

T.C.
ANTALYA BİLİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE BULANIK MANTIK
ENTEGRASYONLU ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ
İLE PROJE VE RİSK DEĞERLENDİRMESİNİN İNCELENMESİ
VE ANTALYA ÖRNEĞİ

TEZ

HAZIRLAYAN
KAAN SARI

ANTALYA - 2022

T.C.
ANTALYA BİLİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE BULANIK MANTIK
ENTEGRASYONLU ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ
İLE PROJE VE RİSK DEĞERLENDİRMESİNİN İNCELENMESİ
VE ANTALYA ÖRNEĞİ

TEZ

HAZIRLAYAN
KAAN SARI

TEZ DANIŞMANLARI
DR. ÖĞR. ÜYESİ EMRE DEMİR
DR. ÖĞR. ÜYESİ MUHAMMET FATİH AK

ANTALYA - 2022

ONAY/BİLDİRİM FORMU
ANTALYA BİLİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Kaan SARI' ya ait “Kentiçi Raylı Sistemlerde Bulanık Mantık Entegrasyonlu ÇokKriterli Karar Verme Yöntemi İle Proje ve Risk Değerlendirmesinin İncelenmesi ve Antalya Örneği” adlı bu tez çalışması Tez Kurulumuz tarafından İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI/PROGRAMI tezi olarak (oybirliği / oyçokluğu) ile kabul edilmiştir.

Akademik Ünvanı, Adı ve Soyadı İmzası

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Emre DEMİR ,
: Dr. Öğr. Üyesi M. FATİH AK ,

Üye (Jüri Başkanı) : Dr. Öğr. Üyesi Emre DEMİR ,

Üye : Prof. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL ,

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hamid Farrokh GHATTE ,

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. İbrahim Sani MERT ,

Tez Teslim Tarihi :

Tez Sınavı Tarihi :

ÖNSÖZ

Antalya Bilim Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği yüksek lisans tezi olarak hazırlamış olduğum bu çalışma, kentiçi raylı sistemlerin yapımında önem arz eden karar verme aşamaları ile birlikte raylı sistemlerdeki risklerin değerlendirilmesi için bulanık mantık entegrasyonları yardımıyla “Çok Kriterli Karar Verme” ve “Risk Değerlendirme” çalışmalarını kapsamaktadır. Bu çalışma kapsamında detaylı literatür taramaları yapılmış ve konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu tez çalışmasının ortaya çıkartılmasında bana yol gösteren ve tezin her aşamasında görüş ve önerilerini benimle paylaşıp yol gösteren değerli tez danışmanı hocalarım Dr. Emre DEMİR ve Dr. Muhammet FATİH AK’ a şükranlarımı sunuyorum. Tez çalışmam sırasında vermiş oldukları destekler için Antalya Ulaşım A.Ş. Teknik Müdürü Sn. Selçuk ÇOBANOĞLU ve diğer çalışma arkadaşlarım ile tez çalışmam süresince beni yalnız bırakmayan aileme ve eşim Sibel SARI’ ya verdikleri destekler ve gösterdikleri sabır için ayrıca teşekkür ediyorum.

.... / / 2022

KAAN SARI

ÖZET

KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERDE BULANIK MANTIK ENTEGRASYONLU ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ İLE PROJE VE RİSK DEĞERLENDİRMESİNİN İNCELENMESİ VE ANTALYA ÖRNEĞİ

Kentiçi raylı taşıma sistemleri, özellikle gelişmiş ülkelerde büyük ve kalabalık şehirlerde bulunan toplu taşıma sistemleri içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Raylı sistem projelerinin gerçekleştirilmesi için çok yüksek bir kaynak gerektirmektedir. Yapılacak bu yatırımların hayata geçirilmesinde, değerlendirme süreci kadar doğru karar verilmesi de büyük önem arz etmektedir. Yapılması planlanan bir raylı sistemin hangi beklentileri karşılayacağı veya işletim sırasında planlanan beklentileri karşılayıp karşılamadıkları çoğu zaman tespit edilememektedir. Raylı sistem projelerinin seçiminde yapılacak bir hata nedeniyle yapılacak bir düzeltme, ilk yatırım maliyetlerine yakın olmaktadır. Bu nedenle hem ilave maliyet hem de zaman ve işletme kaybı şeklinde olumsuz etkenler ortaya çıkabilmektedir.

Bu tez çalışması ile, raylı sistem yatırımlarının seçimine katkıda bulunulması ve aynı zamanda kentiçi raylı sistemler yatırımlarındaki bir belirsizliğin, önlenecek seçim metodunun iyileştirilmesine yönelik farklı bir fikir sunulması amaçlanmıştır. Tezin ikinci bölümünde ise iş sağlığı ve güvenliğine yönelik daha iyi sonuçlar alınabilen ve daha faydalı olacağı düşünülen bir İSG risk değerlendirme yöntemine ulaşmak için yeni bir metod önerilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Bulanık Mantık, Çok Kriterli Karar verme, Kentiçi Raylı Sistemler, Risk Değerlendirmesi, Şehiriçi Ulaşım

ABSTRACT

FUZZY LOGIC-INTEGRATED MULTI-CRITERIA DECISION MAKING PROJECTS AND RISK ASSESSMENT IN URBAN RAIL SYSTEM ANALYSIS WITH THE SAMPLE OF ANTALYA

Urban rail transport systems have an important place in public transport systems in large and crowded cities, especially in developed countries. Rail system projects require a very high resource for the realization. In the realization of these investments to be made, making the right decision is as important as the evaluation process. Generally it is not possible to determine which expectations a rail system planned to be built will meet or whether they meet the expectations planned during operation. A correction due to an error in the selection of rail system projects is close to the initial investment costs. For this reason, negative factors in the forms of both additional costs and loss of time and operation may occur.

With this thesis, it is aimed to contribute to the selection of rail system investments and also to present a different idea to improve the selection method by preventing an uncertainty in urban rail systems investments. In the second part of the thesis, a new approach is proposed to reach an occupational health and safety risk assessment method, which is thought to be more beneficial and with better results for occupational health and safety.

Keywords: Fuzzy Logic, Multi Criteria Decision Making, Urban Rail Systems, Risk Assessment, Urban Transport

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	8
1.2. Tezin Kapsamı.....	11
1.3. Çalışma Yöntemi.....	11
2. LİTERATÜR TARAMASI	13
3. TOPLU ULAŞIM TARİHİ VE GELİŞİMİ.....	23
3.1. Toplu Ulaşımdan Beklenen Özellikler	27
3.1.1. Teknolojik Özellikler.....	27
3.1.2. Ekonomik Özellikler.....	29
3.1.3. Çevresel Özellikler.....	31
4. RAYLI SİSTEMLER VE DİĞER ULAŞIM SİSTEMLERİNİN.....	
KARŞILAŞTIRILMASI	33
4.1. Kentiçi Raylı Sistem Türleri	37
4.1.1. Tramvay Sistemi	39
4.1.2. Hafif Raylı Sistem	41
4.1.3. Metro Sistemi	43
4.1.4. Banliyö Sistemi.....	45
4.1.5. Füniküler Sistemi.....	46
4.1.6. Monoray Sistemi	47

5. ANTALYA’NIN DEMOGRAFİK, SOSYAL VE EKONOMİK YAPISI.....	49
5.1. Antalya’da Kent Planlaması	50
5.1.1. Yürürlükteki İmar Planı.....	50
5.1.2. Antalya 2040 Vizyonu.....	50
5.2. Ulaşım Ana Planı Çalışmaları.....	52
5.2.1. Ulaşım Ana Planı Tanımı.....	52
5.2.2. Ulaşım Ana Planının Amacı.....	52
5.2.3. Ulaşım Ana Planını Çalışmasının Kapsamı ve Çalışma Alanı	52
5.3. Antalya İli İçin Ulaşım Ana Planı Çalışmaları.....	53
6. ANTALYA KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERİ.....	57
6.1. Antray 1. Aşama HRS Projesi	57
6.2. Antray 2. Aşama HRS Projesi	59
6.3. Antray 3. Aşama HRS Projesi	64
7. ANTALYA’DA BULUNAN HAFİF RAYLI SİSTEM PROJELERİNİN	
BULANIK MANTIK ENTEGRASYONLU AHP VE VIKOR YÖNTEMİ	
İLE İNCELENMESİ	68
7.1. Literatür Taraması	72
7.1.1. AHP ve Bulanık AHP’ ye Dayalı Çalışmalar	76
7.1.2. VIKOR ve Bulanık VIKOR tabanlı çalışmalar	77
7.2. Çalışma Yöntemi.....	79
7.2.1. Önerilen Entegre Yaklaşım	79
7.2.2. Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (PFAHP).....	79
7.2.3. Bulanık Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü (FVIKOR) .	81
7.3. Tez Çalışmasında Önerilen Yaklaşımın Uygulanması	83
7.4. Bulgular ve Yorum.....	107
8. ANTALYA’DA BULUNAN HAFİF RAYLI SİSTEMLERİNDE RİSK	
DEĞERLENDİRMESİNİN BULANIK MANTIK ENTEGRASYONLU	
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ	110
8.1. Literatür Taraması	111
8.2. Araştırma Yöntemi ve Metodoloji.....	117
8.2.1. Uygulama Metotları.....	119
8.2.2. Fine Kinney Yöntemi.....	122
8.2.2.1. Fine Kinney Yöntemi Olasılık Kriteri.....	124

8.2.2.2. <i>Fine Kinney Yöntemi Frekans Kriteri</i>	125
8.2.2.3. <i>Fine Kinney Yöntemi Şiddet Kriteri</i>	125
8.2.2.4. <i>Fine Kinney Yöntemi Risk Değerlendirme Sonucu</i>	126
8.2.2.5. <i>Tespit Edilebilirlik Kriteri</i>	127
8.2.2.6. <i>Maliyet Etki Değeri</i>	128
8.2.2.7. <i>Kişisel koruyucu Kullanım Etki Değeri</i>	130
8.2.3. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP).....	133
8.2.3.1. <i>Bulanık Küme Teorisi</i>	142
8.2.3.2. <i>Üyelik Fonksiyonları</i>	143
8.2.4. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (FAHP).....	145
8.2.4.1. <i>Buckley' in FAHP Yaklaşımı</i>	147
8.2.5. Pisagor Bulanık AHP (PFAHP)	148
8.2.6. Bulanık VIKOR (FVIKOR) Yöntemi.....	150
8.3. Kentiçi Raylı Sistemler İçin Risk Değerlendirme Yapısının	
Oluşturulması	153
8.3.1. Raydan Çıkma Tehlike Grubu.....	155
8.3.2. Çarpışma Tehlike Grubu	155
8.3.3. Yangın Tehlike Grubu	155
8.3.4. Elektrik Çarpması Tehlike Grubu.....	156
8.3.5. Kayma / Takılma Tehlike Grubu.....	156
8.3.6. Düşme Tehlike Grubu	156
8.3.7. Doğal Afet Tehlike Grubu.....	156
8.3.8. Sağlık Tehlike Grubu	157
8.4. Bulgular ve Yorum.....	161
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	164
10. KAYNAKÇA.....	169
11. EKLER	189
12. ÖZGEÇMİŞ	214

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1. Ulaşımın kaynaklı enerji tasarrufu ve karbon azaltımı	6
Tablo 2. Toplu Ulaşımın Amaç ve Hedefleri	23
Tablo 3. Dönemler İtibariyle Ulaşım Teknolojilerinin Gelişimi.....	24
Tablo 4. Otomobil Kullanımı Sorunları	25
Tablo 5. Ulaşım Türlerinin Teknolojik Özellikleri	27
Tablo 6. Kentiçi Toplu Ulaşım Türlerinde Fiziksel Özerklik ve Trafik Esnekliği	28
Tablo 7. Kentiçi Toplu Ulaşım Türlerinin Güvenlik Açısından Karşılaştırılması	29
Tablo 8. Kentiçi Toplu Ulaşım İşletme Maliyetleri (1/100 \$).....	30
Tablo 9. Kentiçi Toplu Ulaşım Yatırım Maliyetleri (Milyon \$)	30
Tablo 10. Kentiçi Toplu Ulaşım Türleri Geçiş Üstünlükleri.....	34
Tablo 11. Kentiçi Toplu Ulaşım Türleri Yolcu Kapasiteleri.....	36
Tablo 12. Kentiçi Toplu Ulaşım Türleri Yolcu-Km Başına Enerji Tüketimleri	36
Tablo 13. Raylı Sistem Teknolojilerinin Karşılaştırılması.....	39
Tablo 14. Antalya İli Temel Ekonomik göstergeler.....	49
Tablo 15. Antalya İli 2040 Yılı Ulaşım Öngörülleri	55
Tablo 16. Antalya 1. Aşama HRS İşletme Hızı Öngörülleri	58
Tablo 17. Meydan-Havaalanı-EXPO Raylı Sistem Doruk Saat Yolcu Yükleri (2016). 60	
Tablo 18. Meydan-Havaalanı-EXPO Raylı Sistem Doruk Saat Yolcu Yükleri (2020). 61	
Tablo 19. Meydan-Havaalanı-EXPO Raylı Sistem Doruk Saat Yolcu Yükleri (2030). 62	
Tablo 20. Antalya 2. Aşama HRS İşletme Hızı Öngörülleri	63
Tablo 21. Antalya 3. Aşama HRS Duraklar Arası Mesafeler	66
Tablo 22. İnşaat Sektöründe Bulanık Mantık Çalışma Alanları	70
Tablo 23. Diğer Tekniklerle Birlikte VIKOR ve Bulanık VIKOR Tabanlı Dağıtım 78	
Tablo 24. Antray HRS Duraklarının Erişebilirlik Puanları	89
Tablo 25. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği	93
Tablo 26. Antray HRS Hatlarında Yapılan Temizlik Türleri ve Puan Katsayıları 94	
Tablo 27. Aralık Değerli PFAHP' nin Ağırlıklandırılması İçin Ölçek.....	100
Tablo 28. Uzman Görüşlerine Göre Ana Kriterler İçin Pisagor Bulanık Kümesi 101	
Tablo 29. Ekonominin Alt Faktörlerinin Temel Kriteri İçin Pisagor Bulanık Küme 101	
Tablo 30. Konforun Alt Faktörlerinin Ana Kriteri İçin Pisagor Bulanık Küme 102	
Tablo 31. Çevrenin Alt Faktörlerinin Ana Kriteri İçin Pisagor Bulanık Küme	102

Tablo 32. Hat Alternatiflerini Değerlendirmek İçin Sözel Terimler ve Eşdeğer	
Pisagor Bulanık Sayıları	103
Tablo 33. Ekonomi Kriteri İçin Matris Formunda Birleştirilmiş Pisagor	
Bulanık Kararı.....	103
Tablo 34. Konfor Kriteri İçin Matris Formunda Birleştirilmiş Pisagor	
Bulanık Kararı.....	103
Tablo 35. Çevre Kriteri İçin Matris Formunda Birleştirilmiş Pisagor	
Bulanık Kararı.....	104
Tablo 36. Güvenlik Kriteri İçin Matris Formunda Birleştirilmiş Pisagor	
Bulanık Kararı.....	104
Tablo 37. S, R ve Q Değerlerine Göre Gözlemlenen Durumun Hat	
Alternatifleri İçin Uzlaşılan (Kabul Edilebilen) Sıralamaları.....	104
Tablo 38. Uzmanın Özelliklerine Göre Puan Derecelendirmesi.....	120
Tablo 39. Uzmanların Özelliklerine Göre Puanlandırılması.....	121
Tablo 40. Olasılık Skalası	124
Tablo 41. Frekans Skalası	125
Tablo 42. Şiddet Skalası.....	126
Tablo 43. Risk Düzey Sınıflandırması	127
Tablo 44. Tespit Edilebilirlik Değeri Skalası.....	128
Tablo 45. Maliyet Etki Değeri Skalası.....	129
Tablo 46. İş Kazalarında KKD Kullanımının Etkisi	132
Tablo 47. KKD Kullanımı Etki Değeri Skalası	132
Tablo 48. Analitik Hiyerarşi Prosesi Adımları	135
Tablo 49. AHP' de Kullanılan İkili Karşılaştırma (Mutlak Sayıların) Temel Skalası. 137	
Tablo 50. Rastgele İndeks (RI) (Küçük Problemler için RI' nin Değerleri)	142
Tablo 51. Bulanık AHP Yöntemlerinin Karşılaştırılması	146
Tablo 52. Bulanık AHP, Ağırlık Değerlendirmesi İçin Sözel Terimler ve	
Karşılık Gelen Bulanık Değerler	147
Tablo 53. Bulanık VIKOR (FVIKOR) Tehlike Sıralaması Bulanık Değerleri.....	151
Tablo 54. AHP ve VIKOR Tabanlı Risk Değerlendirme Çalışmaları	153
Tablo 55. Niteliksel Terimler ve Bunlara Karşılık Gelen Bulanık Sayılar	158
Tablo 56. Tespit Edilen Tehlike Kaynakları ve Risklere Karşı Alınması	
Gereken Tedbirler	159

