yılları arasında Web of Science'da yayınlanan toplam 1000 makale analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarında araca ait yedi büyük özelliği; aracın kendisi (küçük özellikler: görünüm, maliyet performansı, iç döşeme, güç, alan, dayanıklılık, yapılandırma, manipülasyon, tüketim ve marka), ulusal politika (lisans kısıtlamaları, sübvansiyonlar, satın alma vergisi ve kredi), demografik (bölge, sosyal ilişki ve meslek), altyapı (otoparklar), pil teknolojisi, güvenlik ve çevre bilinci olarak belirtmişlerdir. Derin öğrenme teknolojileri ve veri madenciliği ile yapılan istatistiksel analizler sonucunda politikaların, altyapının, demografik faktörlerin ve güvenlik bilincinin satış hacmi ile yakından ilişkili olduğu gösterilmiştir. Ek olarak, bu sonuç, satın alma nedenlerinin birincil motive edici faktörlerin araç, demografik özellikler ve ulusal politika olduğunu belirtmişlerdir.

Tüketicilerin yeni enerjili araçları tercih etmelerinin temel başarı faktörleri arasında enerji tüketimi, enerji fiyatı, enerji tedarik istasyonları, ulusal sübvansiyonlar, ulusal politika, sürüş becerileri ve karbondioksit emisyonları bulunmaktadır (Zhang vd., 2018a; He vd., 2017; Gnann vd., 2015; Hardman vd., 2018; Yu vd., 2016; Lin ve Wu, 2018; Zhang vd., 2018b; Jensen ve Mabit, 2017; Li vd., 2018). Buna ek olarak, birçok araştırmacı elektrikli araçların tercihlerini etkileyen faktörleri araştırmış ve tanımlamışlardır. Ana faktörler, satın alma fiyatı (Ma vd., 2019; Chen vd., 2019; Huang ve Qian, 2018; Lin ve Wu, 2018); boyut (Higgins vd., 2017); güç tipi (Lane vd., 2018); Ma vd., 2019b); araç sınıflandırması (Mohamed vd., 2018); Ma vd., 2019b); yakıt ekonomisi (Fetene vd., 2017); işletme maliyeti (Valeri ve Danielis, 2015); sürüş menzili (Helveston vd., 2015; Huang ve Qian, 2018); şarj süresi (Fetene vd., 2017); şarj edilebilirliği (Huang ve Qian, 2018; Wang vd., 2017); hızlanma süresi (Helveston vd, 2015); çevre dostu (Wang vd., 2017); He vd., 2018; Lin ve Wu, 2018; Wang vd., 2017; Zhang vd., 2018); markası (Ma vd, 2019b; Wang vd, 2017); görünüm (Ma vd., 2019) ve politika (Chen vd., 2019; Huang ve Qian, 2018; Paul Helveston vd., 2015; Lin ve Wu, 2018; Ma vd., 2019) önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Ayrıca, psikolojik ve demografik düzeyler, kişisel ihtiyaçlar, kişisel davranışlar, psikolojik ihtiyaçlar ve kişisel özellikler de yeni enerjili araç tercihinde

önemli faktörlerdir (Li vd., 2017; Zhang vd., 2013, Axsen vd., 2015; Morton vd., 2016; He vd., 2018).

4.1.3. Literatürde Trafik Yönetimi için Dron Kullanımı

Son on yıl içinde İnsansız Hava Araçları (İHA) muazzam bir gelişme yaşadı ve dünya çapında hızla büyüyen bir popülerlik kazandı. Günümüzde İHA'lar, keşif, gözetim ve güvenliği destekleme gibi çeşitli kritik askeri ve savunma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Saeed vd., 2018).

Dronların, çeşitli uygulamalar için insanlı uçaklara veya helikopterlere göre özellikle hızlı, uygun maliyetli ve düşük riskli olmaları ile önemli avantajları vardır (Örneğin; erişilmesi zor yerlere ulaşmak, tehlikeli görevlerde bulunmak gibi). Aynı zamanda, diğer trafik izleme araçlarına göre insansız hava araçları da daha etkili ve esneklerdir.

Dronlar, ulaşımda kontrol amaçlı birçok uygulama için kullanılabilir uygunlukta araçlardır. Bunlar arasında trafik görüntüleme ve izleme, trafik kontrolü bulunmaktadır. Çizelge 4.7'de de görüldüğü gibi dronların trafikte kullanımı ve uygulamaları içinde ÇKKV ve optimizasyon kullanımı sınırlıdır.

Başlangıçta askeri uygulamalar için kullanılan insansız hava aracı olarak bilinen İHA/dronlar birçok alanda kullanılmaya başlandı (Al-Madani vd., 2018). Ancak günümüzde İHA'lar / dronlar yaygınlaştı ve tarım (Ham vd., 2016; Honkavaara vd., 2013; Kim vd., 2019), lojistik (Raj ve Şah, 2019), çevre koruma (Wivou vd., 2016), kamu güvenliği (De Melo vd, 2017), turizm desteği (Stankov vd., 2019), sağlık acil hizmetleri (Kim vd., 2017; Ullah vd., 2019), büyük çaplı afet yönetimi (Luo, 2019; Li vd., 2011; Estes, 2014; Tuna vd., 2014; d'Oleire-Oltmanns vd., 2012), altyapı denetimleri (Mota vd., 2014; Deng vd., 2014), trafik izleme ve yönetimi (Çizelge 4.7), askeri misyon (Jenkins, 2012; Yakıcı, 2016) ve inşaat mühendisliği (Liu vd., 2014; Yang vd., 2015; Yıldız ve Çalış, 2019) gibi birçok sivil alanda kullanılmaya başlandı. Ayrıca İHA teknolojisi, akıllı

şehir uygulamalarında da yeni fırsatlar vaat etmektedir (Mohamed vd., 2018; Hamurcu ve Eren, 2019b).

Çizelge 4.7. Ulaştırımda dron kullanımı

Referans	İHA/Dron Uygulamaları	ÇKKV	Opt.	Analiz var mı?
Barmounakis ve Geroliminis (2020)	Kentsel trafik görüntüleme			✓
Ryan vd. (2020)	Sürücü performansı			✓
Lucic vd. (2020)	Dinamik planlama			
Freeman vd, 2019	Araç kümeleme tahmini			✓
Elloumi vd. (2019)	Trafik görüntüleme			✓
Ray ve Sah (2019)	Lojistik alanı	Grey-DEMATEL		
Sreenath ve Panda (2019)	Traffic Counting-Turning Fraction Estimation			
Khan vd. (2018a)	Trafik analizi			✓
Congress vd. (2018)	Ulaşım altyapısını görüntüleme			✓
Khan vd. (2018b)	Trafik analizi			✓
Li vd. (2018)	Trafik görüntüleme		Çizelgeleme	
Ke vd. (2018)	Trafik akışı parametre tahmini			
Bertrand vd. (2018)	Risk değerlendirme			
Sutheerakul vd. (2017)	Trafik görüntüleme			✓
Barmounakis vd. (2016)	Ulaşım mühendisliği			✓
Chow (2016)	Trafik görüntüleme			✓
Reshma vd. (2016)	Trafik görüntüleme			
Salvo vd. (2014)	Trafik analizi			✓

4.2. Literatürde Proje Seçimi

Ulaşım projelerinin belirli bir amaç, kapsam, süre, bütçe dahilinde gerçekleştirilmek üzere planlanması, ulaşım planlarının tasarımının tanımını oluşturur. Ulaşım planlama sürecinde karar verme süreçleri kurumlar için bir zorunluluk haline gelmiştir. Ulaşım altyapısı projeleri genellikle önemli miktarda arazi kullanımı, uzun vadeli yatırım ve büyük kaynak gereksinimlerini içerir. Bu unsurlar çevre ve sosyal hayat üzerinde ciddi etkilere neden olabilmektedir. Dolayısıyla, kısıtlı kaynaklar nedeniyle, düşünülen her projenin aynı anda hayata geçirilmesi mümkün olmamaktadır. Bu noktada bir karar verme problemi ortaya çıkmaktadır.

Projelerin seçimi, önceliklendirilmesi veya sıralanması gerekmektedir. Bu karar verme sürecinde de sürdürülebilir kalkınma çabalarına katılım esastır. Dolayısıyla ulaştırma altyapısı proje sürdürülebilirlik faktörlerini ve proje performansını gözden geçirmeye çalışmaktadır. Sürdürülebilirlik faktörlerinin ve performansın çevre, ekonomik, sosyal, mühendislik / ulaşım gibi ana faktörler altında değerlendirilmesi daha etkili kaynak kullanımı ve çevre hassasiyeti ile daha yaşanabilir şehirlerin oluşturulması noktasında önemli bir süreç olacaktır. Bu amaçla desteklenecek projelerin seçimi de önemli bir karar verme problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ulaşım planlama faaliyetleri içinde proje seçimi literatürde birçok uygulama alanı bulmuştur. Kosijer vd. (2012) en iyi demiryolu rotası seçiminde, Mohajeri ve Amin (2010), raylı sistem istasyon yeri seçiminde, Gerçek vd. (2004), en iyi raylı ulaşım ağının belirlenmesinde, Banai (2011), hafif raylı ulaşım koridoru ve alternatif güzergâhları değerlendirmede; Macura vd. (2011), demiryolu altyapı yatırım projelerinin sıralamasında; Abastante ve Lami (2012), ulaşım altyapı stratejilerinin değerlendirilmesinde; Hamurcu ve Eren (2016), Ankara'da monoray projelerinin seçiminde; Hamurcu vd. (2016), Ankara'da kentsel ulaşım için monoray projelerinin seçiminde; Kalamaras vd. (2000), Piantanakulchai ve Saengkhaio (2005), Piantanakulchai (2013), Effat ve Hassan (2013), otoyol güzergâhı; Zhongzhen ve Hayashi (2002), raylı sistem güzergâhı; Yao (2007), Farkas (2009), Brunner vd. (2011), toplu ulaşım güzergâhı; Kim vd. (2013) karayolu ağ planlaması üzerinde çalışmışlardır.

4.3. Ulaşım Planlamada Yer Seçimi Problemi ile ilgili Literatür Araştırması

Yer seçimi, ulaşım, endüstri, enerji, sağlık vb. gibi çeşitli alanlarda karar verme problemi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca, yer seçim problemi birçok faktöre dayandığı için karmaşık bir karar verme problemi olduğundan araştırmacılar tarafından literatürde çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bunlardan bazıları katı atık bertaraf yeri seçim problemi (Kahraman vd., 2017), rüzgâr santrali yer seçimi (Wu vd., 2016), depo yeri seçimi (Emeç ve Akkaya, 2018), lojistik merkezi yer seçimi (Pramanik vd., 2018), havaalanı yer seçimi (Sennaroğlu ve Cebeci, 2018), lojistik köyü yeri seçimi (Karaşan ve Kahraman, 2019), tesis yeri seçimi (Kheybari vd., 2019) vb.

ÇKKV yöntemleri kullanılarak köprü yapım yöntemleri ve köprü yönetiminde, literatürde bir dizi çalışma gözlenmiştir. Bu çalışmalardan bazıları; inşaat yöntemleri alternatiflerini değerlendirmek (Youssef vd., 2005), köprü riski değerlendirmesi ve yönetimi (Wang ve Elhag, 2006; Wang ve Elhag, 2007; Lu vd., 2007; Wang vd., 2008), bakım planlaması (Liu ve Frangopol, 2006), köprü yapım yöntemlerinin değerlendirilmesi (Pan, 2008), köprü tasarımının değerlendirilmesi (Malekly vd., 2010), köprü performansı için kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi (Wang vd., 2011), köprülerin değerlendirilmesi (Gervásio ve Da Silva, 2012), yaya köprülerinin inşası için yerlerin belirlenmesi (Aghdaie vd., 2012), köprü inşaat planının seçimi (Salem vd., 2013), köprü tipi seçimi (Chaphalkar ve Shirke, 2013), köprü yapılarının değerlendirilmesi (Bitarafan vd., 2014), köprü şantiye yeri seçimi (Ardeşir vd., 2014).

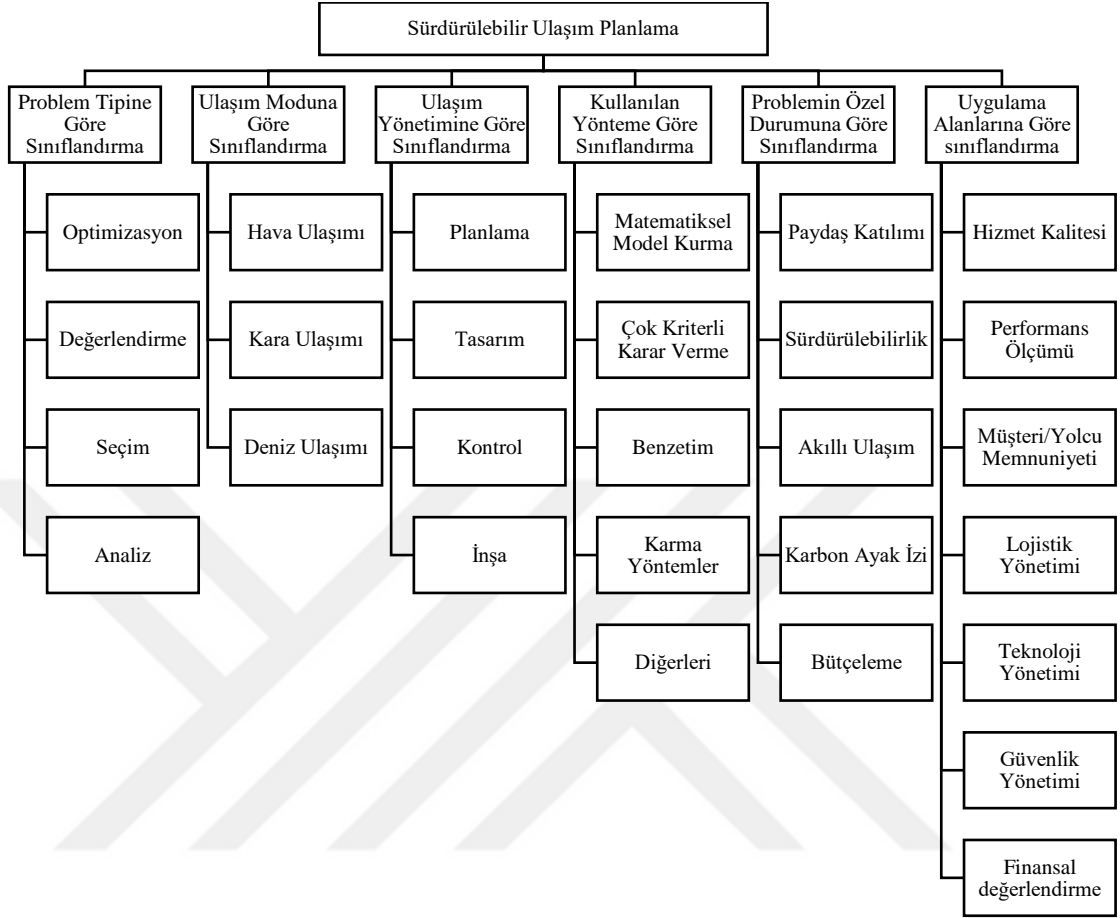
Bu çalışmalara ek olarak, Yadollahi vd. (2015) Malezya'daki bir köprüünün sürdürülebilirliğini değerlendirmek için AHP yöntemini kullanmışlardır. Sultana ve Rasel (2016) hem kalitatif hem de kantitatif kriterlere göre köprü inşaatı için uygun bir yer seçmişlerdir. Bansal vd. (2017) sürdürülebilirlik altında köprü koridorlarının değerlendirilmesi için bulanık VIKOR yöntemini uygulamışlardır. Keshavarz-Ghorabae (2018), köprü tasarım sürecinde alternatif çözümlerin değerlendirilmesi ile başa çıkmak için belirsizlik altında bir TOPSIS yöntemi önermiştir. Garcia-Segura vd. (2018)

sürdürülebilir köprü tasarımı için optimizasyon ve karar verme süreçlerini kullanmışlardır.

Yukarıdaki yapılan literatür incelemesine dayanarak, sürdürülebilir bir ulaşım ağını değerlendirmeye, analiz etmeye, tasarlamaya ve geliştirmeye çalışan çeşitli çalışmalar vardır. Bu çalışmaların çoğu sürdürülebilirlik için çeşitli kriterleri dikkate almıştır. En iyi kararları almak için ÇKKV yöntemleri uygulamışlardır, ancak halkın katılımına odaklanmamışlardır. Literatürde ulaşım ve halkın katılımı ile ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan uygulamada, köprü alanının belirlenmesi için hem sürdürülebilirlik faktörlerine hem de paydaş katılımına odaklanılmaktadır. Ayrıca, literatür araştırmasına göre ÇKKV yöntemleri ile köprü yerinin seçimi konusunda çok az sayıda çalışma bulunmaktadır ve kentsel ulaşımında sürdürülebilirlik ve paydaş yapısına dayanan ÇKKV ile köprü yer seçimi yer almamaktadır. Bu nedenle, bu çalışma planlamacılar ve akademisyenler için iyi bir kaynak olacaktır.

4.4. Literatür Araştırmasının Sonuçları Değerlendirmesi

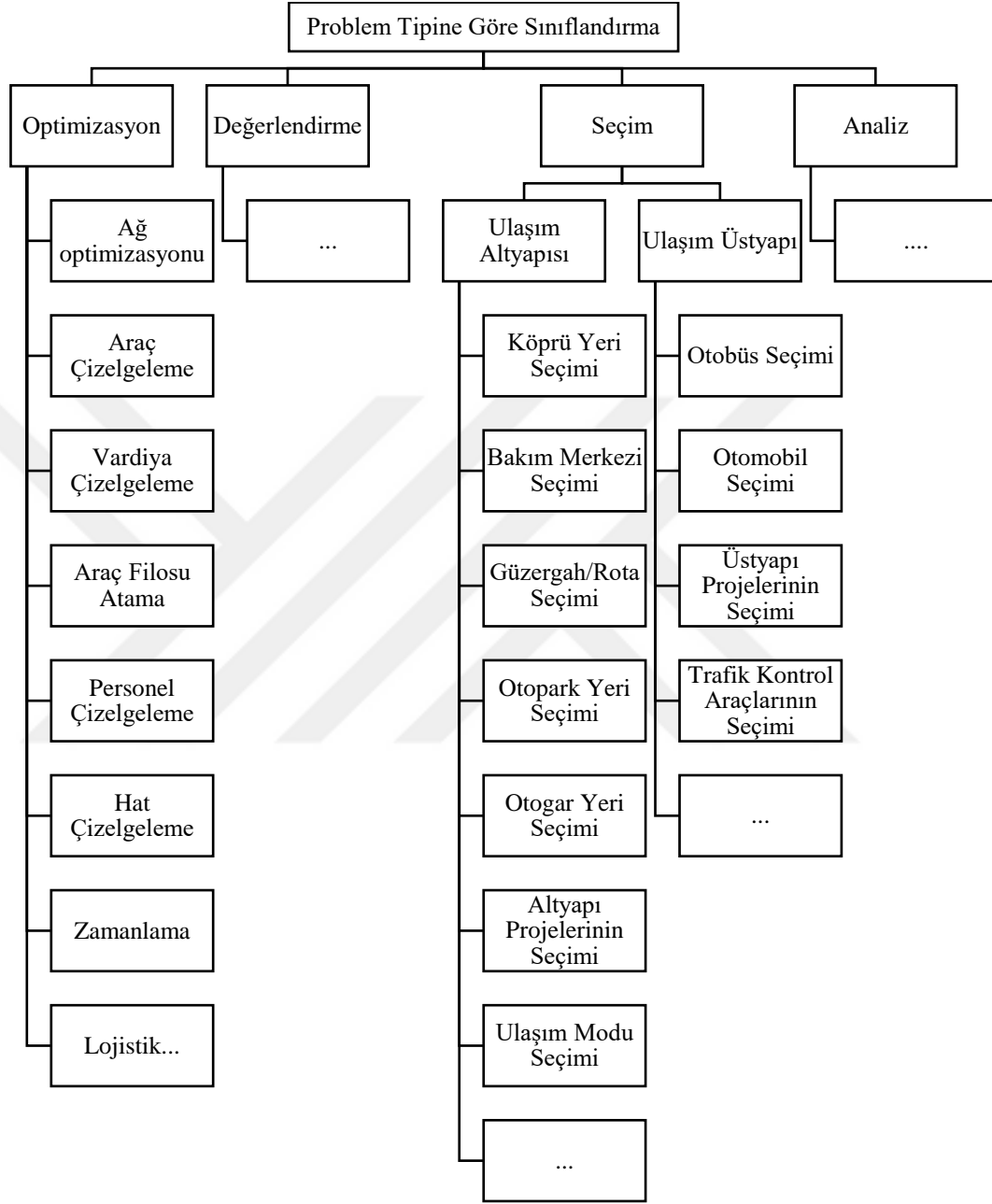
Yapılan literatür araştırması sonucunda sürdürülebilir ulaşım planlama “problem tipi, ulaşım modu, ulaşım yönetimi, kullanılan yöntem, ulaşımında son trendler ve uygulama alanına göre” olmak üzere altı ana başlıkta sınıflandırılmıştır. Yapılan bu sınıflandırma Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Sürdürülebilir ulaşım planlama

4.4.1. Problemın Tipine Göre Sınıflandırma

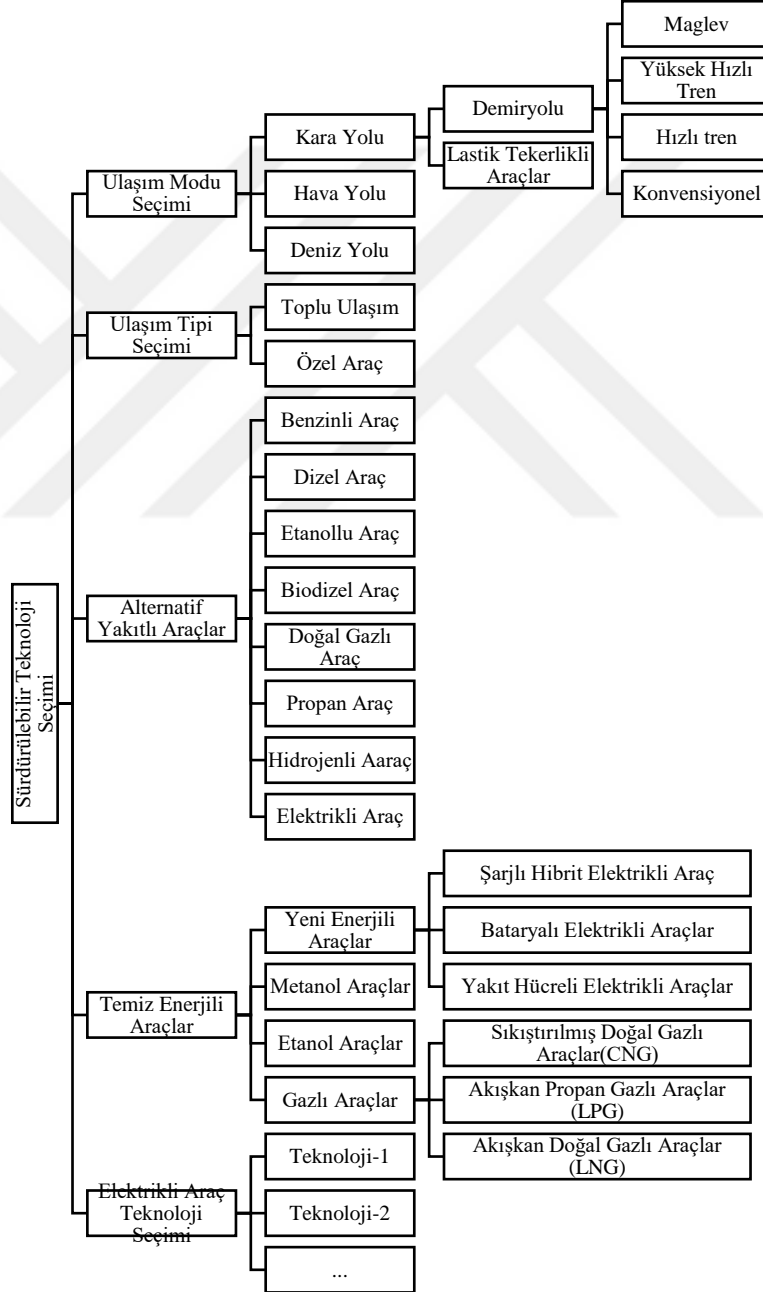
Problem tipine göre sınıflandırma da optimizasyon, değerlendirme, seçim ve analiz alt başlıklarına ayrılmaktadır. Optimizasyonda, araç çizelgeleme, ağ optimizasyonu, vardiya çizelgeleme, araç filosu atama, personel çizelgeleme ve zamanlama gibi matematiksel modellerin kullanıldığı problem tipidir. Seçim, araç seçim, proje seçimi, yer seçimi, güzergâh seçimi, rota seçimi, otopark yeri seçimi gibi sınırları belirlenebilen ve ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı problem tipidir. Değerlendirme ve analiz ise mevcut durumun incelenmesi ve geleceğe yönelik planlama çalışmalarını içermektedir. Şekil 4.2’de problem tipine göre sınıflandırma gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Problem tipine göre sınıflandırma

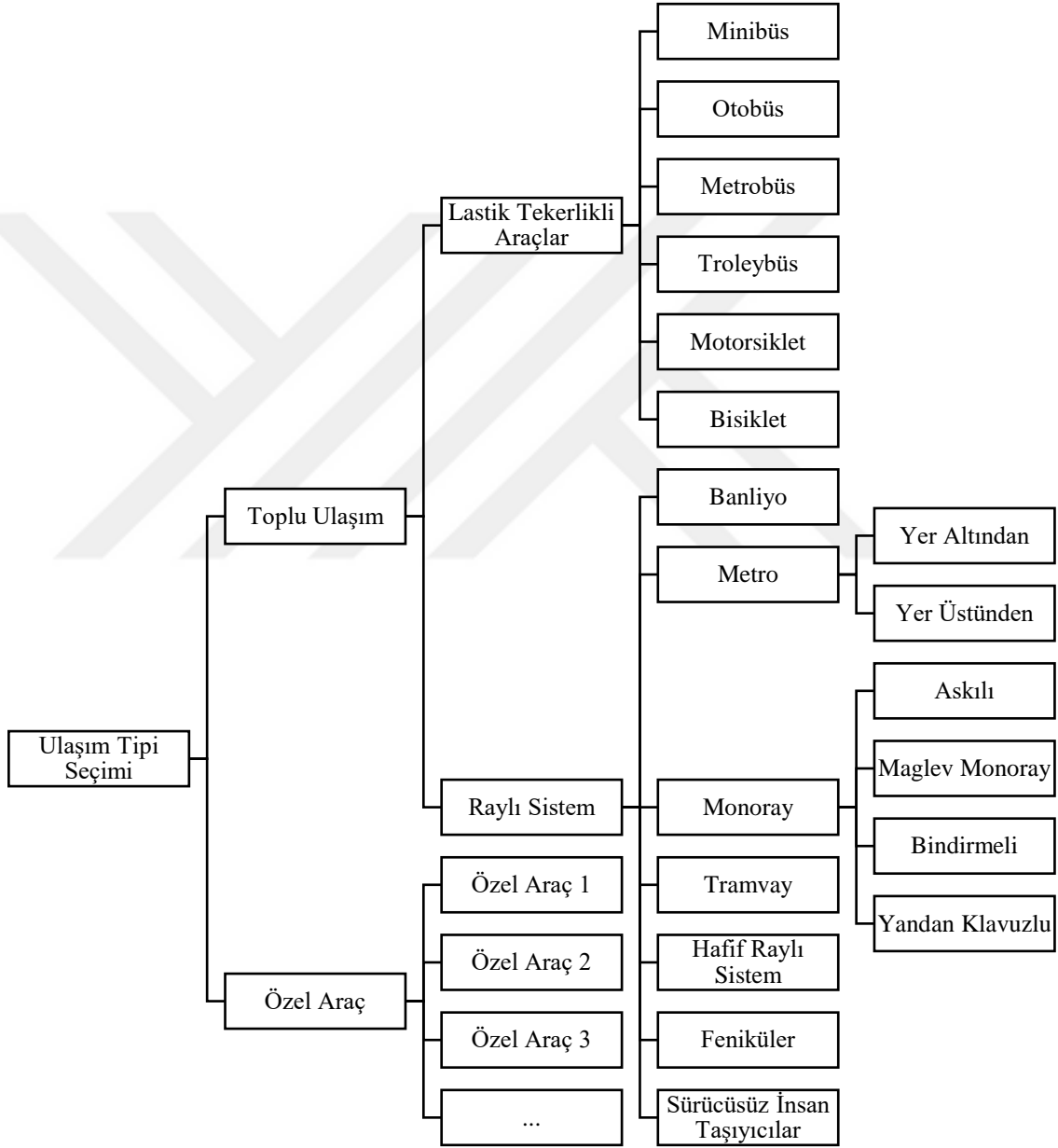
4.4.2. Uygulama Alanına Göre Sınıflandırma

Uygulama alanına göre sınıflandırmada ise ulaşım planlamanın güvenlik, lojistik, hizmet kalitesi, performans ölçümü, finansal yönetim gibi farklı konularını kapsamaktadır. Bu alanlardan teknoloji seçimi konusunda yapılan sınıflandırma da Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Sürdürülebilir teknoloji seçimi

Sürdürülebilir teknoloji seçimi konusu da kendi içinde ulaşım modu seçimi, ulaşım tipi seçimi, alternatif yakıtlı araçlar, temiz enerjili araçlar ve elektrikli araçlar olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 4.4'te bu sınıflandırma gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Ulaşım tipi seçimi

4.4.3. Ulaşım Moduna Göre Sınıflandırma

Ulaşım moduna göre sınıflandırmada en genel anlamda hava, kara ve su ulaşımı olarak ayrılmaktadır. Her bir alan kendi içinde sürdürülebilir ulaşım planlama süreçleri ile sınıflara ayrılmaktadır. Çizelge 4.8’te her bir alanda yapılan farklı uygulamalar verilmiştir.

Çizelge 4.8. Ulaşım moduna göre sınıflandırma

Ulaşım modu	Referans
Hava ulaşımı	Bango vd. (2017); Lu vd. (2018); Yang vd. (2016); Dožić ve Kalić, (2016)
Kara ulaşımı	Sayyadi ve Awasthi, (2018a); Crainic vd. (2018); Moller, (2016)
Deniz ulaşımı	Chen vd. (2019)

4.4.4. Ulaşım Yönetimine Göre Sınıflandırma

Ulaşım yönetimine göre planlama, tasarım, kontrol ve inşa olarak dört alt gruba ayrılmıştır. Bu sınıflandırmada; planlama (Hamurcu ve Eren, 2020a), tasarım (Kablan ve Doğan, 2016), kontrol (Butler vd., 2017) ve inşa (Lucas, 2016).

4.4.5. Kullanılan Yönteme Göre Sınıflandırma

Kullanılan yönteme göre sınıflandırmada matematiksel model kurma, ÇKKV, simülasyon, karma yöntemler ve diğerleri olarak sınıflandırılmıştır. Çizelge 4.9’da sınıflandırma ve bu uygulamaları barındıran çalışmalar referanslandırılmıştır.

Çizelge 4.9. Kullanılan yöntemlere göre sınıflandırma

Kullanılan Yöntem	Referans
Matematiksel model ÇKKV	Yang vd. (2016); Liang vd. (2019); Özcan vd. (2018) Inti ve Tandon, (2017); Zevevic vd. (2017); Cruel-Esparza vd. (2016); Ignaccolo vd. (2017); Rajak vd. (2016); Yavuz vd. (2015)
Benzetim	Sayyadi ve Awasthi, (2018); Crainic vd. (2018); Moller, (2016)
Karma yöntemler	Mavi vd. (2017); Dimi'c vd. 82016); Yavuz vd. (2015); Liang vd. (2019)
Diğer	Koç vd. (2018); Altuntaş vd. (2016)

4.4.6. Ulaşım Planlama Alanında Yapılan Diğer Çalışmalar

Ulaşım sistemleri; Ulaşım ekonomisi (Hörcher ve Graham, 2020; Fielbaum, vd., 2020), araç rotalama problemleri (Ulmer vd., 2020), otonom araçlar (Pendleton vd., 2017; Ryan, vd., 2020), araç altyapı entegrasyonu (Capuder vd., 2020; Mohammad vd., 2020), performans ölçümü (Moons vd., 2019; Pathak vd., 2019), trafik psikolojisi ve davranışları (Parnell vd., 2020; Jashami vd., 2020), lojistik ve tedarik zinciri yönetimi (Wang vd., 2016; Yazdani vd., 2017), ulaşım sistemlerinde bilgi teknolojileri (Zhao vd., 2020), ulaşımında enerji yönetimi (Sajadi-Alamdari vd., 2018), ulaşımında yapay zeka (Abduljabbar vd., 2019; Beulen vd., 2020), trafik ölçüm ve analizi (Perc ve Topolšek, 2020; Fu vd., 2020) gibi çok geniş bir çalışma alanına sahiptir.

4.4.7. Tez Kapsamında Yapılan Çalışmaların Literatüre Katkıları

Tez kapsamında on iki adet örnek uygulama yapılmış olup bilim literatürüne katkıları Çizelge 4.10' te verilmiştir. Ayrıca yapılan uygulamaların 11. Kalkınma Planı çerçevesinde hangi öncelikli alanları kapsadığı aynı Çizelgede belirtilmiştir. Özellikle rekabetçi üretim ve verimlilik ana başlığında lojistik ve enerji altyapısı, dijital dönüşüm,

öncelikli sektörlerden otomotiv ve raylı sistem araçları, sektörel politikalarından kamu yatırım politikaları, enerji, lojistik ve ulaştırma; Yaşanabilir şehirler, sürdürülebilir çevre alt başlığında bölgesel gelişme, kentsel altyapı ve çevrenin korunması alanlarını kapsamaktadır.

Çizelge 4.10. Güncel uygulamaların literatüre katkıları

No	Uygulama	Amaç	Literatüre Katkı	11. Kalkınma Planı Öncelik Alan Kapsamı
1	Kentsel Ulaşımın Geliştirilmesinde Elektrikli Araç Seçimi	Araç Seçim Problemi/1	Kentsel ulaşımın geliştirilmesinde elektrikli otobüs teknolojileri arasından TOPSIS ve MOORA sıralama yöntemleri ile seçim yapılmıştır.	157-167 --Otomotiv-Enerji-Lojistik ve ulaştırma-- -Yaşanabilir şehirler, sürdürülebilir çevre--
2	Yeşil Ulaşım için Elektrikli Otobüs Seçimi	Araç Seçim Problemi/2	Temiz teknolojiler olan elektrikli otobüs alternatifleri arasından AHP -TOPSIS, ÇKKV yöntemleri kullanılarak seçim yapılmıştır.	
3	Sürdürülebilir Ulaşım: Elektrikli Otomobil Seçimi	Araç Seçim Problemi/3	Bireysel araç kullanımında çevresel sürdürülebilirliği sağlama noktasında elektrikli otomobillerin seçimi yapılmıştır. Kullanıcılara tercihleri konusunda yardımcı olacak çalışmada AHP-TOPSIS ve HP kullanılmıştır.	
4	Sürdürülebilir Trafik Yönetimi İçin En Uygun Dron Seçimi	Araç Seçim Problemi/4	Trafik yönetim ve kontrolünde sürdürülebilirliği sağlama noktasında dinamik kontrol sağlayan dron araçlarının seçimi için ÇKKV kullanılmıştır.	
5	Kentsel Ulaşım için Sürdürülebilirlik Temelinde Stratejik planlama	Proje Seçimi/1	Stratejik planlama sürecinde sürdürülebilir bir ulaşım sistemi için çok kriterli karar analizi kullanılmıştır. Kırıkkale için bir uygulama yapılmıştır.	76-167 - Lojistik ve ulaştırma-- -- Yaşanabilir şehirler, sürdürülebilir çevre--
6	Monoray Projelerinin Seçimi	Proje Seçimi/2	Raylı kentsel ulaşım türlerinden olan monoray projelerinin seçimi yapılmıştır.	
7	Raylı Sistem Projelerinin Seçimi	Proje Seçimi/3	Türkiye’de kentsel ulaşımında raylı Sistem projelerinin seçiminde AHP-HP kullanılmıştır.	
8	Proje Seçiminde Kısıt Programlama	Proje Seçimi/4	Proje seçiminde kısıt programlama kullanılmıştır.	
9	Raylı Sistem Projelerinin Seçiminde ANP Kullanımı	Proje Seçimi/5	Bulanık ANP kullanılarak raylı sistem projelerinin seçimi gerçekleştirilmiştir.	
10	Akıllı Ulaşım Projelerinin Seçimi	Proje Seçimi/6	Akıllı ulaşım projelerinin seçimi yapılmıştır.	
11	Şehirler arası Ulaşım Projelerinin Seçimi	Proje Seçimi/7	Şehirler arası yüksek hızlı ve hızlı demiryolu projelerinin seçimi Türkiye’de örnek uygulama	
12	Paydaş Katılımına Dayalı Köprü Yeri Seçimi	Yer seçimi/1	Kentsel ulaşımın önemli konularından olan yer seçim problemi ele alınarak köprü yeri seçimi paydaş katılımı tabanında sürdürülebilir bir şehir ve ulaşım için yer seçimi yapılmıştır.	

5. SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA SİSTEMLERİNDE GÜNCEL UYGULAMALAR

Sürdürülebilir ulaşım ile; kaynak kullanım etkinliğinin sağlanması, çevresel hassasiyet ve toplumsal faydanın oluşturulması ile yaşam kalitesinin artırılması sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu tezde ulaşım planlamanın önemli konularından olan, araç seçim problemi- proje seçim problemi ve yer seçim problemleri ele alınmıştır. 11. Kalkınma Planında da üzerinde önemle durulan sürdürülebilirlik, temiz enerji, çevresel sürdürülebilirlik, kaynak kullanım etkinliği ve yaşanabilir şehirler oluşturma hedefleri yer almaktadır. Bu kapsamda 12 adet güncel uygulama yapılmış olup 11. Kalkınma Planı ile de ilişkilendirilmiştir.

5.1. Araç Seçim Problemi

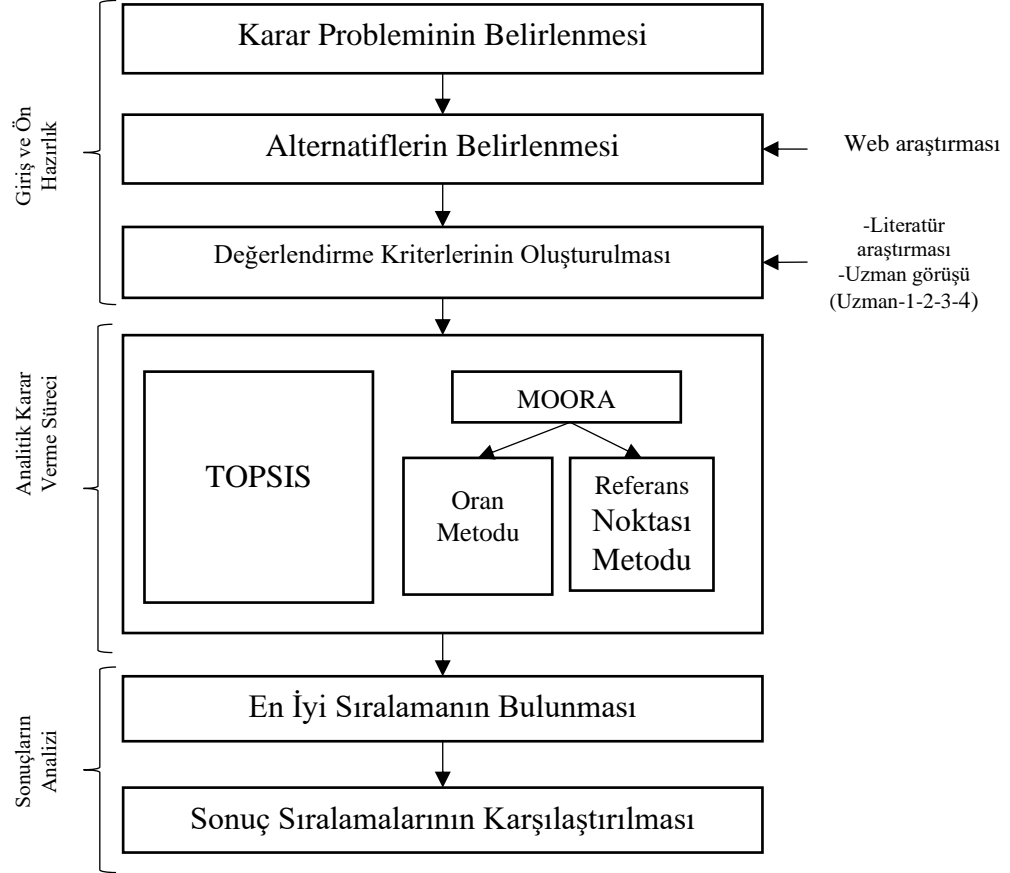
Kentsel ulaşımında araç seçimini toplu ulaşım araçlarının seçimi, otomobil seçimi ve trafik kontrol araçlarının seçimi olarak 3 farklı alt başlıkta incelenmiştir. Toplu ulaşım araçları seçiminde farklı ÇKKV yöntemleri ile 2 farklı uygulama ile elektrikli otobüs seçimi yapılmıştır.

5.1.1. Kentsel Ulaşımın Geliştirilmesinde Elektrikli Araç Seçimi

Sürdürülebilir ulaşım planlama için alternatif yakıtlı temiz enerjili araç teknoloji olarak elektrik enerjisi kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu tezde de kentsel ulaşımın geliştirilmesinde elektrikli toplu ulaşım araçları önerilerek elektrikli otobüsler arasından seçim yapılmıştır.

Çalışmanın yapılandırılması 3 adımda gerçekleşmektedir. Birinci adımda ön hazırlık, ikinci adım sıralama yöntemlerinin kullanımı ve sonunda sonuçların analizi ile tamamlanan bir süreci içermektedir. Sıralama yöntemleri olarak TOPSIS ve MOORA

yöntemleri kullanılmıştır. Bu iki yöntem VIKOR yöntemi ile çalışmanın sonunda doğrulanmıştır. Çalışmada tarafsızlığı sağlamak için sadece araç verileri kullanılmış, kişi görüşleri etki etmemiştir. Üç akademisyen ve ulaşım planlama bölümünde görevli bir mühendis ile oluşan uzman grubun görüşleri sadece karar verme sürecinin tasarımı için kullanılmıştır. Uygulamanın akış şeması Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Elektrikli araç seçimi probleminin akış şeması

5.1.1.1. Karar Probleminin Belirlenmesi

Yeni alternatif kavramlar arasında otobüslerin teknolojik gelişimi bu tezde değerlendirilmiştir. Otobüs taşımacılığı toplu ulaşımda, ucuz, esnek, kapasite ve hız bakımından önemli bir bileşenidir. Ayrıca artan özel araç kullanımı ile atmosfere yayılan CO2 miktarı, kentsel yaşam alanlarını zorlamakta ve sağlık problemlerine yol açmaktadır.

Bu nedenle, araç trafiğini azaltmak için toplu taşıma araçlarına; hava kalitesinin artırılması için daha temiz teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrikli otobüsler, kentsel hava kalitesini iyileştirerek, şehir sakinlerinin yaşam kalitesi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak planlamacılar ve yöneticiler, gelişen teknoloji ile birlikte çeşitlenmekte olan elektrikli otobüsler nedeniyle karar vermede zorlanmaktadırlar. Analitik karar süreçleri olan ÇKKV yöntemleri bu soruna iyi bir çözüm sunmaktadır. Tezin bu problemde, TOPSIS ve MOORA yöntemleriyle beş elektrikli otobüs, özel kriterler altında değerlendirilmiştir. Bu iki yöntem, karmaşık karar problemlerinin çözümünde sıralamayı amaçlayan ÇKKV yöntemleridir (Hamurcu ve Eren, 2020a).

5.1.1.2. Alternatiflerin Belirlenmesi

Uzman görüşleri doğrultusunda, uygulamada yaygın kullanılan beş adet alternatif elektrikli araç belirlenmiştir. Araç verileri Çizelge 5.1’de gösterilmektedir. Araçlara ait hız, yolcu kapasitesi, araç menzili, motor gücü, batarya kapasitesi ve şarj zamanı aynı çizelgede verilmiştir.

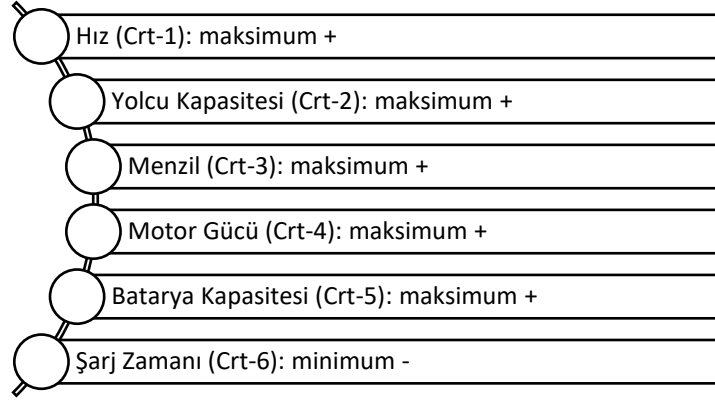
Çizelge 5.1. Alternatif elektrikli araç özellikleri

Alternatifler	Değerlendirme Kriterleri					
	Hız	Yolcu Kapasitesi	Menzil	Motor Gücü	Batarya Kapasitesi	Şarj Zamanı
Birim	km/h	Adet	mil	kW	kWh	saat
E1-Bus	72	50	200	360	360	2
E2-Bus	90	50	280	103	170	7
E3-Bus	80	57	50	200	200	2
E4-Bus	75	90	280	250	230	5
E5-Bus	75	136	300	250	346	7

5.1.1.3. Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi

Literatürde çevresel emisyonları azaltmak için alternatif yakıtları veya yakıt araçlarını seçmek için birçok ekonomik, teknik, sosyal, çevresel ve teknolojik kriterler kullanılmıştır. Enerji bulunabilirliği, enerji verimliliği, satın alma maliyetleri, yakıt maliyetleri, menzil, araç ömrü, bakım maliyetleri, satın alma maliyetleri ve işletme maliyetleri ekonomik kriterlere tabidir. Araç kapasitesi, yol kapasitesi, trafik ve uygunluk teknik kriterler olarak kabul edilir. Yolcu konfor standartları, enerji verimliliği, yakıt mevcudiyeti, hava kirliliği, gürültü, kirlilik ve emisyon azaltımı sosyal ana kriteri altındadır. Hava kirliliği ve gürültü kirliliği çevre şemsiyesi altındadır. Son olarak, performans güvenliği, konfor algısı, araç kapasitesi ve kullanıcı kabulü teknoloji kriterlerindedir.

Toplu taşımacılığın yolcu beklentileri arasında hızlı, konforlu, güvenli ve zamanında ulaşımın sağlanması bulunmaktadır. Bu uygulamada elektrikli otobüslerin sadece hız, menzil, kapasite, şarj süresi, pil kapasitesi ve maksimum güç gibi teknik özelliklerini içeren özel kriterleri kullandık. Şekil 5.2’de kullanılan kriterler gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Araç seçimi değerlendirme kriterleri

Değerlendirme kriterlerinden hız, yolcu kapasitesi, menzil, motor gücü ve batarya kapasitesi en yüksek (maksimum, +) değerlerde olması beklenirken, şarj zamanının en az (minimum, -) olması istenmektedir.

5.1.1.4. TOPSIS Yöntemi ile Sıralama

TOPSIS yöntemi MOORA yöntemi ile benzer süreçlere sahip olmakla birlikte TOPSIS yöntemi MOORA yöntemine göre daha uzun matematiksel işlemler içermektedir. TOPSIS yöntemine göre yapılan sıralamada CC_i değerleri ve nihai sıralama Çizelge 5.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2. TOPSIS yöntemi ile sıralama

Alternatifler	dd^+	dd^-	CC_i	Sıralama
E1-Bus	0,5072	0,7631	0,6007	2
E2-Bus	0,8474	0,4397	0,3416	5
E3-Bus	0,7425	0,4770	0,3912	4
E4-Bus	0,4725	0,5832	0,5524	3
E5-Bus	0,4881	0,7634	0,6100	1

Sıralama neticesinde en iyi alternatif olarak 0,6100 CCI değerine sahip E5-Bus çıkmıştır. Sonuç sıralamasını E1-Bus, E4-Bus, E3-Bus ve E2-Bus izlemiştir.

5.1.1.5. MOORA Yöntemi ile Sıralama

MOORA yöntemi iki alt yöntemle uygulanmıştır. Bunlar “MOORA oran yöntemi” ve “MOORA referans noktası” yöntemleridir.

5.1.1.5.1. MOORA Oran Yöntemi Sıralaması

MOORA oran yöntemine göre sıralama Çizelge 5.3’te gösterilmektedir. Bu yöntem sonucunda en iyi alternatif E5-Bus olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.3. Oran yöntemine göre sıralama

Alternatifler	Crt-1 (+)	Crt-2 (+)	Crt-3 (+)	Crt-4 (+)	Crt-5 (+)	Crt-6 (-)	yi	Sıralama
E1-Bus	0,409	0,268	0,372	0,652	0,591	0,175	2,117	2
E2-Bus	0,512	0,268	0,521	0,186	0,279	0,612	1,154	5
E3-Bus	0,455	0,305	0,093	0,362	0,328	0,175	1,369	4
E4-Bus	0,426	0,482	0,521	0,453	0,378	0,437	1,822	3
E5-Bus	0,426	0,729	0,558	0,453	0,568	0,612	2,122	1

5.1.1.5.2. MOORA Referans Noktası Yöntemi Sıralaması

MOORA referans noktası yöntemine göre sıralama Çizelge 5.4’te gösterilmektedir. Bu yöntemle göre de en iyi alternatif E4-Bus bulunmuştur.

Çizelge 5.4. Referans noktası yöntemine göre sıralama

Alternatifler	Crt-1	Crt-2	Crt-3	Crt-4	Crt-5	Crt-6	Max	Sıralama
	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)		
E1-Bus	0,102	0,461	0,186	0,000	0,000	0,000	0,46071	3
E2-Bus	0,000	0,461	0,037	0,465	0,312	0,437	0,46519	5
E3-Bus	0,057	0,423	0,465	0,290	0,263	0,000	0,46480	4
E4-Bus	0,085	0,246	0,037	0,199	0,213	0,262	0,26211	1
E5-Bus	0,085	0,000	0,000	0,199	0,023	0,437	0,43685	2

5.1.1.6. Sonuçların Karşılaştırılması

Kullanılan sıralama yöntemleri benzer süreçler içerse de matematiksel işlemler olarak birbirinden farklılaşmaktadır. Dolayısıyla sonuç sıralamalarının onaylanması ve doğrulanması için ikinci ve hatta üçüncü bir yöntem sonucu ile karşılaştırılmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla bu uygulamada da MOORA ve TOPSIS önce kendi aralarında karşılaştırılmış ve daha sonra VIKOR yöntemi de kullanılarak sonuçlar doğrulanmıştır. Çizelge 5.5'te sıralama sonuçlarının karşılaştırılması yer almaktadır.

Çizelge 5.5. Sıralama sonuçlarının karşılaştırılması

Alternatifler	MOORA				TOPSIS	
	Oran Metodu		Referans Metodu		CC_i	Sıralama
	y_i	<i>Sıra</i>	P_i	<i>Sıra</i>		
E1-Bus	2,117	2	0,46071	3	0,6007	2
E2-Bus	1,154	5	0,46519	5	0,3416	5
E3-Bus	1,369	4	0,46480	4	0,3912	4
E4-Bus	1,822	3	0,26211	1	0,5524	3
E5-Bus	2,122	1	0,43685	2	0,6100	1

5.1.1.7. Sonuçların Doğrulanması

Sıralama sonuçları üçüncü bir sıralama yöntemi olan VIKOR yöntemi ile doğrulanmıştır. Her üç yöntemin sonuç sıralamaları Çizelge 5.6' da gösterilmektedir. VIKOR yöntemi ile $v=0,25$ ve $v=0,50$ değerleri ile yapılan sıralama MOORA referans noktası yöntemi ile aynı sonucu; $v=0,75$ ve $v=1,00$ değerlerinde ise MOORA oran yöntemi ve TOPSIS yöntemleri ile aynı sıralama bulunmuştur.

Çizelge 5.6. Sonuçların doğrulanması

Alternatifler	MOORA		TOPSIS	VIKOR			
	Oran Yöntemi	Referans Noktası Yöntemi		$v=0,25$	$v=0,5$	$v=0,75$	$v=1$
E1-Bus	2	3	2	3	3	2	2
E2-Bus	5	5	5	5	5	5	5
E3-Bus	4	4	4	4	4	4	4
E4-Bus	3	1	3	1	1	3	3
E5-Bus	1	2	1	2	2	1	1

Sıralamalardaki farklılıkların anlamlı olup olmadığının tespiti için Spearman sıra korelasyon uygulugu kontrol edilmiştir. Sıralamaların uygunluk durumu Çizelge 5.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Spearman sıra korelasyon katsayısı uygunluğu

Metot	MOORA		TOPSIS	VIKOR				
	Oran Yöntemi	Referans Noktası Yöntemi		v=0,25	v=0,50	v=0,75	v=1	
MOORA	Ratio Method	---	x	1	x	x	1	1
	Reference Point	---	---	x	1	1	x	x
	TOPSIS	---	---	---	x	x	1	1

Statistical significance value (Z)=1,645 and a=0,05

Çizelge 5.7’de de görüldüğü gibi VIKOR yöntemi (v=0,25 ve v=0,50 değerleri) ile yapılan sıralama MOORA referans noktası yöntemi birbirini desteklemiştir. VIKOR (v=0,75 ve v=1,00 değerlerinde) MOORA oran yöntemi ve TOPSIS yöntemleri birbirlerini desteklemiştir. Diğer karşılaştırmalar arasında istatistiki bir benzerlik bulunmamıştır.

5.1.1.8. Sonuç ve Değerlendirmeler

Ulaşım ve ulaşım kaynaklı hava kirliliği, günümüz dünyası ve şehirleri için en önemli sorunlardan biridir. Özel araç sahipliği de bu sorunun etkili nedenlerinden biridir. Ulaşımdaki çözümlerden biri, toplu ulaşım ve alternatif enerji kaynakları bünyesinde elektrikli otobüslerdir. Bu nedenle, elektrikli otobüs kullanmak hem trafikten çekilecek özel araç hem de sıfır zararlı gaz salınımı ile çevreci bir uygulamadır. Literatür araştırmalarına göre elektrikli araçların tercihi ve kullanımı elektrikli araç özelliklerinin geliştirilmesine bağlıdır. Elektrikli araçların ve otobüslerin özellikleri, gelişen teknoloji ile araç pazarında alternatifleri arasında değişmektedir.

Bu çalışmada, üç analitik karar verme sürecini kullanılmıştır. Yöntemlerin analitik prosedürü nedeniyle yöntem sonuçları arasında bazı farklılıklar vardır. Ancak, sonuçlara

bakıldığında her üç yöntemin de birbirini desteklediği görülmektedir. E5-Bus, her üç yöntemde de birinci sırada yer alan en iyi seçenek olarak seçilmiştir.

E5-Bus, E1-Bus ve E4-Bus her üç yöntemin ilk üç sırasına hâkim olur. Bu nedenle, E5-Bus'un toplu taşıma alternatiflerimiz arasında otobüs sıralamasının en iyi elektrikli aracı olduğunu söyleyebiliriz. Bu karar verme süreci, belediye yöneticileri ve ulaştırma planlamacıları için karar alma noktalarında yararlanmaları için prosedür içermekte ve planlama süreçlerinde etkili kararlar vermeye yardımcı olmaktadır. Kısa ve basit hesaplama işlemine sahip MOORA yönteminin araç seçim problemleri için de iyi bir yöntem olduğu görülmüştür.

Araç seçimi ve müşterilerin araç tercihi ile ilgili birçok değerlendirme kriteri ve faktörü vardır. BU uygulamada, elektrikli otobüslerinin seçimi için uzman görüşüne göre sadece altı özel kriter kullanılmıştır. Bu nedenle, özel altı kriter bu çalışmada büyük sınırlamadır. Kriterlerin ağırlıkları, ÇKKV problemlerinde kilit bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, her kriter en iyi alternatifi seçmeye eşit katkıda bulunmayabilir. Kriterlerin eşit öneme sahipliği çalışma için ikinci bir sınırlama getirmektedir.

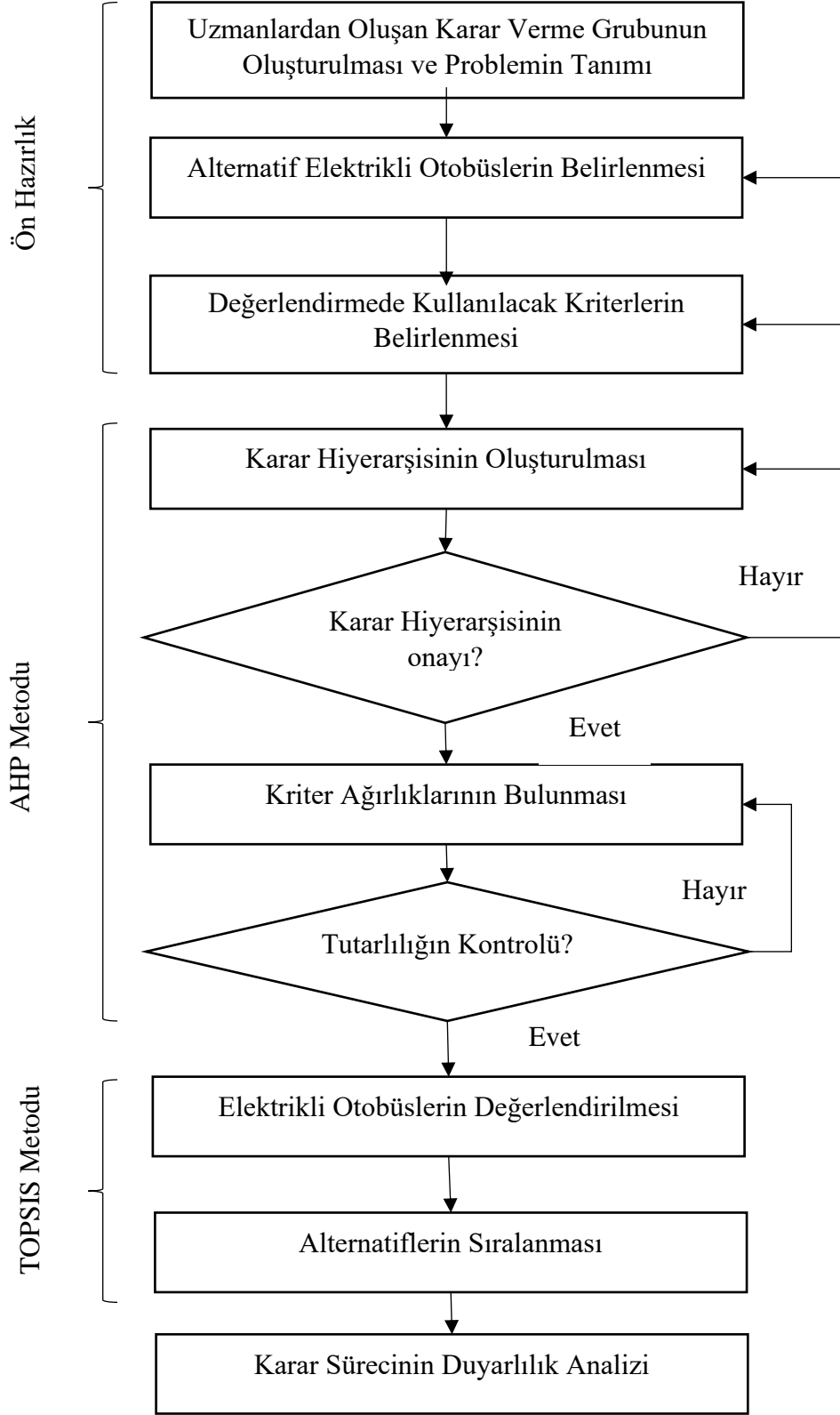
5.1.2. Yeşil Ulaşım için Elektrikli Otobüs Seçimi

Kentsel ulaşımında toplu ulaşımın desteklenmesi, trafik sorunu için sürdürülebilir bir çözümdür. Ancak temiz teknoloji toplu ulaşımın ortaya konulması ise sürdürülebilirlik standartlarını daha yukarı çeken bir çözüm olmaktadır. Bu uygulamada da yeşil ulaşım sistemi oluşturmak için kriter ağırlıkları dikkate alınarak elektrikli otobüslerin seçimi yapılmıştır.

Çalışmanın yapılandırılması; ön hazırlık, AHP ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve TOPSIS ile sonuç sıralamasının yapılması olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Elektrikli otobüs seçim süreci akış şeması Şekil 5.3'te gösterilmektedir. Ön hazırlık Sürecinde uzman grubun oluşturulması, kriter ve alternatiflerin oluşturulması yer almaktadır. Karar

hiyerarşisinin oluşturulması ile başlayan analitik süreçte ilk olarak kurulan hiyerarşinin uzman grup tarafından onayı durumu sorgulanmaktadır. Karar hiyerarşisinin onaylanması ile ön hazırlık sürecinde belirlenen değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları ikili karşılaştırmalar ile (Saaty'nin 1-9 önem skalası kullanılarak) önem seviyeleri bulunur. İkili karşılaştırmaların tutarlılığının kontrolü için tutarlılık oranı hesaplanır ve uzman grubun onayına sunulur. Tutarlılık oranının 0,1'den küçük çıkması durumu onay için yeterlidir. Ayrıca kriter ağırlıklarının toplamın 1 olması gerekir. Ayrıca, herhangi bir işlem hatasının olup olmadığı buradan kontrol edilebilir.

TOPSIS süreci, AHP sürecinden bağımsız bir şekilde alternatif araçların net verileri ile başlar. TOPSIS başlangıç matrisini oluşturan bu veriler normalleştirilerek aynı seviyeye indirgenir. Devamında AHP ile bulunan kriterlerin önem ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklı TOPSIS matrisi elde edilir. Dolayısıyla, bu aşamada uzman görüşü modele dahil edilmiş olur. Devamında TOPSIS ara matematiksel hesaplamalar neticesinde sonuç sıralaması bulunur. Çalışmanın sonunda bulunan sıralamanın doğrulanması ve duyarlılık analizi yapılarak sonuç sıralaması incelenir.



Şekil 5.3. Elektrikli otobüs seçimi süreci

5.1.2.1. Problemin Tanımı

Ulaşımında çok sayıda karar verme noktası vardır. Bu karar verme noktalarından biri temiz teknoloji araçlarının belirlenmesi ile ilgilidir. Elektrikli otobüsler gibi temiz teknolojili araçların yakıtın içten yanması açısından bazı avantajları vardır. Özellikle, elektrikli araçlar çevreye zararlı gaz yaymazlar. Bu durum ile şehirler için daha temiz hava sağlarlar ve bu temiz teknolojileri ile daha iyi hava kalitesi ve daha yaşanabilir şehirler sağlamak mümkün olmaktadır. Özellikle yüksek nüfuslu alanlarda diğer teknolojilere göre tercih edilmektedir. Bu tez ile de Ankara için bir elektrikli otobüs seçiminde AHP ve TOPSIS kullanarak çok kriterli bir karar verme süreci öneriyoruz. Altı potansiyel elektrikli otobüs alternatifi altı özel kriter altında değerlendirilmektedir (Hamurcu ve Eren, 2020b).

5.1.2.2. Alternatiflerin belirlenmesi ve Tanımları

Dünyanın çeşitli şehirlerinde kullanılan elektrikli otobüsler bu çalışmada karar alternatifleri olarak kullanılmıştır. Altı adet alternatif elektrikli otobüse (EV_1, EV_2, EV_3, EV_4, EV_5 ve EV_6) ait özellikler Çizelge 5.8'de gösterilmektedir. 5.1.1. bölümündeki uygulamadan farklı olarak yerli üretim bir otobüste alternatifler arasına eklenmiştir.

Çizelge 5.8. Seçim alternatifleri

Karakteristikler	Birim	Alternatifler					
		EV_1	EV_2	EV_3	EV_4	EV_5	EV_6
Hız	km/h	72	68.4	90	80	75	75
Yolcu Kapasitesi	---	50	58	50	57	90	136
Menzil	km	200	200	280	50	280	300
Maksimum Güç	kW	360	360	103	200	250	250
Batarya Kapasitesi	kWh	350	394	170	200	230	346
Şarj Zamanı	h	2	1.25	7	2	5	7

5.1.2.3. Değerlendirme kriterlerinin Belirlenmesi

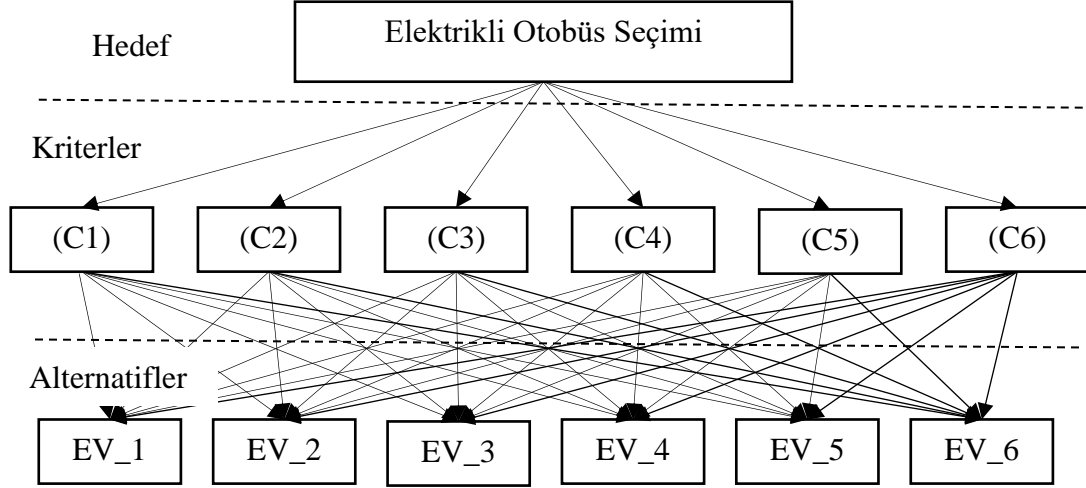
Yeşil ulaşım için seçilecek elektrikli otobüslerin değerlendirilmesinde kullanılacak kriterler açıklamaları ile Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Elektrikli otobüs değerlendirme kriterleri

Kriter	Açıklama
Hız (C1)	Yolcu/Kullanıcılar hızlı ulaşım ve hareketlilik tercih edilir, bu nedenle alternatif araçlar söz konusu olduğunda elektrikli otobüslerin hızı önemli bir faktördür.
Yolcu Kapasitesi (C2)	Bu kriter planlamacılar ve aktif ulaşım için kritik bir faktördür. Şehir yöneticileri daha fazla kişiye hizmet vermek ve yollardaki özel araç sayısını azaltmak istemektedir.
Menzil (C3)	Elektrikli araçların menzili sınırlıdır, bu nedenle bu faktör kritik bir öneme sahiptir. Daha uzun menzil, ağ alanının daha fazla katılımı anlamına gelir.
Motor Gücü (C4)	Bu özellik tırmanma ve çekiş kapasitesiyle ilgilidir, elektrik motoruna bağlıdır.
Batarya Kapasitesi (C5)	Fosil yakıtlar gibi pillerin kapasitesi daha fazla menzil ve zaman verimliliği sağlar.
Şarj Süresi (C6)	Kısa şarj süreleri veya gece şarj, otobüs hizmetlerinin devamı için gereklidir.

5.1.2.4. Problemin Karar Hiyerarşisi

Problemin karar hiyerarşisinde elektrikli otobüs seçimi hedefinde, kriterler ve alternatifler olarak belirlenmiştir. Şekil 5.4'te seçim problemi için karar hiyerarşisi gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Seçim problemi için karar hiyerarşisi

5.1.2.5. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Kriter ağırlıkları AHP yöntemi ile hesaplanmıştır. Çizelge 5.10'da sunulan ağırlık değerleri ile araç seçimi için en önemli üç performans kriterinin pil kapasitesi (C5), 0.3428, şarj süresi (C6), 0.2123 ve menzil (C3), 0.1529 olduğunu bulunmuştur. Ek olarak, $\lambda_{max} = 6.5612$, $CI = 0.11224$ ve ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı $0.0905 < 0.1$ olarak hesaplandı. Böylelikle ağırlıkların tutarlı olduğu gösterilmiştir ve seçim sürecinde kullanılmıştır. Elektrikli araçları tercih etmenin birkaç nedeni vardır, ancak düşük akü aralığı ve şarj süresi, özellikle elektrikli araç tercihinin büyük oranda etki etmektedir. Çalışmamızda şarj süreleri ve pil kapasitesi en önemli iki kriter olarak görülmüştür.

Çizelge 5.10. Seçim kriterlerinin ağırlıkları ve kabul seviyesi

Kriterler	Kriter ağırlığı (w)	λ_{max} , CI, RI	CR
(C1)	0.710	$\lambda_{max} = 6.5612$	0.0905
(C2)	0.1196		
(C3)	0.1529	CI = 0.11224	
(C4)	0.1014		
(C5)	0.3428	RI = 1.24	
(C6)	0.2123		

5.1.2.6. TOPSIS ile Sonuç Sıralamasının Bulunması

TOPSIS yöntemine göre yapılan sıralama Çizelge 5.11’de gösterilmektedir. Bu yöntem sonucunda elektrikli otobüs sıralamaları EV_2, EV_1, EV_6, EV_5, EV_4, ve EV_3 olarak gerçekleşmiştir. EV_2, 0,7434 CC_j değeri ile en iyi alternatif olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.11. TOPSIS ile sonuç sıralaması

Alternatifler	d_i^+	d_i^-	CC_j	Sıralama
EV_1	0.0630	0.1404	0.6902	2
EV_2	0.0552	0.1601	0.7434	1
EV_3	0.1637	0.0618	0.2741	6
EV_4	0.1264	0.0946	0.4281	5
EV_5	0.1092	0.0839	0.4344	4
EV_6	0.1099	0.1210	0.5241	3

5.1.2.7. Sonuçların Doğrulanması ve Duyarlılık Analizi

Bu bölüm, dikkate alınmayan kriter ağırlıklarını, yani, önceliklerin eşit ağırlıkta olmaması durumunda kriterlerin sıralama değişikliğine neden olup olmayacağını analiz eder. AHP ağırlıklı TOPSIS ile benzer hesaplamalar, diğer alternatifler için gerçekleştirilmiştir ve TOPSIS analizlerinin sonuçları Çizelge 5.12’de özetlenmiştir. Analiz sonuçları ve elde edilen CC_j değerleri, önceki değerlerle karşılaştırmanın yanı sıra aynı Çizelge 5.12 ‘de sunulmaktadır. CC_j değerlerine göre, alternatiflerin tercih sırasına göre sıralanması EV_2, EV_1, EV_6, EV_5, EV_4 ve EV_3 idi. Önerilen model sonuçları, CC_2 değeri 0.6257 olan EV_2'nin en iyi alternatif olduğunu göstermiştir. En iyi alternatif, ağırlıksız sıralama sonucuna göre değişmemiştir.

Çizelge 5.12. Sonuçların doğrulanması

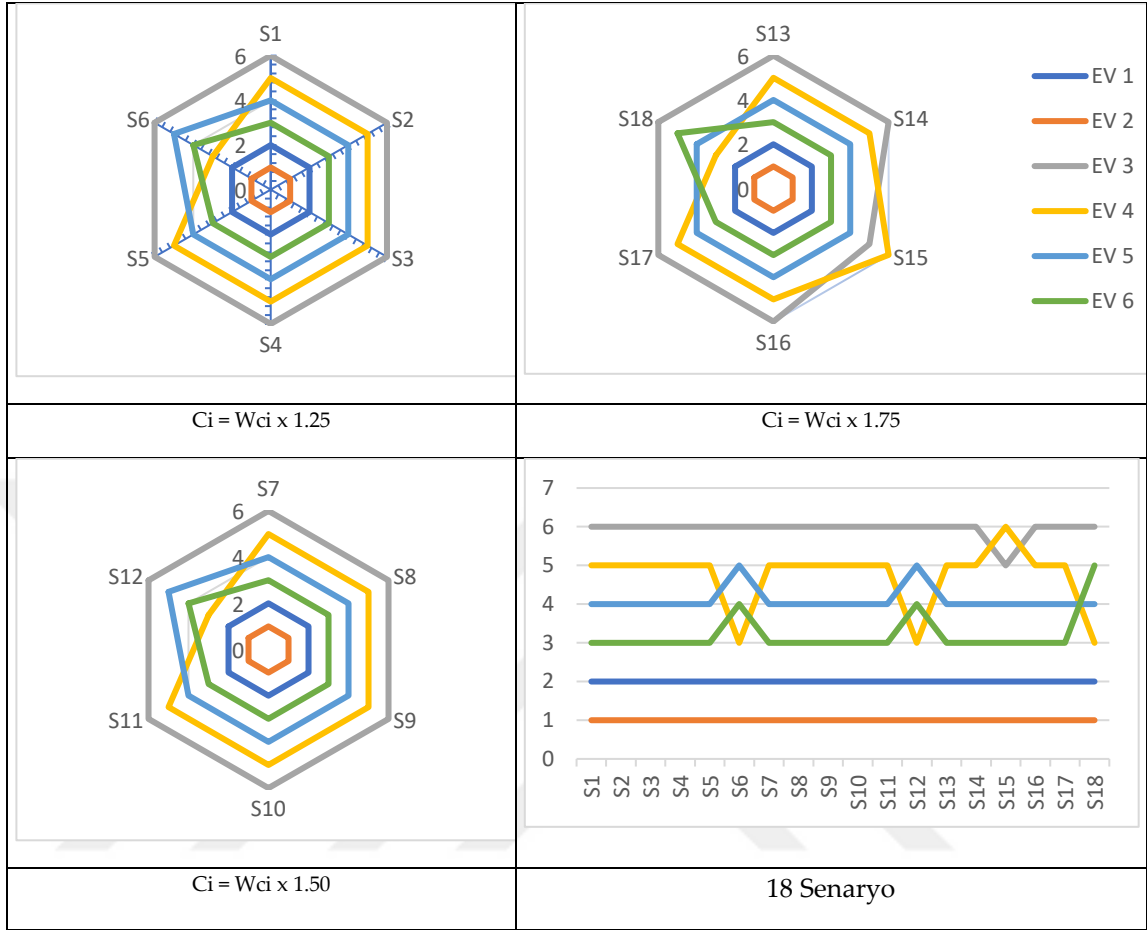
Alternatifler	Ağırlıklı CC_j	Sıralama	Ağırlıksız CC_j	Sıralama
EV_1	0.6902	2	0.5855	2
EV_2	0.7434	1	0.6257	1
EV_3	0.2741	6	0.3339	6
EV_4	0.4281	5	0.3994	5
EV_5	0.4344	4	0.5198	4
EV_6	0.5241	3	0.5669	3

TOPSIS sonuçları değerlendirme kriterlerinin ağırlık katsayısına bağlı olduğundan, bu bölüm sonuçların kriter ağırlıklarındaki değişime duyarlılığının bir analizini sunmaktadır. Sıralamalar, bazen ağırlıklarda meydana gelen değişimler neticesinde değişme gösterebiliyor. Duyarlılık analizinde üç farklı ağırlık katsayısı, 0.25, 0.50 ve 0.75 kullanıldı ve her bir kriter ağırlığı bu katsayılar göre değişti. Yeni kriter ağırlıkları kullanılarak 18 duyarlılık analizi senaryosu Çizelge 5.13’te gösterilmektedir.

Çizelge 5.13. Duyarlılık analizi ve senaryolar

Senaryolar	Kriter ağırlıkları	Değişim oranı	Kriterlerin yeni ağırlıkları
S1	C1 = 0.0710	1.25 x C1	0.0888
S2	C2 = 0.1196	1.25 x C2	0.1495
S3	C3 = 0.1529	1.25 x C3	0.1911
S4	C4 = 0.1014	1.25 x C4	0.1268
S5	C5 = 0.3428	1.25 x C5	0.4285
S6	C6 = 0.2123	1.25 x C6	0.2654
S7	C1 = 0.0710	1.50 x C1	0.1065
S8	C2 = 0.1196	1.50 x C2	0.1794
S9	C3 = 0.1529	1.50 x C3	0.2294
S10	C4 = 0.1014	1.50 x C4	0.1521
S11	C5 = 0.3428	1.50 x C5	0.5142
S12	C6 = 0.2123	1.50 x C6	0.3185
S13	C1 = 0.0710	1.75 x C1	0.1243
S14	C2 = 0.1196	1.75 x C2	0.2093
S15	C3 = 0.1529	1.75 x C3	0.2676
S16	C4 = 0.1014	1.75 x C4	0.1775
S17	C5 = 0.3428	1.75 x C5	0.5999
S18	C6 = 0.2123	1.75 x C6	0.3715

Duyarlılık analizinin her aşamasında, kriterlerin ağırlık katsayıları sırasıyla %25, %50 ve %75 artmıştır. Her senaryoda, ağırlık katsayısının belirtilen değerlerle arttığı sadece bir kriter tercih edilmiştir. AHP-TOPSIS yöntemindeki 18 senaryo sırasında sıralama alternatiflerindeki değişiklikler Şekil 5.5'te sunulmaktadır.



Şekil 5.5. Duyarlılık analizi grafiksel gösterimi

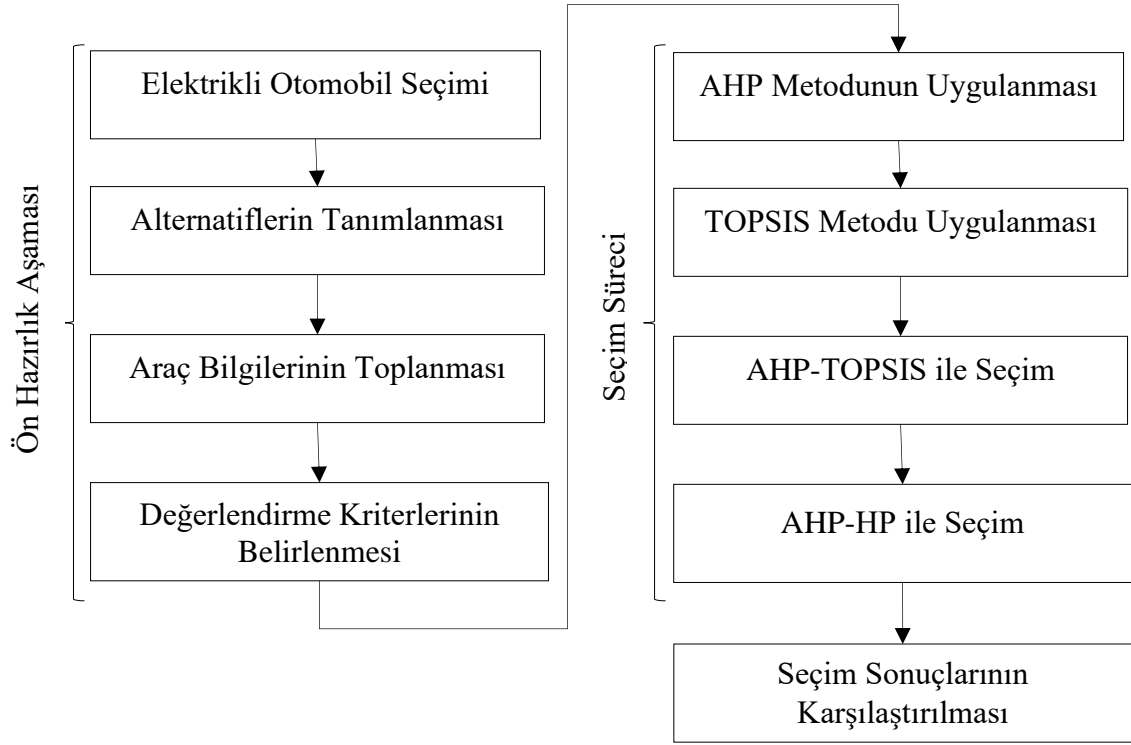
Sonuçlar, 18 senaryodan ölçütlere farklı ağırlıklar atanmanın alternatif sıralamalarda önemli bir değişikliğe yol açmadığını göstermiştir. Sıralamaları 18 senaryo üzerinden analiz ederek, EV_1 ve EV_2 alternatifleri 18 senaryo boyunca sıralamalarını korudu. Duyarlılık analizinde, dört durumda küçük bir değişiklik gözlemlendi; bu değişikliklerin üçü, altıncı kriterin ağırlığındaki değişime dayanmaktadır. Diğer bir değişim ise üçüncü kriterin değişmesi ile oluşmuştur. Buna dayanarak, AHP-TOPSIS karar verme sürecinin tatmin edici bir sıralama olduğu ve önerilen modelin sıralamasının güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.

5.1.2.8. Sonuç ve Değerlendirmeler

AHP yöntemi kriter ağırlıklarını belirlemek için uygulanmış, hibrit yöntem alternatifleri sıralamak için uygulanmış ve gelişmekte olan bir ülkede sürdürülebilir toplu taşıma hizmetlerine yönelik artan talebi karşılamak amacıyla TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Büyük nüfuslu ülkelerde toplu taşıma daha zordur ve yöneticiler egzoz gazlarını azaltmak için politikalar üretmektedir. Bu noktada elektrikli otobüsler alternatiflerden daha uygun araçlardır. Bu tezde kentsel toplu taşıma için elektrikli otobüs teknolojisi araştırılmıştır. Elektrikli otobüsler, azaltılmış emisyonlar, daha sessiz motorlar, daha az titreşim ve sürücüler ve yolcular için daha fazla konfor gibi avantajlarla toplu taşıma sektöründe daha yaygın ve popüler hale gelmektedirler. En iyi alternatif elektrikli otobüsü seçmek için hibrit bir AHP-TOPSIS yöntemi uygulandı, burada kriterlerden ve altı alternatiften oluşan bir hiyerarşi belirlendi ve kriterlerin ağırlıkları AHP kullanılarak belirlendi. Daha sonra TOPSIS altı alternatiflerin en iyi sıralaması amacıyla kullanıldı. Alternatiflerdeki EV_2 elektrikli otobüs, toplu taşıma için belirlenen altı kritere göre en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Ayrıca, AHP ve duyarlılık analizinin sonucuna göre, elektrikli otobüslerin seçimi için en önemli faktörler 0.3428 değerine sahip pil kapasitesi (C5) ve 0.2123 değerine sahip şarj süresi (C6) olduğu görülmektedir.

5.1.3. Sürdürülebilir Ulaşım: Elektrikli Otomobil Seçimi

Sürdürülebilir ulaşımın boyutlarından biri çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasıdır. Her ne kadar toplu ulaşım teşvik edilerek kullanımı yaygınlaştırılmaya çalışılsa da özel araç kullanımının önüne geçilememektedir. Kentsel alanlarda da trafik kaynaklı hava kirliliği büyük boyutlara varmıştır. Dolayısıyla çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması noktasında alternatif yakıtlı temiz enerjili araçların kullanımı önemli hale gelmektedir. Bu uygulama ile de sürdürülebilir bir ulaşım sistemi için elektrikli otomobillerin seçimi AHP-TOPSIS ve HP ile yapılmıştır. Şekil 5.6’te uygulamanın akış şeması verilmektedir.



Şekil 5.6. Elektrikli otomobil seçimi karar süreci

Alternatif ve seçim kriterlerinin belirlenmesi, literatür araştırması ve web araştırması ile yapılmıştır. Devamında karar hiyerarşisi oluşturulmuş ve kriterler uzman ekip tarafından ağırlıklandırılmıştır. TOPSIS yöntemi ile sıralanan alternatifler daha sonra AHP ağırlıklı HP modeli ile en iyi seçim yapılmıştır. Son olarak AHP-TOPSIS ve AHP-HP sonuçları karşılaştırılmıştır.

5.1.3.1. Problemin Tanımlanması

Son yıllarda, elektrikli araçlar, özellikle sera gazı emisyonlarını azaltma potansiyeli nedeniyle yöneticiler ve kullanıcılar tarafından artan bir ilgi görmüştür (Ellingsen vd., 2016). Ek olarak, günümüzde elektrikli araç pazarı önemli bir büyüme göstermiştir. Birçok üretici firma, kendi araç portföyünü elektrik konseptine dönüştürmektedir. Bu süreç halen artarak devam etmektedir. Bununla birlikte, elektrikli araçların firma ve araç

çeşitlerine göre mevcut sınırlamaları ve sınırlı sürüş aralıkları, yetersiz şarj cihazları, uzun şarj süresi ve ilk satın alma maliyeti gibi bazı dezavantajları vardır (Amirhosseini ve Hosseini, 2018; Langbroek vd., 2019). Fakat, elektrikli araçlar, şehirlerde çevresel etki açısından sürdürülebilirliğe önemli katkı sağlamaktadırlar. Bundan dolayı temiz teknoloji olarak elektrikli araçlar karar vericiler ve tüm toplum tarafından desteklenmektedir. Bununla birlikte, literatürde ulaşım amacıyla elektrikli otomobil seçimi için analitik süreçlerle karar verme konusunda çok az çalışma yapılmıştır. Değişen teknik özellikleri ile elektrikli araç pazarı hızla büyümektedir. Dolayısıyla, alternatifler arasında en iyi otomobilin kararını vermek için çok kriterli değerlendirme süreçlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Piyasada farklı kombinasyonlarla mevcut birçok elektrikli araç modeli ve firma bulunmaktadır. Birçok üretici, geleneksel içten yanmalı motorlu araçlarını, elektrikli araçlar yönünde dönüştürmektedir.

Bir müşterinin/kullanıcının gündelik hayatı için yeni bir otomobil/elektrikli otomobil edinmesi gerektiğinde, satın alma için birçok değerlendirme faktörünü göz önünde bulundurmaktadır. Bu durum, ÇKKV alanından yararlanılarak çelişkili faktörlerin iyi bir analizini gerektirir. Batarya kapasitesi, şarj süresi, fiyat, sürüş menzili vb. elektrikli bir aracın performansını etkileyen çeşitli faktörlerden bazılarıdır. Elektrikli araçlara ait tüm bu faktörler üreticiler tarafından her geçen gün daha da geliştirilmektedir. Bu nedenle, elektrikli araç teknolojisi her geçen gün hızla ivme kazanıyor. Elektrikli araçların bu farklılıkları ve sınırlamaları, müşterilerin satın alma tercihleri için karar verme sürecini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, bu uygulama ile hangi aracın en uygun olduğu sorusunun cevabını bulunmakta ve elektrikli araç satın alma niyetinde olan kullanıcılara analitik ve optimizasyon modelleri ile satın alma tercihleri için yardımcı olunmaktadır.

5.1.3.2. Alternatiflerin Tanımlanması

Alternatifler ve özellikleri web araştırması neticesinde Çizelge 5.14'te gösterilmektedir. Seçim problemi kapsamı, 9 kritere ve 12 alternatiften oluşan elektrikli araçlardan oluşmaktadır. Değerlendirme kriterleri olarak fiyat (C1), pil kapasitesi (C2), tork (C3),

şarj süresi (C4), toplam ağırlık (C5), sürüş menzili (C6), hızlanma (C7), hız (C8) ve oturma kapasitesi (C9) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.14. Alternatif elektrikli otomobil verileri

Alt	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A1	114000	10	70	300	1510	410	1,18	81	4
A2	206000	30,4	180	540	1360	200	1,5	125	5
A3	820000	62	290	300	2020	52	3,36	150	5
A4	512400	45.3	240	420	1570	25	2,8	140	5
A5	682699	106	255	420	1760	175	2,62	130	5
A6	501643	41.4	260	360	1583	20	3,08	140	5
A7	488119	23.09	144	420	1370	140	3,2	125	5
A8	443363	30.4	180	420	1295	200	2,62	125	5
A9	618086	82	450	40	1500	400	3,36	140	5
A10	500000	30	280	420	1436	170	1,6	100	5
A11	500000	28	295	420	1415	200	2,86	165	5
A12	414317	27	285	1440	1492	212	2,52	145	5

5.1.3.3. Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi

Değerlendirme kriterleri Şekil 5.7’da gösterilmektedir. Kriterlerin açıklamaları sırasıyla aşağıdaki gibidir;

- ✓ Kriter 1 (C1)- Fiyat (TL): Fiyat, tüketicilerin yeni enerjili araçları satın almasını etkileyen önemli bir faktördür (Ma vd., 2019b; Chen vd., 2019; Huang ve Qian, 2018; Lin ve Wu, 2018).

- ✓ Kriter 2 (C2)- Pil kapasitesi (kWh): pil kapasitesi, belirli koşullar altında pilden alınabilecek maksimum enerji miktarını temsil eder (Das vd., 2019).
- ✓ Kriter 3 (C3)- Tork (Nm); Tork, aracın ne kadar hızlanacağını belirler (Das vd., 2019).
- ✓ Kriter 4 (C4)- Şarj süresi (dk); Şarj süresi, tüketicilerin yeni enerjili araçları kullanımını etkileyen önemli bir faktördür.



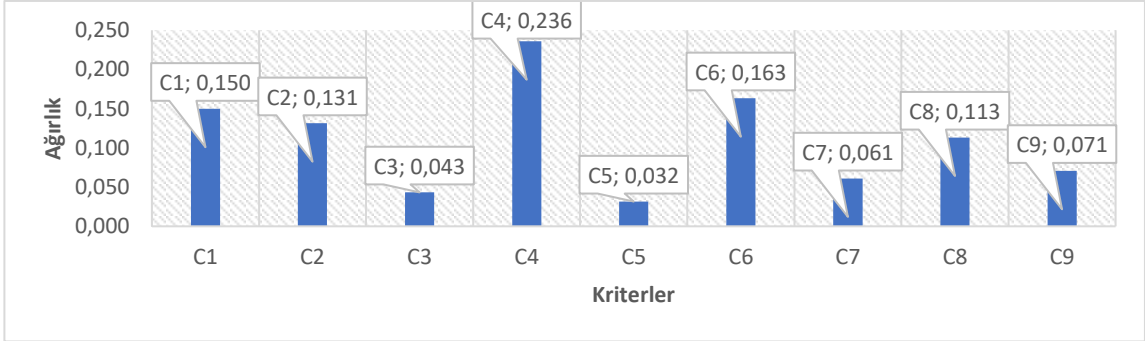
Şekil 5.7. Elektrikli otomobil seçim kriterleri

- ✓ Kriter 5 (C5)- Toplam ağırlık (hg): Daha fazla ağırlık, boşa harcanan daha yüksek güç tüketimine yol açar (Das vd., 2019).
- ✓ Kriter 6 (C6)- Sürüş menzili (km): Sürüş mesafesi tüketicilerin yeni enerjili araçlarda özellikle dikkat ettikleri bir noktadır (Helveston vd., 2015; Huang ve Qian, 2018).

- ✓ Kriter 7 (C7)- Hızlanma (m / s²): Tüketiciler yeni enerjili araçlar için daha düşük hızlanma süresini tercih etmektedirler (Paul Helveston vd., 2015).
- ✓ Kriter 8 (C8)- En yüksek hız (km / s): Yüksek hıza sahip olma tercih sebebidir (Das vd., 2019).
- ✓ Kriter 9 (C9)- Oturma kapasitesi: Boyut ve buna bağlı olarak kapasite tüketicilerinin seçiminde önemli bir rol oynamaktadır.

5.1.3.4. Kriterlerin Ağırlıklarının AHP ile Bulunması

Kriterlerin ağırlıklandırılmasında AHP yöntemi kullanılmıştır. Ağırlıklandırma neticesinde sırası ile C4, 0,236; C6, 0,163; C1, 0,150; C2, 0,131; C8, 0,113; C9, 0,071; C7, 0,061; C3, 0,043 ve C5, 0,032 olarak belirlenmiştir. Şekil 5.8’da kriterlere ait önem seviyeleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.8. AHP ile kriterlerin önem seviyeleri grafiksel gösterimi

5.1.3.5. AHP ağırlıklı TOPSIS ile Sıralama

Otomobil seçim sürecinde TOPSIS yöntemi ağırlıklı ve ağırlıksız olarak ayrı ayrı karar süreci uygulanmıştır. Çizelge 5.15'te AHP ağırlıkları kullanılarak elde edilen ağırlıklı matris gösterilmektedir. TOPSIS sürecinin önemli adımlarından birisi de kriterlerin hedef değerlerinin belirlenmesidir. Bu uygulamada da (C1) – (C4) ve (C7) kriterleri maliyet, (C2) – (C3) – (C5) – (C6) – (C8) ve (C9) kriterleri ise fayda kriterleridir.

Çizelge 5.15. TOPSIS ağırlıklı matrisi

Alternatifler	Kriterler								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
AHP Ağırlıkları	0,150	0,131	0,043	0,236	0,032	0,163	0,061	0,113	0,071
A1	0,010	0,008	0,003	0,037	0,009	0,088	0,008	0,020	0,017
A2	0,017	0,023	0,009	0,066	0,008	0,043	0,010	0,031	0,021
A3	0,069	0,047	0,014	0,037	0,012	0,011	0,022	0,037	0,021
A4	0,043	0,034	0,012	0,051	0,009	0,005	0,019	0,035	0,021
A5	0,057	0,080	0,012	0,051	0,010	0,038	0,017	0,032	0,021
A6	0,042	0,031	0,012	0,044	0,009	0,004	0,020	0,035	0,021
A7	0,041	0,017	0,007	0,051	0,008	0,030	0,021	0,031	0,021
A8	0,037	0,023	0,009	0,051	0,008	0,043	0,017	0,031	0,021
A9	0,052	0,062	0,022	0,005	0,009	0,086	0,022	0,035	0,021
A10	0,042	0,023	0,013	0,051	0,009	0,037	0,011	0,025	0,021
A11	0,042	0,021	0,014	0,051	0,008	0,043	0,019	0,041	0,021
A12	0,035	0,020	0,014	0,176	0,009	0,046	0,017	0,036	0,021
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>max</i>
A+	0,010	0,080	0,022	0,005	0,012	0,088	0,008	0,041	0,021
A-	0,069	0,008	0,003	0,176	0,008	0,004	0,022	0,020	0,017

Çizelge 5.16'da AHP-TOPSIS yöntemi ile bulunan alternatiflerin sıralamasını göstermektedir. Sıralama neticesinde en iyi alternatif olarak A9 bulunmuştur.

Çizelge 5.16. TOPSIS ile otomobil alternatiflerinin sıralanması

Alternatifler	A+	A-	CCi	Sıralama
A1	0,0838	0,1084	0,564	2
A2	0,0967	0,0918	0,487	5
A3	0,1087	0,0550	0,336	11
A4	0,1117	0,0619	0,357	10
A5	0,0851	0,0943	0,526	3
A6	0,1108	0,0558	0,335	12
A7	0,1044	0,0620	0,372	9
A8	0,0926	0,0712	0,435	6
A9	0,0487	0,1023	0,677	1
A10	0,0974	0,0665	0,406	8
A11	0,0942	0,0716	0,432	7
A12	0,1881	0,1807	0,490	4

5.1.3.6. AHP-HP Kombinasyonu

AHP ağırlıklı HP modeli Çizelge 5.17’de gösterilmektedir. Modelde bütçe hedefleri en uzun menzile, minimum şarj süresi, hız hedefleri ile bir aracın seçiminin sağlanması üzerine kurulmuştur.

Parametreler;

b_i : i . Aracın fiyatı $i= 1, \dots, 12$

m_i : i . Aracın menzili $i=1, \dots, 12$

s_i : i . Aracın şarj süresi $i=1, \dots, 12$

h_i : i . Aracın hızı $i=1, \dots, 12$

B: Bütçe kısıtı

M: Maksimum menzile hedefi

S: Minimum şarj süresi

H: Hız hedefi

Karar değişkeni;

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{şayet } i. \text{ alternatif seşilecekse } \\ 0 & \text{diğer durumlarda ; } \quad i = 1, 2, \dots, 12 \end{cases}$$

Çizelge 5.17. Otomobil seçimi için hedef programlama modeli

Amaç fonksiyonu	
Min Z = 0,150 * (d ₁ ⁻ + d ₁ ⁺) + 0,236 * (d ₂ ⁻) + 0,163 * (d ₃ ⁺) + 0,113 * (d ₄ ⁻ + d ₄ ⁺)	(5.1)
Kısıtlar	
Bütçe hedeflerinin sağlanması	$\sum_{i=1}^{12} b_i x_i + (d_1^- - d_1^+) = B$ (5.2)
Maksimum menzil hedefinin sağlanması	$\sum_{i=1}^{12} m_i x_i + (d_2^- - d_2^+) = M$ (5.3)
Minimum şarj süresinin sağlanması	$\sum_{i=1}^{12} s_i x_i + (d_3^- - d_3^+) = S$ (5.4)
Hız hedefinin sağlanması	$\sum_{i=1}^{12} h_i x_i + (d_4^- - d_4^+) = H$ (5.5)
Sadece 1 aracın seçilmesi	$\sum_{i=1}^{12} x_i = 1$ (5.6)

Amaç fonksiyonu hedef değerlerden sapmaları minimize etmektedir. Çizelge 5.18’de altı adet farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar dahilinde HP modeli çözülmüştür.

Çizelge 5.18. Otomobil seçimi için senaryolar

Senaryolar	Bütçe (TL*1000)	Menzil (km)	Hız (km)
S1	150	100	100
S2	250	150	100
S3	300	200	130
S4	350	100	130
S5	400	150	150
S6	550	200	150

5.1.3.7. Seçim ve Sıralamaların Karşılaştırılması

AHP ağırlıklı TOPSIS, ağırlıksız TOPSIS ve senaryoları dahilinde HP modeli çözüm sonuçları karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.19’de gösterilmektedir. HP modelinde kısıtlar tercih için en fazla dikkat edilen 4 kısıt dahilinde kurulmuştur. AHP yönteminde öne çıkan 4 kriter ile AHP-TOPSIS çözümü de yapılmış ve aynı çizelgede gösterilmektedir.

Çizelge 5.19. Otomobil seçimi için sonuçların karşılaştırılması

Alternatifler	Dokuz Kriter ile		Dört Kriter ile		Hedef programlama-Senaryolar					
	AHP-TOPSIS	TOPSIS	AHP-TOPSIS	TOPSIS	S1	S2	S3	S4	S5	S6
A1	2	3	1	1	--	--	--	--	--	--
A2	5	5	3	3	✓	--	--	--	--	--
A3	11	9	12	12	--	--	--	--	--	✓
A4	10	10	10	11	--	--	--	--	✓	--
A5	3	2	9	9	--	--	--	--	--	--
A6	12	11	11	10	--	--	--	✓	--	--
A7	9	12	8	8	--	--	--	--	--	--
A8	6	8	7	6	--	--	--	--	--	--
A9	1	1	2	2	--	--	--	--	--	--
A10	8	7	6	7	--	--	--	--	--	--
A11	7	6	5	5	--	--	✓	--	--	--
A12	4	4	4	4	--	✓	--	--	--	--

5.1.3.8. Sonuç ve Değerlendirmeler

Elektrikli araç geliştirme, pil teknolojisi, şarj teknolojisi, elektrik motoru teknolojisi ve diğer yeni teknolojilerin entegrasyonu gibi birçok teknik zorlukla karşı karşıya kalsa da yakın gelecekte tamamen mevcut yakıt araçlarının yerini alacağına inanılmaktadır.

Son olarak, kentsel alanlara sıfır emisyonlu elektrikli araçların yerleştirilmesi şehirlerdeki hava kirliliğini azaltmak için önemli bir araç olacaktır. Bu durum (sıfır emisyonlu araç) kentsel ulaşımın iyileştirilmesini sağlayacak ve sürdürülebilirlik temelli kentsel ulaşım gelişiminin faktörlerinden biri olacaktır.

Ulaşımında araç kullanımında elektrikli araçlar, ulaşımdan kaynaklanan emisyonların sıfıra düşürülmesinin yanı sıra hava kalitesinin derecesinde bir artış sağlayabilen bir çözüm olarak görülmektedir. Bu nedenle, karar verme süreci, elektrikli araçların gün geçtikçe artan popülaritesi nedeniyle araç seçim süreçlerini daha önemli hale getirmektedir.

Bu çalışmada sadece elektrikli araçlar kullanıldığı için çevresel boyut ele alınmamıştır. Ancak elektrikli araçların altyapısının henüz kurulmaya başlaması ve elektrikli araçlara geçiş sürecinin biraz daha zaman yayılması, günümüzde hibrit (yakıt+ elektrik) araçları geçiş sürecinde ön plana çıkaracaktır. Dolayısıyla hibrid elektrikli araçların arasından seçim yapılırken kurulabilecek bir modele Çizelge 5.20'deki kısıt eklenerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanabilir.

Çizelge 5.20. Hibrit elektrik araçlar için eklenebilecek çevre kısıtı

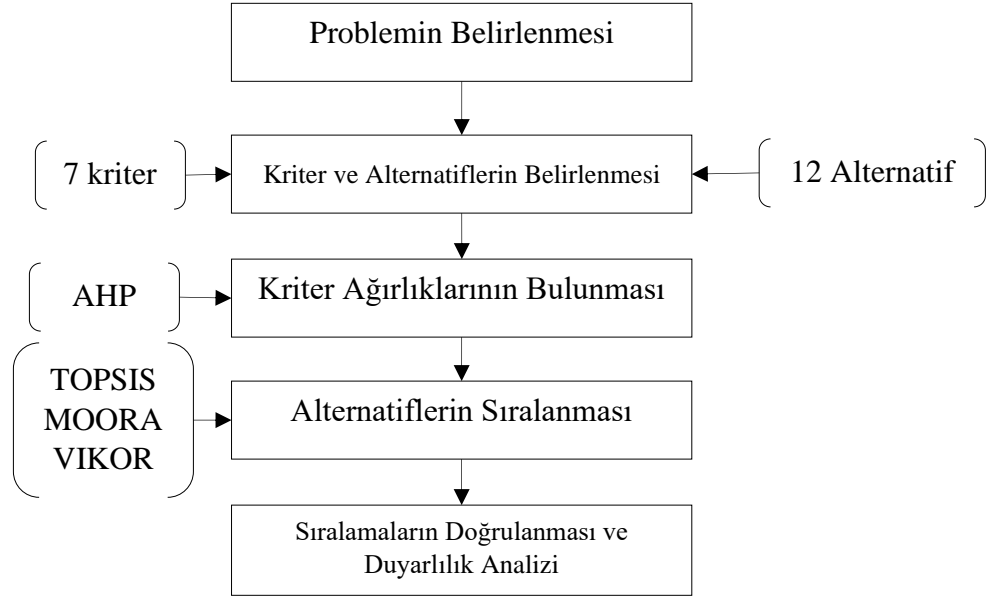
ki: *i.* Hibrit aracın karbon ayak izi; $i=1, \dots, n$; *n:* hibrit araç sayısı; *K:* hedef değer olmak üzere;

Min karbon salınımının sağlanması
$$\sum_{i=1}^n kix_i + (d_x^- - d_x^+) = K \quad (5.7)$$

5.1.4. Sürdürülebilir Trafik Yönetimi İçin En Uygun Dron Seçimi

Trafik yönetimi, kontrolü ve anlık veri alımında önemli araçlardan olan dronlar günümüzde daha da yaygınlaşmaktadır. Bu uygulamada da sürdürülebilirlik standardı üzerinden dron araçlarının çok kriterli seçimi yapılmaktadır.