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Antalya İlindeki Sektörlere Göre Karbon Gaz Salınımları.....	6
Şekil 2. Geleneksel Ulaşım Yaklaşımının Çözumsuzluğu	25
Şekil 3. Otomobile Dayalı Ulaşım Sisteminin Gelişimi	26
Şekil 4. Antalya Nostalji Tramvay Aracı	40
Şekil 5. İstanbul Taksim Nostalji Tramvay Aracı.....	41
Şekil 6. Antalya, Antray HRS Tramvayı Model 1.....	42
Şekil 7. Antalya, Antray HRS Tramvayı Model 2.....	43
Şekil 8. İstanbul, Örnek Metro Aracı.....	45
Şekil 9. İzmir, İZBAN Banliyö Sistemi Aracı.....	46
Şekil 10. İstanbul, Füniküler Tramvay Aracı.....	47
Şekil 11. Örnek Bir Monoray Aracı	48
Şekil 12. Alan Büyüklükleri	51
Şekil 13. 2040 Yılı Antalya Yerleşme Alanlarının Ana Kullanımlara Göre Dağılımı ...	51
Şekil 14. Antalya İli Kavşakların İncelenmesi Çalışması.....	53
Şekil 15. Antalya İli Trafik Koridorları İncelenmesi Çalışması.....	54
Şekil 16. Antalya İli Sirkülasyon Plan ve Öneri Projeleri	55
Şekil 17. Antalya İli İçin Transfer Merkezi Önerileri	56
Şekil 18. Antalya İli İçin Raylı Sistem Önerileri.....	56
Şekil 19. Antalya 1. Aşama HRS Güzergah Haritası	59
Şekil 20. Antalya 2. Aşama HRS Güzergah Haritası	63
Şekil 21. Antalya 1. ve 2. Aşama HRS Güzergah Haritası.....	64
Şekil 22. Antalya 1. 2. ve 3. Aşama HRS Güzergah Haritası.....	65
Şekil 23. Antray HRS Hatları 3 Yıllık Ortalama Aylık Personel Maliyetleri.....	84
Şekil 24. Antray HRS Hatları 3 Yıllık Ortalama Aylık Enerji Maliyetleri.....	84
Şekil 25. Antray HRS Hatları 3 Yıllık Ortalama Aylık Yolculuk Maliyetleri.....	85
Şekil 26. Antray HRS 1. Aşama Ortalama Sefer Gerçekleşme Oranları.....	86
Şekil 27. Antray HRS 2. Aşama Ortalama Sefer Gerçekleşme Oranları.....	87
Şekil 28. Antray HRS 3. Aşama Ortalama Sefer Gerçekleşme Oranları.....	87
Şekil 29. Antray HRS 3 Yıllık Ortalama Sefer Gecikme Dakikaları	88
Şekil 30 Antray HRS Duraklarının Belirlenen Kriterlere Göre Erişebilirlik Puanları....	90
Şekil 31. Antray HRS Aşamaların Toplam Durak Erişebilirlik Puanları	91

Şekil 32. Antray HRS 1. 2. ve 3. Aşamada Oturarak Yolculuk Oranları	92
Şekil 33. Antray HRS Etaplarında Elektrik Tüketimi Nedeniyle Ortaya	
Çıkan Sera Gazları Miktarları.....	92
Şekil 34. Antray HRS Hatlarında Yapılan Seferlerden Kaynaklı Oluşan	
Gürültü Puanlaması.....	94
Şekil 35. Antray HRS Hatlarında Yapılan Temizlik Hizmeti Puanlaması.....	95
Şekil 36. Antray HRS 1. Aşamada Meydana Gelen Ortalama Kaza Oranları.....	99
Şekil 37. Antray HRS 2. Aşamada Meydana Gelen Ortalama Kaza Oranları.....	99
Şekil 38. Antray HRS 3. Aşamada Meydana Gelen Ortalama Kaza Oranları.....	99
Şekil 39. Antray HRS 1. 2. ve 3. Aşamada Meydana Gelen Ortalama Kaza Oranları.	100
Şekil 40. PFAHP Tarafından Ana Kriterlerin Normalleştirilmiş Öncelik Ağırlıkları..	105
Şekil 41. Ekonomi Ana Kriteri Alt Faktörlerinin Öncelik Ağırlıkları	105
Şekil 42. Konfor Ana Kriteri Alt Faktörlerinin Öncelik Ağırlıkları.....	106
Şekil 43. Çevre Ana Kriteri Alt Faktörlerinin Öncelik Ağırlıkları.....	106
Şekil 44. Derecelendirme Sonuçları Diyagramı	107
Şekil 45. Fine Kinney – Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR yapısı.....	122
Şekil 46. Heinrich Piramidi (Heinrich, 1931).....	129
Şekil 47. Bir AHP Çalışması Seviyeleri	135
Şekil 48. Bir AHP 'nin Adımları	136
Şekil 49. Üçgen Bulanık Sayı Grafiği	144
Şekil 50. Yamuk Bulanık Sayı Grafiği	145

KISALTMALAR

ABB	: Antalya B�y�k����ir Belediyesi
AHP	: (Analytic Hierarchy Process) Analitik Hiyerar��i Süreci
ANP	: (Analytic Network Process) Analitik A� Süreci
ANTB�S	: Antalya Bisiklet Sistemi
ANTDO	: Antalya Ula��ım Deniz Otobüsleri
ANTOB�S	: Antalya Ula��ım Otobüsleri
ANTRAY	: Antalya Ula��ım Hafif Raylı Sistem
BRT	: (Bus Rapid Transit) Metrobüs
BWM	: (Best Worst Method) En İyi En K�t� Yöntem
CO	: Karbon Monoksit
CO2	: Karbondioksit
CODAS	: (Combinative Distance-based Assessment) Kombinasyon Mesafesine Dayalı De�erlendirme
COMET	: (Comet Community of Metros) Metrolar Toplulu�u
COPRAS	: (Complex Proportional Assessment) Karma��ık Oransal De�erlendirme
CS	: (Consequent Severity) A�ırlık �iddeti
�KKV	: �ok Kriterli Karar Verme
dB	: Desibel
DEMATEL	: (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) Karar Verme Deneme ve De�erlendirme Laboratuvarı
EDAS	: (Evaluation based on Distance from Average Solution) Ortalama ��z�m Uzaklı�ına Göre De�erlendirme

ELECTRE	: (Elemination and Choice Translating Reality English) Uyum-Uyumsuzluk Yöntemi
ETA	: (Event Tree Analysis) Olay Ağacı Analizi
FAHP	: (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci
FBN	: (Fuzzy Bayesian Network) Bulanık Bayes Ağı
FIS	: (Fuzzy Inference System) Bulanık Çıkarım Sistemi
FP	: (Failure Probability) Arıza Olasılığı
FPN	: (Fuzzy Petri Net) Bulanık Petri Ağı
FRA	: (Fuzzy Reasoning Approach) Bulanık Mantık Yaklaşımı
FSA	: (Functional Safety Assessment) Fonksiyonel Güvenlik Analizi
FTA	: (Fault Tree Analysis) Hata Ağacı Analizi
FUCOM	: (Full Consistency Method) Sübjektif Ağırlıklandırma Yöntemi
FVIKOR	: (Fuzzy Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) Bulanık Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü
GAHP	: (Group Analytic Hierarchy Process) Grup Analitik Hiyerarşi Süreci
GYODER	: Gayrimenkul Yatırımcıları Derneği
HC	: Hidrokarbon
HRS	: Hafif Raylı Sistem
IAHP	: (Interval Analytic Hierarchy Process) Aralıklı Analitik Hiyerarşi Süreci
IVPFN	: (Interval Valued Pythagorean Fuzzy Numbers) Aralık Değerli Pisagor Bulanık Sayıları
KKD	: Kişisel Koruyucu Donanımı
MABAC	: (The Multi-Attribute Border Approximation area Comparison) Çok Nitelikli Sınır Yaklaştırma alanı Karşılaştırması

MAIRCA	: (Multi Attributive Ideal-Real Comparative Analysis) Çok Nitelikli İdeal-Gerçek Karşılaştırmalı Analiz
MARCOS	: (Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) Alternatiflerin Ölçümü ve Uzlaşma Çözümüne Göre Sıralama
MatchUP	: Akıllı Şehirler Projesi
MCDA	: (Multi-Criteria Decision Analysis) Çok Kriterli Karar Analizi
MCDM	: (Multi-Criteria Decision Making) Çok Kriterli Karar Verme
MF	: (Membership Function) Üyelik Fonksiyonu
MOORA	: (Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis) Oran Analizine Dayalı Çok Amaçlı Optimizasyon
NOVA	: (Group of Metros) Metrolar Grubu
Nox	: Azot Oksitler
PFAHP	: (Pythagorean Fuzzy Analytic Hierarchy Process) Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci
PIPRECIA	: (Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment) Pivot İkili Göreli Ölçüt Önem Değerlendirmesi
PROMETHEE	: (The Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation) Zenginleştirme Değerlendirmesi İçin Tercih Sıralama Organizasyonu
QFD	: (Quality Function Deployment) Kalite İşlev Yayılımı
RI	: (Rassal Indeks) Rastgele İndeks
RL	: (Risk Level) Risk Seviyesi
S-Bahn	: (Schnellbahn) Banliyö Treni
SECAP	: (Sustainable Energy and Climate Action Plan) Sürdürülebilir Enerji ve İklim Değişikliği Eylem Planı
SERVQUAL	: (The Model of Service Quality) Hizmet Kalitesi Modeli

SWARA	: (Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis) Kademeli Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizi
TCDD	: T.C. Devlet Demiryolları
TOPSIS	: (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıra Tercihi Tekniği
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UAP	: Ulaşım Ana Planı
VDC	: (Voltage, Direct Current) Gerilim, Doğru Akım
VIKOR	: (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü
WASPAS	: (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) Ağırlıklı Bütünleşik Toplam Çarpım Değerlendirmesi

1. GİRİŞ

Günümüzde tüm dünyada olduğu şekilde Türkiye’de de büyük kentlerde ulaşım sorunu en büyük sorun olarak yer almaktadır. Kent nüfusu artışına bağlı olarak artan araç sayısı, kentleşme ve sanayileşmenin artışı, her yıl binlerce aracın trafiğe eklenmesi nedeniyle ulaşım problemleri artmaktadır. Hızla gelişen şehirlerde verimli ve ekonomik bir ulaşım sisteminin oluşturulmasının ilk koşulu, raylı sistemlerin diğer ulaşım sistemleri ile bütünleşmiş yapıya dönüştürülmesidir. (Dinç vd., 2019:1). Toplu taşıma sistemleri her kullanıcıya açık ve önceden belirlenmiş bir ücret ile, belirli bir istikamette ve belirlenen bir zaman tarifesine göre, önceden belli olan duraklarda duran, aynı istikametteki diğer araçlarla birlikte veya diğer araçlardan farklı şekilde olarak işletilen sistemler olarak tanımlanmaktadır. (Baştuğ, 2014). Dünyada ve Türkiye’de toplu taşıma türleri denildiği zaman aklımıza lastik tekerlekli ve raylı sistemler gelmektedir. Toplu ulaşım sistemleri karayolu, raylı taşıma ve deniz yolları ile taşıma olmak üzere üç alt türde sınıflandırabiliriz. Kentsel toplu ulaşım türlerinden olan karayolu ve raylı sistemler ise, kapasitelerine göre üç ana başlık altında toplanıp, bunlardan birinci grup “taksi, minibüs, dolmuş”, ikinci grup, “otobüs, trolleybüs, tramvay”, üçüncü grup ise “hızlı otobüs sistemleri (metrobüs), hafif raylı Sistemler, metro ve banliyö sistemleri” olarak sayılmaktadır. Bu türler taşıma kapasiteleri olarak incelendiğinde ise birinci grup, düşük kapasiteli türler “ara toplu taşıma”, ikinci grup orta kapasiteli türler “yüzeysel taşıma” ve üçüncü grup ise yüksek kapasiteli türler “hızlı taşıma” şeklinde adlandırılır. Bahsedilen bu türler, saatlik yolcu taşıma kapasiteleri açısından farklılık göstermekle birlikte, ortalama taşıma kapasiteleri aşağıdaki şekildedir; (Grava, 2002).

- Minibüs ve dolmuş için sistemlerin 5 bin ile 10 bin yolcu / saat / yön,
- Otobüs, trolleybüs ve tramvay sistemleri için, 7 bin ile 15 bin yolcu / saat / yön,
- Metrobüs ve hafif raylı sistemleri için 15bin ile 25 bin yolcu / saat / yön,
- Metro ve diğer banliyö tren sistemlerinin 40 bin ile 60 bin yolcu / saat / yön

Lastik tekerlekli toplu ulaşım sistemleri minibüs, otobüs, metrobüs benzeri araçları kapsamaktadır. Kapasitesi dolmuş ve otobüs arasında bulunan minibüsler, otobüs hizmetinin ulaşamadığı yerler için önem taşır, dolmuşa göre daha ekonomik ve kullanışlıdır. Otobüslerin ise diğer toplu ulaşım araçlarına göre altyapı yatırımları daha az olmakta ve tek bir güzergah üzerinde yolcu taşıma zorunluluğu olmamaktadır.

Böylece, yollarda daha rahat hareket edebilmektedir. Raylı taşıma araçlarının toplu ulaşımında kullanılmasıyla otobüsler besleyici bir sistem olarak çalışmaktadırlar. Raylı taşımacılığa geçmemiş veya yetersiz olan ülkelerde ise otobüsler hala ana toplu taşıma türü olarak işletilmektedir. Tip olarak otobüse benzeyen trolleybüs sistemleri ise enerji ihtiyacı nedeniyle sabit bir havai enerji hattına ihtiyaç duyduğundan hareket kabiliyetleri otobüsler kadar yoktur. Ara toplu ulaşım türlerinden olan dolmuş ile minibüsler toplu ulaşım sisteminin gelişmediği yerlerde insanların otobüs kullanımında bekleme sürelerini azaltmak amacıyla yaygınlaşmışlardır. Bu sistemlerde çoğu zaman yolcu indirme ve bindirme gelişigüzel yapıldığı taktirde kent içi trafiğin akışında aksamalar söz konusu olmaktadır. Metrobüs sistemleri (Bus Rapid Transit, BRT) ise, dünyada yaygın olarak kullanılmakta olup, ülkemizde İstanbul'da tercih edilen bir sistemdir. Hızlı, rahat, konforlu ve düşük altyapılı olması, kendine has ayrılmış yolunun olması en önemli özelliklerindendir. Bunların yanında bu araçlarda yaşanan arızalar ve meydana gelen kazalar nedeniyle uzun süreler metrobüs hatlarının kapalı kalmasına neden olmakta ve insanların ulaşımı aksamaktadır. Raylı ulaşım sistemleri denildiğinde ise tramvay, (hafif raylı sistem, metro, föniküler sistemler, banliyö sistemi, manyetik yapıya sahip sistemler, monoray gibi toplu taşıma türleri anlaşılmaktadır. Raylı sistemlerinin taşımacılıkta ilk kullanımı İngiltere'de olmuştur. Yerleşim yerlerinin ve iş alanlarının şehir dışına genişlemesi banliyö hatlarının gelişmesine sebep olmuştur. Banliyö sistemleri yüksek yolcu kapasiteleri, hızları ve ucuz olması nedeniyle tercih sebebi olmaktadır. Metro sistemi ise ilk olarak 1863 yılında Londra' da yapılmıştır. Nüfusu kalabalık büyük kentlerde, güvenilirliği, yüksek işletme kapasitesi ve teknolojisi ile beraber yüksek hızları sayesinde insanlar tarafından tercih edilmektedir. (Saatçioğlu ve Yaşarlar, 2012:117). Tramvay sistemleri ise kent içinde metro sistemlerine alternatif olmakla birlikte genellikle insanların tramvay sistemine kolay ulaşımı, yatırım maliyetinin metro sistemine göre daha az olması, kapsama alanı, kolay işletilebilir olması ve güvenilirlik nedenlerinden dolayı hem insanlar hem de işletmeciler ve yatırımcılar tarafından tercih edilmektedir.

Antalya ilinde toplu taşımacılık tercihleri ve ihtiyaçları araştırılırken, kentin gelişimi, altyapısı ve mevcut ulaşım türleri incelenmiştir. Bu nedenle, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerinden faydalanılmıştır. TÜİK 2020 yılı verilerine göre Antalya il nüfus verisi 2.548.308 kişi olarak açıklanmıştır. Türkiye nüfusunun %3,05 lik kısmı

Antalya’ da yaşamakta olup, Türkiye’ nin; büyük şehirleri arasında en kalabalık 5. şehridir. 2020 yılında net göç hızı ise %8,16 olmuştur. Kentte bulunan otomobil sayısı 552.589 iken 217 otomobil sayısı ile 1.000 kişiye düşen otomobil sayısında İstanbul kentinin de (195 araç/bin kişi) önüne geçmektedir. Türkiye istatistik kurumu (TÜİK) 2020 yılı verileri incelendiğinde, 2020 yılında Antalya kentinde yaşanan trafik kazalarına açısından ise; İstanbul (16.737 kaza), Ankara (11.588 kaza) ve İzmir’ in (9.919 kaza) ardından 8.140 kaza ile dördüncü sırada yer almaktadır.

Antalya’ da önemli hale gelen ve çözülmesi gereken sorunların başında ulaşım sorunu büyük yer tutmaktadır. Gelecek yıllarda yapılacak olan yeni konut alanları, sosyal alanlar, iş sahalarının genişlemesi ve nüfus artışı nedeniyle artan yolculuk talebine karşılık karayolu odaklı çözümlerin yerine raylı sistemlerin tercih edilmesi büyük önem arz etmektedir.

Antalya ili gerek kültürel gerekse ekonomik, demografik ve sosyal özellikleri nedeniyle Türkiye’ nin en gelişmiş illerinden birisidir. Benzer şekilde turizm, Antalya ekonomisinin temelinde yer almakta ve Antalya; Türkiye turizm sektörünün merkezi konuma gelmektedir. Gerek istihdam gerekse yapılan konut bakımından artan inşaat sektörü de Antalya ekonomisi için önem arz etmektedir. TÜİK verilerinde de anlaşılaçağı üzere kent içi nüfusu sürekli artış göstermektedir. Buna bağlı olarak artmış olan araç oranı ile beraber insanların gün içerisinde trafikteki zamanlarının uzatmakta, hava ve ses kirliliklerini ortaya çıkarmakla beraber çeşitli sağlık sorunlarının yaşanmasına neden olmaktadır, ayrıca karayolu araçları ile yaşanan kazalarda nüfus yoğunluğuna bağlı olarak artış göstermektedir. Bu sorunları çözüme kavuşturmak amacıyla alınacak önlemlerin en başında tüm büyük şehirlerde yapılması gereken ulaşım ana planlarının da Antalya ili için ayrıca hazırlanması ve bu bağlamda; akıllı, güvenli ve çevre dostu sürdürülebilir ulaşım ve mobilite planlarının uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle Antalya Büyükşehir Belediyesi (ABB), sürdürülebilir kent içi hareketlilik çalışmalarıyla, ulaşım planlaması ve toplu taşıma sisteminin iyileştirilmesi, vatandaşların bireysel araç kullanımı yerine toplu ulaşım araçlarını kullanması konusunda teşvik edici çalışmalarda bulunmaktadır.

ABB tarafından; Antalya’nın daha da yaşanabilir bir şehir olması, yakın ve uzak süreçte ulaşım sorunları yaşamaması ve kent içerisinde yer alan mevcut toplu taşıma

sistemleri için mümkün olduğunda ekonomik ve en akılcı ulaşım altyapı ve üstyapı yatırım projeleri önerilmektedir.

2020 yılında, Antalya Büyükşehir Belediyesi tarafından yapılan ulaşım ve çevre yönetimine dair çeşitli projeler aşağıda yer almaktadır;

- I. Toplu Taşımada Bisikletin Entegrasyonu Projesi, “Başvurulan Makam: Türkiye Belediyeler Birliği”
- II. Avrupa Hareketlilik Haftası Projesi, (European Mobility Week Award), Başvurulan Makam: Avrupa Komisyonu
- III. Guangzhou Uluslararası Kentsel İnovasyon Projesi: İklim Dostu Şehir Antalya’da Akıllı ve Sürdürülebilir Kentsel Yenilikler (Smart and Sustainable Urban Innovations in the Climate Friendly City, Antalya), Başvurulan Makam: Guangzhou, Birleşmiş Kentler ve Yerel Yönetimler Orta Doğu ve Batı Asya Bölge Teşkilatı
- IV. ABB Erişebilirlik Projesi, Başvurulan Makam: Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü
- V. Antalya’da Trafik Yoğunluğunu Takip Eden Duyarlı Kavşaklar Projesi, Başvurulan Makam: Akdeniz Belediyeler Birliği

Yukarıda sayılan bu projeler ile birlikte, trafik akışını arttırmaya yönelik çeşitli kavşak ve yol boyu düzenleme çalışmaları, hız koridoru çalışmaları, akıllı trafik sinyalizasyon sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması, bisiklet yollarının yapılması ve bisikletin toplu taşımaya entegrasyonu Antalya Bisiklet Sistemi (ANTBİS) ve yaya üst geçitlerinin sayıları da her geçen yıl artmaktadır. Toplu taşımacılıkta raylı sistemin geliştirilmesi adına ise, ABB tarafından 4. Aşama raylı sistem hattı işleri kapsamında; Antalya ili ulaşım ana planında (2015) önerilen, raylı sistem hatlarının ön fizibiliteleri hazırlanmıştır. Bununla birlikte “4. Aşama Raylı Sistem Hatları Koridor Etüdü, Avan ve Kesin Projelerinin Hazırlanma” çalışmaları da başlatılmıştır. Ayrıca il genelinde, çevre yolları ve şehir içi ana arterlerde, trafik sıkışıklığını azaltmak ve akışı hızlandırmak adına karayolu alt geçitleri, üst geçitleri, çeşitli viyadükler gibi sanat yapıları yapılmıştır.

Antalya Büyükşehir Belediyesi ulaşım sistemleri hedefleri arasında,

- a. Kentsel ulaşım ağını makro ve mikro ölçekte bütüncül olarak planlamak ve yol ağını iyileştirmek,

- b. Proje, düzenleme ve iyileştirme çalışmaları ile yol ağını ve trafik akışını iyileştirmek,
 - c. Yol ve yolcu güvenliğini arttırmak,
 - d. Toplu ulaşım ve ara toplu taşıma sistemlerinde hizmet kalitesini artırarak toplu taşımayı özendirmek,
- yer almaktadır.

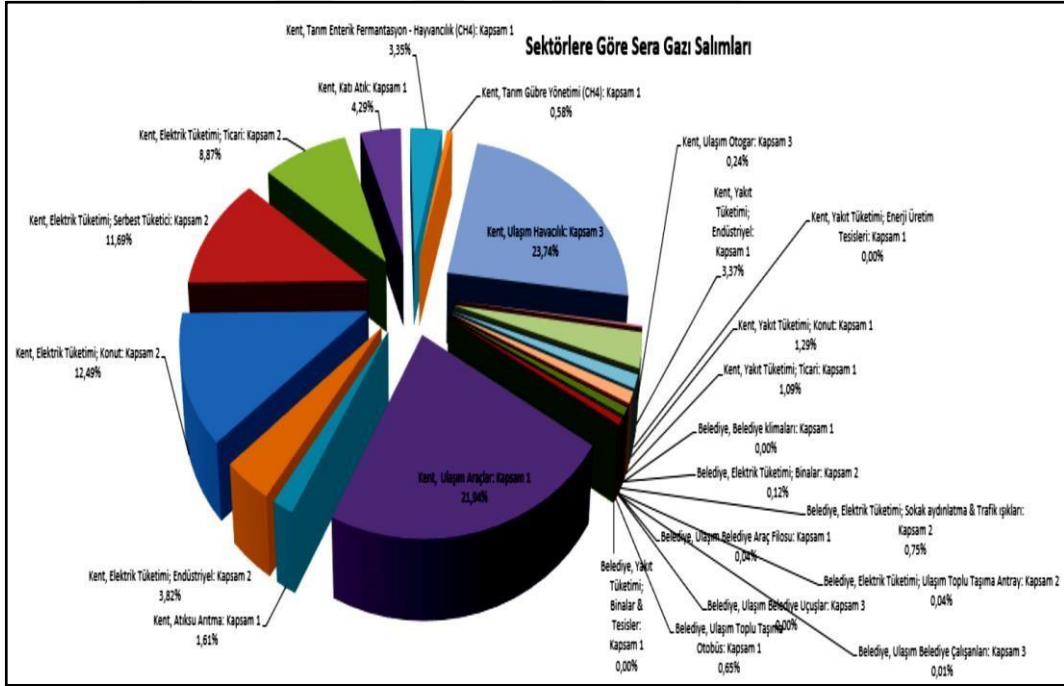
Karayolu ulaşımında kullanılan lastik tekerlekli toplu taşıma taşıtları petrol kökenli yakıt kullanmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklı zararlı gazlar arasında karbon monoksit (CO) ile birlikte yanmamış hidrokarbonlar (HC) ve azot oksit (NO_x) gibi gazlar yer almaktadır. Kullanılan yakıt cinsi ve tüketimine bağlı olarak üretilen bu gazlar arasında karbondioksit (CO₂) da yer almakta olup bu gazların tümü sera gazı adıyla anılmaktadırlar. Atmosferde bulunan bu sera gazlarının artmasıyla yeryüzünün sıcaklığı artmaktadır. Kullanılan yakıtların tüketimine bağlı olarak yakıt/enerji tüketiminin artması ve artan sera gazı değerleri nedeniyle atmosferik hava kalitesi düşmektedir. Lastik tekerlekli araçların kullanımının artması beraberinde küresel ısınma gerçekleşmekte, iklim değişikliği ile beraber yerel hava kalitesinin bozulmaktadır. Buna bağlı nedenlerle ölümler ve hastalanmalar görülebilmektedir. Motorlu taşıtların neden olduğu başka sorunlar ise trafikte yaşanan tıkanıklık, gürültü, düşük hareketlilik olarak sayılabilmektedir. Yukarıda sayılan sebeplerden dolayı Motorlu taşıtlar ile yapılan toplu ulaşım sürdürülebilir değildir. Sürdürülebilir taşımacılığın amacı, ulaşım faaliyetlerini etkileyen kararlarda çevresel, sosyal ve ekonomik hususların dikkate alınmasını sağlamak olarak açıklanmaktadır. Basitçe “erişilebilirliği yüksek, güvenli, çevre dostu ve ekonomik bir ulaşım sistemi” olarak tanımlanmış sürdürülebilir taşıma kavramının en önemli bileşenlerinden biride şehir içi ulaşımın sürdürülebilirliğidir. “Sürdürülebilir Enerji Eylem Planını” hazırlayan ilk belediye olarak ABB ev sahipliğinde “MatchUP Akıllı Şehirler Projesi” kapsamında, sera gazlarının olumsuz etkilerini azaltmak için, “Avrupa Belediye Başkanları Sözleşmesi” (Covenant of Mayors) gereği olarak “Antalya Sürdürülebilir Enerji ve İklim Değişikliği Eylem Planı (SECAP)” hazırlanmasına karar verilmiş ve “Sera Gazı Envanterinin Hesaplanması Veri Kaynakları ve Yol Haritası Çalıştayı” düzenlenmiştir. Ekim 2022’ ye kadar toplam 60 ay sürecek olan, 18 M€ toplam bütçeye sahip ve 8 ülkeden toplamda 28 proje ortağı bulunan bu projede, Valensiya, Dresten ve Antalya şehirleri pilot şehir olarak seçilmiş olup bu kapsamda alınacak 42

farklı aksiyon arasında “Enerji ve ulaşım” konuları da yer almaktadır. ABB tarafından, Antalya şehri toplamdaki karbon ayak izi, 2012 referans yılı için 8.966.179 ton CO₂e’dir. Antalya ili için 2020 yılında toplam karbon salınımında 2012 yılına göre %23 azalma hedeflenmiştir. Ulaşımdan kaynaklı enerji tasarrufu ve karbon azaltımı Tablo 1’de görüldüğü üzere 658,023 tCO₂e olmuştur. Antalya ilindeki sektörlere göre karbon gaz salınımları Şekil 1’ de yer almakta olup, kent içi ulaşım araçlarının %21,94’lük oranla diğer kategorilere göre önde olduğu görülmektedir.

Azaltım Tedbiri	Enerji Tasarrufu (MWh)	tCO ₂ e Azaltımı
Ulaşım	2,768,215	658,023

Tablo 1. Ulaşımdan kaynaklı enerji tasarrufu ve karbon azaltımı

Kaynak: GYODER, Antalya ili yatırım alanları vizyon raporu, 2017



Şekil 1. Antalya İlindeki Sektörlere Göre Karbon Gaz Salınımları

Kaynak: Antalya Büyükşehir Belediyesi, SECAP Raporu, 2020

Bu hedefler doğrultusunda yapılan tez çalışmasının, Antalya ili için seçilmesinin başlıca nedeni; mevcut yapılmış olan üç adet HRS projesinin “bulanık mantık entegrasyonlu ÇKKV yöntemleriyle değerlendirilmesi” ve ileriye yönelik yapılacak raylı sistem yatırımlarının da değerlendirmesinde bir fikir oluşturup farkındalık yaratmasıdır.

Tezin ilerleyen bölümlerinde Antalya’ da yer alan hafif raylı sistemlerine ilişkin enerji ve karbon salınımları analizlerine de yer verilmiştir.

Türkiye’ de yapılmakta olan raylı sistem yatırımları; yerel yönetimlerin bütçeleri ile, dış veya iç kaynaklar ile ya da Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı destekleri ile olmaktadır. Bu projelerin hayata geçirilmesinde ilk adım olarak kentsel otoriteler tarafından kentin mevcut coğrafi yapısına uygunluğu, arazi geliştirme, uygulama ve değerlendirmelerin yapılması çalışmalarıdır. Bu çalışmaların genel amacı gelecekte o şehirdeki büyümeye paralel olarak şehirde yaşanabilecek bir trafik tıkanıklığının önüne geçilmesidir. Şehirlerin genişlemesi ile birçok işyeri, hastane, okul ve alışveriş merkezleri gibi çeşitli sosyal alanlar yapılmaktadır. İnsanların buralara bireysel araçları ile ulaşımını sırasında ise trafik sıkışıklıkları yaşanmaktadır. Yaşanan bu trafik tıkanıklığı aynı zamanda büyük bir ekonomi kaybına neden olmaktadır.

Toplu ulaşımdan, yolcuların seyahat sürelerinin artması, yakıt tüketiminin artması, kaza sayılarının artması, havanın kirlenmesi gibi olumsuz etkilere karşı trafik sıkışıklığını azaltması ve problemlerin önüne geçmesi beklenmektedir. (Bakioğlu ve Gökaşar, 2018:549).

Toplu ulaşımın yaygınlaştırılması ve kent içi trafik akışının düzenlenmesi adına en büyük pay belediyeler tarafından yaptırılmakta olan “Ulaşım Ana Planı” ları olmaktadır. Yapılan bu planlar ile o şehirlerin, fiziki, ekonomik ve sosyal değerleri, belirli ölçütler çerçevesinde değerlendirilmektedir. Böylece uzun dönemde yatırım programları ortaya çıkmaktadır. Antalya ili için yapılmış “Ulaşım Ana Planı” genelinde, alternatif toplu ulaşım türleri, planlanan raylı sistemlerin güzergâhları ve kapasiteleri tezin ilerleyen bölümlerinde yer almaktadır.

Kent içi toplu ulaşımında diğer alternatif ulaşım yöntemlerine (motorlu kara taşıtları) göre raylı sistemlerin, başta tercih edilme nedenleri olarak, modern yapıda olması, hızlı ve konforlu olması, ayrıca kendine tahsis hatlar nedeniyle trafik sıkışıklığı yaratmaması ve diğer karayolu ulaşım trafiğinden etkilenmemesi sayılabilmektedir. Ayrıca diğer ulaşım türlerine göre daha çevreci, daha düşük sesli olması, kaza risklerinin daha az olması gibi avantajları da bulunmaktadır. Bu avantajlar kullanıcılar tarafından tercih sebebi sayılırken, işletmeciler ve yatırımcılar tarafından ise fayda maliyet oranları açısından tercih edilmektedir. (Çitli, 2006).

1.1. Tezin Amacı

Hazırlanan bu tezde, çalışma amacı olarak “raylı sistem projelerinin kent içi toplu taşıma sisteminde etkinliğinin araştırılması” hedeflenmiştir. Bu çalışma için Antalya ili örnek alınmıştır. Yapılan bu tez çalışmasında mevcut sistemlerin incelenmesi, Çokkriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerine yeni bir yaklaşım olarak bulanık mantık entegrasyonundan faydalanılarak yapılacaktır. ÇKKV; hem karar problemlerinin yapılandırılması için bir çerçeve hem de alternatifler arasında tercihler üretmek için bir dizi yöntem oluşturmaktadır. ÇKKV teknikleri başlıca AHP, VIKOR, TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE ve MOORA olarak sayılmaktadır. Bu yöntemlerin öne çıkan avantajları, kararların çelişkili, çok boyutlu, ölçülemez ve belirsiz etkilerini açıkça hesaba katma yeteneğidir.

Tezin birinci kısmı Antalya ilinde mevcut olan HRS sistemlerinin bulanık mantık entegrasyonlu ÇKKV yöntemleri ile incelenmesi şeklinde iken ikinci kısmında ise farklı uzman görüşlerinden faydalanarak ve Fine-Kinney risk değerlendirmesine ilave kriterler eklenmesi yardımıyla, Antalya ilinde mevcut olan 3 farklı hafif raylı sisteminin risk değerlendirmesine yeni bir bakış açısı getirmek ve böylece daha doğru bir risk değerlendirmesinin ortaya çıkartılması şeklindedir.

Yapılan literatür araştırmalarında kent içi raylı sistem yatırımlarına yönelik seçim kriterlerinde, çoğunlukla geleneksel ÇKKV yöntemlerinin metotların kullanıldığı görülmüştür. Bu nedenle yapılan bu tez çalışması; Antalya ilinde mevcut yapılmış raylı sistemlerin incelenerek ilerleyen yıllarda, trafik sıkışıklığının azaltılması, hava kalitesinin artırılması, trafikte yolculuk sürelerinin azaltılması, kaza sayılarının azaltılması benzeri faydaların arttırılması amaçlanmıştır.

Tez çalışmasının amaçları,

- Bu tez araştırması kapsamında incelenen ve gelişmekte olan Antalya ilindeki hafif raylı sistemlerine uygun seçim kriterlerini bulmak,
- Raylı sistem sektörüne ilişkin kesin ve doğru bir seçim için belirlenen ve tez çalışmasında yer alan aşağıdaki çeşitli ölçütler (kriterler) ve nitelikler arasında karşılıklı ilişkiler elde etmek şeklindedir.