Dron seçim uygulaması biri kriterlerin ağırlıklandırılması üçü sıralama yöntemi olmak üzere dört ÇKKV yöntemi kullanılmıştır. Kriterlerin ağırlıklandırılması ve sonuçların sıralanmalarının bulunması olarak 2 ana adıma dayanan uygulamada ağırlıklandırma için AHP; sıralama için TOPSIS, VIKOR ve MOORA yöntemleri kullanılmıştır. Trafığın kontrol ve denetlenmesinde önemli araçlar olan dron seçim problemi sonucunda yöntem sonuçları karşılaştırılarak doğrulama yapılmış ve duyarlılık analizine yer verilmiştir. Dron seçim süreci Şekil 5.9'da gösterilmektedir.



Şekil 5.9. Dron seçim süreci

5.1.4.1. Problemin Tanımı

Trafik sorunu, birçok büyük şehrin karşı karşıya olduğu önemli sorunlardan biridir. Dolayısıyla ulaşım planları çok iyi analiz edilmelidir. Statik kameralar trafik izleme ve yönetimi için araçlar ve doğru çözümdür. Ancak, günümüzde, insansız hava araçları trafik kontrolünde popüler, etkili ve daha sürdürülebilir araçlar olarak ön plana çıkmakta ve çeşitli trafik uygulamaları için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, trafik yönetimi çalışmalarına katkıda bulunmak için spesifik özellikler altında en uygun dron seçimi için bir model önerilmiştir. Karar modeli AHP ve MOORA-TOPSIS ve VIKOR sıralama yöntemleri ile yapılandırılmıştır. Kriterlerin ağırlığı AHP yöntemiyle gerçekleştirilir ve en iyi seçim için AHP ve sıralama yöntemlerinin bir kombinasyonu kullanılır. Analiz sonuçları Spearman sıra korelasyonu kullanılarak karşılaştırılmış ve sonuçların istenen düzeyde olduğu görülmüştür.

Sürekli artan trafik hacimlerinin ve tıkanıklık seviyelerinin yönetimi birçok şehrin karşı karşıya kaldığı en kritik zorluklardan biridir. Bu sorunlar, özellikle metropol alanlarda önemli hale gelmiştir. Bu nedenle, kentsel ulaşımındaki trafik akışının durumunu izlemek ve analiz etmek kritik hale gelmiştir. Bununla birlikte, tüm bu durumların kontrolü için manuel sayaçlar, statik video kamera sistemleri, insanlı araçlar ve hava araçları gibi sadece sınırlı uygulanabilir seçenekler vardır. Bu nedenle, ulaşım planlamacıları ve yöneticileri yeni çözümler aramaktadır ve bu çözümler trafik verilerinin doğru, dinamik ve hızlı bir şekilde düzenlenmesini sağlamalıdır (Khan vd., 2017).

Kontrol araçları, çok sayıda kurulu sensör veya ekipman gerektirdiğinden pahalı ve zor bir süreçtir. Ayrıca, tüm ağı kapsamak için çok sayıda konuşlandırılmış personele ve sabit sensörlere ihtiyaç duyulmaktadır (Coifman vd., 2006), ancak bunlar pratik olarak mümkün çözümler değildir (Puri, 2005). Günümüze kadar, sorumlu çalışan, statik kameralar ve insanlı hava taşıtlarından video akışlarının alınması ve işlenmesi, trafik bilgilerinin görüntülenmesi ve toplanması için en etkili araçlar olarak kullanılmış ve önerilmiştir. Fakat, geleneksel kontrol araçları ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan sürdürülebilir değildir. Ancak, sürdürülebilirlik günümüzde ulaşım planlama süreçlerinde

olduğu gibi çok önemli bir kavramdır. Trafik gözetimi ve izlemenin sürekliliğini sağlamak, ulaşım sistemlerinin kurulması veya inşa edilmesi kadar temel teşkil eder. Ayrıca, trafik yönetiminin ana faaliyeti yıllardır önemli araç ve stratejilerden biri olan trafik gözetimi ve izlemesi olmuştur (Papageorgiou vd., 2008). Bu nedenle, dronlar, sınırlı kaynakların kullanımında sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek için hizmet sağlamada önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, trafik izleme akıllı şehirler ve sürdürülebilirlik için kritik bir konudur. Gelecekte, dronlar akıllı şehirleri iyileştirmek için izleme, kamusal alanların kullanımını ve çevresel sürdürülebilirlik için temel araçlardır (Garcia-Aunon vd., 2019).

5.1.4.2. Alternatiflerin Belirlenmesi ve Tanımları

Uzman ekip tarafından on iki alternatif belirlenmiştir. Bu alternatiflerin özellikleri Çizelge 5.21'de gösterilmektedir. Tanımlar aşağdaki gibidir;

Alternatif D_1: Bu model 12MP kamera, 23 dakikalık uçuş süresi ve düşük fiyat ile iyi bir performans sunmaktadır.

Alternatif D_2: 4K / 60fps videolar ve 20MP fotoğraflar çekebilen 1 inçlik bir sensöre sahip olan bu model kullanıcılara mutlak özgürlük sunmaktadır. Bu model 20 MP kamera ile eksiksiz bir havadan görüntüleme çözümü sunar. Çok çeşitli akıllı özellikleri uçmayı daha kolay hale getirirken, ek güvenlik uygulamalarına sahiptir. Teknik özellikler 66 dakikalık şarj süresi, 30 dakika uçuş süresi, 4,3 mil uçuş mesafesi 45 mhp hızdır.

Alternatif D_3: Bu dron modeli, özel yapısı ile fotoğraf ve video sunabilen özel bir uçuş kamerasına sahip olan ilk dronlardan biridir. Bu dron, hafif ve süper bir tasarıma sahiptir. Yüksek rakımlarda veya sert rüzgarlarda bir problemler oluşturmazlar.

Alternatif D_4: Bu model çok iyi bir görüntü işleme sistemine sahiptir. Ana özelliği 58 mhp olan maksimum hızdır. Bu model, bu özellik bakımından bu boyuttaki diğer

dronlardan farklıdır. Ayrıca, 5 saniyede 0 ila 50 mil / saat (80 km / saat) arasında mesafe alır ve maksimum 9m/s iniş hızına sahiptir. Kendinden ısıtma teknolojisi sayesinde düşük sıcaklıkta uçabilir ve çift pil sistemi ile maksimum 27 dakika uçuş süresine sahiptir.

Alternatif D_5: Bu modelde 12 MP kamera vardır. 1080p ile harika videolar elde etmenizi sağlayan diğer bilinen dron kameralardan daha hassas lense sahiptir. Dron ağırlığı 300 gram ve uçuş süresi 16 dakika ve hızı 50 km/s'dir.

Alternatif D_6: Küçük ama güçlü bir dron, 3 eksenli mekanik gimbal ile stabilize edilmiş bir 4K kameraya sahip. 12MP kamera, 60 dakika kayıt süresi, 27 dakika uçuş süresi, 4.3 mil menzili, 40mph hız ve yüksek performanslı bilgi işlem çekirdeğine sahiptir. 5 görüş sensörü de önemli özellikleri arasındadır.

Alternatif D_7: Üst düzey uçuş performansı ve işlevselliğine sahiptir. Bazı özellikleri 430 gram ağırlık, 21 dakika maksimum uçuş süresi, 55 dakika şarj süresi, 13 MP kamera ile kolay taşınabilir. Ayrıca bu model diğer modellerden daha ucuzdur.

Alternatif D_8: Kompakt güçlü bu model, basitleştirilmiş bir uçuş deneyimine ve diğerlerinden farklı bir perspektife sahiptir. Bu model ultra hafif (249 g); 30 dakika maksimum uçuş süresi, 4 km HD video iletimi, 3 Eksenli Gimbal 2.7K kameraya sahiptir.

Alternatif D_9: Bu model 31 dk. Uçuş zamanı ve 11.2 mil uçuş mesafesi ile dikkat çekmektedir. 12 Mp kamera ve 90 dk. şarj süresine sahiptir.

Alternatif D_10: 30 dakikalık pil ömrü ve yeni bir uçuş destek sistemi ile jenerasyonun en yeni ve en gelişmiş dronlarından biridir. D_10 modeli yeni tahrik sistemi ile 60km / s hıza kadar uçabilir. Bu modelin önemli özelliklerinden biri de WiFi HD 720p iletim sistemi r menzili artmaktadır.

Alternatif D_11: 3 eksenli görüntü sabitleme sistemi ile 180 ° dikey olarak eğilebilen bir kameraya sahip ilk dronlardan biridir. Titreşimleri ve panjur efektini en aza indirmek

için mekanik gimbal ve ultra hassas dijital stabilizasyonun mükemmel kombinasyonuna sahiptir.

Alternatif D_12: Bu model, kolay uçuş için iyi bir performans sağlar, 25 dakikalık uçuş ve 35 mil uçuş mesafesine sahiptir. 4K kamera ve 3 eksenli gimbal ile mükemmel video kalitesine sahiptir. Bu model, Starpoint Konumlandırma Sistemi ve özel SecureFly teknolojisi sayesinde zorlu durumlarda kendini güvenli ve istikrarlı tutabilir.

Çizelge 5.21. Dron alternatifleri ve özellikleri

Model	Kamera (MP)	Şarj Zamanı (dk)	Uçuş Zamanı (dk)	Uçuş Mesafesi (mil)	Uçuş Hızı (mph)	Ağırlık (Gram)	Yaklaşık Fiyat (\$)
D_1	12	96	23	3.1	38.5	1280	800
D_2	20	66	30	4.3	45	1390	1400
D_3	16	90	15	3.1	40	3500	3000
D_4	20	90	27	4.3	58	4000	4900
D_5	12	120	16	1.2	31	300	550
D_6	12	60	27	4.3	40	730	700
D_7	12	55	21	2.4	42	430	800
D_8	12	270	30	2.5	29	249	399
D_9	12	90	31	11.2	44.7	905	1439
D_10	14	110	30	1.2	40	525	600
D_11	21	120	25	2.5	33	320	699
D_12	12	110	25	1.2	35	1600	1600

5.1.4.3. Değerlendirme kriterlerinin Belirlenmesi

Dronların seçimi için kamera, şarj zamanı, uçuş zamanı, uçuş mesafesi, uçuş hızı, ağırlık ve yaklaşık fiyat olarak yedi kriter belirlenmiştir.

Kriter -C1: Kamera (MP): Bu kriter trafik kontrolü ve izlenmesi için ana unsurdur. Bu çalışmada kamera dronlarını alternatif olarak kullanıyoruz. Kamera dronu film, fotoğraf çekme, inceleme, ölçme ve video amaçlı kullanılmaktadır.

Kriter -C2: Şarj süresi (dakika): Pilin tam olarak şarj olması gereken zamandır. Bazı görevler için gerekli olmayabilir. Ancak sınırlı kaynaklar altında önemli bir faktördür.

Kriter -C3: Uçuş Süresi (dakika): Bir dronun havada dolu bir bataryanın üzerinde kaldığı maksimum süre. Trafik kontrol zamanında çalışma kapasitesinin süresi buna bağlı olduğundan önemlidir. Uzaktan kumandalı uçuş cihazları için kontrol mesafesi kritik faktördür. Gelişen teknoloji ile pil kapasitesi ve uçuş menzili artmaktadır. Bu nedenle, dronun görev süresi artmaktadır ve bu nedenle daha uzun süreli görevlerde kullanılabilir.

Kriter -C4: Uçuş Mesafesi (mil): Havadan yüzeye kontrol mesafesi dronun yönetim ve kontrolünde önemli bir faktördür. Maksimum olması talep edilir.

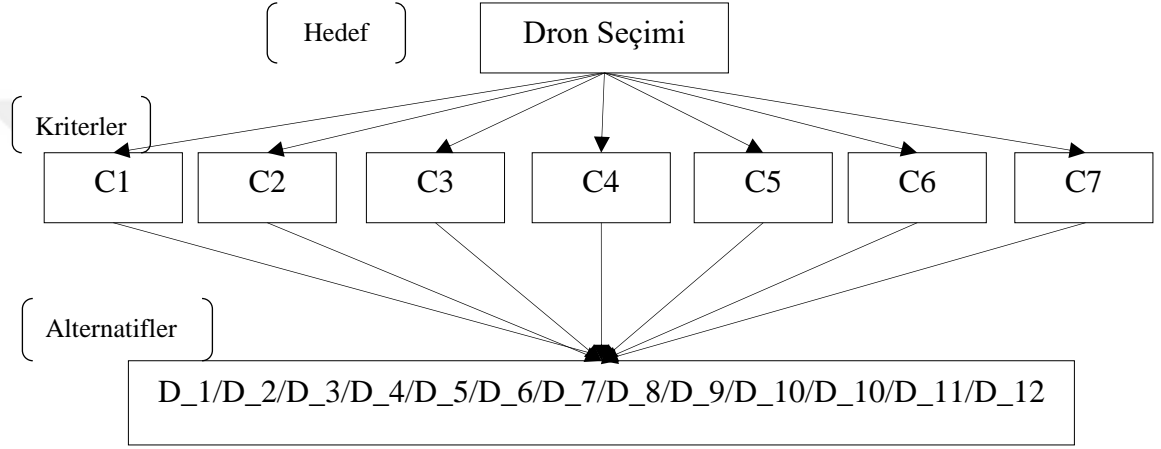
Kriter -C5: Uçuş Hızı (mil / saat): Bu kritere göre, bir dronun bütünlüğünü tehlikeye atmadan verilen bir görevi gerçekleştirebileceği maksimum hız olarak tanımlamak mümkündür. Çünkü, bazı görevler trafikte yüksek hızlar isterken, bazı trafik izleme görevleri böyle yüksek hızlar gerektirmez.

Kriter -C6: Ağırlık (g): Bir dronun kullanılabilirlik ve trafik personeli tarafından taşınabilirliği bakımından önemlidir.

Kriter -C7: Yaklaşık Fiyat (\$): Bu kriter ekonomiklik sunmaktadır. Sınırlı kaynakların etkin kullanımını sağlamak için kritik bir faktördür.

5.1.4.4. Problemin Karar Hiyerarşisi

Trafik kontrol aracı dron seçim probleminde karar hiyerarşisi hedef, kriter ve 12 alternatiften oluşan üç seviyelidir. Hedef, en iyi dronun seçimi; kriterler, C1, C2, C3, C4, C5, C6 ve C7 olmak üzere 7 adettir. Problem alternatifleri son teknoloji ürünü 12 alternatif dron aracıdır. Şekil 5.10’da problemin karar hiyerarşisi gösterilmektedir.



Şekil 5.10. Dron seçim probleminin karar hiyerarşisi

5.1.4.5. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde AHP yönteminden yararlanılmıştır. Değerlendirme sürecinde akademisyen uzmanların görüşlerine başvurulmuştur. Çizelge 5.22’de uzman görüşleri neticesinde uzlaşılan ikili karşılaştırma matrisi gösterilmektedir. Aynı çizelgede yapılan karşılaştırmaların tutarlığı ve kriterlerin önem seviyeleri de gösterilmektedir.

İkili karşılaştırmalar neticesinde, dron seçimi probleminde en önemli kriter 0,2616 ağırlık seviyesi ile uçuş süresi (C3) olarak bulunmuştur. Devamında sırası ile önem ağırlıkları; 0,2273 ile kamera (C1), 0,1476 ile uçuş mesafesi (C4), 0,1242 ile uçuş hızı (C5), 0,1067 ile fiyat (C7), 0,0766 ile şarj süresi (C2) ve 0,0558 ile ağırlık (C6)’dır.

Çizelge 5.22. AHP ile bulunan kriter ağırlıkları

Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1,000	3,000	1,000	3,000	1,000	3,000	3,000
C2	0,333	1,000	0,333	0,333	1,000	1,000	1,000
C3	1,000	3,000	1,000	3,000	3,000	3,000	3,000
C4	0,333	3,000	0,333	1,000	1,000	3,000	3,000
C5	1,000	1,000	0,333	1,000	1,000	3,000	1,000
C6	0,333	1,000	0,333	0,333	0,333	1,000	0,200
C7	0,333	1,000	0,333	0,333	1,000	5,000	1,000

<i>Lamda</i> =	7,5966
<i>CI</i> =	0,09943
<i>RI</i> =	1,32
<i>CR</i> =	0,07532
$\sqrt{\quad}$	(<0.10)

C7	0,1067
C6	0,0558
C5	0,1242
C4	0,1476
C3	0,2616
C2	0,0766
C1	0,2273

5.1.4.6. En İyi Dronun TOPSIS ile Seçimi

TOPSIS yöntemine göre sıralama Çizelge 5.23'te gösterilmektedir. Sıralama neticesinde en iyi alternatif D_9 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.23. Ağırlıklı TOPSIS sıralaması

Alternatifler	A ⁺	A ⁻	CC _i	Sıralama
D_1	0,0950	0,1215	0,561	6
D_2	0,0721	0,1102	0,604	2
D_3	0,1102	0,0954	0,464	11
D_4	0,1071	0,0879	0,451	12
D_5	0,1185	0,1354	0,533	9
D_6	0,0816	0,1213	0,598	3
D_7	0,1013	0,1294	0,561	7
D_8	0,1059	0,1324	0,556	8
D_9	0,0454	0,0955	0,678	1
D_10	0,1054	0,1401	0,571	5
D_11	0,0916	0,1222	0,572	4
D_12	0,1128	0,1285	0,533	10

5.1.4.7. En İyi Dronun MOORA ile Seçimi

MOORA yöntemine göre sıralama Çizelge 5.24'te gösterilmektedir. Sıralama neticesinde en iyi alternatif D_9 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.24. Ağırlıklı MOORA sıralaması

Normz.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	yi	Sıralama
	max	min	max	max	max	min	min		
D_1	0,0525	0,0178	0,0680	0,0307	0,0342	0,0118	0,0131	0,1427	7
D_2	0,0875	0,0123	0,0888	0,0425	0,0400	0,0129	0,0229	0,2108	2
D_3	0,0700	0,0167	0,0444	0,0307	0,0355	0,0324	0,0490	0,0825	12
D_4	0,0875	0,0167	0,0799	0,0425	0,0515	0,0370	0,0800	0,1277	9
D_5	0,0525	0,0223	0,0473	0,0119	0,0275	0,0028	0,0090	0,1052	11
D_6	0,0525	0,0111	0,0799	0,0425	0,0355	0,0068	0,0114	0,1811	4
D_7	0,0525	0,0102	0,0621	0,0237	0,0373	0,0040	0,0131	0,1484	6
D_8	0,0525	0,0501	0,0888	0,0247	0,0258	0,0023	0,0065	0,1328	8
D_9	0,0525	0,0167	0,0917	0,1108	0,0397	0,0084	0,0235	0,2462	1
D_10	0,0612	0,0204	0,0888	0,0119	0,0355	0,0049	0,0098	0,1623	5
D_11	0,0919	0,0223	0,0740	0,0247	0,0293	0,0030	0,0114	0,1832	3
D_12	0,0525	0,0204	0,0740	0,0119	0,0311	0,0148	0,0261	0,1081	10

5.1.4.8. En İyi Dronun VIKOR ile Seçimi

VIKOR yöntemine göre sıralama Çizelge 5.25'te gösterilmektedir. Sıralama neticesinde en iyi alternatif D_2 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.25. Ağırlıklı VIKOR sıralaması

Alternatifler	S_j	R_j	Q_j	Sıralama
D_1	0,6007	0,2273	0,7362	7
D_2	0,2438	0,1019	0,0000	1
D_3	0,7071	0,2616	0,9458	11
D_4	0,3675	0,1067	0,1342	2
D_5	0,7634	0,2453	0,9488	12
D_6	0,4878	0,2273	0,6275	6
D_7	0,6015	0,2273	0,7369	10
D_8	0,5730	0,2273	0,7095	9
D_9	0,3312	0,2273	0,4768	5
D_10	0,4464	0,1768	0,4295	4
D_11	0,3650	0,1285	0,1998	3
D_12	0,6398	0,2273	0,7737	8

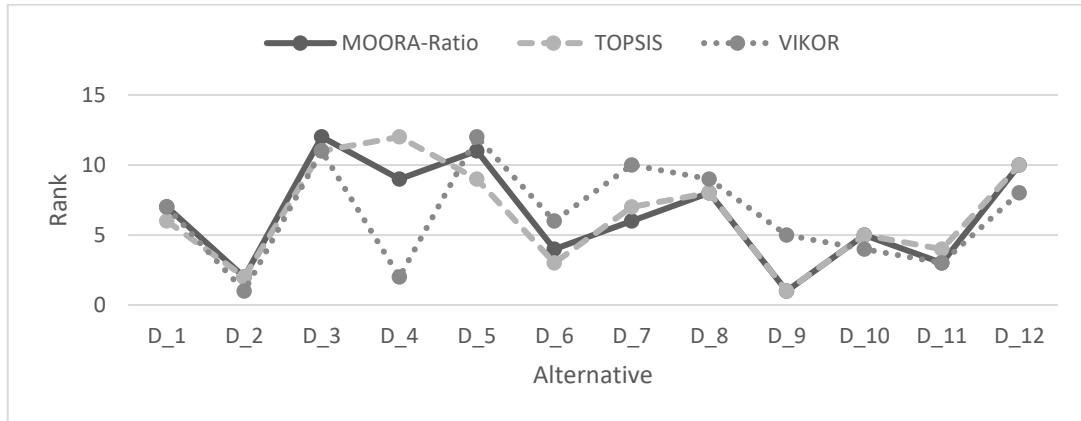
5.1.4.9. Duyarlılık Analizi ve Sonuçların Doğrulanması

Bu bölümde ÇKKV yöntemleri birbirleriyle karşılaştırılmış ve sonuçların sıralanmasına göre analiz edilmiştir. Şekil 5.11’de de grafiksel olarak sıralamalar gösterilmektedir. D_9, MOORA ve TOPSIS yöntemlerinde ilk sıradadır. Ancak VIKOR yönteminde beşinci sıradadır. D_2, VIKOR yöntemindeki ilk sıralamadır. Dron D_2 ayrıca diğer iki MCDM yönteminde ikinci sıradadır. En kötü alternatif MOORA’daki D_3; TOPSIS’te D_4 ve VIKOR yönteminde D_5’tir. Sonuçların istatistiksel anlamlılıklarını test etmek için Spearman’ın sıralama korelasyon katsayısı (r_s) ile analiz edilmiştir. İşlem için formüller Çizelge 5.26’da gösterilmektedir. Çizelge 5.27 üç ÇKKV yöntemini kullanılarak yapılan, tüm alternatif dronlarının sıralamasını göstermektedir.

Çizelge 5.26. İstatistiksel benzerlik testi

Açıklama	Formül
Spearman'ın sıralama korelasyon katsayısı (di: Dron j'nin sıralama farklılığının sembolü)	$r_s = \left[\frac{6 * \sum_{j=1}^K (d_k)^2}{K * (K^2 - 1)^2} \right] \quad (5.8)$
İstatistiksel önem değeri (K: dron sayısı)	$Z = r_s * \sqrt{(K - 1)} \quad (5.9)$

Üç ÇKKV sıralama yöntemi uygulamasının derecelendirme puanları daha sonra Spearman sıra korelasyon testi ile yöntem sonuçları kullanılarak elde edilen sıralamalar ile karşılaştırılır ve Çizelge 5.27'de gösterilmektedir. Çalışmamızda $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde kritik Z değeri olarak 1.645 seçilmiştir. MOORA ve TOPSIS yöntemleri için Z değeri (3.1079) 1.645'ten yüksek olduğu için, birbirleri arasında istatistiksel olarak benzer olduğu söylenebilir. Aynı zamanda MOORA ve VIKOR sıralamalarında Z değeri (2,2265) 1,645'ten yüksektir. Yani birbirleri arasında istatistiksel olarak benzerdir. Ancak Z değeri 1.645'ten düşük olduğu için TOPSIS ve VIKOR sonuç sıralamaları arasında istatistiksel olarak benzerlik yoktur.



Şekil 5.11. Sonuçların karşılaştırılması grafiksel gösterim

Çizelge 5.27. Sonuçların doğrulanması ve Spearman sıra korelasyon katsayısı

Alternatifler	MOORA (A)		TOPSIS (B)		VIKOR (C)		Sıralama Farklılığı(d)		
	yi	Sıra	Ci	Sıra	Qi	Sıra	A-B	A-C	B-C
D_1	0,1427	7	0,561	6	0,7362	7	1	0	-1
D_2	0,2108	2	0,604	2	0,0000	1	0	1	1
D_3	0,0825	12	0,464	11	0,9458	11	1	1	0
D_4	0,1277	9	0,451	12	0,1342	2	-3	7	10
D_5	0,1052	11	0,533	9	0,9488	12	2	-1	-3
D_6	0,1811	4	0,598	3	0,6275	6	1	-2	-3
D_7	0,1484	6	0,561	7	0,7369	10	-1	-4	-3
D_8	0,1328	8	0,556	8	0,7095	9	0	-1	-1
D_9	0,2462	1	0,678	1	0,4768	5	0	-4	-4
D_10	0,1623	5	0,571	5	0,4295	4	0	1	1
D_11	0,1832	3	0,572	4	0,1998	3	-1	0	1
D_12	0,1081	10	0,533	10	0,7737	8	0	2	2
			rs				0,9371	0,6713	0,4685
			Z				3,1079	2,2265	1,5539

Duyarlılık analizi edilenler için AHP olmadan ağırlıksız MOORA-TOPSIS ve VIKOR yöntemleri kullandık ve daha sonra istatistiksel olarak benzerlik testi yapılmıştır. Metotların sıralama puanları ve ağırlıksız metot sonuçlarının sıralama korelasyonu testi Çizelge 5.28’de gösterilmektedir. Ancak sıralama puanlarında bir miktar fark görülmüştür. Ayrıca, her üç yöntem sıralaması istatistiksel olarak benzerdir.

Çizelge 5.28. Ağırlıksız sıralama ile sonuçların doğrulanması

Alternatifler	MOORA(A)	TOPSIS(B)	VIKOR(C)	A-B	A-C	B-C
D_1	7	6	8	1	-1	-2
D_2	3	3	1	0	2	2
D_3	12	11	12	1	0	-1
D_4	11	12	7	-1	4	5
D_5	8	8	11	0	-3	-3
D_6	2	2	4	0	-2	-2
D_7	5	4	6	1	-1	-2
D_8	9	9	9	0	0	0
D_9	1	1	3	0	-2	-2
D_10	6	7	5	-1	1	2
D_11	4	5	2	-1	2	3
D_12	10	10	10	0	0	0
	rs			0,9790	0,8462	0,7622
	Z			3,2470	2,8064	2,5281

5.1.4.10. Sonuç ve Değerlendirme

Bu uygulamanın amacı, mevcut dron pazarında bulunan çeşitli alternatifler arasında en iyi dron'unun seçilmesidir. Dronların birçok farklı özelliği vardır ve dron pazarında çeşitli dron modelleri ve firmaları vardır. Ancak bu çalışmada sadece on iki dron, uzman görüşlerine göre alternatif olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan dronlar küçük tiptir ve kısa uçuş süresine sahiptir. Bu dronlar, kısa bir eğitim ile hemen hemen her trafik kontrol personeli tarafından kullanılabilir. Yani, bu insansız hava araçları trafik izleme ve kontrolünde küçük bir görev ve uygulama için kullanılmaktadır. Dolayısıyla, büyükşehirde kullanım gibi en büyük görevler için endüstriyel insansız hava araçları bulunmaktadır. Endüstriyel dronlar daha profesyoneldir ve uzmanlığa ihtiyaç duyar. Dolayısıyla çalışma kullanılan alternatifler ile sınırlandırılmıştır.

Trafik izleme ve kontrol, özellikle ekonomik kalkınmada, sürdürülebilir ulaşırmaya uyum için önemli bir konudur. Bu çalışma, sürdürülebilir trafik izleme araçları, dronlar arasından seçim yapmak için hibrit bir ÇKKV modeli sunuyor. Model iki ana adım içerir: AHP tarafından türetilen öncelikli ağırlığı bulmak, üç ÇKKV yöntemini kullanarak (MOORA, TOPSIS ve VIKOR) dron alternatiflerini sıralama. Çalışmanın literatüre ana katkısı, AHP tabanlı sıralama yöntemlerini trafik kontrol aracı seçimine entegre etmek için bir karar verme süreci sağlayarak ulaşım planlamacılarına ve politika belirleyicilere fayda sağlayarak karar süreçlerinde yardımcı olmaktır.

5.2. Proje Seçimi Uygulamaları

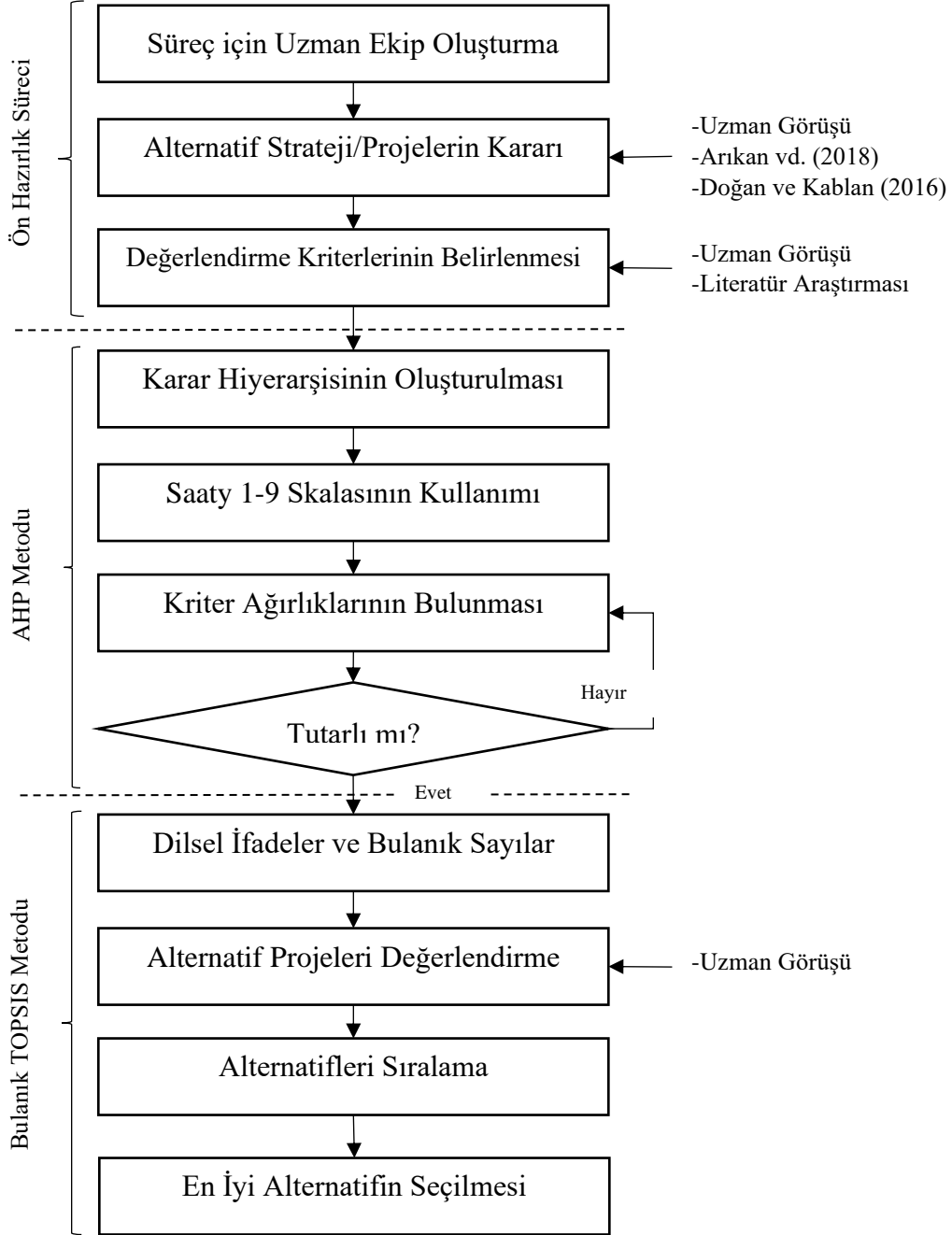
Bu bölümde proje seçimi hakkında 7 gerçek hayat problemi ele alınmıştır. Sürdürülebilirlik kriterlerinin kullanıldığı çalışmalarda HP, kısıt programlama ve ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Özellikle kaynak kullanımı ve hedef kısıtlarının alındığı çalışmalarda kamu kurumlarında etkili kaynak kullanımı sağlanmaya çalışılmıştır.

5.2.1. Sürdürülebilirlik Temelinde Stratejik Planlama

Stratejik planlama ve stratejik kararlar, daha uzun vadede ve daha yüksek bütçe gerektiren karar noktalarında kritik öneme sahiptir. Bu kısımda gelişmekte olan bir şehir için alternatif toplu ulaşım projeleri değerlendirilmiştir.

Uygulama 3 ana süreçten oluşmaktadır. Bu süreçler sırası ile; (1) ön hazırlık, (2) değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılması ve (3) bulanık TOPSIS ile nihai tercih sıralamasının yapılmasıdır. Ön hazırlık aşamasında karar verme grubu oluşturulmuş ve problem ortaya konularak, literatür ve uzman görüşleri doğrultusunda Kırıkkale ili için değerlendirme kriterleri saptanmıştır. Proje alternatifleri uzman grup ve Arıkan vd. (2018)- Doğan ve Kablan (2016) tarafından yapılan akademik çalışmalarda yer alan

önerileri ile belirlenmiştir. Şekil 5.12’de uygulamanın araştırma metodolojisi gösterilmektedir.



Şekil 5.12. Araştırma metodolojisi

İkinci aşamada sürdürülebilirlik bağlamında belirlenen değerlendirme kriterleri ağırlıklandırılmıştır. Yani birbirlerine göre önem seviyeleri belirlenmiştir. Ağırlıklandırma işlemi AHP yöntemi ile yapılmıştır. Üçüncü aşama olan son aşamada uzman görüşlerine göre dilsel ifadeler kullanılarak bulanık TOPSIS ile sıralama yapılmış, en iyi alternatif belirlenmiştir.

5.2.1.1. Problem Tanımı

Hızlı nüfus artışı, yoksulluk, gelir eşitsizlikleri, aşırı kalabalık kentsel çekirdekler, kötü tasarlanmış yol ağları, konut ve iş alanları arasındaki mekânsal uyumsuzluklar, kötüleşen çevre koşulları ve tıkanıklığın yol açtığı aşırı travmadan kaynaklanan ekonomik kayıplar gelişmekte olan şehirlerin karşılaştığı en can sıkıcı zorluklar arasındadır. Tüm bu sorunlar ulaşım ve kentsel gelişimin koordinasyonu ile iyileştirilmesiyle değerlendirilebilir. Dolayısıyla, birçok şehir ulaşım alanında, seyahat talebindeki hızlı büyümenin karşılanamamasından kaynaklanan sorunlar yaşamaktadır. Gelişmekte olan birçok şehir, hızlı tren ve metrobüs yatırımları gibi kentsel toplu taşıma araçlarına ihtiyaç duymaktadır. Yöneticiler, kentsel ulaşımın geliştirilmesinde birçok proje ortaya koymakta ve ulaşım ağlarını çeşitli uygulamalarla yeniden yapılandırma yoluna gitmektedir. Küçük ve orta ölçekli şehirler için gelecekteki kentsel büyümenin büyük bir kısmının öngörüldüğü düşünüldüğünde, ulaşım yatırımları için stratejik karar verme önemli bir adım olacaktır. Bu nedenle, gelişmekte olan şehirlerde çok geç olmadan ulaşım planlamasının önemi üzerinde durulmalı ve proaktif yaklaşımlar ile kentsel sorunların önüne geçilmesi sağlanmalıdır.

Şehirlerin ulaşım politikalarından biri olan toplu ulaşım da gelişmekte olan bir şehrin temel hedeflerinden biridir. Bu konu sadece yöneticileri değil, aynı zamanda ekonomik, çevresel ve sosyal faktörleri ile şehir sakinlerini ve çevreyi de içermekte ve etkilemektedir. Bu uygulamada, gelişmekte olan bir kentin karakteristikleri göz önünde bulundurularak, Kırıkkale için alternatif toplu ulaşım projelerinin seçimi için çok kriterli bir karar verme süreci sunulmaktadır.

Kırıkkale, 43 ilin kesiştiği noktada, Ankara'ya 80 km ve yaklaşık 1,15 saat uzaklıkta yer almaktadır. Artan nüfus ve ekonomi açısından en hızlı gelişen şehirlerden biri olan Kırıkkale, ulaşım talebinin artmasıyla karşı karşıyadır. Bu durum bölgedeki kontrolsüz nüfus artışıyla sonuçlanmakta ve trafik temelli konular da dahil olmak üzere ciddi kentleşme sorunları ortaya çıkarmıştır. Kentsel alanlarda trafik kaynaklı sorunlar sadece büyük şehirler için değil, Kırıkkale gibi küçük ve orta büyüklükteki şehirler için de önemli bir sorun haline gelmiştir. Bütün bu faktörlerin bir araya gelmesi bölgede ciddi bir ulaşım sorunu oluşturmaktadır. Gelir dağılımının yüksek olduğu şehirde mevcut toplu ulaşım sistemindeki yetersizlikler nedeniyle de özel araçların kullanım oranı artmaktadır. Dolayısıyla, mevcut ulaşım ağı yeterli bir ulaşım altyapısı sunmamaktadır.

Tüm bu nedenlerle yakın gelecekte, hızla artan ulaşım talebini karşılamak ve kentsel alandaki özel araç sayısını azaltmak için kentsel ulaşımaya yatırım yapılması planlanmaktadır. Bu amaçla Kırıkkale Belediyesi, bir dizi seçenek arasından hangi ulaşım türlerinin benimseneceğine ilişkin bir ÇKKV problemiyle karşı karşıyadır. Dolayısıyla, ulaşım talebini karşılamak ve şehrin ihtiyaçlarını karşılamak için bir yatırım tercihi yapmalıdırlar. Kırıkkale ölçeğinde olası seçenekler arasında üç güçlü seçenek belirlenmiştir; elektrikli belediye halk otobüsleri, mevcut araç ve ulaşım ağının modernizasyonu ve hafif raylı sistem tasarımı. Uygulamanın amacı, Kırıkkale ilinde daha fazla kentsel yaşanabilirlik için sürdürülebilirliğe dayalı en uygun projeyi seçmektir (Hamurcu ve Eren, 2020c).

Bu sorunu çözmek için, uygulamada AHP ve bulanık TOPSIS aracılığıyla önerilen yaklaşım, ulaşım ve şehir planlamacılarına yardımcı olmak amacıyla Kırıkkale için değerlendirme kriterleri açısından bir dizi önerilen alternatifini analiz ve seçim için kullanılmıştır.

5.2.1.2. Alternatiflerin Belirlenmesi ve Tanımları

Kırıkkale ili için önerilen 3 proje aşağıda açıklanmıştır;

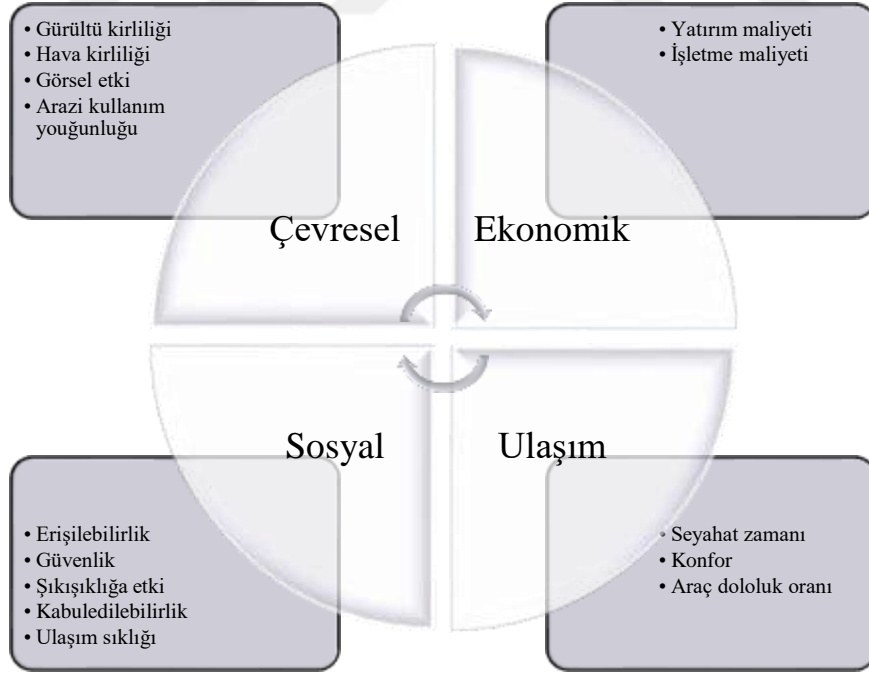
Proje 1- Hafif raylı sistem tasarımı (A1); Kentin coğrafi konumu, yüksek öğrenci sayısı ve Kırıkkale-Ankara ve Kırıkkale-Kayseri yolu yoğunluğu, kentteki trafik sorunlarını artırmıştır. Tüm bunlarla birlikte, kısa bir süre içinde tamamlanması beklenen Ankara-Sivas hızlı treninin ildeki trafik sorunlarını artırması beklenmektedir. Bunları göz önünde bulundurarak hem şehir merkezindeki trafiği kolaylaştırmak hem de Osmangazi-Üniversite arası raylı sistem hattı oluşturarak, çevre sorunlarının arttığı bir ortamda çevreye katkı sağlamak için kentsel ulaşım araçlarına alternatif hafif raylı sistem önerilmektedir.

Proje 2- Elektrikli belediye halk otobüsü (A2); Günümüzde hızlı nüfus artışı, hızlı kentleşme oranı ve emisyon gibi sorunlar da ulaşım sektöründeki sorunları artırmıştır. Elektrikli araçları önermek hem çevresel sürdürülebilirliği hem de şehir sakinlerini memnun etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca teknik kapasiteye göre daha konforlu ve çevre dostu elektrikli araçlarla hizmet kalitesi belediye tarafından sağlanmalıdır.

Proje 3- Mevcut araç ve ulaşım ağının modernizasyonu (A3); Kırıkkale, hızlı kentleşme yaşayan bir şehirdir. Yerleşim bölgelerinin genişletilmesi ile yeni toplu ulaşım hatları gerekmektedir. Ayrıca, mevcut toplu taşıma hatları bazen birbiriyle çakışmaktadır. Bu durum ayrıca boşta kalma süresi ve gereksiz yakıt kullanımı ile çevreye verilen zararı da arttırmaktadır. Bu nedenle, mevcut Kırıkkale ulaşım ağının modernizasyonu sağlanmalıdır. Süreci iyileştirmek için ağ optimizasyonu, rota seçimi, talep tahmini ve rotalar için çok amaçlı optimizasyon gibi faaliyetler uygulanabilir.

5.2.1.3. Değerlendirme kriterlerinin Belirlenmesi

Değerlendirme kriterleri sürdürülebilirlik temelinde ekonomik, çevresel, sosyal ve ulaşım başlıkları altında yapılandırılmıştır. Kriterlerin belirlenmesinde Ignaccolo vd. (2019); Wey ve Huang (2018); Lee (2018); Piantanakulchai ve Saengkhaio (2003); Nosal ve Solecka (2014); Awasthi vd. (2018); Yang vd. (2016); Cyril vd. (2019); Nassereddine ve Eskandari (2017); Hamurcu vd. (2017); Hamurcu ve Eren (2017a); Hamurcu ve Eren (2019a) çalışmalarından yararlanılmıştır. Ekonomik ana kriteri altında yatırım ve işletme maliyetleri; çevresel ana kriteri altında, ses kirliliği, hava kirliliği, görsel etki, arazi kullanım yoğunluğu; sosyal ana kriteri altında erişilebilirlik, güvenlik, sıkışıklığa etki, kabul edilebilirlik, ulaşım sıklığı ve ulaşım ana kriteri altında da seyahat zamanı, konfor ve araç doluluk oranı yer almaktadır. Şekil 5.13'te proje seçiminde kullanılan değerlendirme kriterleri gösterilmektedir.



Şekil 5.13. Proje seçimi değerlendirme kriterleri

Çevre ana kriteri, gürültü kirliliği, görsel etki, hava kirliliği ve arazi kullanım yoğunluğu olarak dört alt kritere ayrılan kriterdir. Gürültü kirliliği (C1) gürültünün etkisinin bir ölçüsünü yansıtır. Gürültü seviyesi farklı alternatif taşıma türlerinde değişir. Görsel etki (C2) şehir yapısına uyumu açıklar. Hava kirliliği (C3) zararlı gazların çevreye etkisini tanımlar. Daha temiz teknolojiler, çevre tercihinin sebebidir. Arazi kullanım yoğunluğu (C4) alternatif ulaşım türleri için arazi kullanımının bir ölçüsünü yansıtır.

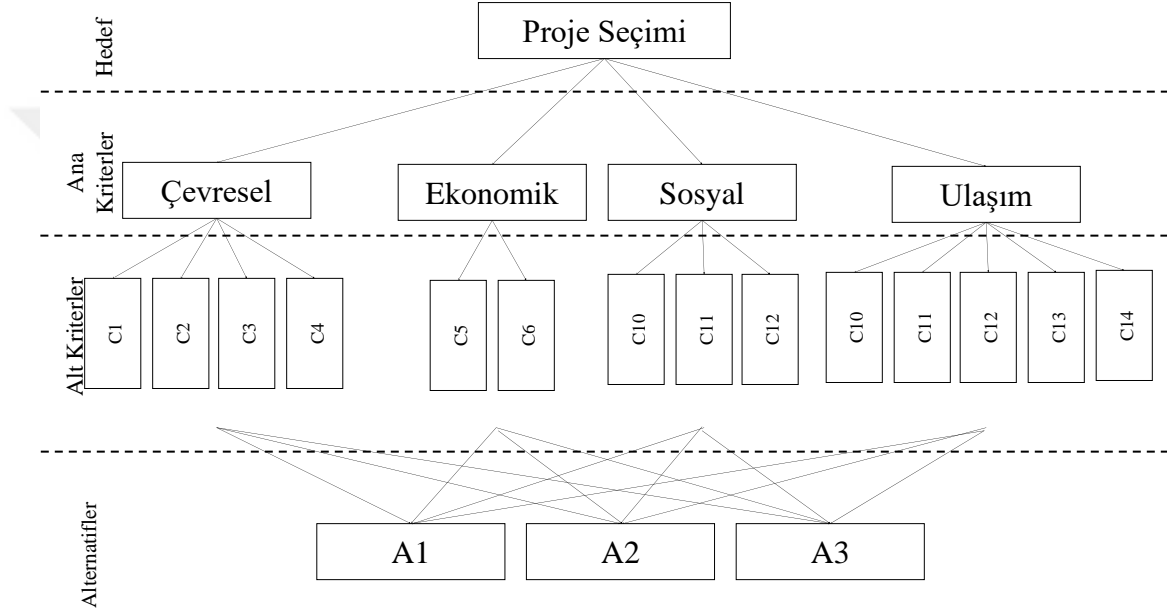
Ekonomi, birçok araştırmacı tarafından incelenen temel kriterdir. Bu kriter sürdürülebilirlik değerlendirmesi için önemlidir ve zorunlu kriterler olarak düşünülebilir. Ekonomik kriter yatırım ve işletme maliyetleri ile ilgilidir. Yatırım maliyeti (C5), ilk inşaat maliyetini ve yatırım için en önemli kriterlerden birini tanımlar. İşletme maliyetleri (C6) işletme sürecinde finansman ihtiyaçlarını temsil eder. Bir sistemin gerekli kaynaklarla sürdürülebilirliği sağlaması çok önemlidir.

Temel sosyal kriter kabul edilebilirlik, güvenlik ve trafik sıkışıklığı gibi sosyal etkileri dikkate almıştır. Kabul edilebilirlik (C7), kentsel alanlardaki bir yatırımın değerlendirilmesi için en önemli kriterlerden biridir. Ulaşım gibi projeler yüzünden toplumla doğrudan ilgileniyoruz. Güvenlik (C8) yol sistemi ve taşıma sistemi tipiyle ilgilidir. Tıkanıklık üzerindeki etki (C9) kentsel alanda araba kullanımının azaltılması anlamına gelir.

Diğer bir kritik seçim ana kriteri ulaşım türüdür. Erişilebilirlik (C10) yürüme mesafesi ve önemli noktalara yakınlık açısından yorumlanmıştır. Ulaşım sıklığı (C11) gün içindeki seyahatlerin sayısıdır. Seyahat süresi (C12), hem planlamacılar hem de yolcular için önemli bir kriter olan ulaşım sistemlerinin hızı ile ilgilidir. Konfor (C13), yolcuların talebini yansıtan kriter olan yeni, rahat ve konforlu araçlar anlamına gelir. Araç doluluk oranı (C14), daha büyük kapasitelerde taşımayı tercih etme anlamına gelir. Planlamacılar, tur başına birim maliyeti düşürmeyi ve geliri en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedirler.

5.2.1.4. Problemin Karar Hiyerarşisi

Problem üç seviyeli bir karar hiyerarşisine sahiptir. En üst seviyede problemin hedefi olan proje seçimi; diğer bir seviyede kriter ve alt kriterler ve son seviyede 3 alternatiften oluşan alternatifler yer almaktadır. Problemin karar hiyerarşisi Şekil 5.14'te gösterilmektedir.



Şekil 5.14. Proje seçim problemi karar hiyerarşisi

5.2.1.5. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Sürdürülebilirlik temelinde köprü yeri seçimi için yapılan kriter ağırlıklarının ikili karşılaştırmaları sonucunda ortaya çıkan kriterin yerel ve global ağırlıkları Çizelge 5.29'te verilmiştir. Çizelge 5.29'da görüldüğü gibi en önemli kriterler sırası ile C1, C3, C5 ve C8 olarak sıralanmaktadır.

Çizelge 5.29. Değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları

Kriterler	Ağırlık	CI-RI	Alt-kriterler	Yerel ağırlık	CR	Global ağırlık
Çevresel	0,51935	$\lambda_{\max} = 4,0435$ CI = 0,0145 RI = 0,016	C1	0,3648	0,0586	0,1894
			C2	0,1716		0,0891
			C3	0,3648		0,1894
			C4	0,0989		0,0513
Ekonomik	0,20089		C5	0,6000	-	0,1205
			C6	0,4000	0,0804	
			C7	0,2605	0,0523	
Sosyal	0,20089		C8	0,6333	0,0334	0,1272
			C9	0,1062	0,0213	
			C10	0,2843	0,0224	
Ulaşım	0,07887		C11	0,2405	0,0941	0,0190
			C12	0,2137		0,0169
			C13	0,1902		0,0150
			C14	0,0712		0,0056

İlk adım, ulaşım projelerinin sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi için kriterlerin seçilmesini içermektedir. Değerlendirme süreci, ekonomik, sosyal, çevresel ve ulaşım ile bu ana kriterle bağlı 14 alt kriter olarak yapılandırılmıştır. Bu kriterleri oluşturmak için kullanılan çalışmalar literatür taraması ve ulaşım alanındaki uzmanlarla beş akademisyen aracılığıyla (1 Prof Dr, 2 Dr. Öğr. Üyesi ve 2 araştırma görevlisi ve belediyeden 2 ulaşım uzmanı) yapılan mülakatlardan yararlanılmıştır.

Nihai hiyerarşi, dört ana kriter altında 14 alt kriter içermektedir. Çizelge 5.29'da C1- C3, C4- C5- C6 ve C12 ölçütleri maliyet ölçütleridir. Maliyet kriterlerinde hedef, en küçüklemektir. Diğer kriterler ise fayda kriterleridir. Fayda kriterleri için hedef, en yüksek değerdir.

5.2.1.6. Bulanık TOPSIS ile Sonuç Sıralamasının Bulunması

Kırıkkale’de ulaşım projelerinin sürdürülebilirlik temelinde seçimi için sosyal-ekonomik-çevresel ve ulaşım kriterlerine ilişkin nicel verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu uygulamalar henüz düşünce aşamasında olması ve uzun dönemli bir plan olması nedeniyle niceliksel verilere ulaşmak değerlendirme sürecini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, bu nedenlerden dolayı, bu uygulamada bulanık küme teorisinden yararlanılmıştır.

Bu durumun üstesinden gelmek amacıyla alternatifleri ve kriterleri değerlendirmek için “mükemmel, çok yüksek, yüksek, orta, düşük, çok düşük” gibi dilsel ifadeler ile konu uzmanlarından oluşan bir karar alma grubu oluşturulmuştur. Daha sonra, yapılan dilsel değerlendirmeler çeşitli matematiksel işlemler neticesinde net değerlere dönüştürülür. Ara işlemler neticesinde, bulanık TOPSIS ile bulunan sonuç sıralaması Çizelge 5.30’da gösterilmektedir.

Çizelge 5.30. Bulanık TOPSIS ile sıralama sonucu

Alternatifler	d^+	d^-	CC_j	Sıralama
A1	6,5012	6,190883	0,4878	2
A2	6,4534	6,226403	0,4910	1
A3	6,6525	6,037536	0,4758	3

Uygulama ağırlıksız değerler ile de çözümlenerek karşılaştırma yapılmıştır.

5.2.1.7. Sonuçların Doğrulanması

Uygulama çalışmasının her bir metodunun sıralama sonuçları Çizelge 5.31’de sunulmaktadır. Sadece TOPSIS kullanılarak ve AHP ile TOPIS uygulamalarına göre en

iyi alternatifin en yüksek memnuniyet derecesine sahip A2 (elektrikli otobüs) olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.31. Sonuçların doğrulanması

Alternatifler	Ağırlıklı CC_j değerleri	Sıralama	Ağırlıksız CC_j değerleri	Ağırlıksız sıralama
A1	0,4878	2	0,5585	2
A2	0,4910	1	0,5909	1
A3	0,4758	3	0,4250	3

Çizelge 5.31'deki alternatiflerin CC_i değerlerini karşılaştırırken, her iki süreç için $A2 > A1 > A3$ olduğu görülmektedir. Bu durumda, A2 (Elektrikli otobüsler), Kırıkkale şehri için en iyi seçim olarak önerilmektedir.

Değerlendirmede, çevresel etki ana kriteri altındaki gürültü (C1) ve hava kirliliği (C3); ekonomik ana kriter altında yatırım maliyeti (C5); sosyal ana kriteri altında güvenlik (C8); ulaşım ana kriteri altında erişilebilirlik (C10) seçim sürecini etkileyen en önemli faktörler olmuşlardır. Dolayısıyla, gelişmekte olan şehirlerde daha düşük maliyetli ve sürdürülebilir yatırımlara ihtiyaç vardır. Alternatif yakıtlı elektrik otobüsleri, günümüzdeki içten yanmalı motorlu araç alternatiflerine kıyasla daha temiz teknolojilerdir. Ancak kentsel ulaşım için raylı sistemlere göre kapasiteleri yüksek değildir. Ancak bu temiz teknolojiler, gelişmekte olan şehirler ve daha küçük şehirler için ulaşım ağında erişilebilirlik ve esneklik avantajları ile daha maliyetli olan raylı sisteme göre tercih sebebi olmuştur. Ayrıca, problem alternatiflerinden biri olan mevcut araç ve ulaşım ağı için modernizasyon (A3), yakıt türüne dayalı çevresel duyarlılık nedeniyle alternatifler arasında sürdürülebilir bir çözüm olarak uygun görülmemiştir. AHP kullanımı bulanık TOPSIS sonuçlarına bir etkisi olmadığı sonuçlardan görülmektedir. Ancak, bulanık TOPSIS yönteminin sonuçları

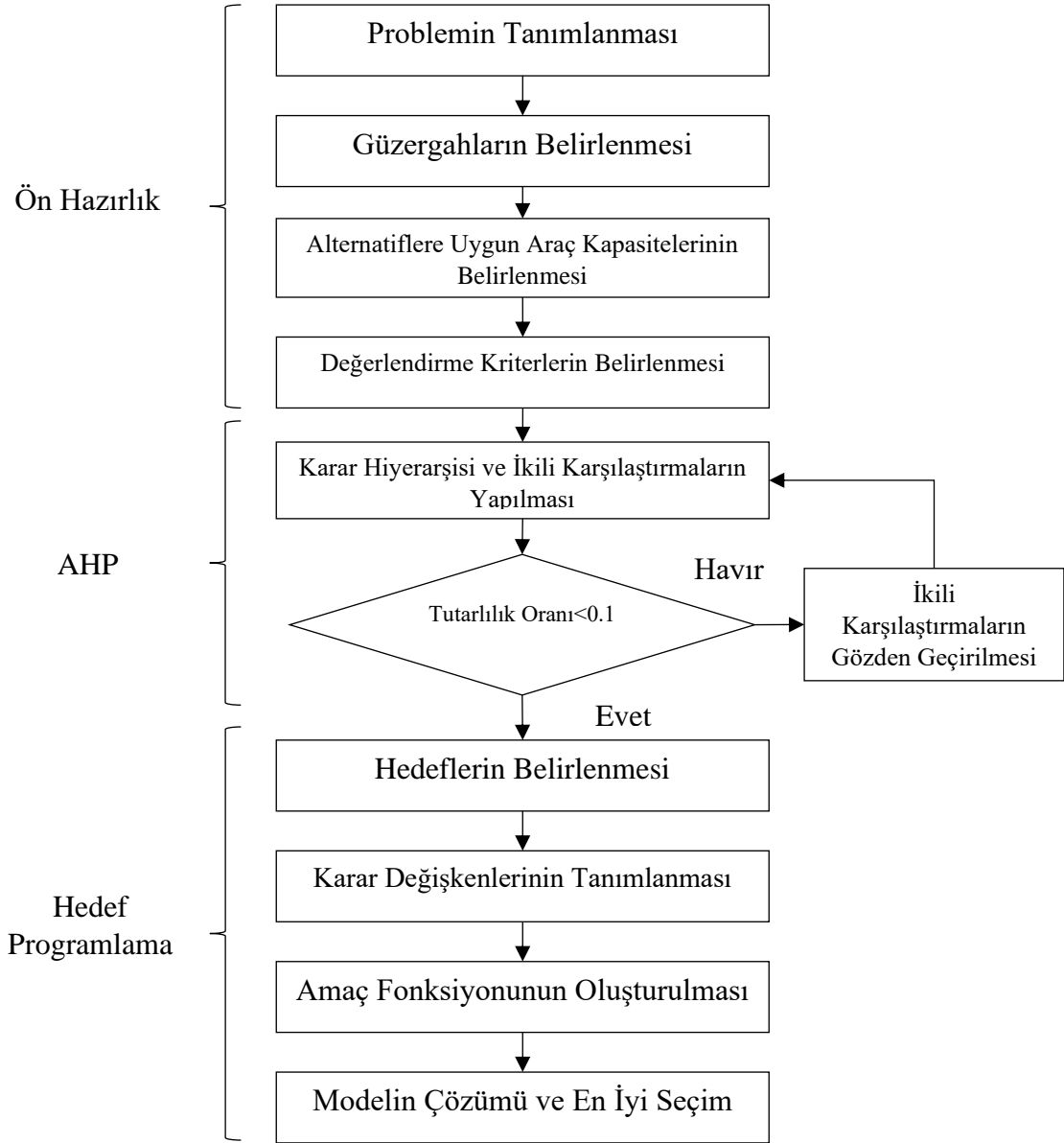
AHP kullanılarak bulunan kriter ağırlıklarının önemi ile paralellik göstermektedir ve bulunan sonucu desteklenmektedir.

5.2.2. Monoray Projelerinin Seçimi

Toplu ulaşımda kullanılan ve son zamanlarda öneminin gittikçe arttığı görülen monoray, şehir içi raylı sistem ulaşım çeşitlerinden birisidir. Monorayın diğer alternatiflere göre maliyetinin az olması ve yapım aşamasının kısa sürmesi nedeniyle kentsel ulaşım sistemlerinden özellikle raylı sistemlerden olan metro ve tramvay hatlarından daha avantajlı bir konuma sahiptir.

5.2.2.1. Problemin Tanımı

Ankara ilinde belirlenen şehir içi ulaşım güzergâhlarında AHP ve 0-1 HP yöntemleri birlikte kullanılmış ve bölgeye en uygun projenin seçilmesine yönelik bir uygulama yapılmıştır. Ankara Büyükşehir Belediyesinin ilgili biriminde görev yapan uzman personel görüşleri doğrultusunda monoray kurulması düşünülen 4 güzergâh ve her güzergâh için 3 farklı proje olmak üzere 12 adet proje (G1K: 1. Güzergâh küçük araç monoray, G1O: 1. Güzergâh orta boy araç monoray, G1B: 1. Güzergâh büyük araç monoray, G2K, G2O, G2B, G3K, G3O, G3B, G4K, G4O, G4B) belirlenmiştir. Şekil 5.15'te uygulama adımları gösterilerek çalışmada izlenen süreç açıkça belirtilmiştir. Çalışma üç bölümden oluşmaktadır: ön hazırlık, AHP ile ağırlıklandırma ve HP süreci (Gür vd., 2017).



Şekil 5.15. Monoray projeleri seçimi akış diyagramı

5.2.2.3. Alternatif Monoray Projeleri

Monoray araçları kendi içinde kapasite bakımından çeşitlenmektedir. Bu çalışmada da monoray araçları olarak alternatif 4 güzergâh ve bu güzergâhlarda küçük-orta-büyük boy

olarak çeşitlenen monoray araçlarının kullanımı ile ortaya çıkabilecek alternatif projeler arasından seçim yapılmıştır. Çizelge 5.32’de alternatif monoray projeleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.32. Güzergâhlara uygun araçların taşıma kapasitesi ve yatırım maliyetleri

Güzergâh	Sembolik Gösterim	Tren Tipi	Taşıma Kapasitesi (saatlik)	Maliyet (*10 ⁶ \$)
Güzergâh 1	G1B	Küçük Boy Tren	1200	155
	G1O	Orta Boy Tren	4350	337
	G1K	Büyük Boy Tren	5300	352
Güzergâh 2	G2K	Küçük Boy Tren	1600	180
	G2O	Orta Boy Tren	2950	120
	G2B	Büyük Boy Tren	5600	385
	G3B	Küçük Boy Tren	2680	220
Güzergâh 3	G3O	Orta Boy Tren	4600	320
	G3K	Büyük Boy Tren	5800	450
	G4K	Küçük Boy Tren	2100	160
Güzergâh 4	G4O	Orta Boy Tren	2540	205
	G5B	Büyük Boy Tren	4200	311

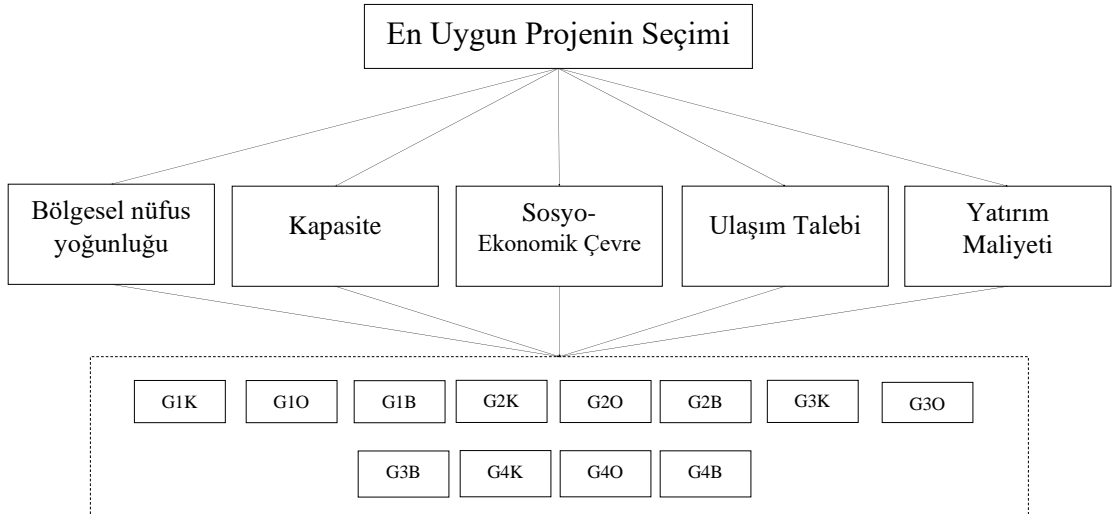
5.2.2.4. Değerlendirme Kriterleri

Bölgesel nüfus yoğunluğu, kapasite, sosyo-ekonomik çevre, ulaşım talebi ve yatırım maliyeti değerlendirme kriteri olarak kullanılmıştır. Bölgesel nüfus yoğunluğu, hattın kurulacak bölgede kapsamına aldığı nüfus alanını ifade etmektedir. Kapasite, boyut olarak değişen araçlar ile toplanabileceği yolcu sayısını ifade eder. Sosyo-ekonomik çevre, hat

güzergahı boyunca yer alan sosyal hayat ve ekonomik canlılığı ifade etmektedir. Ulaşım talebi, kurulacak olan hattın ihtiyaç seviyesini ve ulaşım talebi oluşturacak noktaların mevcudunu ifade eder. Yatırım maliyeti, projelerin inşasından dolayı katlanılacak olan maliyeti ifade etmektedir.

5.2.2.5. Karar Hiyerarşisi

Monoray projelerinin seçimindeki amaç, en uygun olan alternatifin belirlenmesidir. Bu hedef altında beş kriter ve on iki alternatif ile oluşturulan karar hiyerarşisi Şekil 5.16’te gösterilmektedir. Buna göre; bu projelerin seçilmesi durumunda çevreye olan sosyo-ekonomik etkisi (SE), projelerin yatırım maliyeti (YM), taşıma kapasitesi (TK), bölgesel nüfus yoğunluğu (BNY) ve bölgedeki ulaşım talebi (UT) kriterler olarak belirlenmiş ve Şekil 5.16’de hiyerarşik yapısı gösterilmiştir. Bu kriterler altında alternatifler değerlendirilmiş ve ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak tutarlılık analizleri yapılmıştır. Bu kriterler baz alınarak güzergahlara uygun monoray projelerinin seçimi yapılmıştır.



Şekil 5.16. Proje seçimi karar hiyerarşisi

5.2.2.6. Kriter ağırlıkları

Mevcut kurulu yolların genişletilmeye müsait olmaması ve nüfus artışından doğan ulaşım sorununun çözülmesinde önerilen monoray projelerinin seçilmesi için ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Uygulama yapılan Ankara ilinde güzergâhlar belirlenerek ulaşım sorununun yapısını oluşturan, kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkiler kurulmuştur. Alternatif 12 projenin içinden en iyi çözümü getirmesi istenen projelerin seçimi, AHP ve 0-1 HP yöntemleri ile yapılmıştır.

Kriterler arasında etkileşim değerlendirilerek ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve tutarlılıkları hesaplanmıştır. Çizelge 5.33'te kriterlerin karşılaştırma matrisi örnek olarak verilmiş ve tutarlılık oranı 0.1'den küçük olduğu bulunmuştur. Her bir kriter alternatiflerle değerlendirilmiş ve önceliklendirilmesi yapılmıştır.

Çizelge 5.33. Değerlendirme kriterlerinin karşılaştırılması

Kriterler	YM	SE	TK	BNY	UT
YM	1.0	5.0	2.0	3.0	5.0
SE	0.2	1.0	0.25	0.3	3.0
TK	0.5	4.0	1.0	0.5	3.0
BNY	0.33	3.0	2.0	1.0	5.0
UT	0.2	0.3	0.33	0.2	1.0

Bu sonuçlara göre alternatiflerin öncelik değerleri Çizelge 5.34'ta verilmiştir. Çizelgedeki G1-K ifadesi güzergâh 1 için küçük boy treni ifade ederken, G1-O güzergâh 1 için orta boy treni ve G1-B ifadesi ise güzergâh 1 için büyük boy treni ifade etmektedir. Diğer ifadeler benzer şekilde gösterilmektedir.

Çizelge 5.34. Alternatiflerin öncelik değerleri

Alternatifler	Öncelik Vektörleri
G1K	0.095765
G1O	0.078453
G1B	0.080197
G2K	0.099201
G2O	0.082918
G2B	0.100546
G3K	0.073132
G3O	0.067999
G3B	0.082921

Kriterler için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı 0.0694 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 0.1'den küçük olduğu için karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.34'e göre HP'de kullanılacak olan alternatiflerin öncelik değerleri sırasıyla: (G1K, G1O, G1B, G2K, G2O, G2B, G3K, G3O, G3B, G4K, G4O, G4B) = (0.095765, 0.078453, 0.080197, 0.099201, 0.082918, 0.100546, 0.073132, 0.067999, 0.082921, 0.102407, 0.052353, 0.084109).

5.2.2.7. Hedef Programlama Modeli ve En İyi Seçim

Yapılan çalışmada mevcut 4 güzergâh ve farklı taşıma kapasitesine sahip monoray projeleri olmak üzere toplamda 12 proje içinden seçim yapılabilmesi için varsayımlar ve hedefler belirlenmiştir. Belirlenen bu hedefler şu şekildedir:

- (1) Seçilen mevcut projeler için ayrılan bütçe miktarı maksimum 684.000.000 \$'dır,
- (2) Her bir proje için yolcu kapasitesi verileri ayrı ayrı verilmiştir. Güzergahlar için talep miktarları sırası ile; 2650, 3385, 5420 ve 4760 adet/saat'tir. Aynı zamanda bu güzergâh boyunca mevcut talebi karşılayacak projelerin seçimi amaçlanmıştır.

Aday projeler içinden her güzergâha sadece bir adet seçilmesi kısıtı eklenerek model oluşturulur. Karar değişkeni $X_{ij} = i$. Güzergâh için seçilecek olan j . Proje şeklinde iki indisli olarak tanımlanmış ve ilgili parametreler, güzergâhlar ayrı ayrı incelenerek sapmalar göz önünde bulundurulmuştur. Bu veriler ve daha önceden hesaplanmış AHP değerlerine göre 0-1 HP modeli oluşturulmuş, Çizelge 5.35'te matematiksel model gösterilmiştir ve LINDO 6.1 paket programı yardımıyla çözüme yapılmıştır.

Çizelge 5.35. Monoray proje seçimi için hedef programlama

Hedefler	0-1 HP Formülasyonu
	Min Z=
Bütçe için belirlenen hedef	P1 (d_1^+) (5.10)
AHP ağırlıkları ile seçilen projeler	P2 ($0.095765d_2^- + 0.078453d_3^- + 0.080197d_4^+ + 0.099201d_5^- + 0.082918d_6^- + 0.100546 d_7^- + 0.073132d_8^- + 0.067999d_9^- + 0.082921d_{10}^- + 0.102407d_{11}^- + 0.052353d_{12}^- + 0.084109d_{13}^-$) (5.11)
Kapasite için belirlenen hedef	P3($d_{14}^+ + d_{15}^+ + d_{16}^+ + d_{17}^+$) (5.12)
Kısıtlar	
Projeler için ayrılan maksimum bütçe	$155x_{11}+337x_{12}+352x_{13}+180x_{21}+120x_{22}+385x_{23}+220x_{31}+320x_{32}+450x_{33}+160x_{41}+205x_{42}+311x_{43}+ d_1^- - d_1^+ = 684$ (5.13)
Seçilmesi İstenen Proje 1/1	$x_{11} + d_2^- - d_2^+ = 1$ (5.14)
Seçilmesi İstenen Proje 1/2	$x_{12} + d_3^- - d_3^+ = 1$ (5.15)
Seçilmesi İstenen Proje 1/3	$x_{13} + d_4^- - d_4^+ = 1$ (5.16)
Seçilmesi İstenen Proje 2/1	$x_{21} + d_5^- - d_5^+ = 1$ (5.17)
Seçilmesi İstenen Proje 2/2	$x_{22} + d_6^- - d_6^+ = 1$ (5.18)
Seçilmesi İstenen Proje 2/3	$x_{23} + d_7^- - d_7^+ = 1$ (5.19)
Seçilmesi İstenen Proje 3/1	$x_{31} + d_8^- - d_8^+ = 1$ (5.20)
Seçilmesi İstenen Proje 3/2	$x_{32} + d_9^- - d_9^+ = 1$ (5.21)
Seçilmesi İstenen Proje 3/3	$x_{33} + d_{10}^- - d_{10}^+ = 1$ (5.22)
Seçilmesi İstenen Proje 4/1	$x_{41} + d_{11}^- - d_{11}^+ = 1$ (5.23)
Seçilmesi İstenen Proje 4/2	$x_{42} + d_{12}^- - d_{12}^+ = 1$ (5.24)
Seçilmesi İstenen Proje 4/3	$x_{43} + d_{13}^- - d_{13}^+ = 1$ (5.25)
Güzergâh 1 için en fazla bir proje seçilmesi	$x_{11}+x_{12}+x_{13} \leq 1$ (5.26)
Güzergâh 2 için en fazla bir proje seçilmesi	$x_{21}+x_{22}+x_{23} \leq 1$ (5.27)
Güzergâh 3 için en fazla bir proje seçilmesi	$x_{31}+x_{32}+x_{33} \leq 1$ (5.28)
Güzergâh 4 için en fazla bir proje seçilmesi	$x_{41}+x_{42}+x_{43} \leq 1$ (5.29)
Güzergâh 1 için saatlik talep miktarı	$1200x_{11}+4350x_{12}+5300x_{13}+ d_{14}^- - d_{14}^+ = 2650$ (5.30)
Güzergâh 2 için saatlik talep miktarı	$1600x_{21}+2950x_{22}+5600x_{23}+ d_{15}^- - d_{15}^+ = 3385$ (5.31)
Güzergâh 3 için saatlik talep miktarı	$2680x_{31}+4600x_{32}+5800x_{33}+ d_{16}^- - d_{16}^+ = 5420$ (5.32)
Güzergâh 4 için saatlik talep miktarı	$2100x_{41}+2540x_{42}+4200x_{43}+ d_{17}^- - d_{17}^+ = 4760$ (5.33)
Seçilmesi istenen projelerin birden fazla olma kısıtı	$x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{21}+x_{22}+x_{23}+ x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{41}+x_{42}+x_{43} \geq 1$ (5.34)
	$x_j = 0 \text{ or } 1 \text{ } j=1, 2, \dots, 12$

Kurulan model ile çözüme gidilmiştir ve istenilen bütün hedefler sağlanarak sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 5.36’da seçilen güzergâhlara göre belirlenen taşıma kapasitesine sahip trenler ve kullanılan kaynak miktarı ile kapasite miktarı gösterilmiştir.

Çizelge 5.36. Kullanılan kaynak ve kapasite miktarı

Seçilen Projeler	Kullanılan Kaynak Miktarı	Kullanılan Kapasite Miktarı
1. Güzergâh/ Küçük boy tren	155 (*10 ⁶) \$	1200
2. Güzergâh/ Orta boy tren	120 (*10 ⁶) \$	2950
3. Güzergâh/ Küçük boy tren	220 (*10 ⁶) \$	2680
4. Güzergâh/ Küçük boy tren	160 (*10 ⁶) \$	2100

Elde edilen sonuçlara göre 4 güzergâh için 3 alternatif arasından 1, 3 ve 4. güzergâhlar için küçük boy tren; 2. güzergâh için orta boy tren alternatifi seçilmiş ve belirlenen hedeflerden istenmeyen yönde herhangi bir sapma oluşmamıştır.

5.2.2.8. Sonuç ve Değerlendirmeler

Yatırım maliyetleri açısından büyük kaynak gerektiren, ekonomik ve sosyal yaşamı etkileyen güzergâhlara göre ulaştırma projelerinin seçiminde uygun metodolojilerin kullanılması, projelerin değerlendirilme sürecini daha sağlıklı kılmaktadır. Bu noktada ÇKKV yöntemleri seçim sürecinde belirlenen kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkileri değerlendirmede sıklıkla kullanılmaktadır.

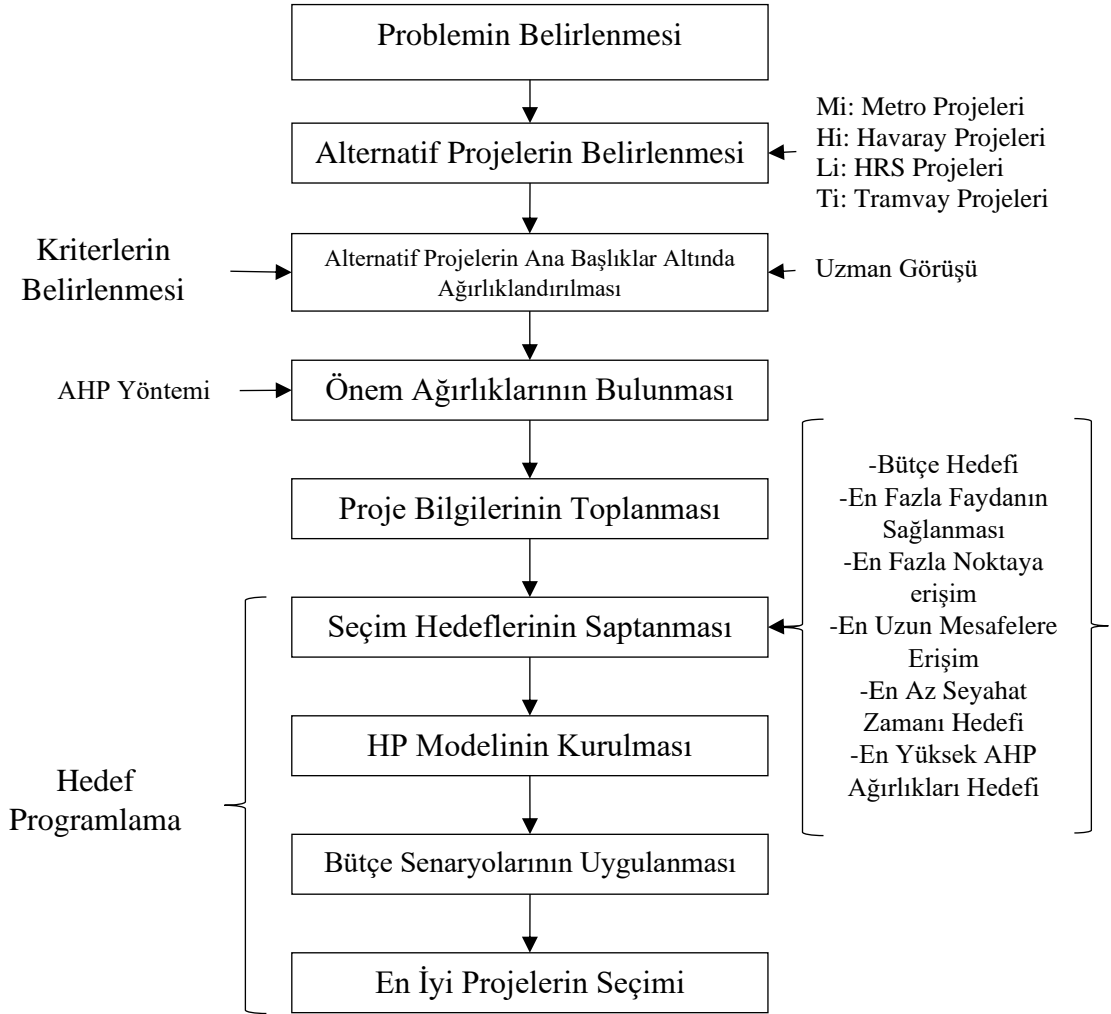
Şehir içi ulaşım sistemlerinde otobüs, metro vb. karayolu taşımacılığında kullanılan diğer alternatiflerle kıyaslaması yapıldığında avantajlı durumda olan monoray teknolojisi, ulaşım talebini karşılamak için geliştirilen modern, konforlu ve hızlı ulaşım araçlarıdır.

Bu teknolojide projelerin değerlendirilmesi aşamasında birçok sorunla karşılaşılabilmektedir. Bu sorunların özömlenmesinde ve bağımlılıkların belirtilmesinde uzman grupların görüşleri çok etkili olmaktadır.

Bu çalışmada monoray teknolojisinin kullanılacağı alternatif güzergâhlarda taşıma kapasitesine göre belirlenen projelerin kriterler arasındaki ilişkileri AHP ve 0-1 HP yöntemleri birlikte kullanılarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en uygun projelerin seçimi yapılmıştır.

5.2.3. Raylı Sistem Projelerinin Seçimi

İstanbul Büyükşehir Belediyesi ulaşım sorununu çözmek için toplu ulaşım ağırlık vermekte ve bu alanda birçok projeyi hayata geçirmektedir. Bu karar verme sürecinde de yapılması düşünölen metro, tramvay, hafif raylı sistem ve monoray projeleri arasında ağırlıklandırma yapılarak planlama yapılmıştır. Çalışmanın araştırma metodolojisi Şekil 5.17’de verilmektedir.



Şekil 5.17. Raylı sistem projelerinin seçimi akış şeması

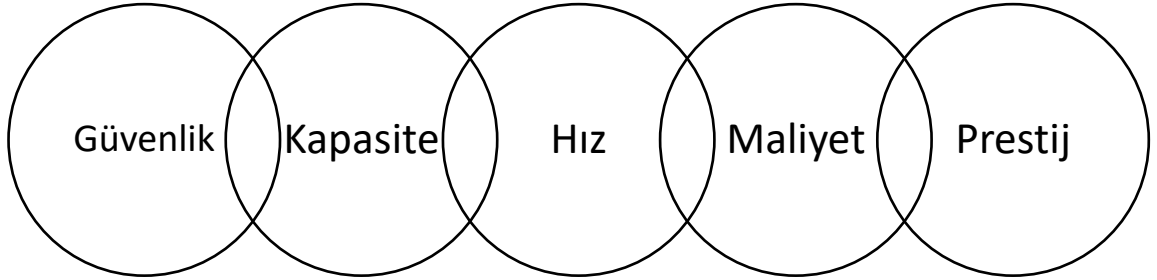
5.2.3.1. Problem Belirlenmesi

İstanbul'da mevcut raylı sistemlerin ulaşım taleplerini karşılamada yetersiz kalması, kentin nüfus oranının sürekli artması ve genişleyen kent sınırları, trafikte geçirilen süreyi artırmaktadır. Aynı zamanda bu durum kentin yaşanabilirliğini de etkilemektedir. Yolcuların talebi, kısa sürede güvenli ve rahat bir şekilde günlük yolculuklarını gerçekleştirmektedir. Yolculukların büyük bir bölümünün karayolu ile yapılması ve artan

özel araç sahipliği ile karayolu trafiğinin artması nedeniyle bu yoğunluğu ortadan kaldırmak için toplu ulaşımaya büyük yatırımlar yapılmaktadır. Bu yatırımların büyük kısmını da güvenli, konforlu ve hızlı olan raylı sistem yatırımları oluşturmaktadır. Kısa orta ve uzun vadeli planları ile İstanbul, raylı sistemler konusunda büyük yatırımlar yapmakta ve planlamaktadır. Metro hatları, tramvay hatları havaray (monoray) ve raylı sistem hatları ile kentin her noktasına raylı sistem ile ulaşılması hedefinde faaliyet gösterilmektedir. Bu kapsamda inşası devam eden ihalede olan ve projelendirme aşaması süren birçok faaliyet bulunmaktadır. Tramvay hatları, hafif raylı sistem hatları, monoray ve metro hatları ile kentsel alanda erişilmedik yer bırakmama hedefiyle metropol kenti raylı sistem ağılarıyla donatmayı amaçlamaktadırlar (Hamurcu vd., 2017).

5.2.3.2. Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi

Raylı sistem projelerinin seçimi için belirlenen kriterler güvenlik, kapasite, hız, maliyet ve prestij olmak üzere 5 faktördür. Şekil 5.18’de değerlendirme kriterleri gösterilmektedir.



Şekil 5.18. Raylı sistem projeleri seçimi için değerlendirme kriterleri

5.2.3.3. Alternatiflerin Belirlenmesi

Planlaması yapılacak projeler, İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde düşünülen metro, tramvay, monoray ve hafif raylı sistem projeleridir. İstanbul’da raylı sistemler ile

ulaşılmadık yer bırakmamakta kararlı olan yöneticiler, bu metropol şehir için birçok raylı sistem projesi düşünmektedirler. Seçimi yapılacak bu projeler Çizelge 5.37’de özellikleriyle birlikte gösterilmektedir.

Çizelge 5.37. İstanbul için düşünülen raylı sistem projeleri

Nu.	Yıl	Hat adı	Raylı sistem türü	İstasyon sayısı	Uzunluk (km)	Seyahat zamanı (dk)	Yaklaşık maliyeti (Milyon\$)	Fayda
1	2018	M1	Metro	19	24.5	37	1835	949
2	2018	M2	Metro	9	9	13.5	435	330
3	2018	M3	Metro	38	63.5	115.5	3521	259
4	2018	M4	Metro	5	7.4	11.5	370	5072
5	2019	M5	Metro	12	14.3	22	810	88
6	2019	M6	Metro	4	14.3	22	808	622
7	2019	M7	Metro	12	13	19.5	710	1021
8	2019	T1	Tramvay	14	10.1	30	888	150
9	2019	H1	Havaray	17	15	40	240	92
10	2019	M8	Metro	5	6,2	10	320	99
11	2019	M9	Metro	10	9.7	15	450	97
12	2019	M10	Metro	7	7.6	12	380	444
13	2019	M11	Metro	2	4.1	6	240	63
14	2019	L1	Raylı sistem	9	10.9	16.5	1280	240
15	2019	M12	Metro	6	6,9	10.5	350	403
16	2019	M13	Metro	11	13	19.5	720	82
17	2019	M14	Metro	10	16.24	25	980	51
18	2019	M15	Metro	11	14	21	942	87
19	2019	L2	Raylı sistem	5	32	32	2340	260
20	2019-	M16	Metro	11	18	27	1085	622
21	2019-	M17	Metro	4	5.5	8.5	350	403
22	2019-	M18	Metro	13	28	42	1420	444
23	2019-	M19	Metro	14	55.5	166.5	3025	742
24	2019-	M20	Metro	5	9.7	14.5	1030	68
25	2019-	M21	Metro	5	5.5	8.5	341	267
26	2019-	L3	Raylı sistem	9	12,3	19	1475	578
27	2019-	L4	Raylı sistem	7	33	33	2380	250
28	2019-	H2	Havaray	9	7.25	12.5	175	587
29	2019-	T2	Tramvay	6	3	9	202	120
30	2019-	L5	Raylı sistem	13	22.3	34	2400	785

5.2.3.4. AHP ile Ağırlıklandırma

Raylı sistem projelerinin seçimi 4 farklı ulaşım çeşidi arasından yapılmaktadır. Bu ulaşım çeşitleri metro, monoray, hafif raylı sistem ve tramvaydır. Birbirinden farklı özellikleri olan bu sistemler güvenlik, kapasite, hız, maliyet ve prestij kriterleri doğrultusunda önceliklendirilerek ağırlıklandırılmıştır. Çizelge 5.38’de kriterlerin kendi aralarındaki ikili karşılaştırma matrisi gösterilmektedir. Yapılan ikili karşılaştırmalar sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları aynı tabloda ağırlık sütununda yer almaktadır. Kriterler etrafında ağırlıklandırılacak olan ulaşım çeşitleri için her kriter başlığında ayrı ayrı yapılan ikili karşılaştırma sonuç ağırlıkları kriter bazında Çizelge 5.39’da gösterilmektedir.

Çizelge 5.38. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi ve kriter ağırlıkları

Kriterler	Güvenlik	Kapasite	Hız	Maliyet	Prestij	Ağırlık
Güvenlik	1,00	3,00	3,00	5,00	3,00	0,5061
Kapasite	0,33	1,00	3,00	3,00	0,33	0,2024
Hız	0,33	0,33	1,00	3,00	0,33	0,1428
Maliyet	0,20	0,33	0,33	1,00	0,20	0,1003
Prestij	0,33	3,00	3,00	5,00	1,00	0,0483

Çizelge 5.39. Ulaşım çeşitlerinin kriterler bazında ağırlıkları

Alternatifler	Güvenlik	Kapasite	Hız	Maliyet	Prestij
Metro	0,569	0,546	0,418	0,059	0,383
Hafif Raylı Sistem	0,090	0,208	0,165	0,120	0,116
Monoray	0,341	0,246	0,418	0,821	0,251
Tramvay	0,090	0,076	0,074	0,255	0,060

Sonuç önem seviyelerinin gösterildiği Çizelge 5.40, kriterlerin kendi aralarındaki ikili karşılaştırmaları sonucunda bulunan kriter ağırlıkları ile her kriter başlığı altında ulaşım çeşitlerinin değerlendirilmesiyle bulunan ağırlıklandırılmış matrislerin, matris çarpımları sonucunda bulunmuştur.

Çizelge 5.40. Ulaşım çeşitlerinin önem ağırlıkları

Ulaşım türü	Önem ağırlığı
Metro	0,472
Hafif raylı sistem	0,126
Monoray	0,335
Tramvay	0,087

5.2.3.5. Hedef Programlama Modeli

Kurulacak olan matematiksel model farklı amaçları bir çatı altında, tek modelde yapabilmeyi sağlayan HP modelidir. Bütçe amacını gerçekleştirme, en fazla faydayı sağlama, en fazla noktayı birbirine bağlama, en uzun mesafeleri birleştirme, en az seyahat zamanı hedeflerinin gerçekleştirilmesi gibi problemde birden çok amaç vardır. Aynı zamanda kurulacak sistem için yapılan AHP ağırlıklandırması da amaçlarımız arasında yer almaktadır. Çizelge 5.41’de HP ile kurulan matematiksel model yer almaktadır.

Matematiksel modelde, hedeflerden sapmaların en küçüklendiği amaç fonksiyonu, zorunlu amaçların karşılanması, yüksek AHP ağırlıklarının sağlanması ve bütçe kısıtının sağlanması olarak belirlenmiştir. Kısıtlar, en fazla faydanın sağlanması, en fazla istasyona erişim, en uzun güzergâh ile uzak mesafelerin birleştirilmesi, en az seyahat süresinin sağlanması ve M₃ ve M₁₉ metro projelerinin zorunlu seçimi ile alternatif tüm projelerin seçimi olarak modellenmiştir.

Çizelge 5.41. Raylı sistem proje seçimi için matematiksel model

Hedefler	Model	
Zorunlu hedeflerin karşlanması	Minimize $Z = pl_1(d_1^- + d_2^- + d_3^- + \dots + d_5^- + d_6^-)$	(5.35)
Yüksek AHP ağırlıklı projelerin seçilmesi	$Pl_2(0,335(d_7^- + d_8^-) + 0,126(d_9^- + \dots + d_{13}^-) + 0,087(d_{14}^- + d_{15}^-) + 0,472(d_{16}^- + \dots + d_{36}^-))$	(5.36)
Bütçe kısıntının sağlanması	$Pl_3(d_{35}^- + d_{35}^+)$	(5.37)
Kısıtlar		
Maksimum faydanın altında seçimden sakınılması	$\sum_{i=1}^2 h_{1i}H_i + \sum_{i=1}^5 l_{1i}L_i + \sum_{i=1}^{21} m_{1i}M_i + \sum_{i=1}^2 t_{1i}T_i + d_1^- - d_1^+ = 15275$	(5.38)
En fazla istasyona erişimin sağlanması	$\sum_{i=1}^2 h_{2i}H_i + \sum_{i=1}^5 l_{2i}L_i + \sum_{i=1}^{21} m_{2i}M_i + \sum_{i=1}^2 t_{2i}T_i + d_2^- - d_2^+ = 302$	(5.39)
En uzun alanlara erişimin sağlanması	$\sum_{i=1}^2 h_{3i}H_i + \sum_{i=1}^5 l_{3i}L_i + \sum_{i=1}^{21} m_{3i}M_i + \sum_{i=1}^2 t_{3i}T_i + d_3^- - d_3^+ = 203,4$	(5.40)
En az seyahat zamanının sağlanması	$\sum_{i=1}^2 h_{4i}H_i + \sum_{i=1}^5 l_{4i}L_i + \sum_{i=1}^{21} m_{4i}M_i + \sum_{i=1}^2 t_{4i}T_i + d_4^- - d_4^+ = 150$	(5.41)
Zorunlu seçimi yapılacak M_3 metro projesi	$M_3 + d_5^- = 1$	(5.42)
Zorunlu seçimi yapılacak M_{19} metro projesi	$M_{19} + d_6^- = 1$	(5.43)
H_1 Projesinin seçilmesi	$H_1 + d_8^- = 1$	(5.44)
H_2 Projesinin seçilmesi	$H_2 + d_8^- = 1$	(5.45)
L_1 Projesinin seçilmesi	$L_1 + d_9^- = 1$	(5.46)
L_2 Projesinin seçilmesi	$L_2 + d_{10}^- = 1$	(5.47)
L_3 Projesinin seçilmesi	$L_3 + d_{11}^- = 1$	(5.48)
L_4 Projesinin seçilmesi	$L_4 + d_{12}^- = 1$	(5.49)
L_5 Projesinin seçilmesi	$L_5 + d_{13}^- = 1$	(5.50)
T_1 Projesinin seçilmesi	$T_1 + d_{14}^- = 1$	(5.51)
T_2 Projesinin seçilmesi	$T_2 + d_{15}^- = 1$	(5.52)
M_1 Projesinin seçilmesi	$M_1 + d_{16}^- = 1$	(5.53)
...Projelerin seçilmesi
M_{21} Projesinin seçilmesi	$M_{21} + d_{34}^- = 1$	(5.54)
Bütçenin sağlanması	$\sum_{i=1}^2 h_{5i}H_i + \sum_{i=1}^5 l_{5i}L_i + \sum_{i=1}^{21} m_{5i}M_i + \sum_{i=1}^2 t_{5i}T_i + d_{35}^- - d_{35}^+ = \text{Bütçe } S.$	(5.55)
$H_i=0$ veya 1 ($i=1,2$)		$T_i=0$ veya 1 ($i=1,2$)
$L_i=0$ veya 1 ($i=1,2,3,4,5$)		$M_i=0$ veya 1 ($i=1,2,3,\dots,21$)

5.2.3.6. Sonuçların Değerlendirilmesi

Seçim sonucunda 15.000, 10.000 ve 8.000 olmak üzere 3 farklı bütçe kaynağı çerçevesinde yapılan seçimde 15.000’lik bütçede 12 adet metro projesi, 1 adet tramvay projesi, 1 adet havaray projesi ve 2 adet raylı sistem projesi seçilmiştir. 10.000’lik bütçede 9 metro projesi, 1’er tane tramvay ve raylı sistem projesi ve son olarak 8.000’lik bütçede 5 metro projesi ve 1’er tane tramvay ve raylı sistem projesi seçilmiştir. Çizelge 5.42’de senaryolar ve kurulan model çerçevesinde yapılan seçimler gösterilmektedir.

Çizelge 5.42. Üç farklı bütçe senaryosu ve çözüm sonuçları

Projeler		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	T1	H1	M8
Bütçe	15.000	✓	x	✓	✓	x	✓	✓	x	✓	✓
Senaryoları	10.000	x	✓	✓	✓	x	✓	✓	x	x	✓
(Milyon \$)	8.000	x	x	✓	✓	x	x	✓	x	x	x
Projeler		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		M9	M10	M11	L1	M12	M13	M14	M15	L2	M16
Bütçe	15.000	✓	✓	x	x	✓	x	x	x	✓	✓
Senaryoları	10.000	x	✓	x	x	✓	x	x	x	✓	x
(Milyon \$)	8.000	x	✓	x	x	✓	x	x	x	✓	x
Projeler		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
		M17	M18	M19	M20	M21	L3	L4	H2	T2	L5
Bütçe	15.000	✓	x	x	x	✓	✓	x	x	✓	x
Senaryoları	10.000	✓	x	x	x	x	x	x	x	✓	x
(Milyon \$)	8.000	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	x

5.2.4. Kısıt Programlama ile Proje Sıralama

Günümüzde, birçok şehir hızlı kentleşmenin zorluklarıyla karşı karşıyadır. Ekonomik, sosyal ve teknolojik başta olmak üzere birçok faktör artan kentleşmede rol oynamaktadır. Artan kentleşme, sürdürülebilirliği göz önünde bulundurulması gereken önemli bir konu haline getirmektedir. Gelişmekte olan ülkemiz, birçok alanda olduğu gibi mega projelerle de ulaşım alanında çığır açmaktadır. Aynı zamanda şehirler arası ulaşım ve şehir içi ulaşım için raylı sistem projeleri ve yüksek hızlı tren projeleriyle ulaşımın iyileştirilmesi için faaliyetlere devam edilmektedir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi ulaşım sorununu çözmek için çeşitli projeler sunmaktadır. Bu bağlamda, İstanbul Büyükşehir Belediyesi mevcut raylı sistem ağını genişletmek ve yeni raylı sistemler için çeşitli projeler sunmaktadır. 1000 km raylı sistem hedefi ve söz konusu yatırımlar ile İstanbullular için güvenli, rahat ve konforlu bir toplu ulaşım hizmeti sağlamak mümkün olacaktır.

Proje seçimi, kentsel ulaşım projesinin ilk temel parçası olarak kabul edilmektedir. Proje seçimi aynı zamanda farklı ulaştırma proje fikirlerini değerlendirmek için bir süreç olarak kabul edilir ve faydalı önceliğe sahip olanı seçilir. Seçim sürecinde ÇKKV ve HP gibi matematiksel programlama sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, kısıt programlama kullanılarak kentsel ulaşım projesi seçimi konusunda herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Kısıt programlama kullanarak yapılan bu uygulama, kentsel ulaşım literatür için yeni bir katkı sağlamaktadır.

5.2.4.1. Problemin Tanımı

Yüksek nüfusa sahip İstanbul şehri ekonomik bir merkezdir ve çeşitli medeniyetlere ev sahipliği yapmış, dünyanın en popüler turistik merkezlerinden biridir. Sahip olduğu endüstri ile gelişmiş bir şehirdir. Tüm bu gelişmeler beraberinde yeni problemleri de beraberinde getirmiştir. Kentsel ulaşım bu problemlerin başında gelmektedir. Türkiye Cumhuriyeti devletinin 2023 hedef yılı civarında bazı hedefleri vardır. Bu kapsamda İstanbul'un metro, hafif raylı sistem, tramvay ve monoray gibi raylı sistem projeleri ile

kentsel ulaşımın geliştirilmesi için bazı hedefleri bulunmaktadır. Bu projeler Çizelge 5.43'te gösterilmiştir. Mevcut demiryolu ağının 2019 yılına kadar 482 km ve uzun vadede 1.000 km'ye çıkarılması hedeflenmektedir. Bu yatırımlarla İstanbullulara modern, güvenli ve konforlu bir ulaşım sağlanacak ve demiryolu sistemlerinin toplu taşımacılıktaki payı önemli ölçüde arttırılacaktır. Yapımı hızlanan raylı sistem tabanlı ulaşım yatırımlarının tamamlanmasının ardından İstanbul Büyükşehir Belediyesi kısa zaman içinde çok sayıda yolcuya hizmet vermeyi hedeflemektedir. Bu uygulama, İstanbul Büyükşehir Belediyesi planlarında yer alan 30 raylı sistem projesinin değerlendirilmesi ile ilgilidir. Belirlenen projelerin kısıtlar dahilinde inşa sıralamasını belirlemektedir (Özcan vd., 2018).

5.2.4.1. Kısıt Programlama Modeli

Seçim ve sıralama için kurulan kısıt programlama modeli Çizelge 5.44'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.43. Planlanan ulaşım projeleri

No	Hat adı	Raylı sistem tipi	İstasyon sayısı	Mesafe (km)	Seyahat zamanı (dk)	Yaklaşık maliyet (Milyon \$)	Fayda
1	M1	Metro	19	24500	37	1835	949
2	M2	Metro	9	9000	13,5	435	330
3	M3	Metro	38	63500	115,3	3521	259
4	M4	Metro	5	7400	11,5	370	5072
5	M5	Metro	12	14300	22	810	88
6	M6	Metro	4	14300	22	808	622
7	M7	Metro	12	13000	19,5	710	1021
8	M8	Metro	5	6200	10	320	99
9	M9	Metro	10	9700	15	450	97
10	M10	Metro	7	7600	12	380	444
11	M11	Metro	2	4100	6	240	63
12	M12	Metro	6	6900	10,5	350	403
13	M13	Metro	11	13000	19,5	720	82
14	M14	Metro	10	16240	25	980	51
15	M15	Metro	11	14000	21	942	87
16	M16	Metro	11	18000	27	1085	622
17	M17	Metro	4	5500	8,5	350	403
18	M18	Metro	13	28000	42	1420	444
19	M19	Metro	14	55500	166,5	3025	742
20	M20	Metro	5	9700	14,5	1030	68
21	M21	Metro	5	5500	8,5	341	267
22	H1	Monoray	17	15000	40	240	92
23	H2	Monoray	9	7250	12,5	175	587
24	L1	Raylı Sistem	9	10900	16,5	1280	240
25	L2	Raylı Sistem	5	32000	32	2340	260
26	L3	Raylı Sistem	9	12300	19	1475	578
27	L4	Raylı Sistem	7	33000	33	2380	250
28	L5	Raylı Sistem	13	22300	34	2400	785
29	T1	Tramvay	14	10100	30	888	150
30	T2	Tramvay	6	3000	9	202	120

Parametreler:

i : proje indeksi	$i=1...30$
d_i : i . projenin uzunluğu	$i=1...30$
j_i : i . projenin maliyeti	$i=1...30$
k_i : i . projenin seyahat zamanı	$i=1...30$
l_i : i . projenin faydası	$i=1...30$
m_i : i . projede yer alan istasyon sayısı	$i=1...30$

Çizelge 5.44. Kısıt programlama modeli

<i>Karar değişkeni:</i>	x_i : i . projenin seçimi	$i=1...30$
	y_{ij} : Ortalama seyahat zamanı,	$i=1...30, j=1...30$
<i>Amaç fonksiyonu</i>	Maksimum faydanın sağlanması	
	$max Z = \sum_{i=1}^{30} l_i * x_i$	(5.56)
<i>Kısıtlar:</i>		
Bütçe kısıtının sağlanması	$\sum_{i=1}^{30} j_i y_{ij} \leq Budget$ scenario=1,2,3 $i=1...30, j=1...30$	(5.57)
Minimum seyahat zamanı kısıtı	$\sum_{i=1}^{30} k_i y_{ij} \leq \sum_{j=1}^{30} y_{ij} * 60$ $i=1...30, j=1...30$	(5.58)
Daha fazla noktaya erişim kısıtı	$\sum_{i=1}^{30} m_i y_{ij} \geq 100$ $i=1...30, j=1...30$	(5.59)
En uzak mesafelere erişim	$\sum_{i=1}^{30} d_i y_{ij} \geq 200$ $i=1...30, j=1...30$	(5.60)
Domain	$0 \leq x_i \leq 30$ $i=1...30$	
Bir sıra için sadece 1 projenin atanması	$count(x_i, j) \leq 1$ $i=1...30, j=1...30$	(5.61)
i . proje j . sırada ise y_{ij} değişkeninin 1 değerini almasının sağlanması	$(x_i = j) = y_{ij}$ $i=1...30, j=1...30$	(5.62)

Matematiksel model, IBM ILOG CPLEX 12.6.2 programı ile üç farklı bütçe senaryosu için ayrı olarak çözülmüş ve çözüm sonuçları Çizelge 5.45' te verilmektedir. Aynı zamanda bu çizelge projelerin öncelik sırasını göstermektedir.

10.000 bütçenin altında dokuz metro projesi ve iki monoray projesi seçilmiştir. Bu projeler seçildiğinde bütçe tamamen kullanılmıştır. Ayrıca, bütçe senaryosu değiştiğinde, sıralama, seçim, istasyon sayısı, maksimum mesafe ve fayda değişmektedir. Çizelge 5.46'da diğer senaryolar gösterilmektedir.