- **Ana Kriterler;**

Antalya ilindeki raylı sistemlerin ÇKKV yöntemleri ile incelenmesi sırasında yolcuların bu sistemleri tercih etme sebepleri olarak; yolculukla ilgili maliyetleri oluşturan “ekonomi”, yolcuların seyahat sırasında daha rahat bir yolculuk yapma kriteri olan “konfor”, raylı sistemin çevreye karşı oluşturduğu etki olarak “çevre” ve yolcuların seyahat etmesi sırasında beklentilerinden biri olan “güvenlik” konuları ana kriterleri oluşturmaktadır.

- Ekonomi,
- Konfor,
- Çevre,
- Güvenlik,
- **Alt Kriterler,**

Ana kriterleri oluşturan etkenler incelendiğinde alt kriterlerin ana kriterlere etki ettiği görülmektedir. Ana kriterlerden “ekonomi” ele alındığında hem yolcular hem de işletmeciyi etkileyen değerlerin başında “Seyahat maliyetleri” ve “İşletmeci maliyetleri” gelmektedir. Seyahat maliyetleri yolcuların raylı sistemi tercih etmesini etkilerken işletmeci maliyetleri ise o raylı sistemin işletilmesi için gerekli olan personel, elektrik giderleri, bakım onarım ve operasyon şeklindeki maliyetleri içermektedir. “Kaza istatistikleri” ile “Güvenlik ve emniyet değerleri” kriterleri ise “Güvenlik” ana kriterinin alt kriterleri arasında yer almaktadır. Bununla beraber İnsanların raylı sistemini tercih etmesinde, raylı sistemlere ulaşılabilirliğin kolay olması da önem arz etmektedir. Raylı sistemlerde ana kriterleri oluşturan diğer alt kriterler ise aşağıda gösterildiği şekilde sıralanmaktadır.

- Seyahat maliyetleri,
- İşletmeci maliyetleri,
- Elverişlilik ve Güvenilirlik
- Kaza istatistikleri,
- Yolcu kapasiteleri,
- Enerji Tüketimleri,
- Çevresel etki (gürültü ve ses) değerleri,

- Güvenlik ve emniyet değerleri,
- Ulaşılabilirlik,
- Ergonomi değerleri,

Ana kriterlere etki eden alt kriterler incelendiğinde ise alt kriterler hangi bileşenlerden oluştuğu aşağıdaki şekilde ortaya çıkmaktadır. Buna göre,

“Seyahat maliyetleri”, direkt olarak yolcular ile ilişkili olup kullanılan hatta seyahat edilmesi için ödenmesi gereken ücret miktarı şeklindedir. “İşletmeci maliyetleri” ise raylı sistem işletimi için gerekli olan ve işletmeci tarafından ana maliyetler kapsamında olan, elektrik, personel, bakım ve onarım gibi tüm operasyonel maliyetleri içermektedir. Diğer alt kriterlerden olan “elverişlilik ve güvenilirlik” ile “ulaşılabilirlik” ise raylı sistem hattı şebekesine ve duraklarına yolcuların hemzemin veya tüne bağlantıları, asansör, yürüyen merdiven gibi ekipmanların bulunması, üst geçit, yaya geçitleri şeklindeki erişim kolaylıkları ile raylı sistem sürecinde belirtilen işletim tarifelerinin yeterliliği, sürelerinin doğruluğu, gecikme ve planlanan veya iptal edilen sefer sayıları gibi çeşitli bileşenlerden oluşmaktadır. Hem yolcuları hem de işletimi etkilen diğer kriterlerden “güvenlik ve emniyet değerleri” ile “kaza istatistikleri” ise insanların raylı sistemleri tercih etmesinde önemli rol oynamakta ve işletim süresinde meydana gelen kaza sayıları ve tipleri ile güvenli işletim operasyon süreçlerini içermektedir. Yine aynı şekilde “ergonomi değerleri” ve “yolcu kapasiteleri” yolcuların raylı sistemi tercih etme sebepleri arasında sayılmaktadır. Bu kriterlere göre yolcuların oturarak yapacakları seyahat imkanı ve araçların sahip olduğu konfor durumu tercih sebebi olarak sayılmaktadır. Diğer alt kriterlerden olan “enerji tüketimi” ise işletmeyi etkilemekte olup doğrudan işletim maliyetleri şeklinde ortaya çıkmaktadır. “çevresel etki değerleri” alt kriteri ise yolcuları ve toplumu direkt olarak etkilemektedir. İşletimde oluşan istenmeyen gürültüler (ray teker ilişkileri, bakımsız araç teker, motor, fren gibi bileşenler) nedeniyle hem yolcular hem de diğer insanlar rahatsızlık duymakta bu da işletim açısından şikayetler, raylı sisteme oluşan tepkiler ve tercih edilmeme şeklinde olumsuz durumlar ortaya çıkarabilmektedir. Ayrıca çevresel etki değerleri arasında yer alan sera gazı etki değerleri, işletim sırasında meydana çıkan sera gazı miktarları şeklinde iken diğer bir bileşen ise durakların ve araçların temizlik hizmet kalitesi ve sayılarından oluşmaktadır.

Tez çalışmasının genel amacına göre her bir kriterin karar verici ve uzman görüşleriyle önem derecesini hesaplamak,

Yapılan HRS projelerinin alternatifleri için hesaplanan ağırlıklara göre bu araştırma kapsamında incelenen projeler arasında bir sıralama sağlamak,

Her farklı proje kategorisi altındaki alternatifler arasından ilgili kriter ve hesaplamalara göre Antalya ili için en önemli, hizmet verilebilir ve uygulama sonrasında toplu ulaşım için faydalı ve sürdürülebilir olan projeyi seçmek,

Raylı Sistem projeleri yatırımları sonrasında işletmesel önemi yüksek olan “Risk Değerlendirmelerine” farklı bir yaklaşım ortaya koyarak daha sağlıklı bir risk değerlendirme metodu türetmek, olarak sıralanmaktadır.

1.2. Tezin Kapsamı

Yapılan bu tez çalışması, Antalya ilinde mevcut olan ulaşım türlerinden, 3 farklı güzergaha sahip raylı ulaşım sistemini kapsamaktadır. Bulanık mantık entegrasyonu ile yapılan ÇKKV yöntemleri sayesinde, yapılan raylı sistem yatırımlarının etkinliğinin geleneksel yöntemler ile verimliliğinin tespitine alternatif olarak çok kriterli karar verme metodları ile analizi yapılmış ve bulanık mantık entegrasyonu ile en uygun proje seçilmesi amaçlanmıştır.

Böylece raylı sistem yatırımları seçiminde yeni bir model ortaya konulmuş olup hem mevcut yatırımlar için hem de yeni yapılacak yatırımları için yenilikçi bir karar verme metodu ortaya çıkarılmıştır. Çalışma sonrasında, daha güvenilir, gerçekçi ve yararlı sonuçların ortaya çıkması amaçlanmıştır.

Tezde, ülkemizde yaygın olarak kullanılan raylı sistem türleri ve yapım kriterleri incelenmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemleri ve bu yöntemlerden AHP ve VIKOR yöntemlerine bulanık mantık entegrasyonu uygulanması, incelenen projelerdeki risk değerlendirmelerinin çeşitli uzman görüşleri tarafından yapılması ve farklı kriterlerin eklenmesi ile yeni bir Fine-Kinney risk değerlendirmesi ve sonuçları tezin içeriğini oluşturmaktadır.

1.3. Çalışma Yöntemi

Tezin çalışma yönteminde beklenen sonuç olarak Antalya ilindeki HRS projelerinden en uygun olanın seçimi bilimsel yöntemler ile araştırılacaktır.

Bu çalışmada; çeşitli analizler, sentezleme ve çok kriterli karar verme yöntemleri ile toplanan veriler incelenip net, kararlı ve doğru bir sonuca ulaşılması hedeflenmiştir. Bu değerlendirme kriterleri arasında HRS sistemini oluşturan bileşenler ile İşletmeden kaynaklı ve değişkenlik gösterebilen kriterlerin bileşimi ile bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması, “AHP” ve “VIKOR” yöntemleri temel alınarak bu ÇKKV yöntemlerine bulanık mantık entegrasyonları uygulanması şeklinde olacaktır.

Tez çalışması uygulamalar kısmında, yapılan araştırmanın her aşamasının ve yöntemlerin bir özeti verilmiş ve araştırma teknikleri kısaca açıklanmıştır. Bu çalışmada Antalya ilinde uygulanan raylı sistem projelerinin seçim problemini çözmek için, karar kriterleri ile birlikte karar alternatifleri ve sonrasında bir hiyerarşi kurularak farklı alternatiflerin göreceli önem derecelerine karşı sıralayan bulanık analitik hiyerarşi süreci kullanılmıştır. Sürecin analitik hiyerarşi kısmında, önceden belirlenmiş karar kriterleri ile alt niteliklere ayrılmış ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Veriler, çalışma alanındaki uzmanlar üzerinde yapılan ikili karşılaştırma matrislerinden oluşan bir anket çalışması ile toplanmıştır. Sürecin bulanık kısmında, dilsel değişkenler aracılığıyla uzmanlar tarafından atanan bulanık sayılar kullanılarak değişkenlerin diğerine göre göreceli önemleri belirlenmiştir. Tez çalışmasında, Analitik hiyerarşi yöntemi kriterlerin göreceli öneminin tespit edilmesi için, alternatifler arasında ve çeşitli kriterler kapsamında, karar vericilere performans değerlendirmesinde kriterlerin önemlerine göre çeşitli ağırlıkların verilmesinden oluşturan, VIKOR yöntemi kullanılarak alternatif raylı sistem güzergahları sıralanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde Raylı Sistem projelerinin seçimi problemini ele alan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır ancak bunların çoğu yapım metodu, seçim süreci ve planlama gibi seçim yöntemlerinin derinliklerine inmemektedir.

Bu araştırma kapsamında literatür araştırması yapılırken sadece raylı sistem sektör projeleri ile sınırlı kalınmamıştır. ÇKKV yöntemleri ile araştırma yapılan ve henüz bu konuyu tamamen ele almamış diğer çalışmalarda incelenmiştir.

Gül M. Ve arkadaşları Maden endüstrinde, Pisagor bulanık sistemli VIKOR yaklaşımı ile risk değerlendirmelerine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları vaka çalışması için bir bakır ve çinko yer altı madenini incelemişler ve çalışmanın sonucunda, bulanık yaklaşımın uzlaşmış çözümleri aracılığıyla tehlikelerin farklı risk seviyelerinde kategorize edilebileceğini tespit etmişlerdir. (Gül vd., 2019:135). Gülenç İ. ile Bilgin G. tarafından yatırım kararlarının çözümü için, uygulama, tasarım, mühendislik, imalat ve montaj faaliyeti gösteren bir işletmede, imalat sektörüne ilişkin bir uygulama ele almış ve AHP yöntemi ile bir model çalışması yapmışlardır. Çalışma sonucunda, alternatifler arasından fabrikanın güney kapısı içi en uygun olanını tespit etmişlerdir. (Gülenç ve Bilgin, 2010:97). Kentsel ulaşımın geliştirilmesine yönelik 13 farklı raylı sistem projesinin sıralaması için, Hamurcu M. ve Eren T. tarafından MOORA yöntemi kullanılmıştır. Sıralama metodu olan “Referans noktası yaklaşımı” ile MOORA yönteminde bir sıralama yapmışlar ve sonucunda en iyi alternatif olan P4 projesinin olduğunu tespit etmişlerdir. (Hamurcu ve Eren, 2018:21). Hamurcu M. ve arkadaşları tarafından Ankara iline yönelik monoray sisteminin hat seçimi için, AHP ve PROMETHEE yöntemleriyle bir çalışmada bulunmuşlardır. AHP’ de yapılan ilk çözüm sonrası elde edilen ağırlıkların PROMETHEE ile çözümü sonrasında en uygun proje olan tek yön asma tipi model monoray olduğunu tespit etmişlerdir. (Taş vd., 2017:64). Mohajeri N. ve Amin G. AHP ve veri zarflama analizi kullanılarak tren istasyonu yer seçimi çalışmasında bulunmuşlardır. Çalışmalarında, tren istasyonu yer seçimi problemi için dört seviyeli bir hiyerarşi modeli tanımlamışlardır. Modellerinde, demiryollarındaki yolcu hizmetleri, mimari ve ekonomi ve şehircilik olmak üzere dört ana kriter kullanmışlardır. Ayrıca 26 alt kriterin yanı sıra beş farklı alternatifi de incelemişlerdir. (Mohajeri ve Amin, 2010:107). Gerçek H. ve arkadaşları İstanbul'daki demiryolu ulaşım

ağlarının değerlendirilmesi için çok kriterli bir yaklaşımda bulunmuşlardır. Çalışmalarında çok kriterli bir karar destek sistemi olan AHP kullanılarak üç alternatif demiryolu ulaşım ağı önerisi değerlendirilmiştir. Ana kriterlerini finansal, ekonomik, sistem planlaması ve politika olarak tanımlamışlardır. (Gerçek vd., 2004:203). Stoilova S. tarafından yapılan bir araştırmada ise Demiryolu yolcu taşımacılığı planlaması için Entegre bir ÇKKV yöntemi olan SIMUS ve AHP yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada, yolcu akışının belirsizliği, yolcu ihtiyaçları ve yetenekleri göz önüne alınmıştır. Bulgar demiryolları için 9 alternatif arasında, tren kapasitesi, frekans, duraklar, maliyet gibi bileşenler incelenmiş ve sonrasında kentsel sistemler için sıralı etkileşimli modelleme yöntemi uygulayarak ulaşım planlarına alternatifleri sıralamıştır. Böylece en iyi alternatif tespit edilmiştir. (Stoilova, 2020:949). Poorzahedy H. ve Rezaei A. ise hafif raylı toplu taşıma ağı seçimi örneği için çoklu nitelik analizi tekniklerini kullandıkları bir çalışma yapmışlardır. Dokuz kritere dayalı ve beş çok nitelikli karar prosedürünü değerlendirmişlerdir. Sonuçlarında, bu prosedürlerin “Electre”, “Lineer Atama”, “Basit Katkı Ağırlığı”, “TOPSIS” ve “Minkowski Mesafesi” ni verilen sırayla diğerlerinden daha iyi bulduğunu ortaya koymuşlardır. (Poorzahedy ve Rezaei, 2013:371). Shang J. ve arkadaşları analitik ağ süreci ile Ningbo, Çin'deki ulaşım projelerini değerlendirmek için bir çalışmada bulunmuşlardır. Kararın tanımlanması, seçilmesi, analizi ve sınıflandırılmasını tanımlamışlardır. Kurdukları modelin üst kısmını dört alt ağdan ve bir genel hedef düğümünden oluşturmuşlar ve hedef düğümünden alt ağlara giden dört tek yönlü olacak şekilde hedefin faydalara, fırsatlara, maliyetlere ve risklere bağımlılığını temsil etmişlerdir. (Shang vd., 2004:300). Bir başka çalışmada ise Hamurcu, M. ve Eren, T. alternatif monoray güzergahlarının değerlendirilmesi için ÇKKV uygulamasında bulunmuşlardır. Yine benzer bir şekilde çalışmalarında “Analitik Ağ Süreci” (ANP) ve “İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sipariş Tercihi Tekniği” (TOPSIS) yöntemini kullanmışlar ve şehir içi ulaşımın gelişimi için seçim süreci ile en uygun sıralama ve planlamayı sağlamışlardır. (Hamurcu ve Eren, 2019:16). Kılıç O. ile Çerçioğlu H. tarafından ise TCDD projeleri iltisak hatları değerlendirmesine yönelik yapılan çalışmada ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS ile beraber VIKOR yöntemlerinden faydalanmışlar. Elde edilen sıralamaları “Borda Sayım Metodu” ile birleştirilerek bütünleşik tek bir sıralama elde edilmesi sonrasında farklı sonuçları değerlendirmişlerdir. Bu yöntemle, demiryolları bağlantısı yapılması mümkün 78 adet Organize sanayi bölgesi fabrika ve tesis yerlerinin sıralama önceliği için uygulama yapmışlardır. (Kılıç ve Çerçioğlu, 2016:211). Bir başka