Çizelge 5.45. Projelerin seçim sırası ve senaryolar

Bütçe	Sıra	Seçilen projelerin öncelik sırası													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10.000	Projeler	M4	M7	M19	H2	M10	M12	M2	M21	M3	M9	H1	---	---	---
12.000		M4	M7	M19	M16	M6	H2	M10	M17	M12	M2	M21	M3	T2	H1
15.000		M4	M7	M1	M19	M16	M6	H2	L3	M10	M12	M17	M2	M21	M3

Çizelge 5.46. Bütçe senaryoları ve seçim sonuçları

Bütçe Senaryoları	Toplam İstasyon Sayısı	Toplam Mesafe (km)	Toplam Seyahat Zamanı (dk)	Toplam Maliyet (Milyon \$)	Toplam Fayda
10.000	132	200,350	424,8	9997	9314
12.000	143	217,150	454,3	11184	10362
15.000	152	250,250	483,3	14860	12299

Bu çalışmada, şehir içi ulaşım için ulaşım projelerini seçilmiştir ve kısıt programlama kullanarak İstanbul Büyükşehir Belediyesi için tercih sırası belirlenmiştir. Proje seçimi, kentsel ulaşım için önemli bir karar verme sürecidir. Seçim ve sıralama süreci, bir dizi gelecek vaat eden alternatif ortaya çıktığında, bütçe kısıtlamaları, uygun raylı sistem tipi, en uygun istasyon numarası veya en uygun istasyon konumu, maksimum mesafe,

minimum seyahat süresi gibi hedeflerin sağlanması noktasında zor bir problem olan projelerin kararında yardımcı olur. Kısıt programlama, matematiksel programlama ile bir dizi projeyi seçmek için bütünleşmiş bir çerçeve sağlar.

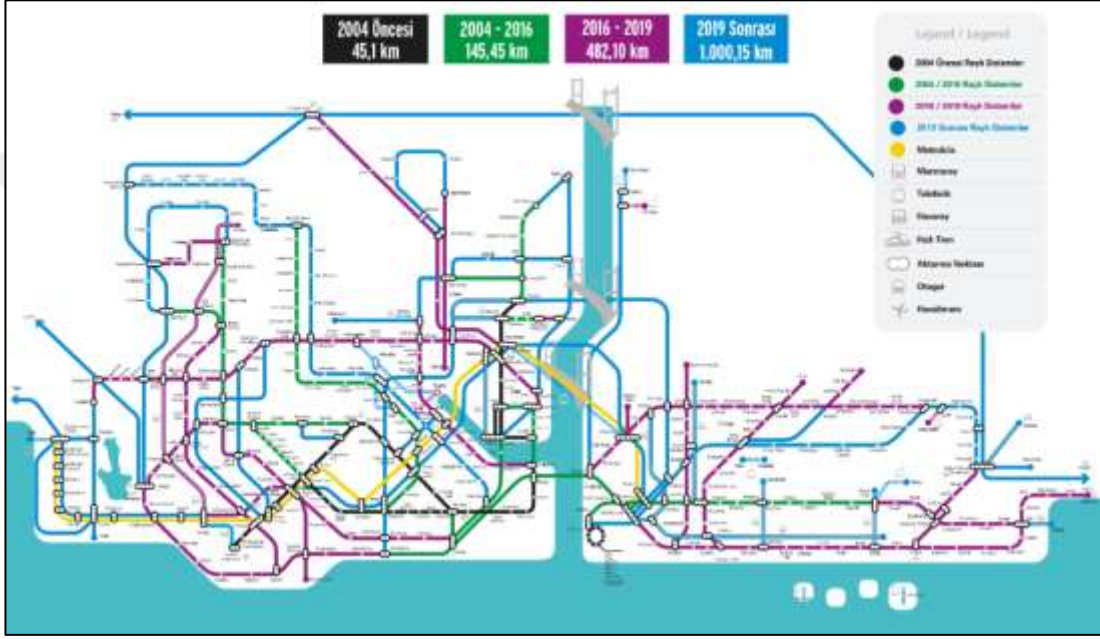
5.2.5. Raylı Sistem Projelerinin Önceliklendirilmesinde AAS Kullanımı

Karar problemlerinde seçim ve önceliklendirme sürecinde kriter ağırlıkları birbirinden bağımsız olmayabiliyor. Bu uygulamada da raylı sistem projelerinin önceliklendirilmesinde kriter ilişkileri dikkate alınarak AAS ile seçim yapılmıştır.

5.2.5.1. Problem Tanımı

İstanbul raylı sistemler konusunda kısa orta ve uzun vadeli hedefleri ile yaklaşık 150 km olan raylı sistem ağını 1.000 km'ye çıkarma düşüncesiyle birçok proje ortaya koymaktadır. Şekil 5.19'de İstanbul mevcut raylı sistem ağı ve planlanan raylı sistem ağı gösterilmektedir. Yapımı devam eden, projelendirme süreçleri süren ve ihale aşamasında olan projeleriyle bu hedefi gerçekleştirme noktasında önemli adımlar atmaktadır. Aynı zamanda İstanbul, ülke ekonomisini ilgilendiren ve dünya metropol şehirlerine örnek teşkil eden devasa projeleri ile de adından sıkça söz ettirmekte ve ilgi odağı haline gelmektedir. Ancak kısıtlı imkanlar nedeniyle tüm projeleri ortaya koymak mümkün olmamaktadır. Özellikle bütçe kısıtlı olmak üzere işgücü, malzeme ve ekipman gibi gereksinimleri faaliyetleri kısıtlamaktadır. Bu durumda düşünülen projelerin belirli bir sıralama dahilinde yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ancak bu sıralama yapılırken ulaşım ihtiyaçları göz önünde bulundurularak, talepler değerlendirilerek, ana ulaşım planı dikkate alınarak çeşitli faktörleri bir çatı altında toplatarak sıralama yapılması kentsel trafikte en fazla iyileşme sağlayacak projelerin önceliklendirilmesini sağlayacaktır (Hamurcu ve Eren, 2018b).

Ulaşım projelerinin önceliklendirilmesinde analitik yöntemler olan ÇKKV yöntemlerinin kullanılması, kararların tutarlılığı ve tarafsızlığın sağlanmasında önemli yer tutmaktadır. Aynı zamanda kolay sayısal süreçleri içermesi karar vericiler için sıklıkla kullanılmasına sebebiyet vermiştir. Faktörlerin bulanıklık ölçütüne göre değerlendirilmesi ise çalışmaya ayrıca hassasiyet katmıştır.



Şekil 5.19. İstanbul mevcut raylı sistem ağı ve planlanan raylı sistem ağı

5.2.5.2. Araştırma Metodolojisi

Çalışmanın akışında, öncelikle kriter ve alternatiflerin belirlenmesi, devamında ağ yapısının ve ilişkilerin oluşturulması, karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve sonuç sıralamasının bulunması yer almaktadır.

5.2.5.3. Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi

Ulaşım projelerinin seçiminde çeşitli kriterler değerlendirmede kullanılmaktadır. Bu kriterler ekonomi, teknik, çevresel, güvenlik, sosyal ve arazi kullanımı ana başlıklarında dallanmaktadır. Bu çalışmada 4 kriter etrafında 15 alt kriter ile 10 raylı sistem projesi ağırlıklandırılarak önem seviyeleri bulunmuştur. Kullanılan kriterler ve açıklamaları Çizelge 5.47’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.47. AAS ile kullanılacak kriterler ve açıklamaları

Kriter	Açıklama	Açıklama
Teknolojik	Kapasite	Yolcu taşıma kapasitesi
	Güvenlik	Hattın ve ulaşım tipinin güvenliği
	Konfor	Ulaşım tipinin rahatlığı
	Görsel etki	Projenin kurulacak yer ile görsel uyumu
Çevresel	Gürültü	Ulaşım tipinin çevreye yaydığı ses
	Arazi kullanımı	Kurulacak proje için kullanılacak alan
Ekonomik	İnşa maliyeti	Projenin yapım maliyeti
	Araç maliyeti	Satın alınacak araç maliyeti
	İşletme maliyeti	Hattın işletme maliyeti
	Seyahat zamanı	Hat boyunca geçirilecek zaman
Ulaşım	Ulaşım entegrasyon	Diğer toplu ulaşım sistemleri ile bütünleşikliği
	Nüfus	Kurulacak bölgenin nüfusu
	Erişilebilirlik	Hatta erişimin kolaylığı
	Yolculuk talebi	Hat boyunca yolculuk talebi, günlük yolculuk oluşturabilecek olması
	Planlara uygunluk	Şehrin genişleme politikası ve gelecekte muhtemel planlarına uygunluk

Kriterler belirlenirken, kurumun hedeflerine ve ulaşım planına uygun projelerin seçimi, ulaşımında entegrasyonu sağlayarak bütünleşik bir ulaşım sistemini oluşturulması, düşük maliyetler ile en fazla faydayı sağlayacak projelere öncelik verme ve şehrin genişlemesi ve gelişmesiyle birlikte ortaya çıkabilecek ulaşım taleplerinin karşılayabilecek temele ve niteliğe sahip projelerin önceliklendirilmesi biçiminde ortaya konulması gibi amaçlara uygun olması hedeflenmektedir. Aksi durumda ortaya konan projelerden istenen verim alınmayacak ve ölü yatırımlar olarak heba olması kaçınılmaz olacaktır.

5.2.5.4. Alternatiflerin Belirlenmesi

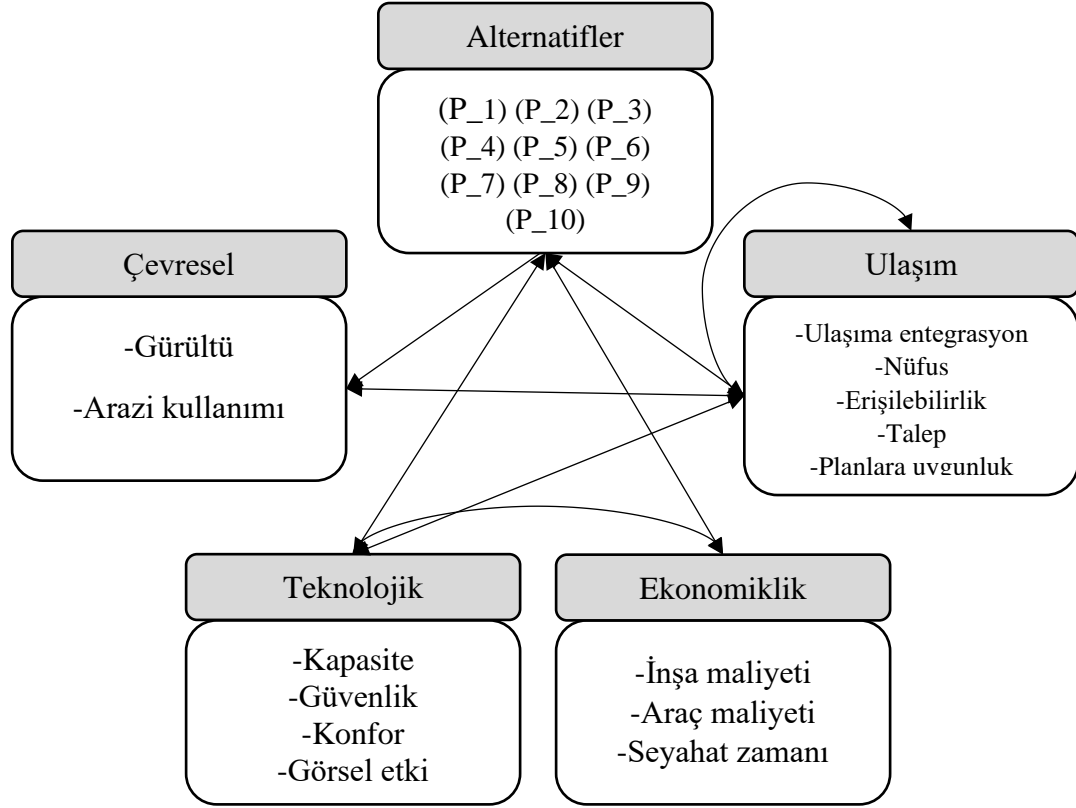
İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yıl içinde düşünülen 10 raylı sistem projesi Çizelge 5.48’de gösterilmektedir. Aynı çizelgede projelere ait bilgilere de yer verilmektedir.

Çizelge 5.48. Yıl için planlanan raylı sistem projeleri

Sembolik Gösterim	Proje Güzergahı	Tür	Uzunluk (km)	Vagon Sayısı	Maliyet (Milyon US\$)		
					İnşa+ M&E	Vagon Maliyeti	Toplam
P_1	AAA	Hafif r sistem	7,5	45	325,5	76,5	429
P_2	BBB	Monoray 2	7,7	33,2	92,4	56,4	149
P_3	CCC	Metro 1	12,5	67	800	113,9	914
P_4	ÇÇÇ	Monoray 1	8,6	33,9	103,2	57,6	161
P_5	DDD	Metro 2	12,2	61,9	780,8	105,3	886
P_6	EEE	Metro 1	24	107,6	1536	183	1.719
P_7	FFF	Monoray 2	3,5	46,3	42	78,7	121
P_8	GGG	Metro 2	21,5	117,4	1376	199,6	1.576
P_9	HHH	Tramvay	2	48,2	128	81,9	21
P_10	KKK	Tramvay	11,6	85,8	42,4	145,8	888

5.2.5.5. Kriter İlişkilerinin Belirlenmesi

AAS ağ yapısı oluşturulmuş ve Şekil 5.20’ de gösterilmektedir. Ağ yapısında kriterlerin ve alternatiflerin birbiri ile olan ilişkileri yer almaktadır.



Şekil 5.20. Problemin ağ yapısı

5.2.5.6. AAS ile Çözüm

Chang yöntemine göre BAHP’ kullanılan ölçek Çizelge 5.49’da gösterilmektedir. Çizelge 5.50’de ise örnek bir karşılaştırma verilmiştir.

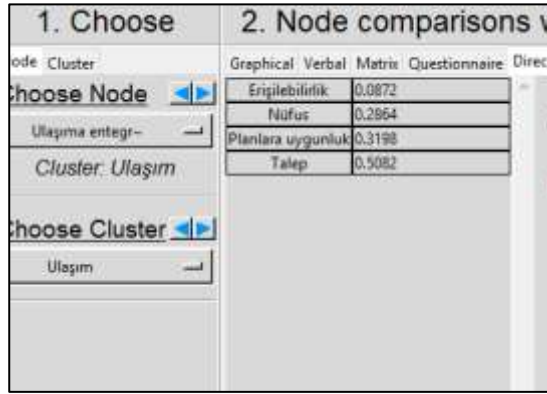
Çizelge 5.49. Chang yöntemine göre bulanık AAS’de kullanılan ölçek

Sözel ifade	Bulanık ölçek	Karşılık ölçek
Eşit önemli	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
Biraz daha fazla önemli	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)
Kuvvetli derecede önemli	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
Çok kuvvetli derecede önemli	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
Tamamıyla önemli	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)

Çizelge 5.50. Ulaşım entegrasyon kriteri ilişkisinin bulanık karşılaştırma matrisi

Kriterler	Nüfus	Erişilebilirlik	Yolculuk talebi	Planlara uygunluk
Nüfus	(1,1,1)	(3,5,7)	(1/5,1/3,1/1)	(1/5,1/3,1/1)
Erişilebilirlik	(1/5,1/3,1/1)	(1,1,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1/1)
Yolculuk talebi	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,1,1)	(1,3,5)
Planlara uygunluk	(1,3,5)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)	(1,1,1)

Kwong-bai yöntemine göre kriterlerin bulanık sayılarının reel sayıya dönüştürülmesi ile elde edilen kriter ağırlıkları sırasıyla nüfus, erişilebilirlik, yolculuk talebi ve planlara uygunluk $W = (0,2864, 0,0872, 0,5082, 0,3198)$ 'dir. Bu değerler "Super Decision" programında kriter ağırlıkları olarak girilmektedir (Şekil 5.21).



Şekil 5.21. Bulanık değerlerin super decision programında girilmesi

Bu süreçler her ilişkilendirilen kriter ve alternatifler için uygulanarak bulanık bulanık sayılar reel sayılara çevrilerek Super Decision programında girilmiştir. Tüm bu işlemler sonucunda alternatiflerin önem seviyeleri ve buna göre sıralamaları Çizelge 5.51’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.51. Değerlendirme sonucu ve projelerin sıralanması

Projeler	Önem ağırlıkları	Sıralama
P_1	0,123203	4
P_2	0,020668	10
P_3	0,073712	6
P_4	0,091253	5
P_5	0,064411	8
P_6	0,216998	1
P_7	0,026198	7
P_8	0,201001	2
P_9	0,124201	3
P_10	0,058355	9

Çalışmada, raylı sistem projelerinin seçimi için bulanık AAS kullanılmıştır. Bulanıklık sözel ifadeleri daha iyi bir şekilde sayısal olarak ifade etmemize olanak vermektedir. Yapılan çalışma sonucunda en iyi 3 proje olarak P_6, P_8 ve P_9 olarak gerçekleşmiştir.

5.2.5.6. Sonuçların Değerlendirilmesi

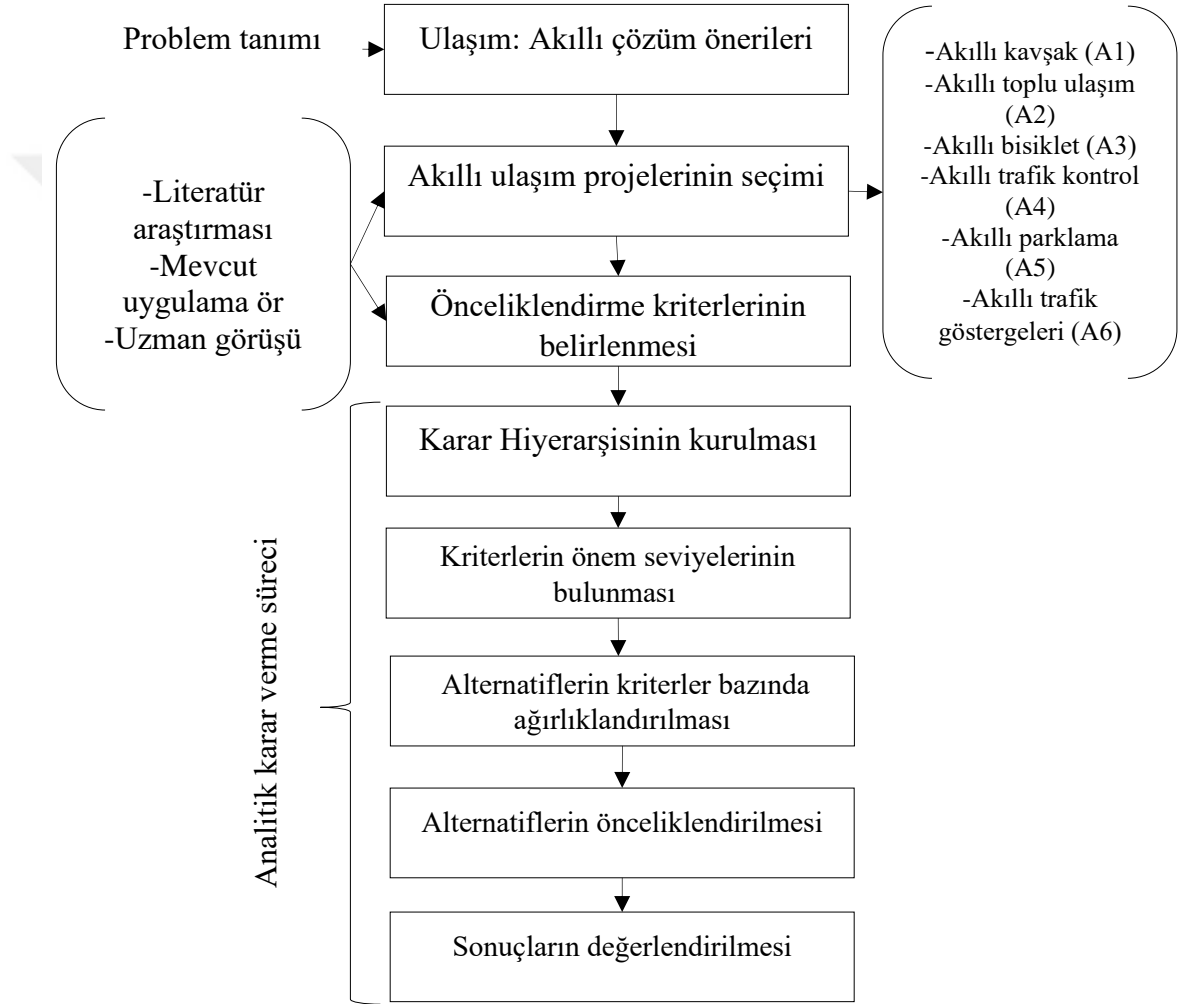
Çalışmada, raylı sistem projelerinin seçimi için bulanık AAS kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda en iyi 3 proje, 2 metro projesi ile bir monoray projesi olarak gerçekleşmiştir.

5.2.7. Akıllı Ulaşım Projelerinin Seçimi

Şehirlerin giderek kalabalıklaşması, beraberinde şehir içerisinde gelişen hareketlilik ve gündün güne artan ulaşım ihtiyaçları hepimizin tanık olduğu bir süreçtir. Bu ciddi nüfus artışıyla birlikte, büyük şehirlerde hâlihazırda yaşanan sorunların çözüme kavuşturulması daha da önemli hâle gelmektedir.

Dünyadaki hızlı kentleşme nedeniyle, yerel yönetimler yeni zorluklarla karşı karşıya kalmışlardır ve akıllı şehir kavramını kamu sorunlarına uygulanabilir bir çözüm olarak görmektedirler (Lee vd., 2014). Başlangıçta akıllı şehir, bilgi iletişim teknolojileri uygulaması aracılığıyla halkın katılımını ve sosyal uyumu desteklemek için kullanılmaktaydı (Anthopoulos ve Fitsilis, 2015). Alan adı uygulama perspektifinden bakıldığında, akıllı bir şehir, ekonomi, çevre, yönetim, yaşam, hareketlilik ve insanlar da dahil olmak üzere çeşitli bileşenlerin gelişmiş bir bilgi işlem teknoloji altyapısı kullanılarak oluşturulduğu akıllı bir toplum olarak görülmektedir (Giffinger vd., 2010). Akıllı şehir kavramının önemli bileşenlerinden biri olan hareketlilik, şehirlerin yaşanabilirliği üzerinde büyük etkiye sahip olmakla birlikte, ekonomik gelişmenin de vazgeçilmez unsurlarından biridir. Literatürde yer alan şehirlerin yaşanabilirlik sıralamalarında üzerinde önemle durulan bir kavramdır.

Araştırma metodolojisinde ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Karar problemi tanımlandıktan sonra kriterler belirlenmiş ve uzman ekip tarafından onaylanmıştır. Şekil 5.22’te proje seçim süreci gösterilmektedir.



Şekil 5.22. Akıllı ulaşım projeleri seçimi için akış şeması

5.2.6.1. Problem Tanımı

Birçok şehir altyapı merkezli çözümlere odaklanmıştır (Degbelo vd., 2016) ve akıllı şehir projelerinin çoğu proaktif bakım, takip-kontrol ve akıllı yapılara dayanmaktadır (Dustdar, vd., 2016). Bununla birlikte, bir kentin odağını oluşturan halk, şehir yönetiminin kentte vatandaş memnuniyetini, ekonomik rekabetçiliği ve sürdürülebilirliği teşvik etmek için vatandaş merkezli çözümlerde sınırlı kaynakların verimli kullanılmasını ve yürütülmesini beklemektedir (Chatfield ve Reddick, 2016; Suganthi, 2018; Ziemba, 2019). Dahası, kamu kurumları kentsel sorunları ele almak için istenen tüm projeleri aynı anda gerçekleştirmek için yeterli kaynağa sahip olmayabilir. Bu nedenle uygulanabilir projeleri seçmek ve kurumların mevcut kaynakları ile organizasyonel hedefe ulaşmak için rasyonel bir sürece ihtiyaç vardır (Pee ve Kankanhalli, 2016).

Bu çalışmada da Kırıkkale ili için ÇKKV yöntemlerinden AHP kullanılarak akıllı ulaşım projelerinin seçimi üzerine odaklanılmaktadır. Kırıkkale de gelişmekte olan ve hızlı kentleşme nedeniyle zorluklarla karşılaşmış ve daha iyi bir yaşam kalitesi sağlamak ve rekabet gücünü artırmak amacıyla yeni ulaşım altyapı projeleri yapmaktadır. Ancak sınırlı kaynaklar nedeniyle altyapı yetersiz kalmakta veya etkili çözümler sunulmamaktadır. Bu çalışma ile Kırıkkale ulaşımı için akıllı ulaşım çözüm önerileri sunulmakta ve sunulan alternatif projelerin AHP ile önceliklendirilmesi yapılmaktadır.

5.2.6.3. Akıllı Ulaşım Proje Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi

Değerlendirme kriterleri literatür araştırması neticesinde belirlenmiş ve uzman görüşleri ile şekillenmiştir. Literatürde en fazla geçen sürdürülebilirlik kriterleri, ana başlıklar etrafında değerlendirme sürecinde kullanılmıştır. Çevresel (K1), sosyal (K2), ekonomik (K3), ve ulaşım (K4) kriterleri değerlendirmede tek seviyede kullanılmıştır.

5.2.6.4. Akıllı Ulaşım Alternatiflerinin Belirlenmesi

Alternatif akıllı ulaşım projeleri;

Akıllı kavşak (A1): Birçok şehirde uygulanmakta olan ve kavşaklarda oluşan trafik yoğunluğunu azaltmak için akıllı trafik sistemi uygulaması alternatiflerimizden biridir. Yoğun trafik oluşturan kavşaklara kurulan kameralar, trafik ışıklarını tamamen araç yoğunluğuna göre yönetmektedir. Böylece sabit bir ışık sistemi değil, yoğunluğa göre ayarlanan bir sistem ile trafikte bekleme süresi en aza indirilmektedir. Dolayısıyla yakıtlı araçların yaymış olduğu zararlı gaz salınımı da böylece daha az seviyelere indirilmesine yardımcı olacaktır.

Akıllı toplu ulaşım (A2): Toplu ulaşım kullanıcılarına kolaylık sağlama amacıyla geliştirilen bir sistemdir. Uygulaması sayesinde, toplu ulaşım hatlarının hangi güzergâhlardan geçtiğini, otobüs hatlarına ait sefer zamanlarını, toplu ulaşım aracının beklenen ya da belirtilen durağa tahmini olarak kaç dakika sonra geleceğini, belirtilen adrese en yakın durakları öğrenmek mümkün olmaktadır. Akıllı durak kapsamında da değerlendirilebilecek bu uygulama ile zamanın etkili kullanımı sağlanabilecektir.

Akıllı bisiklet (A3): Akıllı bisikletler ve bisiklet yollarının geliştirilmesi ile yeşil ulaşımın sağlanması noktasında önemli bir adım atılmış olacak ve çevresel sürdürülebilirliği zorlayan problemlerin büyük çoğunluğu elimine edilebilecektir.

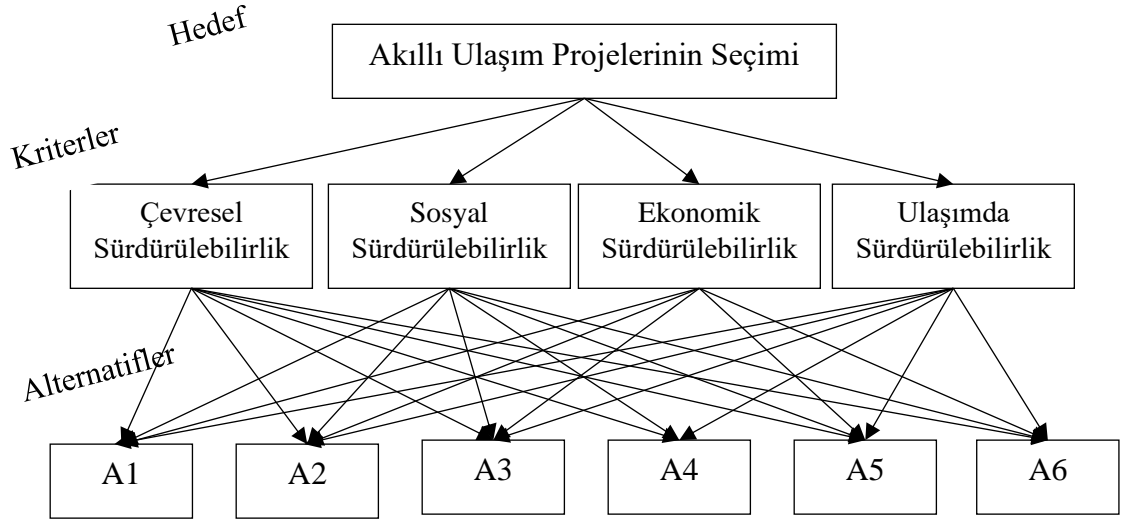
Akıllı trafik kontrol (A4): Var olan ulaşım altyapısı, nüfusla beraber artan araç sayısını kaldıramamakta ve trafikte geçen süreler artmaktadır. Artan zaman iş kayıplarına, verimliliğin düşmesine, ulaşım masraflarının artmasına ve zararlı egzoz gazı emisyonlarının artmasına yol açmaktadır. Kentler, teknoloji risklerinin, teknoloji değişim hızının ve yaşam döngüsünün değerlendirilmesi ve anlaşılması için gereken kilit yetkinliklere genellikle sahip değildir. Dolayısıyla trafiğin akışı ve kontrolünde kullanılabilecek dron veya insansız araçlar şehir güvenliği ve trafiğin kontrolünde önemli bir yer edinmektedir.

Akıllı parklama (A5): Şehrin her yerinde park yeri algılayıcıları bulunmakta ve göstergeleri ağı yardımıyla kent sakinlerini yönlendirebilmektedir. Bu sayede zaman ve yakıt kayıplarının önüne geçilebilecek ve âtıl trafik oluşumu engellenebilecektir.

Akıllı trafik göstergeleri (A6): Akıllı trafik göstergeleri ile hem dinamik bilgilendirme sağlanılabilecek hem de trafiğin yönetimi elektronik ortama taşınması yolunda önemli adımlar atılabilecektir.

5.2.6.5. Karar Hiyerarşisinin Oluşturulması

Akıllı ulaşım projelerinin seçimi hedefi altında 4 kriter ve 6 alternatiften oluşan karar probleminin sınırları hiyerarşi olarak ortaya konulmuştur. Problemin karar hiyerarşisi Şekil 5.23'te gösterilmektedir.



Şekil 5.23. Akıllı ulaşım projeleri seçim problemi karar hiyerarşisi

5.2.6.6. AHP ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

Uzman görüşleri doğrultusunda yapılan önceliklendirme neticesinde kriterlerin öncelik değerleri Çizelge 5.52’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.52. Önceliklendirme kriterlerinin ağırlıkları

Kriterler	K1	K2	K3	K4	Özvektör
K1	1,000	3,000	1,000	3,000	0,388
K2	0,333	1,000	1,000	1,000	0,179
K3	1,000	1,000	1,000	3,000	0,304
K4	0,333	1,000	0,333	1,000	0,129
					0,05746<0,1

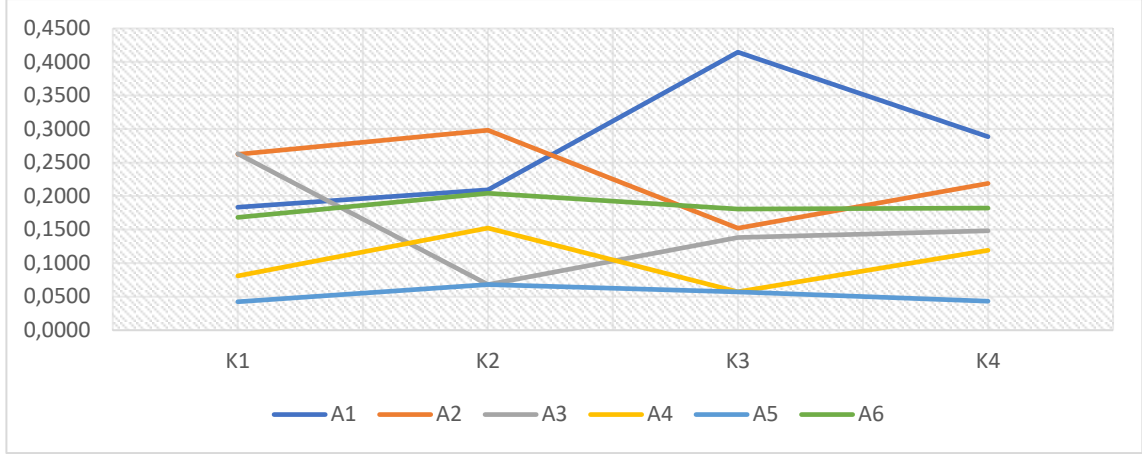
İkili karşılaştırmalar neticesinde $K1 > K3 > K2 > K4$ olarak önem sırası oluşmuştur.

5.2.6.7. Alternatiflerin Öncelik Değerlerinin Bulunması

Alternatiflerin her bir kriter bazındaki ağırlıkları Çizelge 5.53’te gösterilmektedir. Yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğu da tutarlılık testi ile doğrulanmıştır. Şekil 5.24’te de kriterlerin etkileri grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.53. Kriterler bazında Alternatiflerin karşılaştırma sonuçları

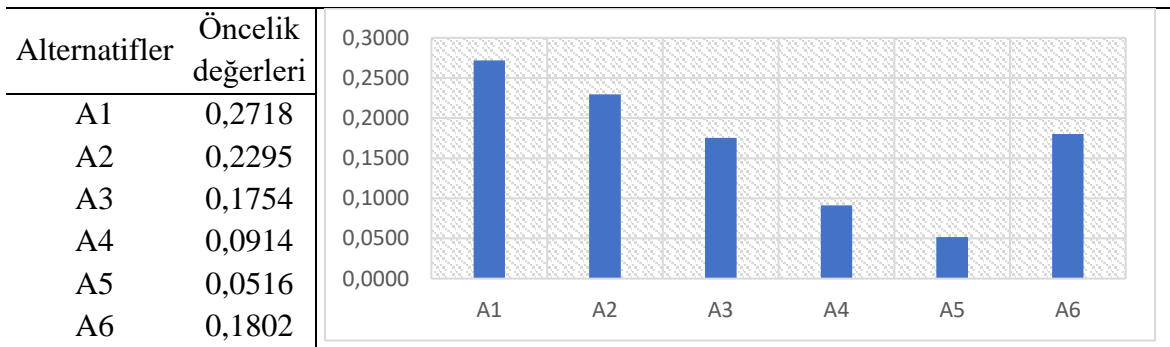
Alternatifler	K1	K2	K3	K4
A1	0,1834	0,2093	0,4146	0,2885
A2	0,2621	0,2982	0,1521	0,2189
A3	0,2631	0,0681	0,1382	0,1484
A4	0,0808	0,1523	0,0572	0,1192
A5	0,0424	0,0681	0,0572	0,0430
A6	0,1682	0,2042	0,1807	0,1820
Tutarlılık oranı	0,05325	0,05655	0,04903	0,07674



Şekil 5.24. Alternatif projelere kriterlerin etkisi

Yapılan ikili karşılaştırmalar neticesinde bulunan kriter ağırlıkları ve alternatiflerin kriterler bazındaki önem seviyeleri matris çarpımı ile her bir alternatifin öncelik değerleri bulunmaktadır. Ara hesaplamalar neticesinde oluşan öncelik değerleri Çizelge 5.54’te grafiksel gösterimi ile verilmiştir.

Çizelge 5.54. Akıllı ulaşım projelerinin öncelik değerleri ve grafiksel gösterim



Çalışma neticesinde en önemli projenin akıllı kavşak uygulamaları (A1) olduğu görülmüştür. Bu projenin trafikte bekleme süreleri ve bununla birlikte atmosfere salınan zararlı gaz yoğunluğunun engellenmesi yönünde önemli faydalar sağlayacağı öngörülmektedir. Ayrıca yakıt ekonomisi de önemli amaçlardandır. Diğer ikinci önceliğe sahip akıllı toplu ulaşım (A2) ve üçüncü öncelik akıllı trafik göstergeleri (A6) olmuştur.

5.2.6.8. Sonuçların Değerlendirilmesi

Kentleşme, karşı konulmaz bir eğilim olarak, kentsel alanlarda yaşam kalitesini düşürerek yeni problemlere yol açmaktadır. Dolayısıyla, şehirleri akıllı hale getirmek hızlı kentleşme ile ilgili sorunları hafifletebilir (Lee vd., 2014). Ancak, kamu kurumları istenen tüm projeleri aynı anda uygulamak için yeterli kaynaklara sahip olmayabilir. Çünkü projelerin göreceli önemini değerlendirmek ve organizasyonel hedeflere ulaşmaya yardımcı olacak en iyi projeleri seçmek, kaynak kullanımı ve daha yaşanabilir bir şehir için önemlidir. Çalışmanın en katkısı şu şekilde özetlenebilir: Gelişmekte olan bir şehir için akıllı ulaşım alt yapısı inşa etmek ve böylece mevcut kaynakların verimli kullanımını sağlamak. Ek olarak, uygulama, karar verme süreçleri ile de çok boyutlu bütünlük değerlendirmelerin yerel yönetimlerde planlama adımlarına yardımcı araçlar olarak kullanılmasının gerekliliğini gözler önüne sermektedir.

5.2.7. Şehirler Arası Ulaşım Projelerinin Seçimi

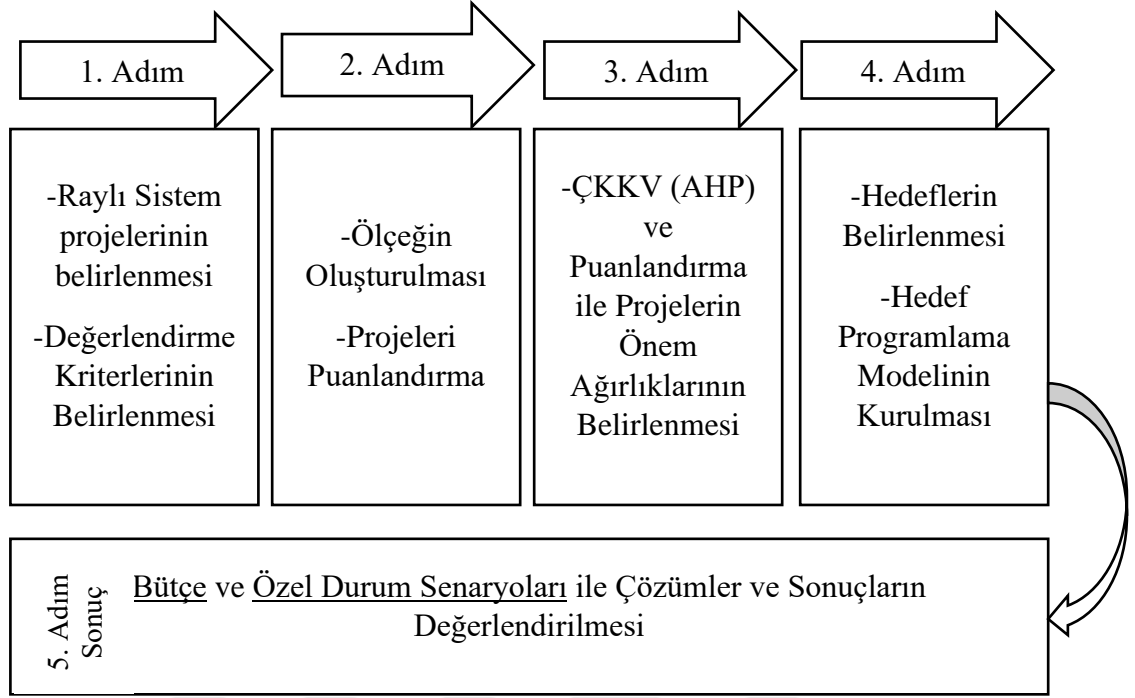
Kentsel ulaşım kadar şehirler arası ulaşım da üzerinde önemle durulması gereken bir alandır. Şehirler arası ulaşım da güvenli, hızlı, konforlu ve sürdürülebilir bir sistem/altyapı oluşturmak sürdürülebilir kalkınma için önemli bir faaliyet alanıdır. Bu kapsamda Türkiye’de şehirler arası ulaşım üzerine yatırımlar yapılmakta, yeni otoyollar, yüksel hızlı ve hızlı trenler hatları ile modernizasyon faaliyetleri planlanmaktadır.

5.2.7.1. Araştırma Metodolojisi

Önerilen yöntem, demiryolu sistemi projelerinin değerlendirilmesine odaklanan puanlama-AHP-HP tekniklerini birleştirir. Yöntem 8 temel aşamadan oluşur:

- ✓ Alternatif raylı sistem projelerinin belirlenmesi.
- ✓ Kriterlerin tanımlanması.
- ✓ 1-5 gibi tanımlayıcılar için ölçeklerin oluşturulması.
- ✓ Projelerin her kriter altında puanlanması.
- ✓ AHP yöntemiyle projeler için ağırlıkların ayarlanması.
- ✓ HP için hedef değerin belirlenmesi.
- ✓ HP modelinin oluşturulması.
- ✓ Çözümler ve sonuçların değerlendirilmesi.

Araştırmada en önemli iki bilgi kaynağı kullanılmıştır: (a) proje verileri ve (b) ulaştırma hizmeti konusunda akademik uzmanlar. Toplu taşıma uzmanı görüşmeler yoluyla çalışmaya katkıda bulunmuşlardır. Şekil 5.25'te Şehirler arası ulaşım projeleri seçimi için karar verme süreci gösterilmektedir.



Şekil 5.25. Şehirler arası ulaşım projeleri seçimi için karar verme süreci

5.2.7.2. Problem Tanımı

Şehirlerarası birçok ulaşım projesi olan Türkiye'de demiryolu alanı hızla büyümektedir. Şehirlerarası ulaşım insanlar için özellikle seyahat süresi açısından önemli faaliyetlerden biridir. Yüksek hızlı tren (YHT) ve hızlı tren (HT) projeleri, şehirlerarası ulaşım için bu projelerden bazılarıdır. Bu alana tahsis edilen bütçe sınırlıdır; bu nedenle entegrasyon, talep, nüfus, bölgesel kalkınma ve bütçe kısıtlamaları doğrultusunda en değerli projenin seçimi düşünülmelidir. Bu uygulama, YHT ve Türkiye'deki hızlı tren projelerinden demiryolu ulaşım ağına en uygun projelerin seçilmesine yönelik bir planlama süreci içermektedir. İlk aşamada raylı sistemler için belirlenen kriterlerin ağırlığını bulmak için AHP kullanılmıştır. Daha sonra proje bütçeleri ve projeler için ayrılan merkezi bütçe senaryoları dahilinde HP kullanılarak seçim yapılmıştır.

5.2.7.3. Değerlendirme Kriterlerinin Belirlenmesi

Şehirler arası ulaşım projelerinin seçimi için beş ana kriter belirlenmiştir: nüfus oranı (K1), bölgesel kalkınma (K2), entegrasyon (K3), maliyet (K4) ve ulaşım verimliliği (K5). Bu noktada önemli olan hedefler; kurulacak yeni hattın bölgesel kalkınmaya olumlu etkisi, ulaşım ağına entegrasyonun sağlanması, kaynak kullanım etkinliği ve hattın kullanılabilirliği ile ulaşım verimliliğinin sağlanmasıdır.

5.2.7.4. Alternatiflerin Belirlenmesi

Türkiye 2023 yılı hedefleri etrafında şehirler arası ulaşım içinde birçok raylı sistem projesi hedeflemektedir. Bu projelerin büyük bir kısmını YHT ve modernizasyon projeleri oluşturmaktadır. Çizelge 5.55'te planlama ve inşaat aşamasında olan raylı sistem projelerinin listesini göstermektedir. Bu makalenin amacı, ulaştırma planlamasında proje seçimine analitik süreçlerin ve matematiksel programlama tekniklerinin bir uygulamasını sunmaktır. Bu kapsamda, ulusal, bölgesel ve yerel planlama düzeylerinde YHT ve HT projeleri değerlendirilmiş ve hedef kısıtları altında HP ile seçilmiştir.

Şehirlerarası ulaşım gelişmekte olan ülkeler için çok önemli bir alandır. Ayrıca Türkiye'de de önemli bir konu haline gelmiştir. Türkiye Cumhuriyeti, son on yıldır bu alanla ilgili büyük bütçeler ayırmıştır ve halen birçok proje ile raylı sistem yatırımları devam etmektedir. Uygulama, raylı sistem projelerinin analitik karar süreçlerini kullanarak seçilmesini içermektedir. Bu çalışmada proje seçim süreci, ulaşım planlarında yer alan 3 adet YHT ve 23 adet HT projesinin değerlendirilmesi ile ilgilidir.

Çizelge 5.55. Şehirler arası alternatif raylı sistem projeleri

Proje	Proje hattı	Tip	Uzunluk (km)
P1	Ankara -Sivas	YHT	393
P2	Ankara -İzmir	YHT	624
P3	Bursa-Bilecik	HT	110
P4	Konya-Karaman	HT	102
P5	Karaman-Ulukışla	HT	135
P6	Mersin-Adana	HT	67
P7	Adana -Osmaniye	HT	79
P8	Bahçe-Nurdağı	HT	17
P9	Nurdağı- Başpınar	HT	56
P10	Akçagöze-Başpınar	HT	11
P11	Sivas-Erzincan	HT	80
P12	Sivas-Erzincan (Zara-İmranlı)	HT	41
P13	Aliağa-Çandarlı-Bergama	HT	56
P14	Toprakkale-Bahçe	HT	58
P15	Yerköy-Kayseri	YHT	142
P16	Edirne (Kapıkule)-İstanbul	HT	230
P17	Gebze- Halkalı	HT	124
P18	Eskişehir- Antalya	HT	412
P19	Antalya- Kayseri	HT	532
P20	Samsun-Çorum-Kırıkkale	HT	286
P21	Kırıkkale-Kırşehir-Aksaray-Ulukışla	HT	315
P22	Ulukışla-Yenice	HT	109
P23	Sivas-Malatya	HT	125
P24	Sivas-Erzincan	HT	125
P25	Nusaybin-Cizre-Silopi-Habur	HT	134
P26	Mürşitpınar-Şanlıurfa	HT	63

5.2.7.5. AHP ile Kriter Ağırlıklarını belirlenmesi

YHT, seyahat süresini kısaltması ve yüksek kaliteli hizmetler sunması nedeniyle dünya çapında popülerdir. Ayrıca daha fazla güvenilirlik ve güvenlik, daha düşük enerji tüketimi ve karbon emisyonu gibi diğer ulaştırma modlarına göre avantajları vardır. Bu nedenle

YHT, 200 ile 800km arasındaki mesafelerde en rekabetçi ulaşım modu olarak kabul edilmektedir. Türkiye de yeni hatların inşası ve mevcut demiryolu hatlarının modernize edilmesi noktasında projeleri vardır. Ayrıca 11. Kalkınma Planında (2019-2023), 2023 yılında hızlı tren hattının uzunluğu 5.595 km olarak hedeflenmiştir. Ayrıca hızlı, güvenli ve konforlu demiryolu taşımacılığı ve modern tren yönetimi ile hizmet kalitesinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

İstasyonların sayısı ve yeri ile YHT istasyonunun ulaşım ağı entegrasyonu, YHT planlaması için kritik iki konudur. Ayrıca, birçok ülkede YHT alanını geliştirmenin amacı daha geniş ekonomik projeleri desteklemektir. Dolayısıyla, bölgenin kalkınma düzeyi demiryolu sistemi hat planlarını etkilemektedir. Örneğin, YHT istasyonları erişilebilirlikte önemli bir iyileşme sağlamıştır. Dolayısıyla bu durum nüfus oranı ve ulaşım verimliliği ile de ilgilidir. Bu uygulamada, değerlendirme süreci için beş ana kriter kullanılmıştır: nüfus oranı (K1), bölgesel kalkınma (K2), entegrasyon (K3), maliyet (K4) ve ulaşım verimliliği (K5). Çizelge 5.56’da kriterlerin, AHP ile yapılan ikili karşılaştırmaları gösterilmektedir. Devamında Çizelge 5.57’de ise kriterlerin normalizasyon matrisi ve kriter ağırlıkları verilmektedir.

Çizelge 5.56. Kriterler arası karşılaştırma değerleri

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1,000	1,000	3,000	0,333	1,000
K2	1,000	1,000	3,000	1,000	1,000
K3	0,333	0,333	1,000	0,333	0,333
K4	3,000	1,000	3,000	1,000	0,333
K5	1,000	1,000	3,000	3,000	1,000

Çizelge 5.57. Normalizasyon ve kriter ağırlıkları

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	Özvektör
K1	0,158	0,231	0,231	0,059	0,273	0,1902
K2	0,158	0,231	0,231	0,176	0,273	0,2137
K3	0,053	0,077	0,077	0,059	0,091	0,0712
K4	0,474	0,231	0,231	0,176	0,091	0,2405
K5	0,158	0,231	0,231	0,529	0,273	0,2843

Consistency ratio (CR)=0,094141<0,10

Belirlenen kriter ağırlıkları doğrultusunda her bir proje puanlandırılarak, proje ağırlıkları belirlenmiştir.

5.2.7.6. Hedef programlama ile çözüm

Şehirler arası ulaşım projelerinin seçimi için kurulan matematiksel model Çizelge 5.58’te gösterilmektedir. Matematiksel model, IBM ILOG CPLEX 12.6.2 programı ile üç farklı bütçe senaryosu için ayrı olarak çözülmüştür ve çözüm sonuçları Çizelge 5.59’da verilmektedir.

Bu bütçe senaryoları 1.000, 5.000 ve 10.000 olarak belirlenmiştir. Toplam 10.000 maliyetle sonuçlanan 10.000 bütçenin altında 12 proje seçildi. Bu projeler seçildiğinde bütçe tam olarak kullanılır. Ayrıca, bütçe senaryosu değiştiğinde, sıralama, seçim, maksimum mesafe artar ve değişir. Çizelge 5.59’da diğer senaryolar gösterilmektedir. Ayrıca, bütçeler altında zorunlu projeler (P1; P2; P1-P2; P19-P20; P2-P15; P1-P15; P17) seçildiğinde, sonuç değerlerindeki değişim de aynı tabloda gösterilmiştir. HP modeli özel kısıtlamalarla harcanmaktadır. Bu zorunlu seçilmiş projeler, Türkiye için yeni HSR projeleri inşa edilmesi, Türkiye'nin kuzey-güney doğrultusunda erişilebilirliğinin sağlanması ve dünya çapında kritik bir merkezin (İstanbul Havalimanı) bağlantısının sağlanması açısından önemli projelerdir.