Çalışma olan ÇKKV yöntemlerinin, Entegre Kentsel toplu ulaşım sistemi için uygulanması ve Cracow şehri için incelemesi Kicinski M. ve Solecka K. tarafından yapılmış ve çalışmalarında, seyahat süreleri ve standardı, güvenilirlik, emniyet, güvenlik ve yatırım kriterleri içeren bir AHP- ELECTRE III karşılaştırmasında bulunmuşlardır. Karşılaştırmalarında, I – Kayıtsızlık Q – zayıf tercih, P – güçlü tercih, RH – Uyumsuzluk ilişkilerini incelemişler ve yaptıkları çalışma sonrasında elde ettikleri nihai sıralamalarda, AHP metodu için hesaplanan “Fayda fonksiyonuna” göre alternatiflerin sıralanması ve Electre III metoduna göre “stnlk matrisine” dayanan son sıralamalar neticesinde; Krakov’ da şehir içi toplu taşıma alternatiflerinin karşılaştırılmasını yapmışlardır. (Kicinski ve Solecka, 2018:71). Deveci M. ve arkadaşları aralık tipi-2 bulanık ÇKKV’ ye dayalı havayolu yeni rota seçimi için bir çalışma yapmışlardır. alışmalarında Türkiye-Kuzey Amerika bölgesi destinasyonları arasında yeni bir rota rneği vaka analizinde bulunmuşlardır. Yeni rotanın fizibilitesinin yönlerini belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemi için çalışma metodu olarak, “aralıklı tip 2” bulanık TOPSIS yöntemi kullanmışlar ve beş değişik destinasyondan yeni bir rota seçimi için karar analizi uygulanmıştır. Önerilen metodolojilerini, 1. si modelde kullanılacak kriterlerin, alternatiflerin ve dilsel değişkenlerin belirlenmesi ve 2. si ise bu seçilen kriterler, alternatifler ve dilsel değişkenler kullanılarak yöntemin analizi şeklinde ve 3. olarak ise belirlenen tip-2 bulanık TOPSIS aralıklarını kullanarak alternatiflerin sıralanması olacak şeklinde 3 adımda gerçekleştirmişlerdir. (Deveci vd., 2017:83). Kırılangoğlu C. ise kentiçi raylı sistemlerinde kullanılacak olan güzergâh yapısını tespitine yönelik bir planlama için ÇKKV yöntemlerini incelemiş ve yapmış olduğu çalışmada, İstanbul ili sınırlarında “ok katmanlı ağırlıklı çakıştırma yöntemi (weighted overlay)” yöntemini uygulamıştır. (Kırılangoğlu, 2016:53). Pedroso G. ve arkadaşları toplu taşıma seçeneklerinin performans değerlendirmesi için işlevsel birim kavramı ile analitik hiyerarşi süreç yöntemini kullandıkları bir çalışmada bulunmuşlardır. Brezilya'nın So Paulo şehrindeki metrobüs, HRS ve monoray modlarının operasyonel ve işlevsel performanslarını kapsayan bir vaka çalışması yapmışlardır. (Pedroso vd., 2018:722). Lampas M. ve arkadaşları ise KKV yöntemi ile metrobüs ve HRS sistem karşılaştırmasında bulunmuşlardır. alışmalarında, bir “hizmet kalitesi yüksek otobüs” sisteminin uygulanması ile bir “hafif raylı taşıma” sistemi arasındaki seçimi değerlendirmek için çok kriterli karar analizi kullanmışlardır. Analizin bazı parametrelerinin tasarlanması için bir coğrafi bilgi sistemi ortamı aracılığıyla bir

mekansal analizden faydalanmışlardır. (Lambas vd., 2016:143). Benzer bir çalışma Güner S. tarafından yapılmış ve ÇKKV teknikleri kullanılarak toplu taşıma sistemlerinin kalitesinin ölçülmesi ve otobüs geçiş güzergahlarının sıralanmasında bulunmuştur. İlk olarak yolcuların bakış açısından her bir hizmet kalitesi niteliğinin önceliğini belirlemek için AHP' den faydalanmış ve ikinci aşamada hizmet kalitesini ölçmek ve otobüs transit güzergahlarını sıralamak için TOPSIS' i tercih etmiştir. (Güner, 2018:214). Bir başka çalışmada ise Chang Y. ve arkadaşları yüksek hızlı demiryolu inşaat projelerinin belirsiz ölçülerine ve AHP' ye dayalı kapsamlı sürdürülebilirlik değerlendirmesinde bulunmuşlardır. Bu amaçla 4 birincil endeks, 9 ikincil endeks ve 32 üçüncül endeks içeren bir endeks sistemi kurmuşlar ve bu endekslerin ağırlıklarını hesaplamak için AHP ve belirsiz ölçülerini açıklamışlardır. Ardından, Çin'in Harbin-Dalian yolcu tahsis edilmiş hattının sürdürülebilirliğini değerlendirmek için endeks sistemi uygulamışlardır. Elde ettikleri çalışma sonrasında projenin süreç, ekonomik fayda, etki ve sürdürülebilirlik açısından iyi sonuçlar elde ettiğini ve turizm, ekonomi ve ulaşım kapasitesi ile diğer birçok alanda uzun vadeli faydalar sağlayacağını tespit etmişlerdir. (Chang vd., 2018:408). Nassereddine M. ve Eskandarib H. ise "Tahran'daki toplu taşıma sistemlerini değerlendirmek için entegre bir ÇKKV yaklaşımı" adlı çalışmalarında, öncelikli olarak Delphi yönteminin kullanılarak karar verme probleminin ana kriteri ve yapısını belirlemişlerdir. Sonrasında ise grup AHP (Group AHP) uygulayarak kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi ve kriterlerin birleştirilerek alternatiflerin sıralanması ve duyarlılık analizi için PROMETHEE yöntemine dayalı yeni bir ÇKKV' ni yöntemi önermişlerdir. (Nassereddine ve Eskandari, 2017:427). Krmac E. ve Djordjevic B. tarafından, sürdürülebilir raylı sistemlere yönelik tren kontrol bilgi sistemlerini AHP modeli kullanarak değerlendirmişlerdir. 18 farklı kentsel ulaşım projesinin yer aldığı bir başka çalışmada ise Zak J. ve Kruszynski M. tarafından, ÇKKV yöntemleri olan AHP, ELECTREE III / IV ve bunların kombinasyonundan oluşan bir yöntemle çoklu seviyeli ve kriterli sıralama alt problemleri yapılandırıp çözmüşlerdir. (Krmac vd., 2017:35). Ekbatani M. ve Cats, O. tarafından yapılan "Çok Modlu Kentsel Toplu Taşıma" isimli çalışmada ise sistemlerinin ÇKKV yöntemleri ile değerlendirilmesi için basit toplamsal ağırlıklandırma (SAW), TOPSIS yöntemi ve "Uyum Analizi" metotlarından faydalanarak örnek bir uygulama yapmışlardır. (Ekbatani ve Cats, 2015). Eren T. ve Hamurcu M. tarafından yapılan bir başka çalışmada ise analitik ağ süreci ile analitik hiyerarşi süreci sayesinde farklı projelerin ağırlıklandırmasını yaparak ortaya konan hedef programlama

(HP) modeli ile İstanbul için planlanan raylı sistem projeleri arasında seçim yapmışlardır. (Eren ve Hamurcu, 2017:1). Banai R. ise yapmış olduğu bildirisinde, Saatty' in Arazi kullanımı etkileşimi ile toplu taşıma rota seçimi problemine AHP yönteminin genel olarak doğrusal olmayan bir şekilde olan bir sistem odaklı, “Analitik Ağ Yaklaşımı” ile incelemede bulunmuştur. (Banai, 2010:85). Şehir içi raylı sistem ve otobüs ulaşımı arasındaki transfer edilebilirliğin çok modlu bir toplu taşıma sisteminin etkinliğini değerlendirmek için Cheng H. ve arkadaşları tarafından, demiryolu-otobüs transferinin verimliliğini değerlendirmek için bir ÇKKV modeli çalışmasında bulunmuşlardır. Çalışmalarında, modeli göstermek için Wuhan şehrinde iki tipik tren istasyonunun bir vaka çalışması yapmışlardır. (Cheng vd., 2015:1522). Karacasu M. ise kentiçi toplu taşıma yatırımlarının değerlendirilmesi için ELECTREE yöntemi kullanmıştır. Yapmış olduğu çalışma sonrasında ulaştırma yatırımlarının değerlendirilmesi için karar destek modelini oluşturmuş ve sonuçları yayınlamıştır. (Karacasu, 2007). Orman A. ve arkadaşları, Ankara ili için “Ulaşım Ana Planı” senaryo seçimi ve ulaşım planlama süreçleri için AHP metodu kullanmışlardır. (Orman vd., 2018:381). Dinç S. ve arkadaşları raylı sistem projelerinin haricinde sektöre yönelik olan kentsel ulaşım için alternatif tramvay araçlarının seçimiyle ilgili ÇKKV seçim çalışması yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada, raylı sistemlerdeki tramvay alternatifleri ele almışlar ve AHP yöntemi ile bulanık AHP yardımıyla sonuçları karşılaştırmışlardır. (Dinç vd., 2018:124). Broniewicz E. ve Ogrodnik K., ulaştırma altyapı projelerinin değerlendirmesi için çok kriterli analiz metodunu kullanmışlardır. Çalışmalarında, ulaşım alanında karar problemlerine en yaygın olarak uygulanan ÇKKV yöntemlerini birleştiren hibrit bir yaklaşım kullanmışlardır. Açıkladıkları hibrit yaklaşımları, “AHP, Bulanık AHP, TOPSIS ve PROMETHEE” yöntemlerini içerip, Polonya'da planlanan yol altyapısının yerleşiminin çok kriterli bir analizini sunmak için kullanmışlardır. (Broniewicz ve Ogrodnik, 2020:102351). Hamurcu M. ile arkadaşları yaptıkları bir diğer çalışmada, AHP yöntemi ve matematiksel bir model olan hedef programlaması ile İstanbul ili için, alternatif raylı sistem projelerini belirlemişlerdir. (Hamurcu vd., 2017:291). Raylı sistem tren ekipmanları seçimine yönelik bir başka çalışma ise, Genç M. ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Yaptıkları çalışmada, tren ekipmanlarının yerleştirilmesi için, çok kriterli bir karar modelinden faydalanmışlardır. Kategorize ettikleri ekipmanları belirledikleri kriterlere göre önce ANP ile değerlendirmiş ve sonrasında bu ağırlıklar yardımıyla TOPSIS yöntemi kullanmışlardır. Böylece ana sistem bileşenlerinin yerleştirilmesinde

için öncelik sırası elde etmişlerdir. Sonrasında ise ANP ve TOPSIS sonuçlarını tutarlılık için kıyaslamışlardır. (Gençer vd., 2021:36). Stoilova, S. ve arkadaşları yaptıkları bir başka çalışmada ise trans Avrupa ulaştırma ağı doğu-batı koridoru ülkelerinde demiryolu ağı performansının değerlendirmesi ve geliştirilmesi için ÇKKV yöntemlerinden faydalanmışlardır. Yaptıkları araştırmaya göre sırasıyla, önce kriterleri belirlemişler ve SIMUS yöntemine göre sıralamada bulunmuşlardır. Her hedef ile ilgili bir duyarlılık analizi yapıp Ülkelerin sıralamalarını değiştirmeden izin verilen varyasyon aralıklarını belirlemişlerdir. En son aşamada ise SIMUS tarafından elde edilen sonucun doğrulanması için küme analizini kullanmışlardır. (Stoilova vd., 2020:1482). Yannis G. ve arkadaşları ise taşımacılık sektörüne yönelik bir ÇKKV çalışmasında bulunmuşlardır. Bu çalışmaya göre, ulaştırma sektöründe kullanılan ÇKKV uygulamalarına ilişkin incelenen araştırma ve vaka çalışmasını sunmuşlardır. (Yannis vd., 2020:413). Hamurcu M. ve Eren T. bir başka çalışmalarında, AHS ve programlanan hedef ile ulaşım planlaması konusunda bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, üç bütçe senaryosu kullanılarak, AHP ve hedef programlama birlikte kullanılarak İstanbul şehir içi ulaşımı için planlanan monoray projeleri seçmişlerdir. (Hamurcu ve Eren, 2018:92). Bir başka çalışmalarında ise M. HAMURCU, T. EREN, raylı sistem projelerinin önceliklendirilmesi çalışmalarında proje değerlendirme kriterlerini belirlenmiş ve bu doğrultuda bulanık analitik ağ sürecinden (ANP) faydalanmışlardır. (Hamurcu ve Eren, 2017:415). Yine benzer bir çalışmalarında ise kent içi ulaşımında sürdürülebilirliğe dayalı stratejik planlama çalışmasında bulunmuşlardır. Çalışmalarında Kırıkkale' de “elektrikli belediye otobüsü”, “hafif raylı sistem” ve “mevcut araçların modernizasyonu ve ağ optimizasyonu” şeklinde üç farklı alternatifte toplu taşıma projelerinin önceliklendirilmesi için ÇKKV sürecini sunmuşlardır. Ulaşım projelerini ekonomik, sosyal, ulaşım ve çevresel alt kriterleri kullanarak önceliklendirmek için TOPSIS, AHP ve bulanık mantık tekniklerini kullanmışlardır. (Hamurcu ve Eren, 2020:3589). Zak J. tarafından yapılan başka bir çalışma ile toplu taşıma ÇKKV ve yardımcı olma metodolojisi araştırmıştır. Toplu taşıma sisteminin dört çeşidi, ELECTRE III yönteminin uygulanmasıyla tutarlı bir kriter ailesi tarafından değerlendirmiştir. (Zak, 2011:1). Erdoğan M. ile Kaya I. ise Türkiye’ de kurulacak nükleer santrallerin yerlerini belirlemek için ÇKKV çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında seçim kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için aralıklı tip-2 bulanık AHP ve sıralama alternatifleri için uygulanan aralıklı tip-2 bulanık TOPSIS' ten oluşan birleşik bir bulanık ÇKKV metodolojisi kullanılmıştır. (Erdoğan ve Kaya, 2016:84). Farooq A.

ve arkadaşları, Beijing – Xiongan’ da bir uygulamada bulunarak yüksek hızlı tren ulaşım planını ÇKKV ile değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında yeni yüksek hızlı demiryolu hattı için en iyi ulaşım alternatifini belirlemek için coğrafi bilgi sistemleri ve AHP ile “Zenginleştirme Değerlendirmeleri için Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi” olan “PROMETHEE II” metodunu uygulamışlardır. (Farooq vd., 2019). Demiryolu transit ağı için çok özellikli bir müşteri memnuniyeti değerlendirme yaklaşım çalışması ise Çelik E. ve arkadaşları tarafından yapılmış ve İstanbul demiryolu ulaşım ağı için istatistiki analiz (statistical analysis) SERVQUAL, aralık tipi-bulanık kümeler (interval type-2 fuzzy sets) ve VIKOR’ u bütünleştiren bir çalışmada bulunmuşlardır. (Çelik vd., 2014:283). ÇKKV yöntemleri ile raylı sistem projelerinin seçimi ve İstanbul için bir vaka çalışması ise Yücel N. and Taşabat S. tarafından yapılmıştır. Yaptıkları çalışmada, ana ölçütleri ve alt ölçüt setlerini literatür taraması ve uzman görüşleri kullanılarak belirlenmişlerdir. Yaptıkları çalışmada AHP ve BWM (Best worst method) yöntemlerinde faydalananak karşılaştırmalarda bulunmuşlardır. (Yücel ve Taşabat, 2019:382). Chen I. ise, DEMATEL ve ANP’ ye dayalı birleşik bir ÇKKV yöntemi ile havayolu hizmet kalitesi iyileştirmeye yönelik bir çalışmada bulunmuş ve Tayvan havayolu endüstrisine dayalı bir çalışma yapmıştır. (Chen, 2016:7). AHP yöntemine bulanık mantık entegrasi ile bulanık mantık AHP kullanarak belediyelerin toplu taşıma araçları seçimi ise Şengül Ü. ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışma ile ortaya konulmuştur. (Şengül vd., 2012:143). Zhang H. ve Sun Q. tarafından Demiryolu endüstrisine yönelik, trenin raydan çıkma riskine müdahale stratejisi için entegre bir ÇKKV yaklaşımı çalışması yapmışlardır. Modelleri, karar verme için DEMATEL yöntemi ve ANP ile bağlantılı olup her iki yöntem arasındaki bağlantı ilişkisi ele almaktadır. Sonrasında modelde ideal çözüme ulaşmak adına TOPSIS içerikli bir teknik önerilmiştir. Ayrıca, uzman tavsiyesi almak için tüm süreç boyunca Delphi yöntemi kullanılmıştır. (Zhang ve Sun, 2020:47). Oturakçı M. ve arkadaşları Fine-Kinney metodu için yeni bir yaklaşım ile bir uygulama çalışmasında bulunmuşlardır. Yaptıkları çalışmanın, yaklaşımında bilinen metottaki ihtimal ve frekans değerlerine alternatif değerler oluşturmuşlar ve daha yüksek ihtimal ile beraber daha yüksek frekansa sahip tehlikelerin değerlendirme puanlarını yükselttilerek önem ve hassasiyet derecelerini daha da arttırmışlardır. Bu yaklaşımı orta ölçekli bir işletmede uygulamaları ve iki farklı interpolasyon metotları sayesinde oluşturulan skalalardaki olumlu ve olumsuz etkileri gözlemlemişlerdir. (Oturakçı vd., 2015:83). Min A. ve arkadaşları ise demiryolu işletme