Çizelge 5.58. Şehirler arası ulaşım projeleri seçimi için HP modeli

Hedefler	Model	
Hedeflerin sağlanması	$(d_1^+ + d_1^- + d_2^+ + d_2^- + d_3^+ + d_3^-)$	(5.62)
Yüksek ağırlıklı projelerin seçilmesi	$(w_1 * d_4^- + w_2 * d_5^- + \dots + w_{26} * d_{29}^-)$	(5.63)
Kısıtlar		
Hedef nüfusu sağlama	$\sum_{i=1}^{26} a_i * P_i + (d_1^- - d_1^+) = \text{Nüfus oranı}$	(5.64)
Maksimum mesafe hedefinin sağlanması	$\sum_{i=1}^{26} b_i * P_i + (d_2^- - d_2^+) = \text{Mak. Mesafe}$	(5.65)
Bütçe senaryoları (1.000-5.000-10.000-15.000)	$\sum_{i=1}^{26} c_i * P_i + (d_3^- - d_3^+) = \text{Senaryolar}$	(5.66)
Proje P_1 'in seçilmesi	$P_1 + d_4^- = 1;$	(5.67)
Proje P_2 'in seçilmesi	$P_2 + d_5^- = 1;$	(5.68)
Proje P_3 'in seçilmesi	$P_3 + d_6^- = 1;$	(5.69)
Proje P_4 'in seçilmesi	$P_4 + d_7^- = 1;$	(5.70)
Proje P_5 'in seçilmesi	$P_5 + d_8^- = 1;$	(5.71)
Proje P_6 'in seçilmesi	$P_6 + d_9^- = 1;$	(5.72)
Proje P_7 'in seçilmesi	$P_7 + d_{10}^- = 1;$	(5.73)
Proje P_8 'in seçilmesi	$P_8 + d_{11}^- = 1;$	(5.74)
Proje P_9 'in seçilmesi	$P_9 + d_{12}^- = 1;$	(5.75)
Proje P_{10} 'in seçilmesi	$P_{10} + d_{13}^- = 1;$	(5.76)
Proje P_{11} 'in seçilmesi	$P_{11} + d_{14}^- = 1;$	(5.77)
Proje P_{12} 'in seçilmesi	$P_{12} + d_{15}^- = 1;$	(5.78)
Proje P_{13} 'in seçilmesi	$P_{13} + d_{16}^- = 1;$	(5.79)
Proje P_{14} 'in seçilmesi	$P_{14} + d_{17}^- = 1;$	(5.80)
Proje P_{15} 'in seçilmesi	$P_{15} + d_{18}^- = 1;$	(5.81)
Proje P_{16} 'in seçilmesi	$P_{16} + d_{19}^- = 1;$	(5.82)
Proje P_{17} 'in seçilmesi	$P_{17} + d_{20}^- = 1;$	(5.83)
Proje P_{18} 'in seçilmesi	$P_{18} + d_{21}^- = 1;$	(5.84)
Proje P_{19} 'in seçilmesi	$P_{19} + d_{22}^- = 1;$	(5.85)
Proje P_{20} 'in seçilmesi	$P_{20} + d_{23}^- = 1;$	(5.86)
Proje P_{21} 'in seçilmesi	$P_{21} + d_{24}^- = 1;$	(5.87)
Proje P_{22} 'in seçilmesi	$P_{22} + d_{25}^- = 1;$	(5.88)
Proje P_{23} 'in seçilmesi	$P_{23} + d_{26}^- = 1;$	(5.89)
Proje P_{24} 'in seçilmesi	$P_{24} + d_{27}^- = 1;$	(5.90)
Proje P_{25} 'in seçilmesi	$P_{25} + d_{28}^- = 1;$	(5.91)
Proje P_{26} 'in seçilmesi	$P_{26} + d_{29}^- = 1;$	(5.92)
	$P_i = 0 \text{ veya } 1$	

Çizelge 5.59. Sonuç tablosu ve senaryolar

Bütçe Senaryoları (Milyon TL)	Özel Durumlar	Seçilen Projeler	Toplam Maliyet (Milyon TL)	Toplam Mesafe (km)
1.000	---	P ₁₀ -P ₂₂ -P ₂₄ -P ₂₅	1.018	379
5.000	---	P ₄ -P ₇ -P ₁₆ -P ₂₀ -P ₂₂ -P ₂₃ -P ₂₄ -P ₂₅ -P ₂₆	5.016	1.253
10.000	---	P ₂ -P ₄ -P ₈ -P ₉ -P ₁₀ -P ₁₆ -P ₂₀ -P ₂₂ -P ₂₃ -P ₂₄ -P ₂₅ -P ₂₆	9.988	1.882
10.000	P ₁ =1	P ₁ -P ₂₄	10.179	527
10.000	P ₂ =1	P ₂ -P ₄ -P ₈ -P ₉ -P ₁₀ -P ₁₆ -P ₂₀ -P ₂₂ -P ₂₃ -P ₂₄ -P ₂₅ -P ₂₆	9.988	1.882
10.000	P ₁₉ =1 ve P ₂₀ =1	P ₄ -P ₉ -P ₁₀ -P ₁₆ -P ₁₉ -P ₂₀ -P ₂₂ -P ₂₃ -P ₂₄ -P ₂₅ -P ₂₆	10.005	1.773
10.000	P ₂ =1 ve P ₁₅ =1	P ₂ -P ₁₀ -P ₁₅ -P ₂₃ -P ₂₄	10.018	1.027
15.000	P ₁ =1 ve P ₁₅ =1	P ₁ -P ₁₅ -P ₂₂ -P ₂₃ -P ₂₄	14.969	894
15.000	P ₁₇ =1	P ₄ -P ₉ -P ₁₀ -P ₁₆ -P ₁₇ -P ₂₀ -P ₂₂ -P ₂₃ -P ₂₄ -P ₂₅	15.029	1.302
15.000	P ₁ =1 ve P ₂ =1	P ₁ -P ₂ -P ₁₀ -P ₂₄	15.017	1.153

5.2.7.6. Sonuçların Değerlendirilmesi

Geleneksel demiryolu hatları projelerinin modernizasyonu ve genişletilmesi için yeni YHT ve HT projelerinin seçimi bu çalışmanın konusudur. Seçim süreci, Türkiye demiryolu ağı ile ilgili gerçek demiryolu projeleri için uygulanmıştır. Geliştirilen model üç adımdan oluşan bir yapıya sahiptir: puanlama, AHP süreci ve HP ile optimizasyon. Raylı sistem yatırımları maliyetli yatırımlardır. Bu nedenle, proje seçimi ulaşım için önemli bir karar verme sürecidir. Sunulan seçim modeli, şehirlerarası ulaşım hizmetlerinin geliştirilmesi için kamu politikalarının uygulanmasını destekleyen kapsamlı bir görüş sunarak yöneticilere ve planlamacılara destek sağlamaktadır.

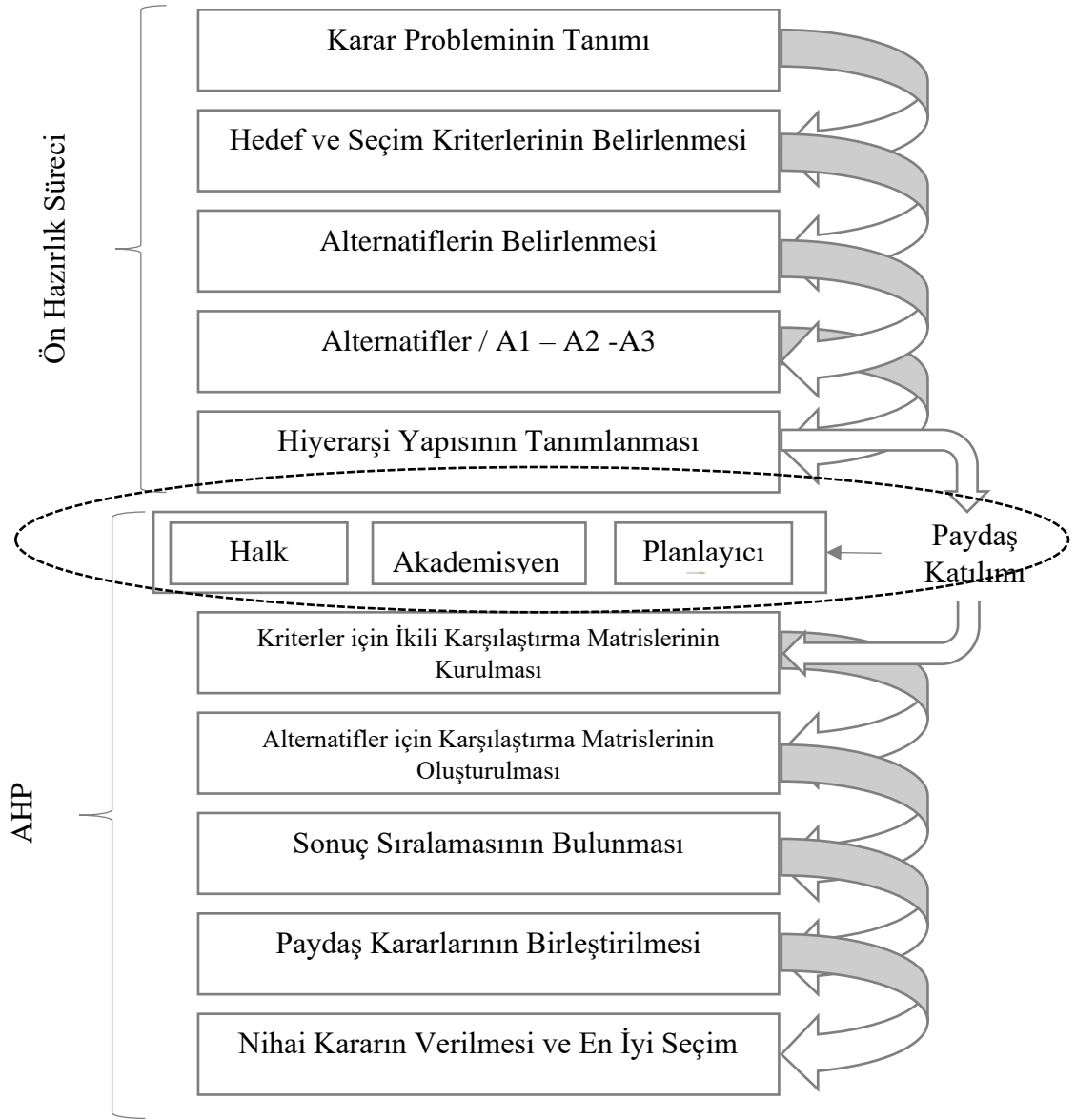
5.3. Köprü Yeri Seçim Problemi

Bu bölümde ulaşım planlama kararlarından biri olan yer seçim problemi ele alınmış ve köprü yeri seçimi hakkında çok kriterli ve paydaş katılımına dayalı seçim gerçekleştirilmiştir.

5.3.1. Paydaş Katılımına Dayalı Köprü Yeri Seçimi

Akademisyen, ulaşım planlayıcı ve halkın katılımı ile 3 farklı paydaş grubunun verdiği kararların ortalaması alınarak köprü yeri seçimi için nihai karar verilmiştir. Analitik hiyerarşi prosesin kullanıldığı karar sürecinde tüm paydaşların, kent için stratejik bir karar verme sürecine katılımı sağlanması noktasında şehir sakinlerini yakinen ilgilendiren yer seçimi için etkili karar alınması amaçlanmıştır.

Uygulama ön hazırlık ve analitik karar verme süreci olarak iki ana bölümden oluşmaktadır. Ön hazırlık aşamasında karar probleminin belirlenmesi, hedef ve seçim kriterleri ve alternatiflerin belirlenmesi ve karar yapısının oluşturulması yer almaktadır. İkinci aşamada analitik karar verme süreci paydaş katılımı ile 3 paydaş tarafından anketler aracılığıyla değerlendirme sürecini kapsamaktadır. Köprü yeri seçim probleminde paydaşlar; akademisyenler, planlamacılar ve halkın katılımı olarak 3 gruptan oluşmaktadır. Her grup ayrı ayrı değerlendirmeleri neticesinde nihai kararların ortalaması alınarak sonuç sıralaması bulunmuştur. Şekil 5.26'da çalışmanın akış şeması verilmektedir.



Şekil 5.26. Uygulamanın akış şeması

5.3.1.1.Karar Probleminin Tanımı

Uygulama, ulaştırma planlama süreci için orta büyüklükte ve gelişmekte olan bir ilçe için çeşitli karar vericiler ile analitik bir model sunmaktadır. Bu çalışmada karar süreci, köprü

inşa yerinin seçimidir. Önerilen karar süreci, ÇKKV metodolojisi ile ulaşım için en önemli iki faktör olan halkın katılımı ve sürdürülebilirliğine dayanmaktadır. Aynı zamanda, planlayıcıların, akademisyenlerin ve halkın katılım kararlarının bu uygulamaya entegrasyonuna odaklanmaktadır.

Köprü yerinin seçimi kentsel yaşam ve başarılı ulaşım sistemi için önemli bir karardır. Ancak, bir yapının yer seçiminde çok sayıda değişken etkisi nedeniyle, bir köprü sahasının en iyi inşa yeri seçeneğini belirlemek için özel bir formül yoktur. Köprü alanının seçiminin sosyal, ekonomik, çevresel ve ulaşım gibi faktörleri sağlamak için farklı gereksinimleri vardır; bu nedenle, seçim süreci için çok çeşitli yaklaşımlar geliştirilebilir. Dolayısıyla, ÇKKV yöntemleri karar verme sürecinde planlama için iyi araçlardır (Gonzalez vd., 2020).

Çarşamba, Samsun ilinin en büyük ve en önemli ilçelerden biridir. Çarşamba ilçesi yeşil ırmağın denize döküldüğü yer olması ve tarımsal yapısı ile bilinir. Çarşamba nüfusu yaklaşık 150 bin kişidir ve Samsun ilinin en kalabalık ilçelerinden biridir. Yeşilirmak ilçeyi iki yakaya ayırmaktadır. İki taraf arasındaki bağlantı dört köprü ile sağlanmaktadır. Şekil 5.27’de Çarşamba’dan bir görünüm verilmektedir. Bu köprülerden biri sadece insanlar tarafından yaya köprüsü olarak kullanılır (Tarihi köprü). Diğer Karadeniz sahil yoluna ait bir otoyol köprüsüdür. Diğer ise kent içi ulaşım köprüsü olan Ali Fuat Başgil köprüsüdür. Bir diğer köprü de komşu ilçe (Salıpazarı) bağlantısı için kullanılan karayolu köprüsüdür. Ulaşım için yeni bir ilçe köprüsü ihtiyacı vardır ve bu kapsamda planlama süreci devam etmektedir. Bu noktada en önemli konu “Bu köprü nerede inşa edilmeli?” sorusudur. Planlayıcılar tarafından köprü inşa yeri için üç alternatif yer belirlenmiştir.



Şekil 5.27. Çarşamba'dan bir görünüm

Kentsel ulaşım sistemi, sosyal hayatı, kentsel yaşam kalitesini ve kentsel ulaşım ağlarının yapısal kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Aynı zamanda, verimli bir kentsel ulaşım ağının, ilçenin ekonomik gelişimi üzerinde olumlu yönde bir etkisi vardır. Bu nedenle, trafikte kaybedilen sürenin azaltılması ve iki yaka arasında daha az mesafenin sağlanması (kat edilen toplam mesafenin en aza indirilmesi) planlama süreci için iki önemli faktördür.

5.3.1.2. Değerlendirme kriterlerinin Belirlenmesi

Sürdürülebilirlik temelinde çevresel, sosyal, ekonomik ve ulaşım ana kriterleri altında 14 alt kriter belirlenmiştir. Kriterlerin belirlenmesinde “Wang vd. (2008), Pan (2008), Malekly vd. (2010), Wang vd. (2011), Gervásio ve Da Silva (2012), Salem vd. (2013), Ardeshir vd. (2014), Yadollahi vd. (2015), Sultana ve Rasel (2016), Bansal vd. (2017), Groenier ve Gubernick (2007), Özkır ve Demirel (2012)”nin yaptıkları çalışmalardan yararlanılmıştır. Değerlendirme kriterleri Şekil 5.28’de gösterilmektedir.

Çevresel (C1)	Sosyal (C2)	Ekonomik (C3)	Ulaşım (C4)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Arazi Kullanımı (C11)	<input type="checkbox"/> Erişilebilirlik (C21)	<input type="checkbox"/> İş alanlarına erişim (C31)	<input type="checkbox"/> Ulaşım (C41)
<input type="checkbox"/> Ses kirliliği (C12)	<input type="checkbox"/> Acil Hizmetlere Erişim (C22)	<input type="checkbox"/> Sıkışıklık (C32)	<input type="checkbox"/> Entegrasyon (C42)
<input type="checkbox"/> Hava Kirliliği (C13)	<input type="checkbox"/> Seyahat Zamanı (C23)	<input type="checkbox"/> Üretim birimlerine destek (C33)	<input type="checkbox"/> Sseviye Farkı (C43)
	<input type="checkbox"/> Görsel etki (C24)	<input type="checkbox"/> Yaklaşık Maliyet (C34)	

Şekil 5.28. Köprü yeri seçimi için sürdürülebilirlik kriterleri

5.3.1.3. Alternatiflerin Belirlenmesi ve Tanımları

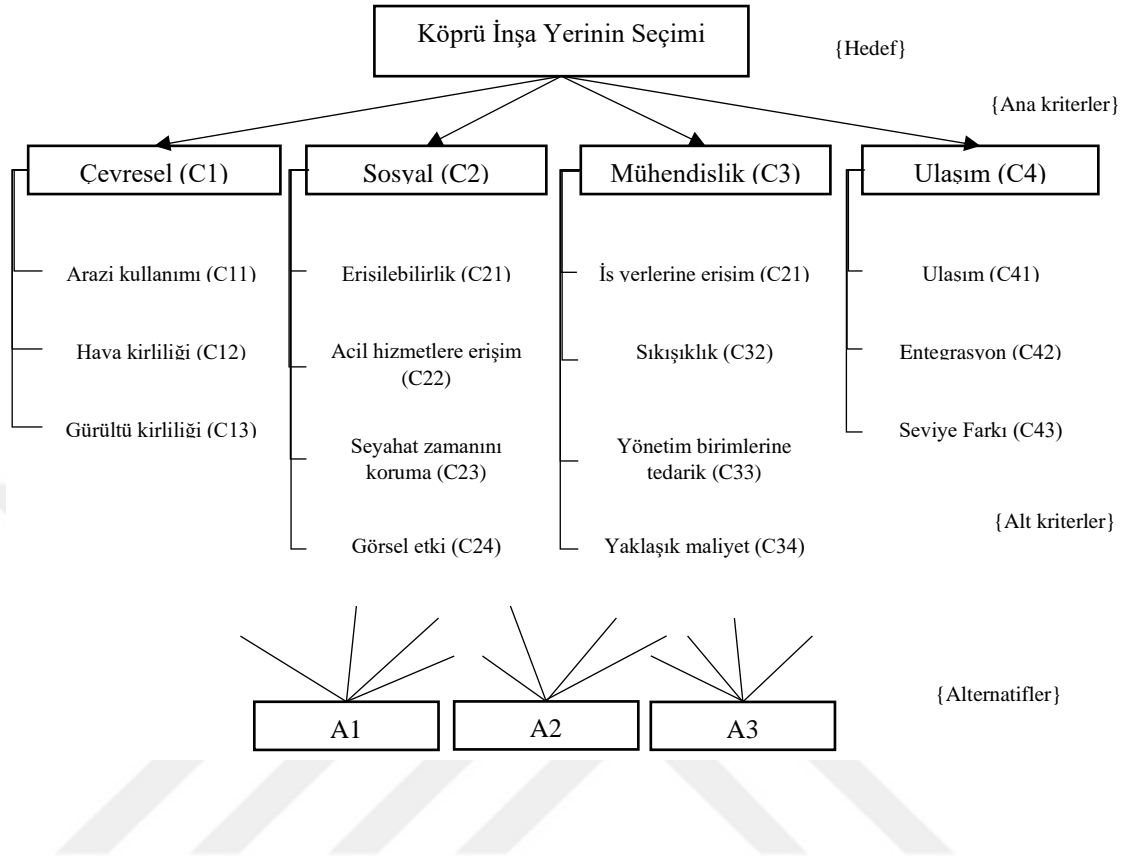
İlçe belediyesi tarafından alternatif 3 köprü yeri belirlenmiştir. Belirlenen köprü yerleri Şekil 5.29’da gösterilmektedir. Alternatifler A1 yeri, karadeniz sahil yolu köprüsüne daha yakın olup şehrin tam merkezi konumundadır. A2 yeri, sadece yayalara açık olan ve Çarşamba’nın ilk köprüsü olan tarihi köprü ile en son inşa edilen Ali Fuat Başgil köprüsü arasında kalmaktadır ve şehre hâkim bir noktadadır. A3 yeri ise Ali Fuat Başgil köprüsü ile Salıpazarı-Samsun köprüsü arasında adapark dolaylarındadır. Nispeten şehir merkezinin kenarında kalmakla birlikte şehir merkezinin yükünü azaltacak bir konumdadır. Dolayısıyla Yeşil ırmak üzerinde 5. Köprü olacak bu planlanan yapı şehrin ve Yeşil ırmağın görüntüsünü bozacağı endişesi ve yeni bir köprüye ihtiyaç olup olmadığı noktasında tartışma konusu olmuştur.



Şekil 5.29. Çarşamba ve alternatif köprü yerleri (A1-A2-A3)

5.3.1.5. Problemin Karar Hiyerarşisi

Problemin karar hiyerarşisi 4 seviyeden oluşmaktadır. En üstte köprü yeri seçimi olarak belirlenen hedef; devamında ana kriterler ve alt kriterler ve son olarak 3 alternatif seçenekten oluşan alternatifler yer almaktadır. Karar hiyerarşisi, problemin sınırlarını görmek noktasında önemlidir. Şekil 5.30'da köprü yeri seçimi problemi karar hiyerarşisi gösterilmektedir.



Şekil 5.30. Yer seçim problemi karar hiyerarşisi

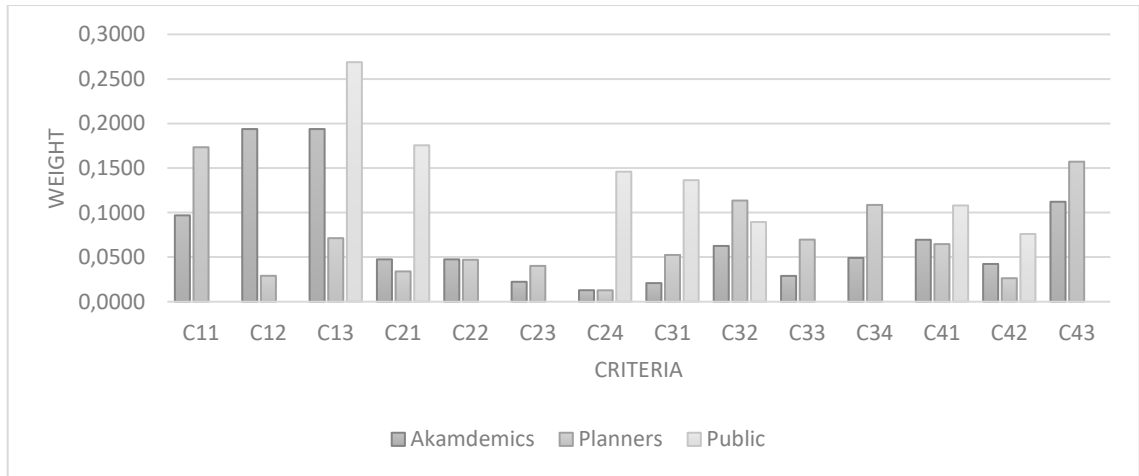
5.3.1.6. Paydaş Katılımının Sağlanması ve Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Sürdürülebilirlik faktörleri olan çevresel, sosyal, ekonomik ve ulaşım ana kriterleri altında 14 kriter paydaşlar tarafından anket yoluyla değerlendirilmiştir. Değerlendirmede akademik ve planlamacı katılımcılardan tüm kriterler için bir değerlendirme istenirken; haktan katılımcılar için cevaplayabileceği 7 kriter için anket gerçekleştirilmiş ve bu yedi kriter üzerinde değerlendirme yapılması sağlanmıştır. Bunun sebebi olarak haktan katılımcıların değerlendirme yapabilecekleri kriterler sorulmuştur. Her paydaşın ayrı ayrı yaptığı değerlendirme sonuçlarında ortaya çıkan kriter ağırlıkları Çizelge 5.60'ta gösterilmektedir.

Çizelge 5.60. Sürdürülebilirlik kriter ağırlıkları-paydaşlar

Kriterler	Alt-Kriter	Akademisyenler	Planlamacılar	Halk
Çevresel	C11	0,0969	0,1733	---
	C12	0,1938	0,0291	---
	C13	0,1938	0,0713	0,2688
Sosyal	C21	0,0475	0,0340	0,1755
	C22	0,0475	0,0471	---
	C23	0,0223	0,0402	---
	C24	0,0129	0,0128	0,1459
Ekonomik	C31	0,0209	0,0525	0,1364
	C32	0,0626	0,1135	0,0894
	C33	0,0289	0,0697	---
	C34	0,0491	0,1086	---
Ulaşım	C41	0,0695	0,0646	0,1080
	C42	0,0423	0,0263	0,0760
	C43	0,1121	0,1571	---

Akademisyenler için yer seçim probleminde en önemli kriter C12, C13 ve C43 ilen; planlamacılar için C11, C43, C32; halk için ise C13, C21 ve C24 olmuştur. Kriter ağırlıklarının grafiksel gösterimi Şekil 5.31’de verilmiştir.



Şekil 5.31. Kriter ağırlıkları grafiksel gösterim

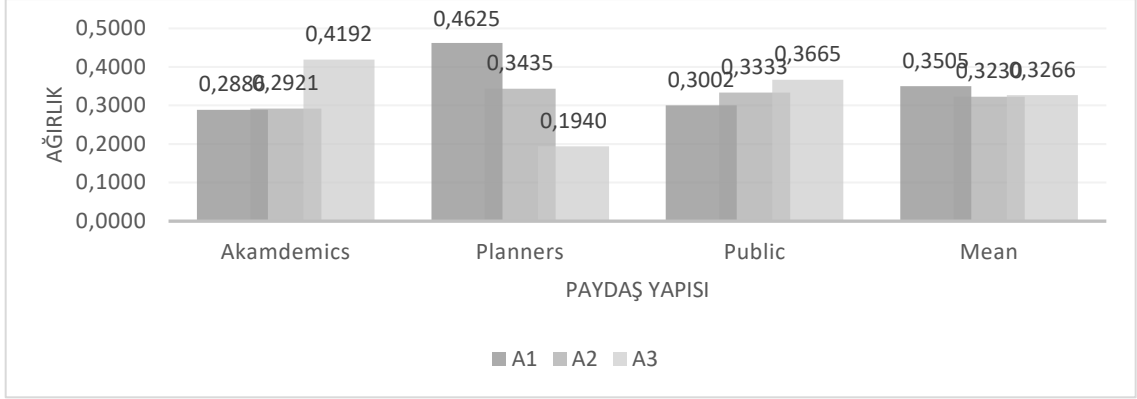
5.3.1.7. Sonuç Sıralaması

Kriter ağırlıklarının ağırlıklandırılması süreci sonrasında her paydaş yine ayrı ayrı, kriterler doğrultusunda alternatif 3 yeri ikili karşılaştırmalar yaparak değerlendirmekte ve AHP süreci alternatifler içinde çalıştırılmaktadır. Paydaşların yaptıkları değerlendirmeler neticesinde ortaya çıkan alternatiflerin tercih oranları Çizelge 5.61’de verilmiştir. Aynı çizelgede alternatiflerin ortalama tercih seviyeleri de hesaplanmış ve gösterilmiştir.

Çizelge 5.61. Alternatiflerin seçim oranları

Alternatifler	Akademisyenler	Planlamacılar	Halk	Ortalama
A1	0,2886	0,4625	0,3002	0,3505
A2	0,2921	0,3435	0,3333	0,3230
A3	0,4192	0,1940	0,3665	0,3266

Sonuçta, A1, planlamacıların tercihi, alternatifler arasında her üç karar sürecinde en iyi yer olarak seçilmiştir. A3 akademisyenler ve kamuoyu tarafından tercih edilmesine rağmen A1, diğerlerinden daha yüksek orana sahip olduğu için sonuç kararıdır. Bunun yanı sıra, üç karar süreci ortalama kullanılarak birleştirilmiştir. Sonuç olarak, en iyi sonuç A1 alternatifi olarak seçilir. Ortalamanın diğer kararların sonuçlarıyla karşılaştırılması Şekil 5.32' de gösterilmektedir.



Şekil 5.32. Alternatiflerin seçim sıralamaları grafiksel gösterim

5.3.1.8. Sonuç ve Değerlendirmeler

Köprü yeri seçim problemi stratejik bir konudur ve şehirlerin veya ilçelerin, özellikle kalabalık şehirlerin ulaşımının verimliliği üzerinde önemli etkileri vardır. Bir yer seçimi probleminde çeşitli alternatifler farklı kriterler açısından ele alınmalı ve değerlendirilmelidir. Bu nedenle, karar kalitesini artırmak için etkili bir değerlendirme yaklaşımı şarttır. Alternatif alanları değerlendirmek için bilimsel bir çerçeveye sunan bu çalışma, AHP' yi karar verme probleminin çözümünde kullanmıştır.

Bunu yaparken, alternatif üç mümkün köprü alanı planlamacılar tarafından belirlenmiştir. Daha sonra planlamacılar, akademisyenler ve halkın katılımı yoluyla AHP kullanılarak en uygun köprü yeri seçilmektedir. Son olarak, nihai derecelendirme üç paydaşın tüm kararlarının ortalaması ile hesaplanmaktadır. A1 alternatifi, %0,3505 oranıyla bu karar süreci için en uygun alan olmuştur. Aynı alternatif bölge (A1) her üç karar grubu tarafından da seçilmiştir. Böylece sonuçlar birbirini de desteklediği görülmüştür.

5.4. Uygulamaların Değerlendirilmesi

Ulaşım planlaması, yeni projeler, yeni altyapı yatırımları, yeni araç ve sistemlerin inşasından ve ulaşım alt yapısını genişletmek ile sınırlı değildir. Sürdürülebilir ulaşım planlamasında tüm ulaşım modları ve kaynaklarının verimli kullanımı ile planlamadan, kuruluma, inşaya ve işletilmesine kadar tüm süreçlerde etkinliğin sağlanması amaçlanmaktadır. Dolayısıyla kentsel hareketlilik ve ulaşım planlama süreçlerinde kullanıcı odaklı ve kullanıcı tercihleri zemininde planlama süreçleri önemli bir hal almaktadır. Ulaşım modlarının hızlı, kolay, basit, güvenli, güvenilir, kolay erişilebilir, konforlu olması ve seçenekler sunması ve diğer modlarla fiziksel ve zamansal olarak entegre edilmesi sürdürülebilirliğin sağlanmasına önemli katkı sağlayacaktır.

Kentsel alanlarda, trafikte geçirilen sürenin minimizasyonun sağlanması, temiz hava ve çevrenin korunması ile daha yaşanabilir kentler oluşturmak ve sürdürülebilirliği sağlamak dünyadaki tüm kentlerin önemli ve başlıca konularından biridir. Artan özel araç sahipliği oranının önüne geçmek amacıyla hızlı ve güvenilir toplu ulaşımın desteklenmesi ve devamında toplu ulaşımında temiz enerjili araçların kullanımı ile yeşil ulaşım standartları sağlanmaya çalışılmaktadır. Dolayısıyla düşük karbon emisyonu ile çalışan motorlar ve alternatif enerjili araçlar toplu ulaşımın önemli konuları arasında yer almaktadır.

Kentsel nüfus artışı, kentlere göç, sanayileşme gibi parametreler şehir içi ve şehirler arası ulaşımına olan talebi de arttırmaktadır. İş hayatı, gelir artışı ve ekonomik büyüme beraberinde ekonomik sürdürülebilirliği, sosyal yaşamın gelişmesi, artan sosyal faaliyet seçenekleri, sosyal sürdürülebilirliği ve çevresel hassasiyet ise çevresel sürdürülebilirliği ön plana çıkararak sürdürülebilir çözümleri gerekli kılmaktadır. Artan hareketlilik birçok boyutu ile ele alınıp sürdürülebilir çözümlerin üretilmesi önemli bir gerekliliktir.

Metropol şehirlerde iş, sağlık, eğitim, eğlence ve diğer amaçlarla kentsel alanlarda trafik oluşmaktadır. Oluşan trafikte ilk hedef yeşil ulaşım ile yayaların desteklenmesidir. Ancak küresel yaşam biçimine entegrasyon, özel araç bağımlılığı ve kullanımı trafiği arttırmakta ve alternatif ulaşım modlarını gerekli kılmaktadır. Tüm ulaşım modlarında da temiz

enerjinin kullanımını ise hem kaynak etkinliği hem de çevresel kirliliğin azaltılması ile yaşam kalitesinin artırılmasında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca, gelişen teknoloji ile ulaşımda tüm paydaşlar için gerçek zamanlı trafik bilgisi, yolculuk planlama, elektronik bilet, akıllı kart sistemi gibi veri entegrasyonu yoluyla kolaylaştırıcı, basitleştirici, zaman ve maliyet tasarrufu sağlayan yeni kavramlar ortaya çıkmaktadır. Küresel ısınma nedeniyle oluşan enerji fiyatlarındaki artışlar, kıt enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve giderek artan çevresel duyarlılık, yeşil çözümler ve karbon emisyonlarının azaltılması konusundaki sorumlulukları ön plana çıkarmaktadır.

Ulaşımın ekonomik gelişme ve çeşitli endüstriler üzerinde olumlu etkileri olmasına rağmen, emisyon üretimi, trafik artışı ve sıkışıklığı vb. gibi kent yaşamı üzerinde olumsuz etkileri de olabilmektedir. Bu etkilerin önemi, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için kent yöneticileri ve planlamacılar, mevcut sistemlerin performansını ölçerek yeni politikalar oluşturarak veya yeni altyapılar inşa ederek ortaya çıkmaktadır. Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için kentsel ulaşım sistemlerinde yeni politikalar veya alternatif inşaat projeleri hakkında karar vermek, sürdürülebilir bir ulaşım sorunudur. Finansal sınırlamalar, teknik sınırlamalar ve çok sayıda paydaş, amaç ve değerlendirme kriteri nedeniyle sürdürülebilir ulaşım planlama, araştırmacılar ve karar vericiler için zorlu ve karmaşık sorunlardan biridir. Bu amaçla, hedefler doğrultusunda önce kentsel ulaşımın sürdürülebilirlik değerlendirme kriterleri belirlenmelidir ve her bir kriterin önemi belirlenmelidir. Bu kriterlerin ve sürdürülebilirlik boyutlarının göreceli önemi, yöneticilerin / uzmanların daha iyi kararlar vermeleri için belirleyici bir anahtar bilgidir.

Bu tez çalışmasında, ulaşım planlamanın üç önemli problemi olan araç seçimi, proje seçimi ve yer seçimi ele alınmıştır. Bu üç problem tipinde toplam 12 güncel uygulama yapılmıştır. Çizelge 5.62'de yapılan uygulamaların özetine yer verilmiştir.

Çizelge 5.62. Yapılan uygulamalar için özet çizelge

Uygulama Bölümleri	Amaç	Kullanılan Yöntem								“Sürdürülebilirlik” temelinde işlenen konular
		AHP	AAS	TOPSIS	VIKOR	MOORA	KP.	HP.	BS.	
5.1.1.	Elektrikli otobüs seçimi			✓	✓	✓				Toplu ulaşım
5.1.2.	Elektrikli araç seçimi	✓		✓						Yeşil ulaşım
5.1.3.	Elektrikli otomobil Seçimi	✓		✓				✓		Temiz teknoloji
5.1.4.	Dron seçimi	✓		✓	✓	✓				Trafik kontrol
5.2.1.	Kentsel ulaşım modu seçimi	✓		✓					✓	Stratejik planlama
5.2.2.	Monoray projelerinin seçimi	✓						✓		Toplu ulaşım
5.2.3.	Raylı sistem projelerinin seçimi	✓						✓		Toplu ulaşım
5.2.4.	Proje seçimi						✓			Toplu ulaşım
5.2.5.	Kentsel ulaşım projelerinin seçimi		✓							Toplu ulaşım
5.2.6.	Akıllı ulaşım projelerinin seçimi	✓								Akıllı ulaşım
5.2.7.	Ulaşım projelerinin seçimi	✓						✓		Şehirler arası ulaşım
5.3.1	Köprü yeri seçimi	✓								Paydaş katılımı

Üç ana problem başlığı altında ele alınan uygulamalarda en fazla olandan sırasıyla; AHP, TOPSIS, HP, KP, VIKOR, MOORA ve bulanık sayılar karar vermeye yardımcı araçlar olarak kullanılmıştır. Yapılan uygulamalar yerel yönetimler ve hizmet sağlayıcılar olmak üzere araştırmacılar ve özel sektör paydaşları için rehber olacak niteliktedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kentsel ulaşım ve şehirler arası ulaşım, ekonomik kalkınmada önemli faktörler olması ve iklim değişikliğine büyük etkileri nedeniyle, iyi bir planlama gerektiren kritik faaliyetler olduğu açıktır. Bu tezde, sürdürülebilir ulaşım projelerini ve araçlarını değerlendirmek için örnek uygulamalar sunulmaktadır. Değerlendirme, analiz ve seçim süreçleri için belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılmasında ÇKKV yöntemlerinden AHP (kriterlerin birbirinden bağımsız olduğu durumda) ve AAS (kriterlerin birbiri ile bağımlı olduğu durumda); sıralama ve en iyi seçim için TOPSIS, VIKOR, MOORA sıralama süreçleri ve belirli kısıtlar altında bütçeleme için ise matematiksel modellemeler olan HP ve KP karar vermeye yardımcı araçlar olarak kullanılmıştır.

Tezde ele alınan üç problemden biri olan araç seçim probleminde dört örnek uygulama yapılmıştır. Bu uygulamalarda anahtar kelimeler toplu ulaşım, elektrikli otobüsler, yeşil ulaşım, elektrikli otomobiller, temiz enerjili araçlar, trafik yönetimi ve dronlar olmuştur. AHP, TOPSIS, MOORA, HP karar verme araçları karma olarak uygulanmıştır. Yapılan uygulamalar ile sırasıyla, kentsel ulaşımı geliştirmek, yeşil ulaşımın sağlanması, sürdürülebilir ulaşım ve sürdürülebilir trafik kontrolünün sağlanması amaçlanmıştır.

Diğer bir problem olan proje seçimi kapsamında yedi örnek uygulamaya yer verilmiştir. Bu uygulamalarda yer verilen anahtar kelimeler; kentsel ulaşım, sürdürülebilirlik, stratejik planlama, monoray, raylı sistemler, proje seçimi, akıllı ulaşım, şehirler arası ulaşım, YHT ve modernizasyon projeleri olmuştur. Uygulamalarda AHP, AAS, TOPSIS, HP, KP ve bulanık sayılar karar vermeye yardımcı olmak üzere kullanılmıştır. Yapılan uygulamalarda sırası ile; gelişmekte olan şehirler için sürdürülebilirlik temelinde stratejik planlama, monoray projelerinin seçimi, raylı sistem projelerinin seçimi, kentsel ulaşımın planlanmasında proje seçimi kararlarına yardımcı olmak için kısıt programlama ve AAS yöntemlerinin kullanımı, akıllı ulaşım projelerinin seçimi ve şehirler arası YHT ve modernizasyon projelerinin önceliklendirilmesi ile bütçeleme yapılması hedeflenmiştir.

Üçüncü problem olan yer seçim probleminde, köprü inşa yerinin seçimi üzerine bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulamada yer verilen anahtar kelimeler; köprü yeri seçimi, yer seçim problemi, sürdürülebilirlik, paydaş katılımı olmuştur. Uygulamada AHP kullanılmış ve ulaşım planlama birimi, akademisyenler ve halkın katılımı ile paydaş yapısı oluşturulmuştur. Çalışma ile amaçlanan, gelişmekte olan ilçe için yeni inşa edilecek bir köprü yeri seçimini, sürdürülebilirlik ve paydaş katılımı ile gerçekleştirilmesini sağlamaktır.

11. Kalkınma Planı ile ilişkilendirerek şekillendirdiğimiz bu tezde, daha yaşanabilir şehirlerin oluşturulmasına öncülük edebilecek ve akıllı şehirlerin inşasına da temel oluşturabilecek güncel 12 uygulamayı kapsamaktadır. Akıllı şehirlerin bir bileşeni olan hareketlilik, akıllı uygulamalar ile sağlanılabilecektir. Akıllı ulaşım sistemleri, bilgi ve iletişim teknolojilerinden maksimum fayda sağlayarak, mevcut sistemin güvenlik, kapasite ve etkinliğini artırmaya yönelik çalışmaların bütünüdür. Dolayısıyla, ulaştırma altyapısının fiziksel gelişiminden ziyade, mevcut altyapının daha etkin şekilde kullanılması amacıyla anlık veriyi toplayıp anlamlandırma ve ulaşım yönetiminde kullanılabilecek bilgiyi elde etme yöntemleriyle ilgilenir. Akıllı ulaşım sistemleri genel olarak, insanın üzerindeki düşünme veya karar verme yükünü hafifletmeye yönelik ulaşım çözümleri olarak tanımlanabilir. Bu tezde kullanılan analitik yöntemler ve yapılan güncel uygulamalar akıllı şehir olma yolunda çevresel, ekonomik, sosyal, teknolojik faktörler ile bütünleşik bir karar verme süreci sunmaktadır.

Tezin literatüre ana katkısı, ulaşım planlama süreçlerinde sürdürülebilirlik, paydaş katılımı, akıllı ulaşım, yeşil ulaşım ve karbon ayak izi kavramlarını karar verme süreçlerine entegre etmek ve ÇKKV ve matematiksel modellerin karar vermeye yardımcı araçlar olarak kullanılmasını sağlayarak akademi, endüstri, özel sektör ve yerel yönetimler için karar verme süreçlerine yardımcı olmaktır.

Akademik alan için;

- ✓ Bu tez, ÇKKV ve ulaşım planlama alanlarında çalışan bilim insanları için yeşil ulaşım, karbon ayak izi, paydaş katılımı, akıllı ulaşım ve sürdürülebilir şehirler için kullanılacak bir endeks oluşturma noktasında bütünlük bir karar verme hedefinde atılabilecek adımlar için temel oluşturabilecek örnekler sunmaktadır.

Yerel yönetimler için;

- ✓ Bu çalışma ile sürdürülebilir kalkınma ile ilgili optimal bir ulaşım altyapısı inşa edilebilir, planlama faaliyetlerinde kaynak kullanımı öngörülebilir ve problemlere proaktif bir yaklaşım sunulabilir.
- ✓ ÇKKV karma modelleri, araç satın alma kararlarının altında yatan mantığı güçlendirerek kamu kurumlarında şeffaflık talebini karşılamaya katkıda bulunabilir.
- ✓ Kaynak kullanım etkinliği, problemlerin çok boyutlu ele alınması ile sağlanabilir.
- ✓ Paydaş yapısı ile halkın stratejik karar verme süreçlerine katılımı projelerin kabulünde kritik rol oynayarak halkın desteği sağlanabilir.
- ✓ Tez kapsamında yapılan uygulamalar ile önerilen araçlar, şehrin izlenmesi, hızlı ve güvenilir bilgi eldesi ve şehrin tüm bileşenlerinin entegrasyonun etkili bir şekilde yapılması, yönetim birimlerinin işini kolaylaştıracak ve daha etkili bir yönetim sağlanacaktır ve akıllı şehirler için zemin oluşturacaktır.

Özel sektör için;

- ✓ Hedeflerin belirlendiği problem sınırlarının net bir şekilde çizildiği planlama faaliyetlerinde, bütünlük modeller ile ulaşım altyapısı proje yöneticilerinin, özel

sektör temsilcilerine proje faaliyetleri için kaynak ve fon tahsis etmesini doğru bir şekilde anlamalarına yardımcı olabilir.

- ✓ Şehir göstergeleri ile şehrin sosyal, teknolojik, ekonomik ve çevresel hedefleri doğrultusunda şehir bileşenlerini bir arada değerlendirerek akıllı çözüm ve hizmetleri sunma, akıllı ve sürdürülebilir şehirleşme bağlamında temeldir. Dolayısıyla özel sektör paydaşlarına teknolojik gelişmeler ve inovasyonlar için büyük görevler düşmektedir.

Gelecek çalışmalarda araç seçim problemleri için öneriler;

- ✓ Ülkemizde yerli üretim hamlesi noktasında atağa kalmış olup elektrikli otobüs, elektrikli otomobil, elektrikli tren üretimleri ile yerli üretime ve yerli markalara büyük destek sağlamaktadır. Gelecek çalışmalarda yapılabilecek uygulama ve seçim süreçlerinde “yerlilik oranı” bir kriter olarak kullanılması ülke ekonomisine katkı sağlayacak ve karar verme süreçlerinde önemli bir faktör olacaktır.
- ✓ Teknolojik gelişmeler neticesinde elektrikli araçlar/dronlar daha da geliştirilecektir. Kullanımı daha da yaygınlaşacak ve entegrasyonun sağlanması noktasında birçok problem ortaya çıkacaktır. Akıllı şehirler bağlamında bu sistemlerin entegrasyonu noktasında çalışmalar ile bu konu desteklenebilir.
- ✓ Elektrikli araçların ve trafik kontrol araçlarının yaygınlaşması noktasında politikalar oluşturulabilir, teşvik sistemleri incelenebilir.
- ✓ Bu tezde, karar verme süreci sadece elektrikli araç teknolojileri ile sınırlandırılmıştır. Ancak, ulaştırma sektörünün büyük teknolojik gelişmeler gerektirdiği açıktır. Teknolojilerin ve politikaların daha da geliştirilmesi ile, önümüzdeki yıllarda hidrojen araçlarının veya elektrikli otonom araçların norm haline gelmesi mümkündür. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalar ile toplu taşıma amacıyla hidrojen, otonom veya elektrikli araçların seçimine odaklanılabilir.

- ✓ Trafik kontrol ve izleme amacıyla bu çalışmada insansız hava araçlarının seçimi ve sürdürülebilir ulaşım planlama için elektrikli araçların seçimi için karar verme süreçleri uygulanmıştır. Bu uygulamaların benzerleri sürdürülebilir tarım, çevre koruma, sürdürülebilir turizm, büyük ölçekli afet yönetimi, askeri misyon ve inşaat mühendisliği uygulamalarında da yapılabilir.

Gelecek çalışmalarda proje seçim problemleri için öneriler;

- ✓ Yıllara safi dönemsel ve dinamik planlamalar ile çalışmalar genişletilebilir.
- ✓ Özellikle alternatif ulaşım projelerinde çevresel sürdürülebilirlik bağlamında sınırlayıcı kavramlardan biri olan karbon ayak izi matematiksel modellere kısıt olarak eklenebilir.
- ✓ Akıllı şehir ve akıllı ulaşım projelerinin seçimi hakkında karar verme ile ilgili literatür oldukça sınırlıdır. Bu alanda daha fazla çalışma yapılması ve tartışılması gerekmektedir.
- ✓ Verimli ve sürdürülebilir ulaşım sistemleri ilkelerine sahip şehirler kurmak için uzun vadeli, kapsamlı ve daha iyi plan ve uygulamalara ihtiyaç vardır. Özellikle ulaşım altyapılarını tamamlamayan gelişmekte olan şehirlerde çevresel, ekonomik ve bütünleşik ulaşım planlarıyla sürdürülebilirliği sağlayarak planlı kentleşme oluşturmak mümkün olacaktır. Bu noktada sürdürülebilir şehir endekslerinin oluşturulmasında matematiksel modeller kurulabilir.

Gelecek çalışmalarda yer seçim problemleri için öneriler;

- ✓ Gelecekteki çalışmalarda, özellikle ölçülen kriterler arasında güçlü etkileşimlerin olduğu tartışılan problemlerde, her zaman bu hususları dikkate alabilecek tekniklere ihtiyaç vardır. Kriterler arasındaki ilişkiler ve belirsiz ortam dikkate

alındığında, karar sürecinde AAS, BAHP, bulanık DEMATEL gibi bulanık ÇKKV yöntemleri kullanılabilir. Ayrıca, bu analitik karar süreçleri doğrusal bir programlama veya matematiksel bir model olan HP ile desteklenebilir.

Tüm bunlara ek olarak 2019 yılı sonlarında ortaya çıkan ve tüm dünyayı etkisi altına alan “COVID-19” virüsü pandemi olmuş ve her alanda etkisini olumsuz bir şekilde göstermiştir. Olumsuz etkilenen alanlardan biri de şüphesiz ulaştırma sistemleri olmuştur. Ülke sınırları kapatılmış, şehirlerde kısıtlamalar getirilmiştir. Hava, kara, deniz, tüm ulaşım modları kısmen askıya alınmıştır. Toplu ulaşım büyük risk olarak görülmüş ve özel araç kullanımı artarak, ulaşım tercihlerinde büyük değişimler olmuştur. Bu bakımdan herhangi bir salgın durumunda ulaştırma sistemlerinin tasarımı, hijyen ve planlamasında ortaya çıkabilecek konular tartışılmalı, yeni politikalar üretilmeli ve kriz yönetim senaryoları ve stratejileri oluşturulması için çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abastante, F., Lami, I.M., A complex analytic network process (ANP) network for analyzing Corridor24 alternative development strategies. In Communications, Computing and Control Applications (CCCA), 2012 2nd International Conference on (pp. 1-8). IEEE, 2012.
- Abdel-Baset, M., Chang, V., Gamal, A., Smarandache, F., An integrated neutrosophic ANP and VIKOR method for achieving sustainable supplier selection: A case study in importing field. *Computers in Industry*. 106, 94-110, 2019.
- Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., Bagloee, S.A., Applications of artificial intelligence in transport: An overview. *Sustainability*. 11(1), 189, 2019.
- Abraham, M. A. (Ed.), *Sustainability science and engineering: Defining principles*. Elsevier. 2005.
- Aditjandra, P. T., Zunder, T. H., Islam, D. M. Z., Palacin, R., Green rail transportation: improving rail freight to support green corridors. In *Green Transportation Logistics* (pp. 413-454). Springer, Cham, 2016.
- Aghdaie, M.H., Hashemkhani Zolfani, S., Zavadskas, E.K., Prioritizing constructing projects of municipalities based on AHP and COPRAS-G: a case study about footbridges in Iran. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 7(2), 145–153, 2012.
- Alakaş, H.M., Bucak, M., Kızıldağ, Ş., Selection of ambulance supplier company with AHP-TOPSIS and AHP-VIKOR methods. *Harran University journal of Engineering*. 4(1), 93-101, 2019.

- Al-Alawi, B.M., Coker, A.D., Multi-criteria decision support system with negotiation process for vehicle technology selection. *Energy*. 157, 278-296, 2018.
- Alkharabsheh, A., Moslem, S., Duleba, S., Evaluating passenger demand for development of the urban transport system by an AHP model with the real-world application of Amman. *Applied Sciences*. 9(22), 4759, 2019.
- Al-Madani, B., Svirskis, M., Narvydas, G., Maskeliūnas, R., Damaševičius, R., Design of Fully Automatic Drone Parachute System with Temperature Compensation Mechanism for Civilian and Military Applications. *Journal of Advanced Transportation*, 1-11, 2018.
- Altuntaş, C., Sargut, Z., Tulazoğlu, D.Ç., Toplu taşımada hatlara optimum araç ve şoför atama karar destek sistemi. XVIII. Akademik Bilişim Konferansı, 55, 2016.
- Amirhosseini, B., Hosseini, S.H., Scheduling charging of hybrid-electric vehicles according to supply and demand based on particle swarm optimization, imperialist competitive and teaching-learning algorithms. *Sustainable Cities and Society*. 43, 339-349, 2018.
- Andrenacci, N., Ragona, R., Valenti, G., A demand-side approach to the optimal deployment of electric vehicle charging stations in metropolitan areas. *Applied Energy*. 182, 39-46, 2016.
- Anser, M.K., Mohsin, M., Abbas, Q., Chaudhry, I.S., Assessing the integration of solar power projects: SWOT-based AHP-F-TOPSIS case study of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13, 2020.
- Anthopoulos, L.G., Fitsilis, P., Understanding smart city business models: a comparison. In *Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web* (pp. 529-534), 015.

Apak, S., Göğüş, G.G., Karakadılar, İ.S., An analytic hierarchy process approach with a novel framework for luxury car selection. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 58, 1301-1308, 2012.

Apt, K., Principles of constraint programming. Cambridge university press. 2003.

Ardeshir, A., Mohseni, N., Behzadian, K., Errington, M., Selection of a bridge construction site using fuzzy analytical hierarchy process in geographic information system. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 39(6), 4405–4420, 2014.

Arıkan, Y., Akkaş, Ö.P., Çam, E., Kırıkkale ili hafif raylı sistem etüdünün gerçekleştirilmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*. 10(3), 6-11, 2018.

Awasthi, A., Chauhan, S.S., A hybrid approach integrating Affinity Diagram, AHP and fuzzy TOPSIS for sustainable city logistics planning. *Appl. Math. Model*. 36, 573–584, 2012.