ve bakım analizlerine yönelik akıllı demiryolu güvenliği risk değerlendirme desteksistemi çalışmasında bulunmuşlardır. Çalışmalarında, sistemin risklerini analiz etmek için bulanık muhakeme temelli yaklaşımı kullanan bir emniyet riski modeli uygulamışlardır. (Min vd., 2013:27). Leitner G. Tarafından, demiryollarında meydana gelen kaza senaryolarının analizinin kullanıldığı bir raylı sistem risk değerlendirmesi modeli üzerine bir çalışmada bulunmuştur. Geliştirdiği model için geçmiş yıllarda yaşanan kaza verileri ve uzman değerlendirmelerinden faydalanmış ve her bir tehlikeli olay için hata ağacı analizi ve olay ağacı analizi tekniklerinden faydalanmıştır. (Letner, 2017:150). Kim D. ve Yoon W. tarafından ise B. Leitner' in yaptığı çalışmanın bir benzeri için İngiltere'de yaşanmış olan 80 demiryolu kazası raporunu baz alıp Demiryolu Endüstrisi için “Kaza Nedensellik Modeli” geliştirmişlerdir. Kaza nedensellik modellerinde, “olumsuz olaylar ve keskin uçtaki sonuçlar” olarak uygulanmış ve insanlardan oluşan sebep ve koruyucu sistemler ile durumlar ve sonuçlar arasında da birbağ kurmuşlardır. (Kim ve Yoon, 2013:57). Tričković G. ile arkadaşları ise FTA yönteminde bulanık mantık kullanılması ile demiryolu geçiş güvenliği için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, hata ağacı analizinde her bir temel olayın başarısızlık olasılığını temsil etmek için bulanık sayıları (üçgen bulanık sayılar) kullanmışlardır. (Tričković vd., 2018). Bir başka çalışmada benzer şekilde bulanık mantık ve FTA analizi şeklinde yapılmış olup, Demiryolu trenlerinin raydan çıkmasının temel nedenleri değerlendirilmiştir. Jafarian E. ve Rezvani M. tarafından yapılan bu çalışmada, bulanık ortamda hata ağacının nicelleştirilmesi ve değerlendirilmesi için bir yöntem önerilmiştir. (Jafarian ve Rezvani, 2012:14). Mabrouk H. ise yapay zeka katkısıyla demiryolu kazalarının risk değerlendirmesi çalışmasında bulunmuştur. Bilgi edinme ve makine öğreniminin eş zamanlı olduğu bir metodolojini desteklemek için çözüm olarak ACASYA yazılımını kullanmıştır. Bu yazılım sayesinde, raylı ulaşım sisteminin güvenliğini tehlikeye atabilecek potansiyel arıza önerileri uzmanlara sunulmuştur. Böylelikle ACASYA projesinin, özellikle fonksiyonel güvenlik analizi (FSA) aşamasınayardımcı olduğu açıklanmıştır. (Mabrouk, 2020:19). Demiryolu sistemlerindeki risk yönetim çalışmalarından bir tanesi de Dindar S. ve arkadaşları tarafından yapılan ve temelini FTA oluşturan, raydan çıkma temelli hata ağacı analizi oluşturmaktadır. Çalışmalarında, demiryolu araçlarının, raydan çıkmanın çevresel nedenlerini araştırılmıştır. (Dindar vd., 2017:245). Bulanık mantık kullanılarak yapılmış ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS kullanılarak yapılan başka bir çalışma ise Mahdevari S. ve

arkadaşları tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında bulanık mantık, TOPSIS' e entegre edilmiş ve yeraltı kömür madenlerinde insan sağlığı ve güvenliği risk yönetim çalışması yapmışlardır. (Mahdevari vd., 2014:85). Erzurumluoğlu K. ve arkadaşları ise yapmış olduğu bildirilerinde inşaat sektörüne yönelik bir risk değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışmalarında Fine-Kinney metodunu kullanmışlardır. (Erzurumluoğlu vd., 2015). Kazaların sürecini ve davranış modelini anlamak, analiz etmek ve tanımlamak için kaza senaryosu analizi yapılan bir başka çalışma ise Park C. ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Modelleri, Güney Kore Ulusal Demiryolunda tren-insan çarpışma kazalarının yapıldığı bir modeldir. Metotları ise bir fizibilite testi, bir kümeleme süreci ve kaza durumunun net bir şekilde anlaşılması için bir desenleme sürecini içermektedir. Kalite fonksiyonu dağıtımı kullanarak gerçekleştirdikleri demiryolu kaza senaryolarında, kullanılan yöntem, değiştirilmiş bir QFD matrisine dayanmaktadır. (Park vd., 2010). Yaghoubpour Z. ve arkadaşları tarafından toplu taşımada risk değerlendirmesine yönelik yapılan bir başka çalışmada ise benzer şekillerde FTA analizine dayanmaktadır. İncelenen sistem için hata ağaçları oluşturulduktan sonra, hesaplanan çeşitli senaryolardaki olasılık verileri Open FTA ile analiz edilmiştir. 5 vaka çalışmasının analizinden elde edilen sonuçlara dayanarak, bu bölüm her bir vaka çalışmasına birkaç çözüm önerilmiştir. (Yaghoubpour vd., 2016:93). An M. ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir başka çalışmada ise demiryolu risk değerlendirmesine, bulanık akıl yürütmeye dayalı bir yaklaşım sunmuşlardır. Önerilen demiryolu risk değerlendirme sistemini göstermek için demiryolu aracı risk değerlendirmesine ilişkin bir vaka çalışması kullanmışlardır. (An vd., 2006:18). Sun D. ve arkadaşları ise demiryolu yolcu taşımacılığında emniyet risk analizini “Bulanık Bayes Ağ” tabanlı (Fuzzy-Bayesian-network) bir yöntem ile araştırmışlardır. Bu metoda göre, farklı risk kontrol stratejileri uygulayarak demiryolu yolcu taşımacılığının güvenlik riski üzerindeki etkisini analiz etmeyi amaçlamışlardır. (Sun vd., 2018:135). Bulanık muhakeme yöntemine sahip bir başka çalışma ise, Petrovic D. ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Çalışmaları madencilik sektöründe kullanılan ekipmanların risk değerlendirmelerini bulanık mantığa dayanan bir model ile ortaya çıkarmaktır. (Petrovic vd., 2014:8157). Peng Z. ve arkadaşları tarafından “Zamanlanmış Hata Ağaçları” analizi kullanılarak raylı sistemlere yönelik bir risk değerlendirmesi yapılmıştır. (Peng vd., 2014:181). Awasthi A. ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada bulanık, ideal çözüm tabanlı ÇKKV tekniklerinin uygulamalarını araştırmışlardır. Çalışmalarında kentsel hareketlilik projelerinin sürdürülebilirlik değerlendirmesi için

TOPSIS, bulanık VIKOR ve bulanık gri ilişkisel analiz (GRA) metotlarından faydalanmışlardır. (Awasthi vd., 2018:247). Demiryolu sistemleri risk değerlendirmesi için yapılan bir başka çalışmada bulanık akıl yürütme yaklaşımı AHP süreçli olan Waterloo deposundaki manevra risk değerlendirme vaka çalışmasıdır. An M. ve arkadaşları tarafından yapılan bu çalışmada, FRA (fuzzy reasoning approach) ve FAHP (fuzzy analytical hierarchy process) tekniklerini kullanan risk analizi için bir risk değerlendirme metodolojisi sunmuşlardır. (An vd., 2017:365). Gül M. ve Çelik E. tarafından, Raylı ulaşım sistemleri için bulanık kural tabanlı Fine-Kinney risk değerlendirme yaklaşım çalışması yapılmıştır. Çalışmalarında, Risk puanını değerlendirmek için olasılık (P), maruz kalma (E) ve sonucu (C) toplamak için yeni bir bulanık kural tabanlı Fine-Kinney yaklaşımı önerilmiştir. (Gül ve Çelik, 2018:1786).

3. TOPLU ULAŞIM TARİHİ VE GELİŞİMİ

Literatürde “ulaştırma” için pek çok tanımlama mevcut olsa da temelinde “yolcu ve insanların” belirli bir amaç için bir noktadan bir nokta yer değiştirmesi olarak tanımlanmaktadır. Ulaşım sisteminde atıl kapasite yaratıldığı veya herhangi bir talep anında ulaşım araçlarının istenilen zamanda istenilen yerde bulunmaması halinde bu hizmetlerden yararlanılamamaktadır. Bu durum arzın yok sayılmasına sebep olmaktadır.

Gelişmiş ülkeler incelendiği zaman ikinci Dünya savaşı sonrasında otomotiv sektörünün hızlı bir yükselişe geçtiği ve karayolu taşıtlarının artış gösterdiği görülmektedir. Bununla birlikte karayolu ağlarının yetersiz olması nedeniyle kent içlerinde trafik sorunlarının artmasına neden olmuştur. Ortaya çıkan bu sorun ise çeşitli planlamalar ve çalışmalar yapılmasının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Toplu ulaşımın en temel amaç ve hedefleri, ekonomiklik, sosyallik ve çevresel bileşenleri açısından aşağıdaki Tablo 2’ de yer almaktadır.

Ekonomik Açıdan Hedefler	Açıklama
Etkin mobilite	İnsanlar ile eşyaların ekonomik ve hızlı şekilde taşınması.
Bölgesel ekonomik kalkınması	Yerel düzeyde, iş gücü, üretkenlik, gelir ve gelir vergisi gibi bileşenlerde sağlanan artış.
İşletmesel etkinlik	Ulaşım birimlerinin hizmetlerinin etkin halde olması
Sosyal açıdan hedefler	Açıklama
Sosyal eşitlik (Adalet)	Artan gelir ve mobilite ile orantılı ücret politikası Ulaşımdan kaynaklı yararlı veya zararlı etkilerin dengeli dağılımı,
İnsanın sağlık ve güvenliği	Taşıma güvenliği ve insan sağlığının geliştirilmesi.
Ödenebilir ücret Politikası	Aile bireylerinin fiyat olarak ödeyebileceği bir düzeyde tutulması.

(Tablo 2. Devam)

Toplumsal bağ	Toplumun fertleri arasındaki etkileşimin artırılması
Kültürel korumacılık	Toplum tarafından önem verilen sanat eserleri ve toplumsal olayların korunması
Çevresel Hedefler	Açıklama
Çevre kirliliğinin azalması	Gürültü düzeyi ile beraber hava kirliliği ve su kirliliğinin azaltılması.
Kaynakların korunması	Fosil yakıtlar gibi sonlu kaynakların daha düşük seviyelerde ve verimli bir biçimde kullanımı.
Açık alanların korunması	Tarım alanları ve parklar ile birlikte doğal yaşam alanlarının korunması.
Bio çeşitliliğin korunması	Hayvanlar ve diğer canlı türlerinin yaşam alanlarının korunması

Tablo 2. Toplu Ulaşımın Amaç ve Hedefleri

Kaynak: Cirit, F., Sürdürülebilir Kentiçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması, 2014

Toplu ulaşım tarihine bakıldığında ise 1700' li yıllardan itibaren günümüze kadar kullanılan ana türlerin Tablo 3' deki gibi olduğu tespit edilmiştir.

Dönem	Kentler arası ulaşımında kullanılan ana ulaşım türü	Kentiçi ulaşımında kullanılan ana tür
1770 ile 1840	Gemiler ve at arabaları	Yürüme
1830 ile 1890	Buharlı güçlü trenler	Tren
1880 ile 1940	Buharlı ve elektrikli enerjili trenler	Tramvay
1930 ile 1990	Uçak ve kamyonlar	Bireysel Araçlar

Tablo 3. Dönemler İtibariyle Ulaşım Teknolojilerinin Gelişimi

Kaynak: Cirit, F., Sürdürülebilir Kentiçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması, 2014

Otomobil kullanımından kaynaklanan yaşam tarzının ekonomik nedenlere olduğu sebeplerden bazıları Tablo 4’te özetlenmektedir. Yapılan yeni yollar ek kapasiteye yol açmıştır. Geleneksel ulaşım yaklaşımının bu çözümsüzlüğü Şekil 2’de gösterilmiştir. Benzer şekilde otomobil kullanımına dayalı ulaşım sistemi gelişimi ise Şekil 3’ de gösterilmiştir.



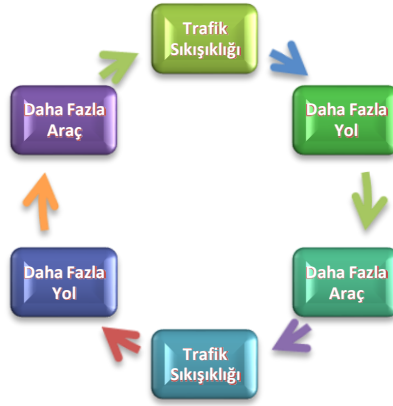
Şekil 2. Geleneksel Ulaşım Yaklaşımının Çözümsüzlüğü

Kaynak: Cirit, F., Sürdürülebilir Kentiçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması, 2014

Ekonomik Sorunlar	Sosyal Sorunlar	Çevresel Sorunlar
Trafik sıkışıklığı sebepli ekonomik kayıplar	Sokak hayatı ve komşuluğun zedelenmesi	Fosil yakıtlara bağlı olarak oluşan çevresel riskler
Altyapı yatırım maliyetlerinin yükselmesi	Özel aracı olmayanların ve özürlü bireylerin yaşadığı erişim problemleri	Yaşam alanlarının şehrin dışındaki bölgelere kurulması
Toplu ulaşım sistemleri talep düşüklüğü nedeniyle işletmelerin zarar etmesi	Psikolojik olumsuz etkiler	Fotokimyasal gazlar ve asit yağmurları
Kazalar sonucu oluşan ekonomik maliyetler	Düşük gelirli insanların özel araç almaya teşvik edilmesi	Sera gazları oluşumu ile beraber iklim değişikliği
Çevre kirliliği kaynaklı sağlık bazlı ekonomik maliyet		Trafikten kaynaklı gürültü, görsel kirlilik ve fiziki tehditler

Tablo 4. Otomobil Kullanımı Sorunları

Kaynak: Cirit, F., Sürdürülebilir Kentiçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması, 2014



Şekil 3. Otomobile Dayalı Ulaşım Sisteminin Gelişimi

Kaynak: Cirit, F., Sürdürülebilir Kentiçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması, 2014

Genel tanım olarak toplu ulaşım ve taşımacılık kişilerin bireysel araçlarını kullanmadan, diğer ulaşım türlerinden faydalanarak yapmış oldukları ulaşım sistemlerine verilen bir isimdir. Toplu ulaşım sistemleri, kent içi olabileceği gibi şehirlerarası ve hatta ülkeler arasında dahi olabilmektedir. Toplu ulaşım; kent içi sistemlerinde, metro, tramvay, HRS, lastik tekerli araçlar (otobüs, metrobüs, minibüs vb.) sistemleri ile yapılmaktadır. Şehirler arası ve ülkeler arası ulaşımında ise gemi, tren, uçak vb. araçlar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kentiçi toplu ulaşım sistemlerinin değerlendirilirken çeşitli etkenler incelenmektedir. Ücret miktarı, seyahat süresi ve güvenilirlik kriterleri yolcuları etkilerken kent yapısına uygunluk, güvenlik, trafik yoğunluğuna olan etkisi kent içi trafiği etkilemektedir. Ülke geneli ve şehirde yaşayan insanlar açısından bakıldığında ise, çevre kirliliği, enerji tüketimi, kaynak kullanımı (mali ve işgücü gibi), yer işgalietisi (güzergâh yapıları, yollar gibi gereksinimler) konuları önemli olmaktadır. Diğer faktörler ise toplu ulaşımı yapan işletmeleri ilgilendirmekte olup, işletme ekonomisi, personel gereksinimi, esneklik ve diğer türlerle uyumluluk olarak ortaya çıkmaktadır. (Taş vd., 2017:64).

Yerleşim yerlerinin büyüklüğüne göre toplu ulaşım türleri de değişiklik göstermektedir. Bir yerleşim yerinin büyüklüğü; sosyal ve kültürel yapısı, ekonomik güç, yüzölçümünün büyüklüğü ve nüfus yoğunluğu gibi bileşenleri içermekte ve böylece “Kent Büyüklüğü” tanımı ortaya çıkmaktadır. (Çelik vd., 2014:283).

Küçük yerleşim yerlerinde yürüyerek ulaşım sağlanabilmekte iken daha büyük kentlerde ise artan mesafe ve ulaşım süreleri bakımından toplu ulaşım ihtiyacı duyulmaktadır. Kentlerin gelişmesiyle; bireylerin hem yolculuk süresi hem de kapasite yönünden toplu taşımayı kullanma ihtiyaçları artmaktadır. Toplu taşıma türü için ihtiyaç sıralaması; bireysel araçlardan, minibüslere, otobüslere, tramvay ve metro sistemlerine doğru artan yönde bir eğilim göstermektedir. Toplu taşıma sistemleri karşılaştırmalarında teknoloji, ekonomik ve çevresel etkenler öne çıkmaktadır. (Saatçioğlu ve Yaşarlar, 2012:117).

Ulaşım türlerinin kapasite, ticari hız ve sürelere göre teknolojik açıdan sıralaması ise Tablo 5’ de gösterilmektedir.

Araç Cinsi	Taşıma Kapasitesi (Kişi)	Araçlar Arası Süre (saniye)	Hat Taşıt Kapasitesi (taşıt / saat)	Hat Yolcu Kapasitesi (yolcu / saat)	Ticari İşletim Hızı (km./saat)
Otomobil	5	8	450	2.250	15/50
Dolmuş	7	12	300	2.100	12/20
Minibüs	11	15	240	2.640	12/16
Otobüs	96	30	120	11.520	10/16
Tramvay	250	45	80	20.000	15/30
Metro	1.000	90	40	40.000	15/30
Tren	2.000	120	30	60.000	20/40

Tablo 5. Ulaşım Türlerinin Teknolojik Özellikleri

Kaynak: Saatçioğlu, C. ve Yaşarlar, Y., Kentiçi Ulaşımında Toplu Taşımacılık Sistemleri İstanbul Örneği 2012

3.1. Toplu Ulaşımından Beklenen Özellikler:

3.1.1. Teknolojik Özellikler

Toplu ulaşım sistemlerinin tercih edilmesinde önemli yere sahip olan özelliklerin başında teknolojik özellikler gelmektedir. Yolcuların tarafından, bu sistemlerin (araçların) yeterli konfora sahip olması, yolcu kapasitelerinin yeterli olması, sefer sıklıkları, seyahat süreleri, yolculuk maliyetleri, sistemin güvenli olması yolcuların beklentileri kapsamaktadır. Sistemin enerji tüketimi, kapasitesi, altyapısı, sistemlere

ulaşım rahatlığı (erişilebilirliği) ve dış ortamlardan etkilenmemesi (durak, istasyon yapıları vb.) bileşenleri ise teknolojik özelliklerin içerisinde yer almaktadır.

Fiziksel zerklik açısından incelendiğinde, ulaşım türlerinin birbirinden bağımsız olması işletmeci açısında kolaylık sağlamaktadır. Kullanıcı bakımından ise düzenlilik sağlamaktadır. Ortak alt yapı kullanan düşük kapasiteli araçlar için özerklik yoktur. Bu sınıfta yer alan otomobil, dolmuş ve minibüs gibi araçların kendilerine özel ayrılmış olan yolları olmadığı için diğer araç türleri ile aynı alt yapı üzerinde hareket etmektedir. Ortak alt yapı kullanan düşük kapasiteli araçlar için özerklik yoktur. Bu fiziksek özerklik kısmında diğer araçlar ile etkileşimde olmalarına ve trafik yoğunluğuna maruz kalmalarına neden olmaktadır. Fakat tam tersi durumda ise alternatif yollar kullanma imkanına sahip olmaları sayesinde “yarım veya tam” esneklik imkanlarından bahsedilebilmektedir. Tramvay ve otobüsler için özel şeritli yolların ayrılmasıyla yarım zerlik sağlanabilir. Metro ve trende tam özerklik vardır. Kendilerine ait hatlarında bir başka ulaşım türü kullanılmamaktadır. Karayolu araçlarının izlemesi gereken güzergahlar değişiklik gösterebilmesine rağmen belirlenmiş sabit hatlarının olmasından dolayı raylı sistemlerde böyle bir esneklik bulunmamaktadır. Toplu taşıma araçlarına ait fiziksel özerklik ve trafik esneklik özellikleri ile Tablo 6’ da görülmektedir.

Taşıma Türü	Fiziksel Bağlılık	Esneklik
Binek Araç	Bulunmamakta	Tamamen
Dolmuş	Bulunmamakta	Orta
Minibüs	Bulunmamakta	Orta
Otobüs	Orta	Orta
Tramvay	Orta	Bulunmamakta
Metro	Tamamen	Bulunmamakta
Tren	Tamamen	Bulunmamakta
Vapur	Tamamen	Orta

Tablo 6. Kentiçi Toplu Ulaşım Türlerinde Fiziksel zerklik ve Trafik Esnekliği

Kaynak: Baştuğ, G., Kentiçi Raylı Toplu Taşıma Sistemleri İncelemesi ve Dünya rnekleri ile Karşılaştırılması 2014

Yolcular bakımından incelendiğinde ise bir başka etken kullanıcıların kendilerini toplu taşıma aracı içerisinde emniyette hissetmeleri kriteridir. Bu kriter sadece araç içini kapsamamakta, yolcuların bekleme yaptıkları duraklar, istasyonlar vb. yerleri de kapsamaktadır. Raylı sistemlerin güzergahları kendine özgü olduğu için kaza oranları nispeten diğer ulaşım türlerine göre daha düşüktür. Tablo 7’ de ulaşım türlerinin güvenlik yönünden karşılaştırmaları görülmektedir.

Ulaşım Türü	Güvenlik
Otomobil	Çok Düşük
Dolmuş	Düşük
Minibüs	Düşük
Otobüs	Düşük
Tramvay – HRS	Yüksek
Metro	Çok Yüksek
Tren	Çok Yüksek

Tablo 7. Kentiçi Toplu Ulaşım Türlerinin Güvenlik Açısından Karşılaştırılması

Kaynak: Şenlik, İ., Kentiçi raylı ulaşım sistemlerinin değerlendirilmesi, 2013

3.1.2. Ekonomik Özellikler

Toplu ulaşımdan beklenen diğer özelliklerden biri ise, o sistemin ekonomik yapısı ile ilgilidir. Ekonomik özellikler arasında, sistemin altyapı ve işletme maliyetleri önemli bir yer tutmaktadır. Bu maliyetlerden, sistem kapasitesi, altyapı türü, ekonomik ömrü, sistemin yapılması sırasında kullanılan finansman ve faiz oranları ve ayrıca sistemi yapabilmek için harcanan kamulaştırma giderleri altyapı maliyetleri arasında yer almaktadır. Maliyet açısından bakıldığında diğer önemli bir kısım ise işletme maliyetleridir. İşletme tipi ve şekli, personel giderleri, bakım-onarım giderleri, yakıt ve enerji giderleri, taşıt sayısı, sistem kapasitesi ve kiralama giderleri işletme maliyeti olarak sayılabilmektedir. İşletme maliyetleri 3 ana gruba ayrılmaktadır.

1. Mesafeye bağlı işletme giderleri; Araçların harcamış olduğu enerji, yakıt, bakım ve onarım masraflarıdır.
2. Zamana bağlı işletme giderleri; ilgili zaman diliminde çalıştırılan personel giderleridir.

3. Yola bağılı işletme maliyetleri; Toplu taşıma türünün kullandığı yol üzerindeki sinyal işaretleri, enerji iletim hatları ile yol bakım onarım masraflarını içermektedir.

Toplu ulaşım sistemlerinin işletme maliyetleri olarak karşılaştırılması Milyon \$ cinsinden Tablo 8’ daki şekilde olmaktadır.

Toplu Taşıma Türü	Otobüs	Metrobüs	Tramvay	Hafif Raylı Sistem	Metro
Km Başına Yolcu	3 ile8	8 ile12	3 ile12	12 ile 15	15 ile23

Tablo 8. Kentiçi Toplu Ulaşım İşletme Maliyetleri (1/100 \$)

Kaynak: Şenlik, İ., Kentiçi raylı ulaşım sistemlerinin değerlendirilmesi, 2013

Bir sistem yapılırken, harcanan yatırım maliyetlerinin hepsi o sistemi oluşturan yapıları kapsamaktadır. Bunlar arasında; yol, araç, sinyalizasyon sistemleri, duraklar, istasyonlar, depo ve atölyeler, sistemin fizibilite, etüt ve proje mühendislik maliyetlerini kapsamaktadır. Toplu ulaşım sistemlerinin yatırım maliyetleri olarak karşılaştırılması ise Milyon \$ cinsinden Tablo 9’ da yer almaktadır.

Toplu Ulaşım Türü	Otobüs	Metrobüs	Tramvay	Hafif Raylı Sistem	Metro
Km Başına Yatırım Maliyeti	<0,5	2,0-10,0	5,0-10,0	10,0-30,0	40,0-90,0

Tablo 9. Kentiçi Toplu Ulaşım Yatırım Maliyetleri (Milyon \$)

Kaynak: Şenlik, İ., Kentiçi raylı ulaşım sistemlerinin değerlendirilmesi, 2013

Tablo 9’ dan anlaşılacağı üzere en yüksek yatırım maliyeti metro ve hafif raylı sisteminde oluşmaktadır. Karayolunu kullanan otobüslerin ise yatırım maliyeti en azdır. Kendine has özel bir şerit yapılan metrobüs sistemlerinde ise yatırım maliyetleri biraz daha artmaktadır. Tramvay sisteminde ise bazı yerlerde yol kullanımı ortak olup karma trafik kapsamında değerlendirildiğine yatırım maliyeti otobüs dışındaki diğer türlerden daha azdır. (Çakır, 2010).

Toplu taşıma sistemlerinin ekonomi yönünden incelemesinde, bir yolcunun bir durakta beş dakika beklemesinin normal varsayıldığı bir sistemde ve bir yöndeki saatlik yolcu talebinin ise aşağıda durumlarda olması halinde;

Yolculuk sayısı 92' den az ise dolmuş,

Yolculuk sayısı 92 – 225 kişi arasında ise minibüs,

Yolculuk sayısı 225 – 6.400 kişi arasında ise otobüs,

Yolculuk sayısı 6 bin –12 bin kişi arasında ise özel yollu otobüs,

Yolculuk sayısı 12 bin – 32 bin arasında ise tramvay ve hafif raylı sistemin,

Yolculuk sayısı 32 binden fazla ise metro ya da tren ile taşımacılığın,

Ekonomik olarak kabul edildiği varsayılmaktadır. (Şenlik, 2016:37).

İlk yatırım maliyetleri açısından incelendiğinde ise,

- Otobüs işletmeleri açısından mevcut taşıt maliyeti %50 ve altyapı maliyeti %50,
- HRS için taşıt maliyeti %15 ve altyapı maliyeti %85,
- Metro sistemleri açısından ise için taşıt maliyeti %20 ve altyapı maliyetinin %80,

olduğu tespit edilmiştir. (Grava, 2002).

Ulaşım ile ilgili planlamalarda herhangi bir trafik koridorunda bir yöndeki en yüksek saatlik yolculuk talep düzeylerinde göre ulaşım tipleri belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, yolculuk talep düzeyi saatlik olarak 6 ile 12 bin kişi civarında olduğunda en uygun ulaşım türü otobüs ve metrobüs olarak görülürken daha yüksek taleplerde örneğin 12-32 bin yolcu aralığında ise tramvay ve hafif raylı sistemlerin etkin bir ulaşım türü olduğu yine aynı şekilde 30 bin yolcu talebi üzerinde ise metroların veya banliyö hatlarının elverişli olduğu tespit edilmiştir. (Murat ve Şahin, 2010).

3.1.3. Çevresel Özellikler

Son olarak toplu ulaşımdan beklenen özelliklerden diğerleri hem insanlar hem de dünyamız için olan çevresel etkilere dir. Planlanan sistemin ekolojiye etkisi önem arz etmektedir. Sistemin bu anlamda etkileri arasında; hava kirliliği, gürültü, çevresel kaza ve kirlilik faktörü sayılmaktadır. Elektrikli raylı sistemlerin çevre kirliliğindeki payı %5 civarında ve karayollarının ise payı %85 dolaylarındadır. Bir tren 42 km seyir sonucunda

dış ortama 1 kg karbon dioksit çıkartırken, benzer miktar için otobüste 12 km, otomobil ve uçakta ise 7 km’de yol gidilmesi gerekmektedir.

Gerek lastik tekerlekli gerekse raylı sistemlerde gürültü ayrıca önem içermektedir. Toplu taşıma sistemleri içerisinde, rahat bir yolculuk için gürültü seviyesi üst seviyesi 65 dB civarındayken, 75 ile 120 dB arası zarar verici olarak tanımlanmaktadır. Almanya’ da yapılan başka bir çalışmaya göre ise raylı sistemlerde yolcu ve yük taşımacılığını diğer türlere göre enerji tüketiminin az olduğu ortaya çıkartılmış ve karayolunda tüketilen enerji miktarının raylı sistemlerde tüketilen enerji miktarının üç katı olduğu ortaya konulmuştur. Uluslararası Demiryolları Birliği tarafından hazırlanmış olduğu bir raporda bir yolcu başına 1kwh enerji tüketiminde, raylı sistemler ile 5 km, karayolu aralarıyla 1,7km ve hava yolu taşıtlarıyla ancak 1,1 km seyahat edebileceği ortaya çıkmıştır. (Saatçioğlu ve Yaşarlar, 2012:117).

4. RAYLI SİSTEMLER VE DİĞER ULAŞIM SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Buharlı lokomotiflerin 1804 yılında Birleşik Krallıkta Richard Trevithick tarafından keşfedilmesiyle birlikte, modern anlamda demiryolu ulaştırma hizmetlerinin başladığı bilinmektedir. Böylece, insanlar ve hayvan gücü ile yapılan taşıma hizmetinin yerini bir başka sistem olan mekanik çekme kuvveti almıştır. Lokomotifin ilk keşfedenler olarak kabul edilen İngilizler ve Amerikalılar ile birlikte Fransızlar’ da kendi ülkelerinde çeşitli kent ve bölgeler arasında demiryolu hatlarının döşenmesi faaliyetlerini hızlandırmışlardır. Böylece diğer Avrupa ülkeleri de bu yenilikleri takip etmişlerdir.

Ülkemiz büyük kentlerinde yaşanan nüfus artışından dolayı evlerin ve işyerlerinin genişleyen bir alana yayıldığı görülmektedir. Bununla beraber, yolculuk talepleri gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle sınırlı toplu taşıma olanakları artık yetersiz hale gelmektedir. Bu yolculuk taleplerinin yaygın olarak kullanılmakta olan mevcut otobüs sistemi ile yapılması yetersiz olduğundan artan taleplerdeki taşıma koridorlarında raylı sistem taşımacılığı yapılması önemli bir hal almaktadır. Kentiçi raylı sistemlerin ülkemizdeki gelişimi 1980’ li yıllarda başlamış olup çoğu büyük kentlerde, ulaşım sorunu ile raylı sistemleri özdeşleştirir hale gelmiştir. (Murat ve Şahin, 2010).

Toplu taşıma türlerinde geçiş üstünlüğü ticari hızlarda önemli etken olmaktadır. Ticari hızın değişkenlik göstermesi taşıtlar arası süreyi, sefer sayısını dolayısıyla taşıma kapasitesini de etkilemektedir. Örneğin tramvay ve HRS için hemzemin geçitlerde geçiş üstünlüğü bulunmakta ve bu nedenle kavşak bölgelerinde minibüs, otobüs gibi lastik tekerlekli toplu taşıma araçlarının bekleme süreleri artarak ortalama ticari hızları düşmektedir. Bunun tersi durumda olan karma trafiğin görüldüğü hem cadde tramvayının hem de araçların ortak kullanıldığı açık hatlı trafikte ise araçlardan kaynaklı bekleme, kazalar ve arızalar nedeniyle bu tür tramvay sistemlerinde de duraksamalar gözlenebilmektedir.

Kent içinde kullanılan raylı sistem türleri genel trafik içerisinde “kontrollsüz, yarı kontrollü ve tam kontrollü” olarak üç türe ayrılmaktadır. Metro ve banliyö sistemleri, diğer trafikten ayrı bir yola sahip olduklarından çevresel etkilerden etkilenmeyen veya en az etkilenen sistemlerdir. Bu ulaşım türleri tam kontrollü raylı sistem türünde yer alır.

Karma trafikte yer alan hafif raylı sistemler ise kontrolsüz, bölünmüş yola sahip (çevre koruma duvarları ve tel çitler şeklinde önlemler alınmış) tramvay hatları ise yarı kontrollü sistem türü olarak adlandırılır. Kentiçi toplu ulaşım türleri geçiş üstünlüklerine ait bilgiler Tablo 10’ da yer almaktadır. (Baştuğ, 2014).

Karma trafik içinde hareket eden sistemler	Kontrolsüz	Otobüs, minibüs vb.
Parçalı özel hatta sahip olan türler	Yarı kontrollü	Tramvay Sistemleri
Tam özel yola sahip türler	Bütün kontrollü	HRS, metro vb.

Tablo 10. Kentiçi Toplu Ulaşım Türleri Geçiş Üstünlükleri

Kaynak: Baştuğ, G., Kentiçi Raylı Toplu Taşıma Sistemleri İncelemesi ve Dünya Örnekleri ile Karşılaştırılması, 2014

Tramvay ve Hafif raylı sistemler, otobüs ve metro türleri arasında kalan bir toplu ulaşım türüdür. Diğer türlere göre en belirgin üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Raylı sistemler maliyet açısından ve şehre adaptasyon açısından daha esnek bir yapıdadır.
 - Hat yapısı metro sistemine benzer şekilde tam olarak ayrılmış olması gerekmemektedir
 - Metro sistemlerine kıyasla yatırım maliyeti daha düşüktür.
 - Araçların ebatları diğer raylı sistem türlerin göre daha esnektir.
 - Fosil yakıt kullanan araçlara göre HRS’ ler çok daha az enerjiye karşın daha fazla kişiyi ulaşım imkanı sunar.
 - Düşük kaza riskleri ve dış hava şartlarından etkilenmeden işletilebilmektedirler.
 - Titreşim, gürültü ve hızlanma açısından konforlu olup insanlara cazip gelmektedir.
 - Fosil yakıt kullanan araçlar gibi lokal hava kirliliği yaratmamaktadır.
- (Cirit, 2014).