Awasthi, A., Chauhan, S.S., Omrani, H., Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems. *Expert Syst. Appl*. 38, 12270–12280, 2011.

Awasthi, A., Chauhan, S.S., Using AHP and Dempster-Shafer theory for evaluating sustainable transport solutions. *Environ. Model. Softw*. 26, 787–796, 2011.

Awasthi, A., Govindan, K., Gold, S., Multi-tier sustainable global supplier selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach. *International Journal of Production Economics*. 195, 106-117, 2018a.

- Awasthi, A., Omrani, H., A goal-oriented approach based on fuzzy axiomatic design for sustainable mobility project selection. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*. 6(1), 86-98, 2019.
- Awasthi, A., Omrani, H., A hybrid approach based on AHP and belief theory for evaluating sustainable transportation solutions. *International Journal of Global Environmental Issues*. 9(3), 212-226, 2009.
- Awasthi, A., Omrani, H., Gerber, P., Investigating ideal-solution based multicriteria decision making techniques for sustainability evaluation of urban mobility projects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 116, 247-259, 2018b.
- Awasthi, A., Venkitesamy, K., Padmanaman, S., Selvamuthukumar, R., Blaabjerg, F., Singh, A., Optimal planning of electric vehicle charging stations at the distribution system using hybrid optimization algorithm. *Energy*, 133, 70-78, 2017.
- Axsen, J., Bailey, J., Castro, M.A., Preference and lifestyle heterogeneity among potential plug-in electric vehicle buyers. *Energy Econ*. 50, 190–201, 2015.
- Aydın, S., Kahraman, C., Vehicle selection for public transportation using an integrated multi criteria decision making approach: A case of Ankara. *J. Intell. Fuzzy Syst*. 26, 2467–2481, 2014.
- Badassa, B.B., Sun, B., Qiao, L., Sustainable transport infrastructure and economic returns: A bibliometric and visualization analysis. *Sustainability*, 12(5), 2033, 2020.
- Banai, R., Public transportation decision-making: A case analysis of the Memphis Light Rail Corridor and route selection with Analytic Hierarchy Process. *Journal of Public Transportation*. 9(2), 2006.

- Bansal, S., Singh, A., Singh, S.K., Sustainability evaluation of two iconic bridge corridors under construction using Fuzzy Vikor technique: A case study. *Revista Alconpat*. 7(1), 1-14, 2017.
- Barfod, M.B., Salling, K.B., Leleur, S., Composite decision support by combining cost-benefit and multi-criteria decision analysis. *Decis. Support Syst.* 51, 167-175, 2011.
- Barfod, M.B., Leleur, S., Multi-criteria decision analysis for use in transport decision making. (2 ed.) DTU Transport, 2014.
- Baric, D., Pilko, H., Strujic, J., An analytic hierarchy process model to evaluate road section design. *Transport*. 31(3), 312–321, 2016.
- Barpounakis, E., Geroliminis, N., On the new era of urban traffic monitoring with massive drone data: The pNEUMA large-scale field experiment. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 111, 50-71, 2020.
- Barpounakis, E.N., Vlahogianni, E.I., Golias, J.C., Unmanned aerial aircraft systems for transportation engineering: Current practice and future challenges. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 5(3), 111-122, 2016.
- Belton, V., Stewart, T., Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. Springer Science & Business Media, 2002.
- Bera, A.K., Jana, D.K., Banerjee, D., Nandy, T., Supplier selection using extended IT2 fuzzy TOPSIS and IT2 fuzzy MOORA considering subjective and objective factors. *Soft Computing*, 24, 8899–8915, 2019.
- Bertrand, S., Raballand, N., Viguier, F. Evaluating Ground Risk for Road Networks Induced by UAV Operations. In *2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)* (pp. 168-176). IEEE, 2018.

- Beulen, M., Scherp, L., Santos, B.F., Dynamic evaluation of airline crew's flight requests using a neural network. *EURO Journal on Transportation and Logistics*. 100018, 2020.
- Bibri, S.E., Krogstie, J., Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable Cities and Society*. 31, 183-212, 2017.
- Biswas, T. K., Das, M.C., Selection of commercially available electric vehicle using fuzzy AHP-MABAC. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 100(3), 531-537, 2019.
- Biswas, T., Chatterjee, P., Choudhuri, B., Selection of commercially available alternative passenger vehicle in automotive environment. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 3(1), 16-27, 2020.
- Bitarafan, M., Zolfani, S.H., Arefi, S.L., Zavadskas, E.K., Mahmoudzadeh, A., Evaluation of Real-Time Intelligent Sensors for Structural Health Monitoring of Bridges Based on SWARA-WASPAS; a case in IRAN. *Baltic Journal of Road & Bridge Engineering*. 9(4), 333–340, 2014.
- Björklund, M., Influence from the business environment on environmental purchasing—Drivers and hinders of purchasing green transportation services. *Journal of Purchasing and Supply Management*. 17(1), 11-22, 2011.
- Black, W.R., North American transportation: perspectives on research needs and sustainable transportation. *Journal of Transport Geography*. 5(1), 12-19, 1997.

- Bojkovic, N., Anic, I., Pejcic-Tarle, S., One solution for cross-country transport-sustainability evaluation using a modified ELECTRE method. *Ecol. Econ.* 69, 1176–1186, 2010.
- Bongo, M.F., Ocampo, L.A., A hybrid fuzzy MCDM approach for mitigating airport congestion: A case in Ninoy Aquino International Airport. *Journal of Air Transport Management.* 63, 1-16, 2017.
- Brans, J. P., Vincke, P., Note—A preference ranking organisation method: (The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making). *Management science*, 31(6), 647-656, 1985.
- Brauers, W.K., Zavadskas, E.K., The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics.* 35, 445-469, 2006.
- Brauers, W.K.M, Zavadskas, E.K., Robustness of the multi-objective MOORA method with a test for the facilities sector. *Technological and Economic Development of Economy.* 15(2), 352-375, 2009.
- Brauers, W.K.M., Zavadskas, E.K., Robustness of MULTIMOORA: a method for multi-objective optimization. *Informatika.* 23(1), 1-25, 2012.
- Bristow, A. L., Nellthorp, J., Transport project appraisal in the European Union. *Transport Policy.* 7(1), 51-60, 2000.
- Browne, D., Ryan, L., Comparative analysis of evaluation techniques for transport policies. *Environmental Impact Assessment Review.* 31(3), 226-233, 2011.
- Broniewicz, E., Ogrodnik, K., Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83, 102351, 2020.

- Brundtland, G. H. World Commission on Environment and Development (1987), *Our Common Future*. 383, 1987.
- Brunner, I., Kim, K., Yamashita, E., Analytic hierarchy process and geographic information systems to identify optimal transit alignments. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 1(2215),59-66, 2011.
- Buwana, E., Hasibuan, H.S., Abdini, C., Alternatives selection for sustainable transportation system in Kasongan city. *Procedia- Soc. Behav. Sci.* 227, 11-18, 2016.
- Büyüközkan, G., Feyzioğlu, O., Göçer, F., Selection of sustainable urban transportation alternatives using an integrated intuitionistic fuzzy Choquet integral approach. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 58, 186–207, 2018.
- Büyüközkan, G., Mukul, E., Evaluation of smart city logistics solutions with fuzzy MCDM methods. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*. 25(9), 2019.
- Byun, D.H., The AHP approach for selecting an automobile purchase model. *Information & Management*, 38(5), 289-297, 2001.
- Cadena, P.C.B., Magro, J.M.V., Setting the weights of sustainability criteria for the appraisal of transport projects. *Transport*. 30, 298-306, 2015.
- Capuder, T., Sprčić, D.M., Zoričić, D., Pandžić, H., Review of challenges and assessment of electric vehicles integration policy goals: Integrated risk analysis approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 119, 105894, 2020.
- Carteni, A., Henke, I., Regna, M., Bartolomeo, M.I.D., Francesco, L.D., A Stakeholder engagement process for a rational decision-making process in transportation

planning. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*. 11(3), 2020.

Cascetta, E., Carteni, A., Pagliara, F., Montanino, M., A new look at planning and designing transportation systems: A decision-making model based on cognitive rationality, stakeholder engagement and quantitative methods. *Transport Policy*. 38, 27-39, 2015.

Cascetta, E., Pagliara, F., Public engagement and transportation planning: some evidences from Italy, 2012.

Casello, J.M., Towns, W., Bélanger, J., Kassiedass, S., Public engagement in public transportation projects: Challenges and recommendations. *Transportation Research Record*, 2537(1), 88-95, 2015.

Castillo, H, Pitfield, D.E., ELASTIC—A methodological framework for identifying and selecting sustainable transport indicators. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 15, 179–188, 2010.

CEU., CEU, 2001. Common position adopted by the Council on 23 March 2001 with a view to the adoption of a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market. Council of the European Union, Brussels, 5583.1.01 REV 1, 27 March.

Chakraborty, S., Applications of the MOORA method for decision making in manufacturing environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 54(9-12), 1155-1166, 2011.

- Chaphalkar, N. B., Shirke, P.P., Application of multi-criteria decision making techniques for bridge construction. *International Journal of Innovative Research in Science. Engineering and Technology*. 2, 3617–3626, 2013.
- Charnes, A., Cooper, W., Ferguson, R., Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Management Science*, 1, 138-151, 1955.
- Chatfield, A.T., Reddick, C.G., Smart city implementation through shared vision of social innovation for environmental sustainability: A case study of Kitakyushu, Japan. *Social Science Computer Review*, 34(6), 757-773, 2016.
- Chen, I.S., A combined MCDM model based on DEMATEL and ANP for the selection of airline service quality improvement criteria: A study based on the Taiwanese airline industry. *Journal of Air Transport Management*. 57, 7-18, 2016.
- Chen, K., Ren, C., Gu, R., Zhang, P., Exploring purchase intentions of new energy vehicles: from the perspective of frugality and the concept of "mianzi. *J. Clean. Prod.* 230, 700–708, 2019.
- Chen, K.H., Yien, J.M., Chiang, C.H., Tsai, P.C., Tsai, F.S., Identifying key sources of city air quality: A hybrid MCDM model and improvement strategies. *Applied Sciences*. 9(7), 1414, 2019.
- Chen, N., Wang, C.H., Does green transportation promote accessibility for equity in medium-size US cities?. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 84, 102365, 2020.
- Chen, X., Marine transport efficiency evaluation of cross-border E-commerce logistics based on analytic hierarchy process. *Journal of Coastal Research*. 94, 682-686, 2019.

- Chiranjeevi, M., Kumar, D. A., Kiranmayi, R., An Investigation of Li-Ion Battery Performance for AC Drives Used in Electric Vehicular Technology. In *Emerging Trends in Electrical, Communications, and Information Technologies* (pp. 213-221). Springer, Singapore, 2020.
- Choma, E.F., Ugaya, C.M.L., Environmental impact assessment of increasing electric vehicles in the Brazilian fleet. *Journal of Cleaner Production*. 152, 497-507, 2017.
- Chow, J.Y.J., Dynamic UAV-based traffic monitoring under uncertainty as a stochastic arc-inventory routing policy. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 5, 167–185, 2016.
- Coifman, B., McCord, M., Mishalani, R.G., Iswalt, M., Ji, Y., Roadway traffic monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEE Proc. Intell. Transp. Syst.* 153, 11–20, 2006.
- Colapinto, C.K., Ellis, A., Faloon-Drew, K., Lowell, H., Developing an evidence review cycle model for Canadian dietary guidance. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 48(1), 77-83, 2016.
- Congress, S.S., Puppala, A.J., Lundberg, C.L., Total system error analysis of UAV-CRP technology for monitoring transportation infrastructure assets. *Engineering geology*. 247, 104-116, 2018.
- Crainic, T.G., Hewitt, M., Toulouse, M., Vu, D.M., Scheduled service network design with resource acquisition and management. *EURO Journal on Transportation and Logistics*. 7(3), 277-309, 2018.
- Curiel-Esparza, J., Mazario-Diez, J.L., Canto-Perello, J., Martin-Utrillas, M., Prioritization by consensus of enhancements for sustainable mobility in urban areas. *Environmental Science & Policy*, 55, 248-257, 2016.

- Cyril, A., Mulangi, R. H., George, V., Performance optimization of public transport using integrated AHP–GP methodology. *Urban Rail Transit*. 5(2), 133-144, 2019.
- Çaliskan, N., A decision support approach for the evaluation of transport investment alternatives. *Eur. J. Oper. Res.* 175, 1696-1704, 2006.
- Dağdeviren, M., Yavuz, S., Kılınç, N., Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*. 36(4), 8143-8151, 2009.
- Daning, Z., Aiping, F., Green transportation: the essential way for transportation in the future, the International Conference on Civil Engineering and Transportation. Jinan, China, 97-98, 1135-1140, 2011.
- Daramy-Williams, E., Anable, J., Grant-Muller, S., A systematic review of the evidence on plug-in electric vehicle user experience. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 71, 22-36, 2019.
- Das, M.C., Pandey, A., Mahato, A.K., Singh, R.K., Comparative performance of electric vehicles using evaluation of mixed data. *OPSEARCH*, 56(3), 1067-1090, 2019.
- De Clerck, Q., van Lier, T., Messagie, M., Macharis, C., Van Mierlo, J., Vanhaverbeke, L., Total Cost for Society: A persona-based analysis of electric and conventional vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 64, 90-110, 2018.
- de Luca, S., Public engagement in strategic transportation planning: An analytic hierarchy process based approach. *Transport Policy*, 33, 110-124, 2014.

- De Melo, R.R.S., Costa, D.B., Álvares, J.S., Irizarry, J., Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites. *Safety Science*. 98, 174-185, 2017.
- Deakin, E., Sustainable development and sustainable transportation: strategies for economic prosperity, environmental quality, and equity. WP 2001-03, Institute of Urban and Regional Development, University of California, Berkeley, CA, 2001.
- Deakin, M., Huovila, P., Rao, S., Sunikka, M., Vreeker, R., The assessment of sustainable urban development. *Building Research & Information*. 30(2), 95-108, 2002.
- Degbelo, A., Granell, C., Trilles, S., Bhattacharya, D., Casteleyn, S., Kray, C., Opening up smart cities: citizen-centric challenges and opportunities from GIScience. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(2), 16, 2016.
- Demir, E., Bektaş, T., Laporte, G., A review of recent research on green road freight transportation. *European Journal of Operational Research*. 237(3), 775-793, 2014.
- Deng, L., Mao, Z., Li, X., Hu, Z., Duan, F., Yan, Y., UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 146, 124-136, 2018.
- Department of Computer Science and Engineering, University of South Florida: Tampa, FL, USA, 2005.
- Deveci, M., Camitez, F., Gökaşar, I., WASPAS and TOPSIS based interval type-2 fuzzy MCDM method for a selection of a car sharing station. *Sustainable Cities and Society*, 41, 777-791, 2018.

- Dey, B., Bairagi, B., Sarkar, B., Sanyal, S., A MOORA based fuzzy multi-criteria decision making approach for supply chain strategy selection. *International Journal of Industrial Engineering Computations*. 3(4), 649-662, 2012.
- Dimić, S., Pamučar, D., Ljubojević, S., Ćorović, B. Strategic Transport Management Models—The Case Study of an Oil Industry. *Sustainability* 8, 954, 2016.
- Dinç, S., Hamurcu, M., Eren, T., Multicriteria selection of alternative tramway vehicles for urban transportation. *Gazi J. Eng. Sci.* 4, 124–135, 2018.
- Dittmar, H., A broader context for transportation planning: not just an end in itself. *Journal of the American Planning Association*, 61(1), 7-13, 1995.
- Do, Q.H., Chen, J.F., Establishing the index system for sustainable urban transport project selection: an application of group MCDM based on the fuzzy AHP approach. *International Journal of Business and Management Invention*. 2(6), 47-57, 2013.
- Doğan, B., Kablan, A., Kırıkkale şehir içi ulaşımda alternatif sistem değerlendirmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 4(2), 431-437, 2016.
- d'Oleire-Oltmanns, S., Marzloff, I., Peter, K. D., Ries, J.B., Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. *Remote Sensing*, 4(11), 3390-3416, 2012.
- Dou, Y., Zhu, Q., Sarkis, J., Evaluating green supplier development programs with a grey-analytical network process-based methodology. *European Journal of Operational Research*, 233(2), 420-431, 2014.
- Dožić, S., Kalić, M., Aircraft type selection problem: Application of different MCDM methods. In *Advanced Concepts, Methodologies and Technologies for Transportation and Logistics* (pp. 156-175). Springer, Cham, 2016.

- Du, J., Ouyang, M., Chen, J., Prospects for Chinese electric vehicle technologies in 2016–2020: ambition and rationality. *Energy*. 120, 584-596, 2016.
- Dubois, D., Prade, H., Operations on fuzzy numbers. *International Journal of systems science*, 9(6), 613-626, 1978.
- Duleba, S., Mishina, T., Shimazaki, Y., A dynamic analysis on public bus Transport's supply quality by using ahp. *Transport*. 27, 268-275, 2012.
- Duleba, S., Moslem, S., Sustainable urban transport development with stakeholder participation, an AHP-kendall model: A case study for mersin. *Sustainability*, 10(10), 3647, 2018.
- Dustdar, S., Nastic, S., Scekcic, O., A novel vision of cyber-human smart city. In 2016 Fourth IEEE Workshop on Hot Topics in Web Systems and Technologies (HotWeb) (pp. 42-47). IEEE, 2016.
- Eberle, U., Von Helmlolt, R., Sustainable transportation based on electric vehicle concepts: a brief overview. *Energy & Environmental Science*. 3(6), 689-699, 2010.
- Effat, H.A., Hassan, O.A., Designing and evaluation of three alternatives highway routes using the analytical hierarchy process and the least-cost path analysis, application in Sinai Peninsula, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 16(2), 141-151, 2013.
- Ellingsen, L.A.W., Singh, B., Strømman, A.H., The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles. *Environmental Research Letters*. 11(5), 054010, 2016.

- Elloumi, M., Dhaou, R., Escrig, B., Idoudi, H., Saidane, L.A., Fer, A., Traffic Monitoring on City Roads Using UAVs. In International Conference on Ad-Hoc Networks and Wireless (pp. 588-600). Springer, Cham, 2019.
- Emeç, Ş., Akkaya, G., Stochastic AHP and fuzzy VIKOR approach for warehouse location selection problem. *Journal of Enterprise Information Management*. 31(6), 950-962, 2018.
- Engbrethsen, E., Dauzère-Pérès, S., Transportation mode selection in inventory models: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 279(1), 1-2, 2019.
- Ensslen, A., Schücking, M., Jochem, P., Steffens, H., Fichtner, W., Wollersheim, O., Stella, K., Empirical carbon dioxide emissions of electric vehicles in a French-German commuter fleet test. *Journal of Cleaner Production*. 142, 263-278, 2017.
- EPA., Green infrastructure case studies: Municipal policies for managing stormwater with green infrastructure, (2010), USA. <http://www.epa.gov/greeninfrastructure>.
- Ercan, T., Zhao, Y., Tatari, O., Pazour, J.A., Optimization of transit bus fleet's life cycle assessment impacts with alternative fuel options. *Energy*. 93, 323-334, 2015.
- Erdoğan, M., Kaya, İ., A systematic approach to evaluate risks and failures of public transport systems with a real case study for bus rapid system in Istanbul. *Sustainable Cities and Society*. 53, 101951, 2020.
- Eren, T., Özder, E.H., Alakaş, H.M., Özcan, E., Kısıt Programlama Yaklaşımıyla Güvenlik Personeli Çizelgeleme Probleminin Çözümü. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(2), 16-25, 2019.
- Erkul, M., Yitmen, I., Çelik, T., Stakeholder engagement in mega transport infrastructure projects. *Procedia Engineering*. 161, 704-710, 2016.

- Errampalli, M., Patil, K.S., Prasad, C.S.R.K., Evaluation of integration between public transportation modes by developing sustainability index for Indian cities. *Case Stud. Transp. Policy.* 8(1), 180-187, 2018.
- Esters, T., Marinov, M., An analysis of the methods used to calculate the emissions of rolling stock in the UK. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 33, 1-16, 2014.
- Farahani, R.Z., Miandoabchi, E., Szeto, W.Y., Rashidi, H., A review of urban transportation network design problems. *European Journal of Operational Research.* 229(2), 281-302, 2013.
- Farkas, A., Route/site selection of urban transportation facilities: an integrated gis/mcdm approach. *Proceedings-7th International Conference on Management, Enterprise and Benchmarking (MEB)*, 169-184, 2009.
- Fetene, G.M., Kaplan, S., Mabit, S.L., Jensen, A.F., Prato, C.G., Harnessing big data for estimating the energy consumption and driving range of electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 54, 1-11, 2017.
- Ferrari, P., A method for choosing from among alternative transportation projects. *Eur. J. Oper. Res.* 150, 194-203, 2003.
- Florindo, T.J., Florindo, G.D.M., Talamini, E., da Costa, J.S., de Léis, C.M., Tang, W.Z., ... Ruviano, C.F., Application of the multiple criteria decision-making (MCDM) approach in the identification of Carbon Footprint reduction actions in the Brazilian beef production chain. *Journal of Cleaner Production.* 196, 1379-1389, 2018.

- Fielbaum, A., Jara-Diaz, S., Gschwender, A., Beyond the Mohring effect: Scale economies induced by transit lines structures design. *Economics of Transportation*. 22, 100163, 2020.
- Fotouhi, A., Auger, D.J., Propp, K., Longo, S., Wild, M.A., A review on electric vehicle battery modelling: from lithium-ion toward lithium–Sulphur. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 56, 1008–1021, 2016.
- Freeman, B.S., Al Matawah, J.A., Al Najjar, M., Gharabaghi, B., Thé, J., Vehicle stacking estimation at signalized intersections with unmanned aerial systems. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 8(2), 231-249, 2019.
- Fu, H., Wang, Y., Tang, X., Zheng, N., Geroliminis, N., Empirical analysis of large-scale multimodal traffic with multi-sensor data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 118, 102725, 2020.
- Gadakh, V.S., Shinde, V.B., Khemnar, N.S., Kumar, A., Application of MOORA method for friction stir welding tool material selection. in *techno-societal 2016, International Conference on Advanced Technologies for Societal Applications* (pp. 845-854). Springer, Cham, 2016.
- Garcia-Aunon, P., Roldán, J.J., Barrientos, A., Monitoring traffic in future cities with aerial swarms: Developing and optimizing a behavior-based surveillance algorithm. *Cognitive Systems Research*, 54, 273-286, 2019.
- Gardziejczyk, W., Zabicki, P., The influence of the scenario and assessment method on the choice of road alignment variants. *Transp. Policy*. 36, 294-305, 2014.
- García-Segura, T., Penadés-Plà, V., Yepes, V., Sustainable bridge design by metamodel-assisted multi-objective optimization and decision-making under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 202, 904-915, 2018.

- Gazillo, S., Strumwasser, B., Zmud, M., Morris, A., Kuehn, D., Weeks, J., Bilotto, C., Update on the State of the Practice: Public Involvement in the 21st Century. Transit Public Health Link, 2013.
- Gerçek, H., Karpak, B., Kılınçaslan, T., A multiple criteria approach for the evaluation of the rail transit networks in Istanbul. *Transportation*. 31(2), 203-228, 2004.
- Gervásio, H., & Da Silva, L. S. (2012). A probabilistic decision-making approach for the sustainable assessment of infrastructures. *Expert Systems with Applications*. 39(8), 7121–7131.
- Gervásio, H., Da Silva, L.S., A probabilistic decision-making approach for the sustainable assessment of infrastructures. *Expert Systems with Applications*. 39(8), 7121–7131, 2012.
- Giachetti, R.E., Young, R.E., A parametric representation of fuzzy numbers and their arithmetic operators. *Fuzzy Sets and Systems*, 91(2), 185-202, 1997.
- Giffinger, R., Haindlmaier, G., Kramar, H., The role of rankings in growing city competition. *Urban Research & Practice*, 3(3), 299-312, 2010.
- Gil, A., Calado, H., Bentz, J., Public participation in municipal transport planning processes—the case of the sustainable mobility plan of Ponta Delgada, Azores, Portugal. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1309-1319, 2011.
- Giuffrida, N., Le Pira, M., Inturri, G., Ignaccolo, M., Mapping with stakeholders: An overview of public participatory GIS and VGI in transport decision-making. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(4), 198, 2019.

- Gnann, T., Plötz, P., Kühn, A., Wietschel, M., Modeling market diffusion of electric vehicles with real world driving data – German market and policy options. *Transportation Research Part A: Policy* 107, 411-421, 2015.
- Gogas, M., Papoutsis, K., Nathanail, E., Optimization of decision-making in port logistics terminals: using analytic hierarchy process for the case of port of thessaloniki. *Transp. Telecommun. J.* 15, 255-268, 2014.
- González, F., Carbonari, S., Padrón, L.A., Morici, M., Aznárez, J.J., Dezi, F., ... Leoni, G., Benefits of inclined pile foundations in earthquake resistant design of bridges. *Engineering Structures.* 203, 109873, 2020.
- Goodwin, P., Wright, G., *Decision Analysis for Management Judgment.* Business (Vol. 49), 2004.
- Gopalakrishnan, K., Chitturi, M. V., Prentkovskis, O., Smart and sustainable transport: Short review of the special issue. 30(3), 298–306, 2015.
- Gore, C., Murray, K., Richardson, B., *Strategic decision-making,* Cassell Press, USA, 1992.
- Groenier, J.S., Gubernick, R., Choosing the best site for a bridge. *Transportation Research Record,* 1989(1), 347-354, 2007.
- Guo S., Zhao, H., Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on sustainability perspective. *Applied Energy.* 158, 390-402, 2017.
- Guo, J., Zhang, X., Gu, F., Zhang, H., Fan, Y., Does air pollution stimulate electric vehicle sales? Empirical evidence from twenty major cities in China. *Journal of Cleaner Production,* 249, 119372, 2020.

- Guo, Z., Zhang, D., Liu, H., He, Z., Shi, L., Green transportation scheduling with pickup time and transport mode selections using a novel multi-objective memetic optimization approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 60, 137-152, 2018.
- Gupta, H., Evaluating service quality of airline industry using hybrid best worst method and VIKOR. *Journal of Air Transport Management*. 68, 35-47, 2018.
- Güner, S., Measuring the quality of public transportation systems and ranking the bus transit routes using multi-criteria decision making techniques. *Case Studies on Transport Policy*. 6(2), 214-224, 2018.
- Gür, Ş., Hamurcu, M., Eren, T., Ankara'da Monoray projelerinin analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemleri ile seçimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 23(4), 2017.
- Gür, Ş., Eren, T., Alakaş, H.M., Surgical operation scheduling with goal programming and constraint programming: A case study. *Mathematics*. 7(3), 251, 2019.
- Haddad, M., Fawaz, Z., Evaluation of microalgal alternative jet fuel using the AHP method with an emphasis on the environmental and economic criteria. *Environ. Prog. Sustain. Energy* 32, 721-733, 2012.
- Hafezalkotob, A., Hafezalkotob, A., Liao, H., Herrera, F., An overview of MULTIMOORA for multi-criteria decision-making: Theory, developments, applications, and challenges. *Information Fusion*. 51, 145-177, 2019.
- Ham, Y., Han, K.K., Lin, J.J., Golparvar-Fard, M., Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review of related works. *Visualization in Engineering*. 4(1), 1, 2016.

- Hamurcu M., Gür Ş., Özder E.H., Eren T., A multicriteria decision making for monorail projects with analytic network process and 0-1 goal programming. *International Journal of Advances in Electronics and Computer Science (IJAECs)*. 3(7), 8-12, 2016.
- Hamurcu, M., Alakaş, H.M., Eren, T., Selection of rail system projects with analytic hierarchy process and goal programming. *Sigma J. Eng. Nat. Sci.* 8, 291–302, 2017.
- Hamurcu, M., Eren, T., An Application of Multicriteria Decision-making for the Evaluation of Alternative Monorail Routes. *Mathematics*, 7, 16, 2019a.
- Hamurcu, M., Eren, T., Applications of the MOORA and TOPSIS method for decision of electric vehicle in public transportation technology. *Transport*, In press, 2020a.
- Hamurcu, M., Eren, T., Electric bus selection with multicriteria decision analysis for green transportation. *Sustainability*. 12(7), 2777, 2020b.
- Hamurcu, M., Eren, T., Strategic planning based on sustainability for urban transportation: An application to decision making, *Sustainability*. 12 (9), 3589, 2020c.
- Hamurcu, M., Eren, T., Raylı sistem projeleri kararında AHS-HP ve AAS-HP kombinasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*. 3, 1–13, 2017a.
- Hamurcu, M., Eren, T., Selection of monorail technology by using multicriteria decision making. *Sigma J. Eng. Nat. Sci.* 8, 303–314, 2017b.
- Hamurcu, M., Eren, T., Transportation planning with analytic hierarchy process and goal programming. *International Advanced Researches and Engineering Journal*. 2(2), 92-97, 2018a.

- Hamurcu, M., Eren, T., A fuzzy analytical network process approach to the selection of the rail system projects. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*. 9(4), 415-426, 2018b.
- Hamurcu, M., Eren, T., Using ANP- TOPSIS methods for route selection of monorail in Ankara, 28th European Conference on Operational Research, Poznan, Poland, July 3-6, 2016b.
- Hamurcu., M., Eren, T., Multicriteria decision making based on sustainability in the selection of UAV applications for smart cities. 25th International Conference on Multiple Criteria Decision Making, 132-133, 2019b.
- Hardman, S., Jenn A., Tal, G., et al., A review of consumer preferences of and interactions with electric vehicle charging infrastructure. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 62, 508-23, 2018.
- Hashemi, S.H., Karimi, A., Tavana, M., An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis. *International Journal of Production Economics*. 159, 178-191, 2015.
- He, H., Fan, J., Li, Y., Li, J., When to switch to a hybrid electric vehicle: a replacement optimisation decision. *Journal of Cleaner Production* 148, 295-303, 2017.
- He, X., Zhan, W., Hu, Y., Consumer purchase intention of electric vehicles in China: the roles of perception and personality. *J. Clean. Prod.* 204, 1060–1069, 2018.
- Helveston, J.P., Liu, Y., Feit, E.M., Fuchs, E., Klampfl, E., Michalek, J.J., Will subsidies drive electric vehicle adoption? Measuring consumer preferences in the US and China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 73, 96-112, 2015.

- Henke, I., Carteni, A., Moliterno, C., Errico, A., Decision-making in the transport sector: A sustainable evaluation method for road infrastructure. *Sustainability*, 12(3), 764, 2020.
- Hidrué, M.K., Parsons, G.R., Kempton, W., Gardner, M.P., Willingness to pay for electric vehicles and their attributes. *Resource and Energy Economics*. 33, 686-705, 2011.
- Higgins, C.D., Mohamed, M., Ferguson, M.R., Size matters: how vehicle body type affects consumer preferences for electric vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 100, 182-201, 2017.
- Hocaoğlu, M.F., Weapon target assignment optimization for land based multi-air defense systems: A goal programming approach. *Computers & Industrial Engineering*. 128, 681-689, 2019.
- Honkavaara, E., Saari, H., Kaivosoja, J., Pölönen, I., Hakala, T., Litkey, P., ... Pesonen, L., Processing and assessment of spectrometric, stereoscopic imagery collected using a lightweight UAV spectral camera for precision agriculture. *Remote Sensing*, 5(10), 5006-5039, 2013.
- Hörcher, D., Graham, D.J., MaaS economics: Should we fight car ownership with subscriptions to alternative modes?. *Economics of Transportation*. 22, 100167, 2020.
- Hsiao, H., Chan, Y.C., Chiang, C.H., Tzeng, G.H., Fuzzy AHP and TOPSIS for selecting low pollutant emission bus systems. In *Proceedings of the 28th IAEE International Conference, Taipei, Taiwan, 3–6 June 2005*; pp. 1–19.
- Huang, Y., Kockelman, K.M., Electric vehicle charging station locations: Elastic demand, station congestion, and network equilibrium. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 78, 10217, 2020.

- Huang, Y., Qian, L., Consumer preferences for electric vehicles in lower tier cities of China: evidences from south Jiangsu region. *Transport. Res. Transport Environ.* 63, 482–497, 2018.
- Hwang, C.L., Yoon, K., Methods for multiple attribute decision making. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg, 1981.
- Ignaccolo, M., Inturri, G., García-Melón, M., Giuffrida, N., Le Pira, M., Torrisi, V., Combining Analytic Hierarchy Process (AHP) with role-playing games for stakeholder engagement in complex transport decisions. *Transportation Research Procedia.* 27, 500-507, 2017.
- Ignaccolo, M., Inturri, G., Giuffrida, N., Le Pira, M., Torrisi, V., Public engagement for designing new transport services: Investigating citizen preferences from a multiple criteria perspective. *Transportation Research Procedia.* 37, 91-98, 2019.
- Ignizio, J. P., *Goal programming and extensions.* Lexington Books, 1976.
- Inti, S., Tandon, V., Application of fuzzy preference–Analytic hierarchy process logic in evaluating sustainability of transportation infrastructure requiring multicriteria decision making. *Journal of Infrastructure Systems.* 23(4), 04017014, 2017.
- Ivanović, I., Grujičić, D., Macura, D., Jović, J., Bojović, N., One approach for road transport project selection. *Transport Policy.* 25, 22-29, 2013.
- İç, Y.T., Şimşek, E., Operating window perspective integrated TOPSIS approach for hybrid electrical automobile selection. *SN Applied Sciences.* 1(11), 1314, 2019.

- Jacyna, M., Wasiak, M. (2015, April). Multicriteria decision support in designing transport systems. In International Conference on Transport Systems Telematics (pp. 11-23). Springer, Cham.
- Jashami, H., Cobb, D., Hurwitz, D.S., McCormack, E., Goodchild, A., Sheth, M., The Impact of Commercial Parking Utilization on Cyclist Behavior in Urban Environments. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 74, 67-80, 2020.
- Javid, R.J., Nejat, A., Hayhoe, K., Selection of CO2 mitigation strategies for road transportation in the United States using a multi-criteria approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 38, 960-972, 2014.
- Jenkins, D. P. (2012). Using cognitive work analysis to describe the role of UAVs in military operations. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. 13(3), 335-357.
- Jensen A.F., and Mabit S.L., The use of electric vehicles: a case study on adding an electric car to a household. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 106, 89-99, 2017.
- Jeon, C.M., Amekudzi, A.A., Guensler, R.L., Evaluating plan alternatives for transportation system sustainability: Atlanta metropolitan region. *Int. J. Sustain. Transp.* 4, 227–247, 2010.
- Ji, X., Wu, J., Zhu, Q., Eco-design of transportation in sustainable supply chain management: A DEA-like method. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48. 451-459, 2016.
- Jiang, P., Hu, Y.C., Yen, G.F., Jiang, H., Chiu, Y.J., Using a novel grey DANP Model to Identify Interactions between Manufacturing and Logistics Industries in China. *Sustainability*, 10, 3456, 2018.

- Jones, S., Tefe, M., Appiah-Opoku, S. Proposed framework for sustainability screening of urban transport projects in developing countries: A case study of Accra, Ghana. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 49, 21–34, 2013.
- Ju, Y., Wang, A., Extension of VIKOR method for multi-criteria group decision making problem with linguistic information. *Applied Mathematical Modelling.* 37(5), 3112-3125, 2013.
- Kabir, G., Sadiq, R., Tesfamariam, S., A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering.* 10(9), 1176-1210, 2014.
- Kabli, M., Quddus, M. A., Nurre, S.G., Marufuzzaman, M., Usher, J.M., A stochastic programming approach for electric vehicle charging station expansion plans. *International Journal of Production Economics*, 220, 107461, 2020.
- Kaçmaz, Ö., Alakaş, H.M., Eren, T., Shift scheduling with the goal programming method: a case study in the glass industry. *Mathematics.* 7(6), 561, 2019.
- Kahraman, C., Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E.K., Cevik Onar, S., Yazdani, M., Oztaysi, B., Intuitionistic fuzzy EDAS method: an application to solid waste disposal site selection. *J. Environ. Eng. Landsc. Manage.* 25, 1–12, 2017.
- Kahraman, C., Öztayşi, B., Onar, S.C., Warehouse Location Design Using AS/RS Technologies: An Interval Valued Intuitionistic Fuzzy AHP Approach. In *Customer Oriented Product Design* (pp. 379-397). Springer, Cham, 2020.
- Kalamaras, G.S., Brino, L., Carrieri, G., Pline, C., Grasso, P., Application of multicriteria analysis to select the best highway alignment. *Tunnelling and Underground Space Technology.* 15(4), 415-420, 2000.

Kalkınma Bakanlığı (2013), Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018 Göç Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara: Kalkınma Bakanlığı.

Kamalakannan, R., Ramesh, C., Shunmugasundaram, M., Sivakumar, P., Mohamed, A., Evaluation and selection of suppliers using TOPSIS. *Materials Today: Proceedings*, In press. 2020.

Kannan, V.S., Navneethakrishnan, P., Machining parameters optimization in laser beam machining for micro elliptical profiles using TOPSIS method. *Materials Today: Proceedings*. 21, 727-730, 2020.

Karaman, B., Çerçioğlu, H., 0-1 hedef programlama destekli bütünleşik AHP-VIKOR yöntemi: hastane yatırımı projeleri seçimi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*. 30(4), 567-576, 2015.

Karande, P., Chakraborty, S., Application of multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA) method for materials selection. *Materials & Design*, 37, 317-324, 2012.

Karaşan, A., Kahraman, C., A novel intuitionistic fuzzy DEMATEL–ANP–TOPSIS integrated methodology for freight village location selection. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. 1-18, 2019.

Kaufmann, A., Gupta, M.M., *Fuzzy mathematical models in engineering and management science*. Elsevier Science Inc., 1988.

Kayikci, Y., A conceptual model for intermodal freight logistics centre location decisions. *Procedia - Soc. Behav. Sci.* 2, 6297-6311, 2010.

- Ke, R., Li, Z., Tang, J., Pan, Z., Wang, Y., Real-time traffic flow parameter estimation from UAV video based on ensemble classifier and optical flow. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(1), 54-64, 2018.
- Kecek, G., Demirağ, F., A comparative analysis of TOPSIS and MOORA in laptop selection. *Research on Humanities and Social Sciences*. 6, 1-9, 2016.
- Keeney, R.L., Raiffa, H., *Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs*. Cambridge university press, 1993.
- Kengpol, A., Tuamsee, S., Tuominen, M., The development of a framework for route selection in multimodal transportation. *Int. J. Logist. Manag.* 25, 581-610, 2014.
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Antuchevičienė, J., Ranking of Bridge Design Alternatives: A TOPSIS-FADR Method. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 13(3), 209-237, 2018.
- Khan, F., Ali, Y., Khan, A.U., Sustainable hybrid electric vehicle selection in the context of a developing country. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-11, Springer, 2020.
- Khan, M.A., Ectors, W., Bellemans, T., Janssens, D., Wets, G., Unmanned aerial vehicle-based traffic analysis: A case study for shockwave identification and flow parameters estimation at signalized intersections. *Remote Sensing*. 10(3), 458, 2018a.
- Khan, M.A., Ectors, W., Bellemans, T., Janssens, D., Wets, G., Unmanned aerial vehicle-based traffic analysis: A methodological framework for automated multi-vehicle trajectory extraction. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*. 32, 25–33, 2017.

- Khan, M.A., Ectors, W., Bellemans, T., Ruichek, Y., Janssens, D., Wets, G., Unmanned aerial vehicle-based traffic analysis: A case study to analyze traffic streams at urban roundabouts. *Procedia Computer Science*. 130, 636-643, 2018b.
- Khayamim, R., Shetab-Boushehrib, S.N., Hosseininasab, S.M., Karimi, H., A sustainable approach for selecting and timing the urban transportation infrastructure projects in large-scale networks: A case study of Isfahan, Iran. *Sustainable Cities and Society*. 53, 101981, 2020.
- Kheybari, S., Kazemi, M., Rezaei, J., Bioethanol facility location selection using best-worst method. *Applied Energy*, 242, 612-623, 2019.
- Kim, H. Y., Wunneburger, D.F., Neuman, M., High-speed rail route and regional mobility with a raster-based decision support system: The Texas Urban Triangle Case. *Journal of Geographic Information System*. 5(6), 559-566, 2013.
- Kim, J., Kim, S., Ju, C., Son, H.I., Unmanned aerial vehicles in agriculture: A review of perspective of platform, control, and applications. *IEEE Access*, 7, 105100-105115, 2019.
- Kim, S.J., Lim, G.J., Cho, J., Côté, M.J., Drone-aided healthcare services for patients with chronic diseases in rural areas. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 88(1), 163-180, 2017.
- Koc, E., Cetiner, B., Lee, E. J., Soibelman, L., Taciroglu, E., Nutakki, A., System-Based Resilience Assessment of Networked Transportation Systems in Metropolitan Areas: Case of Greater Los Angeles. In *EG-ICE*, 2018.
- Kong, C., Jovanovic, R., Bayram, I.S., Devetsikiotis, M., A hierarchical optimization model for a network of electric vehicle charging stations. *Energies*. 10(5), 675, 2017.

- Kosijer, M., Ivic, M., Markovic, M., Belosevic, I., Multicriteria decision-making in railway route planning and design. *Gradevinar*. 64(3), 195-205, 2012.
- Kumar, A., Aswin, A., Gupta, H., Evaluating green performance of the airports using hybrid BWM and VIKOR methodology. *Tourism Management*, 76, 103941, 2020.
- Lane, B. W., Jerome, D., Sanya, C., Saba, S., Kyle, C. S., Graham, J. D., All plug-in electric vehicles are not the same: Predictors of preference for a plug-in hybrid versus a battery-electric vehicle. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 65, 1-13, 2018.
- Langbroek, J.H., Cebecauer, M., Malmsten, J., Franklin, J.P., Susilo, Y.O., Georén, P., Electric vehicle rental and electric vehicle adoption. *Research in Transportation Economics*, 73, 72-82, 2019.
- Langbroek, J.H.M., Franklin, J.P., Susilo, Y.O., The effect of policy incentives on electric vehicle adoption. *Energy Policy* 94, 94-103, 2016.
- Lanjewar, P.B., Rao, R.V., Kale, A.V., Assessment of alternative fuels for transportation using a hybrid graph theory and analytic hierarchy process method. *Fuel*. 154, 9–16, 2015.
- Le Pira, M., Ignaccolo, M., Inturri, G., Pluchino, A., Rapisarda, A., Modelling stakeholder participation in transport planning. *Case Studies on Transport Policy*. 4(3), 230-238, 2016.
- Le Pira, M., Inturri, G., Ignaccolo, M., Pluchino, A., Analysis of AHP methods and the Pairwise Majority Rule (PMR) for collective preference rankings of sustainable mobility solutions. *Transportation Research Procedia*. 10, 777-787, 2015.

- Le Pira, M., Inturri, G., Ignaccolo, M., Pluchino, A., Modelling consensus building in Delphi practices for participated transport planning. *Transportation Research Procedia*, 25, 3725-3735, 2017a.
- Le Pira, M., Marcucci, E., Gatta, V., Inturri, G., Ignaccolo, M., Pluchino, A., Integrating discrete choice models and agent-based models for ex-ante evaluation of stakeholder policy acceptability in urban freight transport. *Research in Transportation Economics*. 64, 13-25, 2017b.
- Le Pira, M., Marcucci, E., Gatta, V., Role-playing games as a mean to validate agent-based models: An application to stakeholder-driven urban freight transport policy-making. *Transportation Research Procedia*. 27, 404-411, 2017c.
- Lee, D.-J. A multi-criteria approach for prioritizing advanced public transport modes (APTMs) considering urban types in Korea. *Transp. Res. Part A: Policy Pract.* 111, 148–161, 2018.
- Lee, J.H., Hancock, M.G., Hu, M.C., Towards an effective framework for building smart cities: Lessons from Seoul and San Francisco. *Technological Forecasting and Social Change*. 89, 80-99, 2014.
- Lee, K.C., Tsai, W.H., Yang, C.H., Lin, Y.Z., An MCDM approach for selecting green aviation fleet program management strategies under multi-resource limitations. *Journal of Air Transport Management*. 68, 76-85, 2018.
- Lee, S.M., *Goal programming for decision analysis* (pp. 252-260). Philadelphia: Auerbach Publishers, 1972.
- Leyden, K.M., Slevin, A., Grey, T., Hynes, M., Frisbaek, F., Silke, R., Public and stakeholder engagement and the built environment: a review. *Current Environmental Health Reports*, 4(3), 267-277, 2017.

- Li, C., Negnevitsky, M., Wang, X., Yue, W.L., Zou, X., Multi-criteria analysis of policies for implementing clean energy vehicles in China. *Energy Policy*. 129, 826-840, 2019.
- Li, C.C., Zhang, G.S., Lei, T.J., Gong, A.D., Quick image-processing method of UAV without control points data in earthquake disaster area. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 21, 523-528, 2011.
- Li, M., Zhen, L., Wang, S., Lv, W., Qu, X., Unmanned aerial vehicle scheduling problem for traffic monitoring. *Computers & Industrial Engineering*, 122, 15-23, 2018.
- Li, W., Long, R., Chen, H., Yang, T., Geng, J., Yang, M., Effects of personal carbon trading on the decision to adopt battery electric vehicles: Analysis based on a choice experiment in Jiangsu, China. *Applied Energy* 209, 478-488, 2018.
- Li, W.B., Long, R.Y., Chen, H., Geng, J.C., A review of factors influencing consumer intentions to adopt battery electric vehicles. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 78, 318–328, 2017.
- Li, X., Kuang, H., Hu, Y., Carbon Mitigation strategies of port selection and multimodal transport operations - A case study of Northeast China. *Sustainability*, 11(18), 4877, 2019.
- Liang, H., Ren, J., Lin, R., Liu, Y., Alternative-fuel based vehicles for sustainable transportation: A fuzzy group decision supporting framework for sustainability prioritization. *Technological Forecasting and Social Change*. 140, 33-43, 2019.
- Liao, F., Molin, E., van Wee, B., Consumer preferences for electric vehicles: a literature review. *Transport Reviews*, 37(3), 252-275, 2017.

- Lin, B., Wu, W., Why people want to buy electric vehicle: an empirical study in first-tier cities of China. *Energy Pol.* 112, 233–241, 2018.
- Lin, M., Huang, C., Xu, Z., MULTIMOORA based MCDM model for site selection of car sharing station under picture fuzzy environment. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101873, 2020.
- Litman, T., Burwell, D., Issues in sustainable transportation. *International Journal of Global Environmental Issues*. 6(4), 331-347, 2006.
- Liu, K.F.R., Lai, J.-H., Decision-support for environmental impact assessment: a hybrid approach using fuzzy logic and fuzzy analytic network process. *Expert Syst. Appl.* 36, 5119-5136, 2009.
- Liu, H.C., You, X.Y., Xue, Y.X., Luan, X., Exploring critical factors influencing the diffusion of electric vehicles in China: A multi-stakeholder perspective. *Research in Transportation Economics*. 66, 46-58, 2017.
- Liu, M., Frangopol, D.M., Decision support system for bridge network maintenance planning. In *Advances in Engineering Structures, Mechanics & Construction* (pp. 833-840). Springer, Dordrecht, 2006.
- Liu, P., Chen, A. Y., Huang, Y. N., Han, J. Y., Lai, J. S., Kang, S. C., ... Tsai, M. H., A review of rotorcraft unmanned aerial vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering. *Smart Struct. Syst.* 13(6), 1065-1094, 2014.
- Lopez, E., Monzon, A., integration of sustainability issues in strategic transportation planning: A multi-criteria model for the assessment of transport infrastructure plans. *Comput.-Aided Civ. Infrastruct. Eng.* 25, 440-451, 2010.

- Loukopoulos, P., A classification of travel demand management measures. Threats from Car Traffic to the Quality of Urban Life: Problems, Causes and Solutions. 273-292, 2007.
- Lu, M.T., Hsu, C.C., Liou, J. J., Lo, H.W., A hybrid MCDM and sustainability-balanced scorecard model to establish sustainable performance evaluation for international airports. *Journal of Air Transport Management*. 71, 9-19, 2018.
- Lu, S.T., Lin, C.W., Ko, P.H., Application of analytic network process (ANP) in assessing construction risk of urban bridge project. In *Innovative Computing, Information and Control, 2007. ICICIC'07. Second International Conference on* (pp. 169–169). IEEE., 2007.
- Lucic, M.C., Ghazzai, H., Massoud, Y., A Generalized Dynamic Planning Framework for Green UAV-Assisted Intelligent Transportation System Infrastructure. *IEEE Systems Journal*, 2020.
- Luo, C., Miao, W., Ullah, H., McClean, S., Parr, G., Min, G., Unmanned aerial vehicles for disaster management. In *Geological Disaster Monitoring Based on Sensor Networks* (pp. 83-107). Springer, Singapore, 2019.
- Luo, C., Wu, F., Sun, J., Chen, C.W., Compressive data gathering for large-scale wireless sensor networks. In *Proceedings of the 15th annual international conference on Mobile computing and networking* (pp. 145-156), 2009.
- Ma, F., He, J., Ma, J., Xia, S., Evaluation of urban green transportation planning based on central point triangle weight function and entropy-AHP. *Transportation research procedia*, 25, 3638-3648, 2017.

- Ma, S.C., Fan, Y., Guo, J.F., Xu, J.H., Zhu, J., Analysing online behaviour to determine Chinese consumers' preferences for electric vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 229, 244-255, 2019.
- Ma, W., Schott, D., Lodewijks, G., A research procedure to obtain a green transport plan for deep sea mining systems. In *The 27th International Ocean and Polar Engineering Conference*. International Society of Offshore and Polar Engineers, 2017.
- Macharis, C., Bernardini, A., Reviewing the use of multi-criteria decision analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. *Transport Policy*. 37, 177-186, 2015.
- Macharis, C., Meers, D., van Lier, T., Modal choice in freight transport: combining multi-criteria decision analysis and geographic information systems. *Int. J. Multicriteria Decis. Mak.* 5, 355-371, 2015.
- Macharis, C., Verbeke, A., De Brucker, K., The strategic evaluation of new technologies through multicriteria analysis: the advisors case. *Res. Transp. Econ.* 8, 443-462, 2004.
- Macura, D, Boškovic, B., Bojovic, N., Milenkovic, M., A model for prioritization of rail infrastructure projects using ANP. *Rivista Internazionale di Economia dei Trasporti*. 38(3), 285, 2011.
- Mahadik, Y., Vadirajacharya, K., Battery Life Enhancement in a hybrid electrical energy storage system using a multi-source inverter. *World Electric Vehicle Journal*. 10(2), 17, 2019.
- Mahdi Rezaie, F., Fakoor Saghih, A.M., Motahari Farimani, N., A novel hybrid approach based on CREAM and fuzzy ANP to evaluate human resource reliability in the urban railway. *Journal of Transportation Safety & Security*. 1-39, 2020.

- Mahmoudi, R., Shetab-Boushehri, S. N., Hejazi, S. R., Emrouznejad, A., Determining the relative importance of sustainability evaluation criteria of urban transportation network. *Sustainable Cities and Society*. 47, 101493, 2019a.
- Mahmoudi, R., Shetab-Boushehri, S.N., Hejazi, S.R., Emrouznejad, A., Rajabi, P., A hybrid egalitarian bargaining game-DEA and sustainable network design approach for evaluating, selecting and scheduling urban road construction projects. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 130, 161-183, 2019b.
- Majumder, H., Maity, K., Optimization of machining condition in WEDM for titanium grade 6 using MOORA coupled with PCA—a multivariate hybrid approach. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 16(02), 81-99, 2017.
- Malekly, H., Mousavi, S.M., Hashemi, H., A fuzzy integrated methodology for evaluating conceptual bridge design. *Expert Systems with Applications*. 37(7), 4910–4920, 2010.
- Mandal, U.K., Sarkar, B., Selection of best intelligent manufacturing system (ims) under fuzzy moora conflicting mcdm environment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2(9), 301-310, 2012.
- Mao, J., Sun, Q., Wang, X., Muthu, B., Krishnamoorthy, S., The importance of public support in the implementation of green transportation in the smart cities. *Computational Intelligence*., 2020.
- Marcucci, E., Le Pira, M., Gatta, V., Inturri, G., Ignaccolo, M., Pluchino, A., Simulating participatory urban freight transport policy-making: Accounting for heterogeneous stakeholders' preferences and interaction effects. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 103, 69-86, 2017.

- Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., Valipour, A., Multiple criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. 28(1), 516-571, 2015a.
- Mardani, A., Jusoh, A., Zavadskas, E.K., Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications—Two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications*. 42(8), 4126-4148, 2015b.
- Mardani, A., Zavadskas, E.K., Khalifah, Z., Jusoh, A., Nor, K.M., Multiple criteria decision-making techniques in transportation systems: A systematic review of the state of the art literature. *Transport*, 31(3), 359-385, 2016.
- Mashayekh, Y., Jaramillo, P., Samaras, C., Hendrickson, C.T., Blackhurst, M., MacLean, H.L., Matthews, H.S., Potentials for sustainable transportation in cities to alleviate climate change impacts. *Environmental Science & Technology*, 46(5), 2529-2537, 2012.
- Massiani, J., Cost-benefit analysis of policies for the development of electric vehicles in germany: methods and results. *Transport Policy*. 38, 19-26, 2015.
- Mavi, R.K., Goh, M., Zarbakhshnia, N., Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 91, 2401–2418, 2017.
- Mavi, R.K., Zarbakhshnia, N., Khazraei, A., Bus rapid transit (BRT): A simulation and multi criteria decision making (MCDM) approach. *Transport Policy*. 72, 187-197, 2018.

- Mihyeon Jeon, C., Amekudzi, A., Addressing sustainability in transportation systems: definitions, indicators, and metrics. *Journal of Infrastructure Systems*, 11(1), 31-50, 2005.
- Miller, P., de Barros, A.G., Kattan, L., Wirasinghe, S.C., Public transportation and sustainability: A review. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 20(3), 1076-1083, 2016.
- Mitropoulos, L.K., Prevedouros, P.D., Incorporating sustainability assessment in transportation planning: An urban transportation vehicle-based approach. *Transp. Plan. Technol.* 39, 439–463, 2016.
- Mohajeri, N., Amin, G.R., Railway station site selection using analytical hierarchy process and data. *Computers & Industrial Engineering*. 59(1), 107-114, 2010.
- Mohamadabadi, H.S., Tichkowsky, G., Kumar, A. Development of a multi-criteria assessment model for ranking of renewable and non-renewable transportation fuel vehicles. *Energy*. 34, 112–125, 2009.
- Mohamed, M., Higgins, C. D., Mark, F., Réquia, W.J., The influence of vehicle body type in shaping behavioral intention to acquire electric vehicles: A multi-group structural equation approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 116, 54-72, 2018.
- Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., Jawhar, I., Idries, A., Mohammed, F., Unmanned aerial vehicles applications in future smart cities. *Technological Forecasting and Social Change*. 119293, 2018.
- Mohammadi, A., Amador-Jimenez, L., Nasiri, F., A multi-criteria assessment of the passengers' level of comfort in urban railway rolling stock. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101892, 2020.

- Mohammad, A., Zamora, R., Lie, T.T., Integration of Electric Vehicles in the Distribution Network: A Review of PV Based Electric Vehicle Modelling. *Energies*. 13(17), 4541, 2020.
- Moller, D.P., Introduction to transportation analysis, modeling and simulation. Springer London Limited, 2016.
- Moons, K., Waeyenbergh, G., Pintelon, L., Measuring the logistics performance of internal hospital supply chains—a literature study. *Omega*, 82, 205-217, 2019.
- Morton, C., Anable, J., Nelson, J.D., Exploring consumer preferences towards electric vehicles: the influence of consumer innovativeness. *Research in Transportation Business and Management* 18, 18–28, 2016.
- Moslem, S., Duleba, S., Sustainable urban transport development by applying a Fuzzy-AHP model: A case study from Mersin, Turkey. *Urban Science*. 3(2), 55, 2019a.
- Moslem, S., Ghorbanzadeh, O., Blaschke, T., Duleba, S., Analysing stakeholder consensus for a sustainable transport development decision by the fuzzy AHP and interval AHP. *Sustainability*. 11(12), 3271, 2019b.
- Mota, R.L., Felizardo, L.F., Shiguemori, E.H., Ramos, A.C., Mora-Camino, F., Expanding small UAV capabilities with ANN: a case study for urban areas inspection. *British Journal of Applied Science & Technology*, 4(2), 387, 2014.
- Mukherjee, S., Selection of alternative fuels for sustainable urban transportation under multi-criteria intuitionistic fuzzy environment. *Fuzzy Inf. Eng.* 9, 117–135, 2017.
- Mukul, E., Büyüközkan, G., Güler, M., Strategic analysis of intelligent transportation systems. *Beykoz Akademi Dergisi*. 148-158, 2019.

- Nassereddine, M., & Eskandari, H., An integrated MCDM approach to evaluate public transportation systems in Tehran. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 106, 427-439, 2017.
- Nations, U. (2014). *World urbanization prospects: The 2014 revision, highlights*. department of economic and social affairs. Population Division, United Nations, 32.
- Naumann, S., Davis, M., Kaphengst, T., Pieterse, M., Rayment, M., Design, implementation and cost elements of Green Infrastructure projects. Final report, European Commission, Brussels, 138, 2011.
- Newman, P.W., Sustainability and cities: extending the metabolism model. *Landscape and urban planning*, 44(4), 219-226, 1999.
- Nilashi, M., Ahmadi, H., Ahani, A., Ravangard, R., bin Ibrahim, O., Determining the importance of hospital information system adoption factors using fuzzy analytic network process (ANP). *Technological Forecasting and Social Change*. 111, 244-264, 2016.
- Nordelöf, A., Messagie, M., Tillman, A.M., Söderman, M.L. Van Mierlo, J., Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles-what can we learn from life cycle assessment?. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 19(11), 1866-1890, 2014.
- Nosal, K., Solecka, K., Application of AHP method for multi-criteria evaluation of variants of the integration of urban public transport. *Transportation Research Procedia*. 3, 269-278, 2014.

- O'Faircheallaigh, C., Public participation and environmental impact assessment: Purposes, implications, and lessons for public policy making. *Environmental Impact Assessment Review*, 30(1), 19-27, 2010.
- Offer, G.J., Howey, D., Contestabile, M., Clague, R., Brandon, N.P., Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. *Energy Policy*. 38(1), 24-29, 2010.
- Onat, N.C. Küçükvar, M. Tatari, O., Towards life cycle sustainability assessment of alternative passenger vehicles. *Sustainability*. 6, 9305–9342, 2014.
- Onat, N.C., Gumus, S., Kucukvar, M., Tatari, O., Application of the TOPSIS and intuitionistic fuzzy set approaches for ranking the life cycle sustainability performance of alternative vehicle technologies. *Sustain. Prod. Consum.* 6, 12–25, 2016a.
- Onat, N.C., Kucukvar, M., Tatari, O., Zheng, Q.P., Combined application of multi-criteria optimization and life-cycle sustainability assessment for optimal distribution of alternative passenger cars in U.S. *J. Clean. Prod.* 112, 291–307, 2016b.
- Opricovic, S., Tzeng, G.H., Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455, 2004.
- Opricovic, S., Tzeng, G.H., Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*. 178(2), 514-529, 2007.
- Osorio-Tejada, J.L., Llera-Sastresa, E., Scarpellini, S., A multi-criteria sustainability assessment for biodiesel and liquefied natural gas as alternative fuels in transport systems. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 42, 169-186, 2017.

- Oztaysi, B., Cevik Onar, S., Kahraman, C., Yavuz, M., Multi-criteria alternative-fuel technology selection using interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 53, 128–148, 2017.
- Özbek, A., Efficiency analysis of foreign-capital banks in Turkey by OCRA and MOORA. *Research Journal of Finance and Accounting.* 6(13), 21-30, 2015.
- Özcan, E., Danişan, T., Eren, T., Hidroelektrik santrallerin en kritik elektriksel ekipman gruplarının bakım stratejilerinin optimizasyonu için matematiksel bir model önerisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 25(4), 498-506 2019.
- Özcan, E., Hamurcu, M., Alakaş, H.M., Eren, T., Project selection by using constraint programming. *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology,* 21(1), 89-92, 2018.
- Özcan, E., Ünlüsoy, S., Eren, T., A combined goal programming–AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 78, 1410-1423, 2017.
- Özkır, V., Demirel, T., A fuzzy assessment framework to select among transportation investment projects in Turkey. *Expert Systems with Applications,* 39(1), 74-80, 2012.
- Pamucar, D.S., Tarle, S.P., Parezanovic, T., New hybrid multi-criteria decision-making DEMATEL-MAIRCA model: Sustainable selection of a location for the development of multimodal logistics centre. *Econ. Res.-Ekon. Istraživanja.* 31, 1641–1665, 2018.
- Pan, N.F., Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method. *Automation in Construction.* 17(8), 958–965, 2008.

- Parnell, K.J., Rand, J., Plant, K.L., A diary study of distracted driving behaviours. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 74, 1-14, 2020.
- Pathak, D.K., Thakur, L.S., Rahman, S., Performance evaluation framework for sustainable freight transportation systems. *International Journal of Production Research*. 57(19), 6202-6222, 2019.
- Pendleton, S.D., Andersen, H., Du, X., Shen, X., Meghjani, M., Eng, Y.H., ... Ang, M.H., Perception, planning, control, and coordination for autonomous vehicles. *Machines*. 5(1), 6, 2017.
- Perc, M.N., Topolšek, D., Using the scanners and drone for comparison of point cloud accuracy at traffic accident analysis. *Accident Analysis & Prevention*. 135, 105391, 2020.
- Papageorgiou, M., Kosmatopoulos, E., Papamichail, I., Effects of variable speed limits on motorway traffic flow. *Transportation Research Record*, 2047(1), 37-48, 2008.
- Patil, A., Herder, P., Investment decision making for alternative fuel public transport buses: The case of Brisbane transport. *J. Public Transp.* 13, 115–133, 2010.
- Pedroso, G., Bermann, C., Sanches-Pereira, A., Combining the functional unit concept and the analytic hierarchy process method for performance assessment of public transport options. *Case Studies on Transport Policy*. 6(4), 722-736, 2018.
- Pee, L.G., Kankanhalli, A. Interactions among factors influencing knowledge management in public-sector organizations: A resource-based view. *Government Information Quarterly*, 33(1), 188-199, 2016.

- Pérez, J.C., Carrillo, M.H., Montoya-Torres, J.R., Multi-criteria approaches for urban passenger transport systems: a literature review. *Annals of Operations Research*. 226(1), 69-87, 2015.
- Petschnig, M., Heidenreich, S., Spieth, P., Innovative alternatives take action— Investigating determinants of alternative fuel vehicle adoption. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 61, 68–83, 2014.
- Piantanakulchai, M., Analytic network process model for highway corridor planning. *Proceedings Of ISAHP*. 2005.
- Piantanakulchai, M., Saengkhaio, N., Evaluation of alternatives in transportation planning using multistakeholders multi-objectives ahp modeling. In *Proceedings of the Eastern Asia Society for transportation studies*, 4, 1613-1628, 2003.
- Plötz, P., Schneider, U., Globisch, J., Dütschke, E., Who will buy electric vehicles? identifying early adopters in Germany. *Transportation Research Part A*. 67, 96-109, 2014.
- Portugal, L. da S., Morgado, A.V., Júnior, O.L., Location of cargo terminals in metropolitan areas of developing countries: the Brazilian case. *J. Transp. Geogr.* 19, 900-910, 2011.
- Pramanik, S., Dalapati, S., Roy, T.K., Neutrosophic multi-attribute group decision making strategy for logistics center location selection. *Neutrosophic Operational Research*. 3, 13-32, 2018.
- Pryn, M.R., Cornet, Y., Salling, K.B., Applying sustainability theory to transport infrastructure assessment using a multiplicative ahp decision support model. *Transport*. 30(3), 330–341, 2015.

- Puri, A., A survey of unmanned aerial vehicles (UAV) for traffic surveillance; Technical Report; Department of Computer Science and Engineering, University of South Florida: Tampa, FL, USA, 2005.
- Pyrialakou, V.D., Gkritza, K., Liu, S.S., The use of focus groups to foster stakeholder engagement in intercity passenger rail planning. *Case Studies on Transport Policy*, 7(2), 505-517, 2019.
- Quintero, J.A., Montoya, M.I., Sanchez, O.J., Giraldo, O.H., Cardona, C.A., 2008. Fuel ethanol production from sugarcane and corn: comparative analysis for a Colombian case. *Energy*. 33, 385-399, 2008.
- Rahimi, K., Davoudi, M., Electric vehicles for improving resilience of distribution systems. *Sustainable Cities and Society*. 36, 246-256, 2018.
- Raj, A., Sah, B., Analyzing critical success factors for implementation of drones in the logistics sector using grey-DEMATEL based approach. *Computers & Industrial Engineering*, 138, 106-118, 2019.
- Rajak, S., Parthiban, P., Dhanalakshmi, R., Sustainable transportation systems performance evaluation using fuzzy logic. *Ecological Indicators*. 71, 503-513, 2016.
- Rao, C.J., Goh, M., Zhao, Y., Zheng, J.J., Location selection of city logistics centers under sustainability. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 36, 29–44, 2015.
- Rehman, S., Khan, S.A., Goal programming-based two-tier multi-criteria decision-making approach for wind turbine selection. *Applied Artificial Intelligence*, 33(1), 27-53, 2019.

- Ren, J., Lützen, M., Fuzzy multi-criteria decision-making method for technology selection for emissions reduction from shipping under uncertainties. *Transp. Res. Part D*. 40, 43-60, 2015.
- Reshma, R., Ramesh, T., Sathishkumar, P., Security situational aware intelligent road traffic monitoring using UAVs. In 2016 international conference on VLSI systems, architectures, technology and applications (VLSI-SATA) (pp. 1-6). IEEE, 2016.
- Richardson, B.C., Toward a policy on a sustainable transportation system. *Transportation Research Record*, 1670(1), 27-34, 1999.
- Romero, C., *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*, Pergamon Press, Oxford, 1991.
- Roy, B., The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. In *Readings in multiple criteria decision aid* (pp. 155-183). Springer, Berlin, Heidelberg, 1990.
- Rossi, R., Gastaldi, M., Gecchele, G., Comparison of fuzzy-based and AHP methods in sustainability evaluation: a case of traffic pollution-reducing policies. *Eur. Transp. Res. Rev.* 5, 11-26, 2013.
- Ryan, A., Fitzpatrick, C., Christofa, E., Knodler Jr, M., Driver performance due to small unmanned aerial system applications in the vicinity of roadways. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 68, 118-131, 2020.
- Ryan, C., Murphy, F., Mullins, M., Spatial risk modelling of behavioural hotspots: Risk-aware path planning for autonomous vehicles. *Transportation research part A: policy and practice*. 134, 152-163, 2020.

- Saaty, T.L., A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*. 15(3), 234-281, 1977.
- Saaty, T.L., Basic theory of the analytic hierarchy process: How to make a decision. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*. 93(4), 395-423, 1999.
- Saaty, T.L., How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*. 48(1), 9-26, 1990.
- Saaty, T.L., Vargas, L.G., The Analytic hierarchy process: wash criteria should not be ignored. *International Journal of Management and Decision Making*, 7(2-3), 180-188, 2006.
- Saeed, A.S., Younes, A.B., Cai, C., Cai, G., A survey of hybrid unmanned aerial vehicles. *Progress in Aerospace Sciences*, 98, 91-105, 2018.
- Safari, M., Battery electric vehicles: looking behind to move forward. *Energy Policy*. 115, 54-65, 2018.
- Salehi, M., Jalalian, M., Siar, M.M.V., Green transportation scheduling with speed control: trade-off between total transportation cost and carbon emission. *Computers & Industrial Engineering*. 113, 392-404, 2017.
- Salem, O.M., Miller, R.A., Deshpande, A.S., Arurkar, T.P., Multi-criteria decision-making system for selecting an effective plan for bridge rehabilitation. *Structure and Infrastructure Engineering*. 9(8), 806-816, 2013.
- Salvo, G., Caruso, L., Scordo, A., Urban traffic analysis through an UAV. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 111(February), 1083-1091, 2014.

- Shiau, T.A., Liu, J.S., Developing an indicator system for local governments to evaluate transport sustainability strategies. *Ecol. Indic.* 34, 361-371, 2013.
- Sajadi-Alamdari, S.A., Voos, H., Darouach, M., Stochastic optimum energy management for advanced transportation network. *IFAC-PapersOnLine*, 51(9), 317-322, 2018.
- Sánchez-Lozano, J.M., Rodríguez, O.N., Application of fuzzy reference ideal method (FRIM) to the military advanced training aircraft selection. *Applied Soft Computing*. 88, 106061, 2020.
- Sarkar, A., Panja, S. C., Das, D., Sarkar, B., Developing an efficient decision support system for non-traditional machine selection: an application of MOORA and MOOSRA. *Production & Manufacturing Research*. 3(1), 324-342, 2015.
- Sayyadi, R., Awasthi, A., A simulation-based optimisation approach for identifying key determinants for sustainable transportation planning. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 5(2), 161-174, 2018a.
- Sayyadi, R., Awasthi, A., An integrated approach based on system dynamics and ANP for evaluating sustainable transportation policies. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*. 7(2), 182-191, 2018b.
- Sehatpour, M.H., Kazemi, A., Sehatpour, H.E., Evaluation of alternative fuels for light-duty vehicles in Iran using a multi-criteria approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 295-310, 2017.
- Seker, S., Aydin, N., Sustainable public transportation system evaluation: A novel two-stage hybrid method based on IVIF-AHP and CODAS. *International Journal of Fuzzy Systems*. 22(1), 257-272, 2020.

- Sennaroglu, B., Celebi, G.V., A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 59, 160-173, 2018.
- Shang, J.S., Tjader, Y., Ding, Y., A unified framework for multicriteria evaluation of transportation projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 51(3), 300-313, 2004.
- Shareef, H., Islam, M.M., Mohamed, A., A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 64, 403–20, 2016.
- Shiau, T.A., Evaluating sustainable transport strategies with incomplete information for Taipei City. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(6), 427-432, 2012.
- Sierra, L. A., Yepes, V., Pellicer, E., A review of multi-criteria assessment of the social sustainability of infrastructures. *Journal of Cleaner Production*, 187, 496-513, 2018.
- Silva, B.N., Khan, M., Han, K., Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*. 38, 697-713, 2018.
- Simongati, G., Multi-criteria decision making support tool for freight integrators: Selecting the most sustainable alternative. *Transport*. 25, 89–97, 2010.
- Sims, R.E., Mabee, W., Saddler, J.N., Taylor, M., An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresource Technology*. 101(6), 1570-1580, 2010.

- Singh, R., Avikal, S., A MCDM-Based Approach for Selection of a Sedan Car from Indian Car Market. In *Harmony Search and Nature Inspired Optimization Algorithms* (pp. 569-578). Springer, Singapore, 2019.
- Solangi, Y.A., Shah, S.A.A., Zameer, H., Ikram, M., Saracoglu, B.O., Assessing the solar PV power project site selection in Pakistan: Based on AHP-fuzzy VIKOR approach. *Environmental Science and Pollution Research*. 26(29), 30286-30302, 2019.
- Song, Z., Li, J., Hou, J., Hofmann, H., Ouyang, M., Du, J., The battery-supercapacitor hybrid energy storage system in electric vehicle applications: A case study. *Energy*. 154, 433-441, 2018.
- Sreenath, S., Panda, M., Traffic Counting and Turning Fraction Estimation using Vehicle-to-UAV Co-operative communication. In *2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)* (pp. 675-681). IEEE, 2019.
- Stankov, U., Kennell, J., Morrison, A.M., Vujičić, M.D., The view from above: the relevance of shared aerial drone videos for destination marketing. *Journal of Travel & Tourism Marketing*. 36(7), 808-822, 2019.
- Stanković, M., Gladović, P., Popović, V., Determining the importance of the criteria of traffic accessibility using fuzzy AHP and rough AHP method. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. 2(1), 86-104, 2019.
- Starčević, S., Bojović, N., Junevičius, R., Skrickij, V., Analytical hierarchy process method and data envelopment analysis application in terrain vehicle selection. *Transport*, 34(5), 600-616, 2019.
- StadieSeifi, M., Dellaert, N.P., Nuijten, W., Van Woensel, T., Raoufi, R., Multimodal freight transportation planning: A literature review. *European journal of operational research*. 233(1), 1-15, 2014.

- Stojčić, M., Zavadskas, E. K., Pamučar, D., Stević, Ž., Mardani, A., Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008–2018. *Symmetry*. 11(3), 350, 2019.
- Streimikiene, D., Baležentis, T., Baležentienė, L., Comparative assessment of road transport technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 611-618, 2013.
- Suganthi, L., Multi expert and multi criteria evaluation of sectoral investments for sustainable development: An integrated fuzzy AHP, VIKOR/DEA methodology. *Sustainable cities and society*, 43, 144-156, 2018.
- Sultana, N., Rasel, R.I., Evaluation of geographic locations for river bridge construction: A multi-criteria decision analysis with evidential reasoning approach. In *Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT)*, 2016 3rd International Conference on (pp. 1–4). IEEE, 2016.
- Sutcliffe JP, Wood A, Meaton J., Competitive forests – making forests sustainable in south-west Ethiopia. *Int J Sust Dev World*. 19, 471–481, 2012.
- Sutheerakul, C., Kronprasert, N., Kaewmorachoen, M., Pichayapan, P., Application of unmanned aerial vehicles to pedestrian traffic monitoring and management for shopping streets. *Transportation Research Procedia*, 25, 1717-1734, 2017.
- Süt, N.İ., Hamurcu, M., Eren, T., An Application of green transportation in campus: A decision making process for selection of ring vehicles. *Gazi J. Eng. Sci.* 5, 9–21, 2019.

- Şimşek, A., Çatır, O., Ömürbek, N., TOPSIS ve MOORA yöntemleri ile tedarikçi seçimi: Turizm sektöründe bir uygulama. *Balikesir University Journal of Social Sciences Institute*. 18(33), 2015.
- Tabucanon, M.T., Lee, H.M., Multiple criteria evaluation of transportation system improvement projects: the case of Korea. *Journal of Advanced Transportation*. 29(1), 127-143, 1995.
- Tanaka, M., Ida, T., Murakami, K., Friedman, L., Consumers' willingness to pay for alternative fuel vehicles: A comparative discrete choice analysis between the US and Japan. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 70, 194-209, 2014.
- Theißen, S., Spinler, S., Strategic analysis of manufacturer-supplier partnerships: An ANP model for collaborative CO2 reduction management. *European Journal of Operational Research*, 233(2), 383-397, 2014.
- Tran Thi Hoang, G., Dupont, L., Camargo, M., Application of decision-making methods in smart city projects: A systematic literature review. *Smart Cities*. 2(3), 433-452, 2019.
- Tsamboulas, D.A., A tool for prioritizing multinational transport infrastructure investments. *Transport Policy*. 14(1), 11-26, 2007.
- Tsamboulas, D.A., Yiotis, G., Mikroudis, G., A method for multi-criteria analysis in transportation infrastructure investments. *International Journal of Transport Economics/Rivista internazionale di economia dei trasporti*. 113-131, 2007.
- Tsita, K.G., Pilavachi, P.A., Evaluation of alternative fuels for the Greek road transport sector using the analytic hierarchy process. *Energy Policy*. 48, 677-686, 2012.

- Tsita, K.G., Pilavachi, P.A., Evaluation of next generation biomass derived fuels for the transport sector. *Energy Policy* 62, 443-455, 2013.
- Tuna, G., Nefzi, B., Conte, G., Unmanned aerial vehicle-aided communications system for disaster recovery. *Journal of Network and Computer Applications*. 41, 27-36, 2014.
- Tunçel, N., Belbağ, S., Çimen, M., Fuzzy Electre I method for the decision of ranking brands in terms of purchasing decision criteria: An application on automobile sector. *Atatürk University Journal of Economics and Administrative Sciences*. 31(5),1069-1085, 2017.
- Turcksin, L., Bernardini, A., Macharis, C., A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 20, 954-965, 2011.
- Turskis, Z. Zavadskas, E.K., A new fuzzy additive ratio assessment method (aras-f). Case study: The analysis of fuzzy multiple criteria in order to select the logistic centers location. *Transport*. 25, 423–432, 2010.
- Tudela, A., Akiki, N., Cisternas, R., 2006. Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis: an application to urban transport investment. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 40, 414-423, 2006.
- Turcksin, L., Bernardini, A., Macharis, C., A combined AHP-PROMETHEE approach for selecting the most appropriate policy scenario to stimulate a clean vehicle fleet. *Procedia- Soc. Behav. Sci.* 20, 954-965, 2011.
- Tuzkaya, U.R., Evaluating the environmental effects of transportation modes using an integrated methodology and an application. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 6, 277-290, 2009.

- Tzeng, G.H., Lin, C.W., Opricovic, S., Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy*. 33, 1373–1383, 2005.
- Ullah, S., Kim, K. I., Kim, K.H., Imran, M., Khan, P., Tovar, E., Ali, F., UAV-enabled healthcare architecture: Issues and challenges. *Future Generation Computer Systems*. 97, 425-432, 2019.
- Ulmer, M.W., Goodson, J.C., Mattfeld, D.C., Thomas, B.W., On Modeling stochastic dynamic vehicle routing problems. *EURO Journal on Transportation and Logistics*. 9(2), 100008, 2020.
- Vahdani, B., Zandieh, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Two novel FMCDM methods for alternative-fuel buses selection. *Appl. Math. Model.* 35, 1396–1412, 2011.
- Vaidya, O.S., Kumar, S., Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1-29, 2006.
- Valeri, E., Danielis, R., Simulating the market penetration of cars with alternative fuel powertrain technologies in Italy. *Transport Pol.* 37, 44–56, 2015.
- Vaughan, M.L., Faghri, A., Li, M., Knowledge-based decision-making model for the management of transit system alternative fuel infrastructures. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. 25(2), 184-194, 2018.
- Vermote, L., Macharis, C., Boeykens, F., Schoolmeester, C., Putman, K., Traffic-restriction in Ramallah (Palestine): participatory sustainability assessment of pedestrian scenarios using a simplified transport model. *Land Use Policy*. 41, 453-464, 2014.

- Vermuyten, H., Rosa, J. N., Marques, I., Belien, J., Barbosa-Póvoa, A., Integrated staff scheduling at a medical emergency service: An optimisation approach. *Expert Systems with Applications*, 112, 62-76, 2018.
- Von Winterfeldt, D., Fasolo, B., Structuring decision problems: A case study and reflections for practitioners. *European Journal of Operational Research*. 199(3), 857-866, 2009.
- Vreeker, R., Nijkamp, P., Ter Welle, C., A multicriteria decision support methodology for evaluating airport expansion plans. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 7(1), 27-47, 2002.
- Wackernagel, M., Rees, W., What is an ecological footprint?. *The sustainable urban development reader*, 211-219, 2004.
- Wagenknecht, M., Hampel, R., Schneider, V., Computational aspects of fuzzy arithmetics based on Archimedean t-norms. *Fuzzy Sets and Systems*, 123(1), 49-62, 2001.
- Walker, H., Seuring, S., Sarkis, J., Klassen, R., Huq, F.A., Stevenson, M., Zorzini, M., Social sustainability in developing country suppliers. *International Journal of Operations & Production Management*, 2014.
- Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E.W., Papadopoulos, T., Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98-110, 2016.
- Waller, M., Meixell, M.J., Norbis, M., A review of the transportation mode choice and carrier selection literature. *The International Journal of Logistics Management*, 2008.

- Wang, B., Song, J., Ren, J., Li, K., Duan, H., Selecting sustainable energy conversion technologies for agricultural residues: A fuzzy AHP-VIKOR based prioritization from life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling*. 142, 78-87, 2019.
- Wang, H., Jiang, Z.G., Zhang, H, Wang, Y., Yang, Y.H., Li, Y., An integrated MCDM approach considering demands-matching for reverse logistics. *J. Clean. Prod.* 208, 199–210, 2019.
- Wang, L., Fu, Z. L., Guo, W., Liang, R. Y., Shao, H. Y., What influences sales market of new energy vehicles in China? Empirical study based on survey of consumers' purchase reasons. *Energy Policy*, 142, 111484, 2020.
- Wang, T.C., Chang, T.H., Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*. 33(4), 870-880, 2007.
- Wang, Y., Xu, L., Solangi, Y.A., Strategic renewable energy resources selection for Pakistan: Based on SWOT-Fuzzy AHP approach. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101861, 2020.
- Wang, Y.M., Elhag, T.M., A fuzzy group decision making approach for bridge risk assessment. *Computers & Industrial Engineering*. 53(1), 137–148, 2007.
- Wang, Y.M., Elhag, T.M., Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert Systems with Applications*. 31(2), 309-319, 2006.
- Wang, Y.M., Liu, J., Elhag, T.M., An integrated AHP–DEA methodology for bridge risk assessment. *Computers & Industrial Engineering*. 54(3), 513–525, 2008.

- Wang, Z., Zhao, C., Yin, J., Zhang, B., Purchasing intentions of Chinese citizens on new energy vehicles: how should one respond to current preferential policy? *J. Clean. Prod.* 161, 1000–1010, 2017.
- Wang, Z.Z., Fan, L.C., Hastak, M., Multi-criteria optimization of bridge management. In *Advanced Materials Research.* 255, 4080–4084, 2011.
- Verma, A., Rahul, T.M., Dixit, M., Sustainability impact assessment of transportation policies- a case study for Bangalore city. *Case Stud. Transp. Policy.* 3, 321-330, 2014.
- Vermote, L., Macharis, C., Putman, K., A road network for freight transport in flanders: multi-actor multi-criteria assessment of alternative ring ways. *Sustain.* 5, 4222-4246, 2013.
- von Doderer, C.C.C., Kleynhans, T.E., Determining the most sustainable lignocellulosic bioenergy system following a case study approach. *Biomass Bioenergy* 70, 273-286, 2014.
- Wey, W.M., Huang, J.Y., Urban sustainable transportation planning strategies for livable City's quality of life. *Habitat International.* 82, 9-27, 2018.
- Wivou, J., Udawatta, L., Alshehhi, A., Alzaabi, E., Albeloshi, A., Alfalasi, S., Air quality monitoring for sustainable systems via drone based technology. In 2016 IEEE International Conference on Information and Automation for Sustainability (ICIAfS) (pp. 1-5). IEEE, 2016.
- Wright, G., Goodwin, P., Decision making and planning under low levels of predictability: Enhancing the scenario method. *International Journal of Forecasting.* 25(4), 813-825, 2009.

- Wu, Y., Zhang, J., Yuan, J., Geng, S., Zhang, H., Study of decision framework of offshore wind power station site selection based on ELECTRE-III under intuitionistic fuzzy environment: a case of China. *Energy Convers. Manage.* 113, 66–81, 2016.
- Wu, Y.J., Chen, J.C., A structured method for smart city project selection. *International Journal of Information Management*, 101981, 2019.
- Xu, Q., Cai, T., Liu, Y., Location planning of charging stations for electric vehicles based on drivers' behaviors' and travel chain. *Automation of Electric Power Systems.* 4, 59–65, 2016.
- Yadollahi, M., Ansari, R., Abd Majid, M. Z., Yih, C.H., A multi-criteria analysis for bridge sustainability assessment: a case study of Penang Second Bridge, Malaysia. *Structure and Infrastructure Engineering*, 11(5), 638–654, 2015.
- Yakıcı, E. (2016). Solving location and routing problem for UAVs. *Computers & Industrial Engineering.* 102, 294–301.
- Yang, C.H., Lee, K.C., Chen, H.C., Incorporating carbon footprint with activity-based costing constraints into sustainable public transport infrastructure project decisions. *Journal of Cleaner Production.* 133, 1154-1166, 2016.
- Yang, J., Park, M.W., Vela, P.A., Golparvar-Fard, M., Construction performance monitoring via still images, time-lapse photos, and video streams: Now, tomorrow, and the future. *Advanced Engineering Informatics.* 29(2), 211-224, 2015.
- Yang, Z.Z., Yu, S.N., Chen, G., Optimization of mixed air cargo transportation network. *Jiaotong Yunshu Gongcheng Xuebao.* 16(1), 103-114, 2016.

- Yannis, G., Kopsacheili, A., Dragomanovits, A., Petraki, V., State-of-the-art review on multi-criteria decision-making in the transport sector. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. 7(4), 413-431, 2020.
- Yao, X., Where are public transit needed: examining potential demand for public transit for commuting trips. *Computers, Environment & Urban Systems*. 5(31), 535-550, 2007.
- Yavuz, M., Oztaysi, B., Onar, S.C., Kahraman, C., Multi-criteria evaluation of alternative-fuel vehicles via a hierarchical hesitant fuzzy linguistic model. *Expert Syst. Appl.* 42, 2835–2848, 2015.
- Yazdani, M., Zarate, P., Coulibaly, A., Zavadskas, E.K., A group decision making support system in logistics and supply chain management. *Expert systems with Applications*, 88, 376-392, 2017.
- Yedla, S., Shrestha, R.M., Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 37, 717–729, 2003.
- Yıldız, S.A., Çalış, G., Unmanned Aerial Vehicles for Civil Engineering: Current Practises and Regulations. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. (16), 925-932, 2019.
- Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, M., Foth, M., Sabatini-Marques, J., da Costa, E., Ioppolo, G., Can cities become smart without being sustainable? A systematic review of the literature. *Sustainable Cities and Society*. 45, 348-365, 2019.
- Yogi, K.S., Evaluation of purchase intention of customers in two wheeler automobile segment: AHP and TOPSIS. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 330(1), 012065. IOP Publishing, 2018.

- Youssef, M.A., Anumba, C.J., Thorpe, T., Intelligent selection of concrete bridge construction methods in Egypt. In *Computing in Civil Engineering*. 1-14, 2005.
- Yu, Z., Li, S., Tong, L., Market dynamics and indirect network effects in electric vehicle diffusion. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 47, 336–356, 2016.
- Zadeh, L. A., Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353, 1965.
- Zavadskas, E.K., Pamučar, D., Stević, Ž., Mardani, A., *Multi-Criteria Decision-Making Techniques for Improvement Sustainability Engineering Processes*, 2020.
- Zhao, W., Ma, Z., Yang, K., Huang, H., Monsuur, F., Lee, J., Impacts of variable message signs on en-route route choice behavior. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 139, 335-349, 2020.
- Zecevic, S., Tadic, S., Krstic, M., Intermodal transport terminal location selection using a novel hybrid MCDM model. *Int. J. Uncertain. Fuzziness Knowl.-Based Syst.* 25, 853–876, 2017.
- Zhang, J., Evaluating regional low-carbon tourism strategies using the fuzzy Delphi-analytic network process approach. *Journal of Cleaner Production*. 141, 409-419, 2017.
- Zhang, L., Zhao, Z., Xin, H., Chai, J., Wang, G., Charge pricing model for electric vehicle charging infrastructure public-private partnership projects in China: A system dynamics analysis. *Journal of Cleaner Production*. 199, 321-333, 2018.
- Zhang, N., Wei, G., Extension of VIKOR method for decision making problem based on hesitant fuzzy set. *Applied Mathematical Modelling*. 37(7), 4938-4947, 2013.

- Zhang, X., Bai, X., Shang, J., Is subsidized electric vehicles adoption sustainable: Consumers' perceptions and motivation toward incentive policies, environmental benefits, and risks. *Journal of Cleaner Production*. 192, 71-79, 2018.
- Zhang, X., Wang, K., Hao, Y., Fan, J.L., Wei, Y.M., The impact of government policy on preference for NEVs: the evidence from China. *Energy Pol.* 61, 382–393, 2013.
- Zhang, Z., Sun, X., Ding, N., Yang, J., Life cycle environmental assessment of charging infrastructure for electric vehicles in China. *Journal of Cleaner Production*. 227, 932-941, 2019.
- Zhongzhen, Y., Hayashi, Y., GIS-based analysis of railway's origin/destination path-selecting behavior. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 3(17), 221-226, 2002.
- Zhou, S., Yang, P., Risk management in distributed wind energy implementing Analytic Hierarchy Process. *Renewable Energy*. 150, 616-623, 2020.
- Ziemba, E., The contribution of ICT adoption to the sustainable information society. *Journal of Computer Information Systems*, 59(2), 116-126, 2019.
- Zivin, J.S.G., Kotchen, M.J., Mansur, E.T., Spatial and temporal heterogeneity of marginal emissions: Implications for electric cars and other electricity-shifting policies. *Journal of Economic Behavior & Organization*. 107, 248-268, 2014.
- Zubaryeva, A., Thiel, C., Barbone, E., Mercier, A., Assessing factors for the identification of potential lead markets for electrified vehicles in Europe: expert opinion elicitation. *Technol. Forecast. Soc. Change*. 79, 1622-1637, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Mustafa HAMURCU

Uyruğu: T.C.

Doğum Tarihi: 10.02.1990

Doğum Yeri: ÇARŞAMBA

Medeni Hali:--

Yabancı Dil: İNGİLİZCE

E-mail: hamurcu.mustafa@kku.edu.tr



EĞİTİM

2016-2020	Doktora	Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği A.B.D., KIRIKKALE
2013-2016	Yüksek Lisans	Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği A.B.D., KIRIKKALE
2009-2013	Lisans	Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE.

İŞ DENEYİMİ

2015-2020	KIRIKKALE	Araştırma Görevlisi
-----------	-----------	---------------------

YAYINLAR (SCI)

1. Hamurcu, M., Eren, T., Electric Bus Selection with Multicriteria Decision Analysis for Green Transportation, Sustainability. 12 (7), 2777, 2020.

2. Hamurcu, M., Eren, T., Strategic Planning Based on Sustainability for Urban Transportation: An Application to Decision Making, Sustainability. 12 (9), 3589, 2020.
3. Hamurcu, M., Eren, T., Applications of the MOORA and TOPSIS Method for Decision of Electric Vehicle in Public Transportation Technology. Transport. 2020, (In press)
4. Hamurcu, M., Eren, T., An Application of Multicriteria Decision-making for Evaluation of Alternative Monorail Routes. Mathematics. 7(1), 16, 2019.
5. Hamurcu, M., Eren, T., A Fuzzy Analytical Network Process Approach to The Selection of The Rail System Projects. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences. 9(4), 415-426, 2018.
6. Gür, Ş., Hamurcu M., Eren T., Ankara'da Monoray Projelerinin Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama ile Seçimi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 23(4), 437-443, 2017.
7. Hamurcu, M., Eren, T., Selection of Monorail Technology by Using Multicriteria Decision Making. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences. 8 (4), 303-314.
8. Hamurcu, M., Alağaç, H.M., Eren, T., Selection of rail system projects with analytic hierarchy process and goal programming. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences. 8 (4), 291-302, 2017.

YAYINLAR (DİĞER)

1. Sarımehtmet, B., Hamurcu, M., Eren, T., Çok Kriterli Karar Verme: Kırıkkale YHT İstasyonu- Şehir Bağlantısının Sağlanması. Demiryolu Mühendisliği. 11, 26-40, 2020.

2. Dinç, N., Hamurcu, M., Eren T., Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Hattında İstasyon Yerlerinin Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Destekli 0-1 Hedef Programlama Modeli. Demiryolu Mühendisliği. 9, 1-16, 2019.
3. Süt, N.İ., Hamurcu, M., Eren, T., Kampüste Yeşil Ulaşım Uygulaması: Ring Araçlarının Seçimi İçin Bir Karar Verme Süreci. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD). 5(1), 9-21, 2019.
4. Süt, N.İ., Hamurcu, M., Eren, T., Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Hat Güzergahının Değerlendirilmesi. Harran Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 3(3), 22-30, 2018.
5. Hamurcu, M., Eren, T., Prioritization of High-speed Rail Projects. International Advanced Researches and Engineering Journal. 2(2), 98-103, 2018.
6. Hamurcu, M., Eren, T., Transportation Planning With Analytic Hierarchy Process and Goal Programming. International Advanced Researches and Engineering Journal. 2(2), 92-97, 2018.
7. Hamurcu, M., Eren, T., Kent İçi Ulaşım İçin Bulanık AHP Tabanlı VIKOR Yöntemi ile Proje Seçimi. Engineering Sciences (NWSAENS). 13(3): 201-216, 2018.
8. Dinç, S., Hamurcu, M., Eren, T., Kentsel Ulaşım İçin Alternatif Tramvay Araçlarının Çok Kriterli Seçimi. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 4(2), 124-135, 2018.
9. Dinç, S., Hamurcu, M., Eren, T., Kırıkkale-Kampüs Dolmuş Hattının Etkinliğinin Çok Kriterli Karar Verme ile Değerlendirilmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. (Ek Sayı 1), 238-247, 2018.

10. Özcan, E., Hamurcu, M., Alakaş, H.M., Eren, T., Project Selection by Using Constraint Programming. *Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*. 21(1), 89-92, 2018.
11. Hamurcu, M., Eren, T., Raylı Sistem Projeleri Kararında AHS-HP ve AAS-HP Kombinasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 3(3), 1-13, 2017.
12. Taş, M., Özlemiş, Ş., Hamurcu, M., Eren, T., Ankara’da AHP ve PROMETHEE Yaklaşımıyla Monoray Hat Tipinin Belirlenmesi. *Ekonomi, İşletme, Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*. 3(1), 65-89, 2017.
13. Taş, M., Özlemiş, Ş., Hamurcu, M., Tamer, E., Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Hedef Programlama Karma Modeli Kullanılarak Monoray Projelerinin Seçimi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. 2(2), 24-34, 2017.
14. Gür, Ş., Hamurcu, M., Eren, T., Selection of Academic Conferences Based on Analytical Network Processes. *Multiple Criteria Decision Making*. 11, 51, 2016.
15. Hamurcu, M., Eren, T., A Multicriteria Decision-Making for Monorail Route Selection in Ankara. *International Journal of Industrial Electronics and Electrical Engineering*. 4 (5), 121-125, 2016.
16. Hamurcu, M., Gür, Ş., Özder, E.H., Eren, T., A Multicriteria Decision Making For Monorail Projects with Analytic Network Process and 0-1 Goal Programming. *International Journal Of Advances In Electronics And Computer Science (IJAECS)*. 3(7), 8-12, 2016.

BİLDİRİLER

1. Hamurcu, M., Eren, T., “Multicriteria Decision Making Based on Sustainability in The Selection of UAV Applications for Smart Cities”, 25th International Conference on

- Multiple Criteria Decision Making,p. 132-133, 16-21 June 2019, İstanbul, Turkey, 2019.
2. Dinç, S., Hamurcu, M., Eren, T., "Evaluation of The Effectiveness of Kırkkale-Campus Transportation Route with Multicriteria Decision Making", International Conference on Intelligent Transportation Systems (BANU-ITSC'18), 19-21 April 2018, Bandırma, 2018.
 3. Dinç, S., Hamurcu, M., Eren, T., "Selection of Tramway Alternatives for Urban Transportation by Using AHP/FAHP", International Conference on Intelligent Transportation Systems (BANU-ITSC'18), 19-21 April 2018, Bandırma, 2018.
 4. Süt, N.İ., Hamurcu, M., Eren, T., "Evaluation of Ankara-Sivas High Speed Rail Line with Multicriteria Decision Making Method", International Conference on Intelligent Transportation Systems (BANU-ITSC'18), 19-21 April 2018, Bandırma, 2018.
 5. Süt, N.İ., Hamurcu, M., Eren, T., "Kampüs İçi Yeşil Ulaşım İçin Bir Karar Verme Süreci: Ring Araçlarının Seçimi", International Conference on Intelligent Transportation Systems (BANU-ITSC'18), 19-21 April 2018, Bandırma, 2018.
 6. Hamurcu., M., Eren, T., "Evaluation of Expansion Strategies for Rail System Network of Ankara", International Congress on Engineering and Life Sciences (ICELIS 2018), 26-29 April 2018, Kastamonu, 2018.
 7. Hamurcu, M., Eren, T., "Using Multicriteria Decision Making Approach for Metro Projects Selection in Ankara" The 2018 International Conference of the African Federation of Operational Research Societies (AFROS 2018), 2th-4th July, 2018, Tunis, Tunisia, 2018.
 8. Hamurcu, M., Eren, T., "A Hybrid Approach of Analytic Hierarchy Process-TOPSIS and Goal Programming for Electric Automobile Selection", The 2018 International

Conference of the African Federation of Operational Research Societies (AFROS 2018), 2th–4th July, 2018, Tunis, Tunisia, 2018.

9. Hamurcu, M., Eren, T., "Determination of Electric Bus Technology to Improve the Public Transportation using AHP-TOPSIS Methods", 29th European Conference on Operational Research (EURO2018), Valencia, July 8-11, 2018.
10. Özcan, E., Hamurcu, M., Alakaş, H.M., Eren, T., "Project Selection by Using Constraint Programming", 21 th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" (TMT 2018), 18-22 September 2018, Karlovy Vary, Czech Republic, 2018.
11. Hamurcu, M., Eren, T., "Selection of Intercity Transportation Projects Under the Budget Scenarios in Turkey" 4rd International Symposium on Railway Systems Engineering (ISERSE'2018), 10-12 October 2018, Karabük, Türkiye, 2018.
12. Hamurcu, M., Eren, T., "Multicriteria Decision Making In The Urban Transport: Selection of Rail System Technology", 4rd International Symposium on Railway Systems Engineering (ISERSE'2018), 10-12 October 2018, Karabük, Türkiye, 2018.
13. Hamurcu, M., Eren, T., "Rail System Station Site Selection: A Literature Review", 4rd International Symposium on Railway Systems Engineering (ISERSE'2018), 10-12 October 2018, Karabük, Türkiye, 2018.
14. Hamurcu, M., Eren, T., "Evaluation of Expansion Strategies for Rail System Network of Ankara", International Congress on Engineering and Life Sciences (ICELIS 2018), Proceeding Book, 186-188, 26-29 April 2018, Kastamonu, 2018.
15. Hamurcu, M., Eren, T., "Yüksek Kapasiteli Elektrikli Otobüslerin Seçiminde Hibrit Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması", Transist 11. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, 8-10 Kasım, 2018.

16. Hamurcu, M., Eren, T., “Kamu Kurumunda Bulanik Topsis Yaklaşımı ile Proje Seçimi İçin Bir Grup Karar Verme Uygulaması”, Transist 11. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, 8-10 Kasım, 2018.
17. Hamurcu, M., Eren, T., “Kentsel Ulaşımın Geliştirilmesi İçin Moora Yöntemi Kullanılarak Çok Amaçlı Optimizasyon”, Transist 11. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, 8-10 Kasım, 2018.
18. Hamurcu, M., Eren, T., “İstanbul’da Adalar Ulaşımının Sağlanması İçin Öneri ve Bir Seçim Süreci”, Transist 11. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, 8-10 Kasım, 2018.
19. Hamurcu, M., Eren, T., “Transportation Planning with Analytic Hierarchy Process and Goal Programming”, International Advance Researches in Engineering Congress / IAREC’17, Osmaniye, 2114-2118, 2017.
20. Hamurcu, M., Eren, T., “Prioritization of Investment Areas with Fuzzy AHP” International Advance Researches in Engineering Congress / IAREC’17, Osmaniye, 2109-2113, 2017.
21. Hamurcu, M., Eren, T., “Prioritization of High-Speed Rail Projects” International Advance Researches in Engineering Congress / IAREC’17, Osmaniye, 2119-2123, 2017.
22. Hamurcu, M., Eren, T., “Kent İçi Raylı Toplu Taşıma Türünün Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı”, Transist 10. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, 98-106, 2017.

23. Hamurcu, M., Eren, T., “Bulanık ANP Kullanılarak Raylı Sistem Projelerinin Önceliklendirilmesi” Transist 10. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, 89-97, 2017.
24. Hamurcu, M., Eren, T., “Monoray Araç Seçimi İçin Bulanık AHP ve TOPSIS Uygulaması”, Transist 10. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, 81-88, 2017.
25. Hamurcu, M., Eren, T., “Kentsel Ulaşım Projelerinin Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması: Literatür Araştırması”, 37. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi, İstanbul, 87, 2017.
26. Hamurcu, M., Eren, T., “Toplu Taşıma Türünün Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması”, International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017), Bayburt, 2017.
27. Hamurcu, M., Eren, T., “Sürdürülebilir Kent İçi Ulaşım İçin Bulanık AHP Tabanlı VIKOR Yöntemi ile Proje Seçimi”, International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017), Bayburt, 2017.
28. Hamurcu, M., Eren, T., “Academic Journal Selection for Academicians by Using Fuzzy Multicriteria Decision Making Methods”, The 5th International Fuzzy Systems Symposium, Ankara, 42, 2017.
29. Hamurcu, M., Eren, T., “Evaluation of Monorail Route Alternatives by Using a Fuzzy Analytic Hierarchy Proces”, The 5th International Fuzzy Systems Symposium, Ankara, 46, 2017.
30. Hamurcu, M., Eren, T., “Selection Of Urban Rail Mass Transport Type By Using Fuzzy AHP”, The 5th International Fuzzy Systems Symposium, Ankara, 13, 2017.

31. Alakaş, H.M., Gençer, M.A., Hamurcu, M., Eren, T., “Raylı Sistem Hatlarında Araç Planlama İçin Bir Karar Destek Sistemi Önerisi”, 18. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu, Trabzon, 2017.
32. Eren, T., Hamurcu, M., Alakaş, H.M., “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Kırıkkale Yüksek Hızlı Tren İstasyon Yerinin Seçimi”, 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 597-606, 2017.
33. Hamurcu, M., Eren, T., “A Multicriteria Decision-Making For Monorail Route Selection in Ankara”, 32nd International Academic Conference on Engineering, Technology and Innovations (IACETI), Dubai, UAE, March 5, 2016.
34. Hamurcu M., Gür Ş., Özder E.H., Eren T., “A Multicriteria Decision Making For Monorail Projects with Analytic Network Process and 0-1 Goal Programming.”, ISERD 48th International Conference on Economics, Management and Social Study, İstanbul, Turkey, May 29-30, 2016
35. Hamurcu, M., Eren, T., “Using ANP- TOPSIS Methods for Route Selection of Monorail in Ankara”, 28th European Conference on Operational Research, Poznan, Polland, July 3-6, 2016
36. Hamurcu, M., Eren, T., “Analitik Ağ Süreci ile Ankara’da Kentsel Ulaşım İçin Monoray Teknolojisinin Seçimi”, 3rd International Symposium on Railway Systems Engineering (ISERSE'2016), 13-15 Ekim 2016, Karabük, Türkiye.
37. Hamurcu, M., Eren, T., “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Raylı Sistem Projelerinin Sıralanması”, 3rd International Symposium on Railway Systems Engineering (ISERSE'2016), 13-15 Ekim 2016, Karabük, Türkiye.

38. Hamurcu, M., Eren. T., “Türkiye’de Kentsel Toplu Ulaşım İçin ‘Land Airbus’ Önerisi” Transist 9. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, 1-3 Aralık 2016.
39. Hamurcu, M., Alakaş, H.M., Eren. T., “Raylı Sistem Projelerinin Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Kullanımı” Transist 9. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, 1-3 Aralık 2016.
40. Hamurcu, M., Eren. T., “Kentsel Ulaşımında Güzergâh Belirleme İçin Kullanılan Kriterler: Literatür Araştırması” Transist 9. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, 1-3 Aralık 2016.
41. Hamurcu, M., Eren. T., “Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri Kullanılarak Monoray Teknolojisi Seçimi” Transist 9. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, 1-3 Aralık 2016.
42. Hamurcu, M., Eren, T., “Ankara Büyükşehir Belediyesi’nde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi ile Monoray Güzergâh Seçimi”, Transist 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, s. 410-419, 17-19 Aralık 2015.
43. Hamurcu, M., Eren, T., “Monoray ve Türkiye’de Potansiyel Uygulanabilirliği”, Transist 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul, 17-19 Aralık 2015.