Kent içi raylı sistem yatırımlarının yapılma kararında sadece nüfusun etkili olmadığı ise nüfusları 100 bin ile 11 milyon arasında değişen ve 123 Avrupa şehrini kapsayan bir çalışma yapılarak incelenmiştir. Bu çalışmada, kent içi raylı sistemlerden tramvay, HRS ve metro sistemleri ile nüfus yoğunlukları arasında bir karşılaştırma

yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda toplam demiryolu hat uzunluğu ile kent nüfusu açısından doğrudan bir ilişki tespit edilememiştir. (Öğüt ve Evren, 2006). Böylece raylı sistem ihtiyaçlarının, sadece nüfusla ilişkili olmadığı, o kentin arazi, çevresel faktörleri, kentin sosyal ve ekonomik gücü şeklinde farklı değişkenlerine de bağlı olduğu anlaşılmıştır. Bu noktada raylı sistem proje türü ve yatırımları seçiminde doğru karar vermenin önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Proje seçimi için yapılan etütlerde o kentin ihtiyacı olan toplu taşıma sistemi tek bir tür olarak değil alternatif türlerde incelenerek yapılmaktadır. Yatırım seçimlerinde; yapılmış olan “Ulaşım ana planları” ve “Fizibilite Etütleri”; Trafik akışı, yolcu ve maliyet tahminleri, nüfus yoğunluğu, şehrin nüfus artışı ve genişleme bölgelerinde (organize sanayi, toplu sosyal alanlar ve konut bölgeleri) karar vermede etkin bilimsel gerçekleri de içermelidir.

Kentiçi toplu taşıma türleri karşılaştırıldığında her sistemin kendine özgü artıları ve eksileri olduğu bilinmektedir. Karşılaştırmalarda öne çıkan çeşitli faktörler aşağıdaki şekildedir.

- Yolcuları etkilemesi bakımından,
- Bilet fiyatları, yolculuk süresi vb. gibi,
- Kentte yaşayan diğer insanlar açısından,
- Enerji ihtiyacı, çevre kirliliği vb. gibi,
- Kent ve trafik yönünden,
- Şehir yapısına uygunluğu,
- Ulaşım işletmecisi yönünden,
- Maliyet vb. etkenler

Şeklinde göze çarpmaktadır. (Çakır, 2010).

Raylı sistemler, birçok avantaja sahiptirler. Bu nedenle küçük yerleşim birimlerinden büyük kentlere kadar çok farklı ölçekli alanında öncelikli olarak tercih edilmektedir. Bunlardan bazıları, modern, güvenli, konforlu ve hızlı olmasıdır. Ayrıca trafikten etkilenmemesi ve herhangi bir trafik sıkışıklığına sebebiyet vermemesi de avantajlarından bir tanesidir. Diğer taşıma türlerinden olan karayolu taşıma sistemlerine göre daha az gürültülüdür. Havayı daha az kirlletmesi ise başka avantajlarından

sayılmaktadır. Farklı iklim koşullarında diğer ulaşım türlerine göre daha az etkilenmektedir. Trafikte ise kaza riskinin oldukça düşük seviyededir. Taşıdığı yolcu sayısına oranla karayolu taşımacılığının daha az alana ihtiyaç duyması ise diğer tercih sebepleri arasında yer almaktadır. Fayda ve maliyet açısından karşılaştırılır ise uzun süreçte diğer türlere göre daha yüksek değerlere sahiptir. Daha az enerjiye ihtiyaçduyması ise diğer faydaları arasında sayılabilmektedir. (Kırlangıçoğlu, 2016:53).

Yolcu Taşıma Sistemi	Yolcu Kapasitesi (Yolcu/saat/yön)
Banliyö Trenleri / Metro	40.000-60.000
HRS (LRT / HRS)	15.000-22.000
Metrobüs	12.000-20.000
Körüklü Otobüsler	10.000-15.000
Otobüs	8.000-12.000
Minibüs	6.000-10.000
Otomobil	2.000-5.000

Tablo 11. Kentiçi Toplu Ulaşım Türleri Yolcu Kapasiteleri

Kaynak: Baştuğ, G., Kentiçi Raylı Toplu Taşıma Sistemleri İncelemesi ve Dünya Örnekleri ile Karşılaştırılması, 2014

Raylı sistemler ile diğer ulaşım türlerinin yolcu-km başına enerji tüketim miktarları olarak karşılaştırıldığında ise diğer toplu ulaşım türlerinin sistemlerinin birbirine yakın seviyede enerji tükettiği görülmektedir. Tablo 12’ deki verilen ulaşım türüne göre enerji tüketimlerini göstermektedir.

Sistem Tipi Enerji Tüketimi	Sistem Tipi Enerji Tüketimi
Otomobil	515
Dolmuş	241
Minibüs	134
Otobüs	96
Tramvay	112
Metro	97
Tren	100

Tablo 12. Kentiçi Toplu Ulaşım Türleri Yolcu-Km Başına Enerji Tüketimleri

Kaynak: Baştuğ, G., Kentiçi Raylı Toplu Taşıma Sistemleri İncelemesi ve Dünya Örnekleri ile Karşılaştırılması, 2014

4.1. Kentiçi Raylı Sistem Türleri

Büyük kentlerde nüfusların yerleşimine bakıldığında, şehir merkezlerinde bir yoğunluk görülmektedir. Ayrıca, şehir dışındaki bölgelerde de orta derecede yoğunluk gözlemlenmektedir. Tramvay, HRS, metro ile birlikte metrobüs duraklarının sıklığı şehir merkezlerinde yüksek sayıda iken, şehir merkezi dışlarında ise sadece banliyö sistemleri hizmet vermektedir. (Bakioğlu ve Gökaşar, 2018:549).

Kentiçi raylı sistemler incelenirken kendi aralarında bir sınıflandırma yapılmıştır. Metro, hafif metro ve tramvayı birbirinden ayıran başlıca karakteristik özellikleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır; (Çağlayan, 1995).

- Raylı sistemin yolcu kapasitesi,
- Raylı sistem için tasarlanan ve gerçekleşen ticari (işletme) hızları,
- Raylı sistemde bulunan araçlar açısından,
 - Aracın boyutları, (genişlik, uzunluk ve yüksekliği)
 - Aks yapıları ve konumları,
 - Çekiş gücüne ilişkin veriler,
 - Frenleme sistemi yapısı,
 - Dizi oluşturabilme kapasitesi,
 - Tek veya iki yöne işletim yapabilmesi,
 - Araç içi taban tipi alçak veya yüksek olması,
 - Oturma ve ayakta yolcu kapasitesi,
 - Kapı konumları, tipleri ve yönleri,
- Raylı sistemin hat alt ve üst yapısı,
 - Diğer ulaşım türü trafiklerinden ayrı olabilmesi,
 - Hatların ve yapıların geometrik özellikleri, (yatay ve düşey kurbalar, dever vb.)
 - Hat yapı ve bağlantı tipleri, (ray, travers, balast vb.)
 - Elektrifikasyon sistemi, (Enerji beslemesi)
- Raylı sistemin önemli unsurlarından olan sinyalizasyon sistemi,
- Karayolu ve diğer ulaşım türleri ile entegrasyon tipleri,
- Durak veya istasyonlar açısından,
 - Durak-istasyon aralıkları,

- Platform yükseklikleri, (alçak, yüksek platformlu)
- Platform boyutları, (genişlik uzunluk vb.)
- Ücret toplama tipleri

Aynı zamanda Kentçi raylı sistemler iki ayrı sınıfta toplanmaktadır.

- HRS
- Ağır Hizmet Demiryolu Sistemleri

Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği'nin "Uluslararası Hafif Raylı Sistemler Komisyonu"nda "Hafif raylı sistemler; kendi geçiş hakkında, yeraltında, yer seviyesinde veya yükseltilmiş şekilde işletilebilen, modern tramvaydan hızlı transit sistemine kadar aşamalı bir şekilde geliştirilebilen ray temelli bir taşımacılık biçimidir". Şeklinde tanımlama yapılmıştır.

Genel itibariyle "Hafif raylı taşımacılık" sistemini; bir araç veya kısa araç dizileri halinde çalıştırılan, zemin seviyesinde veya yükseltilmiş zeminlerde kendine has yolları olan veya çoğunlukla diğer taşıtların yollarını kullanan bir kentiçi elektrikli ulaşım sistemi şeklinde tanımlanmaktadır. Ayrıca hızla büyüyen gelişmiş kentlerdeki toplu yolcu taşıma ihtiyacı için geliştirilmiş ve günümüzdeki bu büyüyen kentlerdeki yaşamı ve ulaşımı kolay hale getiren elektrikle araçlardan oluşan bir sistem olarak tanımlamakta mümkündür.

Tramvay, hafif raylı sistemlerden sayılmaktadır. HRS' lerde araçlar kent içi yollarda diğer araç trafiklerinden ayrılmış veya ortak şekilde hareket etmektedir. Taşıtlar, 1100 ile 1400 kg/metre uzunluğundadır.

Bir başka raylı sistem sınıflandırması olan ağır raylı sistemlerde araçlar diğer ulaşım türü sistemlerinden bütünüyle ayrılmış olan hatlarda işlemektedir. Ağır raylı sistem taşıtları genelde 10 metreden uzun, 2,5 ile 3,0 metre aralığında genişliğindedir. İşletim hızları ise HRS' ye göre daha fazladır. Ağır raylı sistemlere örnek olarak metro ve banliyö sistemleri gösterilmektedir.

Son zamanlarda yaşanan teknolojik gelişimler ve ortaya çıkan ihtiyaçlar neticesinde raylı sistem kavramı değişmiş ve esnek bir yapı haline gelen yeni sistemler ortaya çıkmıştır. Bu gelişim sonucunda tramvay ve metro sistemleri arasındaki kapasite farkından dolayı bu aralıkta bulunan kendine yer edinmiş "hızlı tramvay, hafif metro" vb. kavramlar ile anılan yeni raylı sistemler oluşması şeklinde kendini göstermiştir. (Gündüz vd., 2011:134; Hamurcu

vd., 2017:291) Tablo 13’ de en yaygın olan kentiçi raylı sistemlerin teknolojik özelliklerinin karşılaştırılması yer almaktadır.

Araç Özelliği	Tramvay	HRS	Metro
Araç Kapasitesi (Yolcu)	100 ile 250	110 ile 250	140 ile 280
Araç boyu (m)	14 ile 35	14 ile 54	15 ile 23
Araç eni	2,2 ile 2,7	2,2 ile 3,0	2,5 ile 3,2
Taşıma kapasitesi (yolcu)	100 ile 500	100 ile 750	140 ile 2400
Hat kapasitesi (bin yolcu/saat)	4 ile 15	6 ile 20	10 ile 70
Normal işletim hızı (km / saat)	12 ile 20	20 ile 45	25 ile 60
Durak aralığı (m)	300 ile 500	500 ile 1000	500 ile 2000
Ücret toplama	Araçta	Araç/istasyonda	İstasyonda
Enerji besleme	Kataner	Kataner	Kataner- 3. ray
Güvenilirlik	Düşük-orta	Yüksek	Çok yüksek

Tablo 13. Raylı Sistem Teknolojilerinin Karşılaştırılması

Kaynak: Birgören, B., Yalçinkaya, M., İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesinde Hata Türleri ve Etkileri Analizinin (FMEA) Kullanımı, (2019).

4.1.1. Tramvay Sistemi

Tramvay sistemlerinin ilk olarak 1800’lü yıllarda binek hayvanlar ile hareket ettirilen ve raylar üzerinde giden toplu taşıma sistemi olarak kurulduğu bilinmektedir. İlk elektrikli tramvay ise 1881 yılında Almanya’ da kullanılmıştır. Bu tarihten itibaren atlar vasıtasıyla çekilen tramvaylar yerine elektrikli tramvaylar kullanılmıştır.

Tramvaylar, mevcut şehir içi yolların üzerinde döşenen hatlarda elektrikle çalışmaktadır. Yol ve trafiğe göre bir sürücü vasıtasıyla kumanda edilmektedir. Alçak zemindeki giden toplu taşıma sistemleri olup, çoğunlukla karma trafikte işletim yapmaktadır. Tramvaylar genellikle bir veya iki araçlık diziler halinde hemzemin ve trafik ile karışık olarak işletilmektedir Araçlar 4 veya 6 akslı olup boyları ise 14 ile 21 m arasında ve genişlikleri ise 2200 mm ile 2650 mm arasında değişmektedir. İki veya üç araçlık dizi kullanımına göre durak dizaynı en fazla 60 m civarındadır. Yolcu taşıma kapasiteleri 100 ile 180 kişidir. Bu kapasitenin ise %20-40’ oturma yeri olarak planlanmıştır. İşletim hızları trafik ile karışık işletildiğinden ve durak aralıkları daha

yakın olduğundan diğer sistemlere göre daha düşük olup, maksimum 20 km olup ve ortalama hareket hızları saatte 15-30 km'dir. İstasyon aralıkları 400 ile 600 m aralığındadır. Şehir içinde çevrenin temiz kalması ve enerji tasarruflu olması açısından avantajlıdır. Karma trafikte 1 dk. arayla işletilen tramvay sistemlerinde kapasite 6.000 yolcu/saat/yön iken araç tipleri değişikliği ile bu sayı 12.000 yolcu/saat/yön çıkabilmekte ve bunun yanında diğer trafikten ayrıldığı taktirde ise 15.000 yolcu/saat/yön olduğu görülebilmektedir. Tramvay hatları yapılırken büyük çaplı inşaat çalışmaları gerekmemektedir. Diğer türler ile mevcut yollar kullanıldığından dolayı çoğunlukla maliyet diğer türlere göre daha düşüktür. Dünyanın çoğu şehrinde kullanılan tramvay hatlarında durak olarak otobüs durakları veya benzer yapıdaki bekleme noktalarından kullanılmaktadır. Günümüzde karma trafikten ayrılan tramvay sistemleri; ayrılmış yollarda yer alınmaktadır. Böylece karayolları taşıtlarına göre avantaj elde etmektedirler. Bu sebepten dolayı daha etkindirler. Yatay ve düşey geometrik özelliklerinden dolayı normal karayolu geometrilerine yakındırlar. Kurp yarı çapları minimum 20 m ye kadar düşmekte ve eğimleri ise %8 lere kadar çıkabilmektedirler. Tramvay sistemlerinde enerji elde edilmesi kataner diye adlandırılan havai enerji besleme sistemleri üzerinden yapılmaktadır. Genellikle kataner hatlarında 750VDV enerji kullanılmaktadır. Ayrıca tramvay sistemleri ray açıklığı olarak genellikle 1435 mm olarak tercih edilmektedir. (Akman ve Alkan, 2016:54; Baştuğ, 2014; Cirit, 2014; Grava, 2002).



Şekil 4. Antalya Nostalji Tramvay Aracı

Kaynak: <https://www.hurriyet.com.tr/seyahat/bu-tramvay-akdeniz-nostaljisine-gider-41987412> (Erişim tarihi 01/09/2022 – 14:00)



Şekil 5. İstanbul Taksim Nostalji Tramvay Aracı

Kaynak: https://tr.wikipedia.org/wiki/İstanbul_nostaljik_tramvayı

(Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

4.1.2. Hafif Raylı Sistem

Hafif raylı sistemler 1970' li yıllarda mevcut tramvay sistemlerindeki gelişme ile ortaya çıkmıştır. HRS' ler tramvay sistemlerinden daha yüksek yolculuk taşıma kapasitesine sahip sistemlerdir. HRS' ler tramvay sistemlerinden daha yüksek kapasiteli olmasına rağmen metro sistemlerinden daha düşük kapasiteye sahiptirler. Yolculuk ihtiyaçları yüksek olan ulaşım sistemlerinde esas ulaşım sistemi olarak tercih görmektedirler. Hafif raylı sistemler, tek veya birkaç araçlık diziler halinde işletilebilen zemin seviyesinde ya da yükseltilmiş zeminlerde cadde boyunca ve genellikle diğer ulaşım türleri trafiğinden ayrı kendilerine has özel yolları olan tecritli ve güvenli sistemlerdir. HRS araçları ise ortalama 2-7 aksa sahip olup en çok 6 veya 8 akslı ve 3 çift araçlı dizilerden oluşur. Uzunlukları 18-42 metre arasında ve genişlikleri ise genellikle 2650 mm olan araçlardır. Vatman denilen sürücü tarafından sinyalizasyon sistemli kumanda edilen ve her 600 ile 1000 m arasında durakları olan ve oturma kapasitesi %20-50 olan ve ortalama 300 yolcu kapasiteli dizilere sahip sistemlerdir. HRS araçları en fazla 70-80 km/ saat hıza sahip olup ortalama 42-45 km/saat (bölünmüş hatlarda) hız ile özel ait hatlarda işletilmektedirler. Saatlik yolcu kapasiteleri maksimum 35.000 yolcu/yön olup ortalama, 10 bin ile 20 bin kişi arasında değişmektedir. HRS durakları boyları ise 70 ile 100 metre arasında değişmektedir. Çiftli veya üçlü dizilerde taşıma kapasite 1.000 kişiye kadar çıkabilmektedir. Tramvay hatlarının diğer karayolu hatları ile kesiştiği

kavşaklarda ayrılmadığı (viyadük veya yer altı geçiş) taktide işletim hızlarında ciddi bir düşüş gözlenmektedir. Ortalama işletme hızları bu şekilde yapılmadığı takdirde 18-40 km/saat e kadar düşmektedir. Hafif raylı sistemlerinde, enerji ihtiyacı kataner (konvansiyonel) ya da rijit kataner veya 3. Ray olarak adlandırılan havai enerji besleme hatları üzerinden yapılmaktadır. Genelde kataner hatlarında 750VDV veya 1.500 VDC enerji kullanılır. Şekil 6 ve Şekil 7’ de Antalya’ da bulunan farklı iki tip hafif raylı sistem tramvay aracına ait görseller bulunmaktadır. (Akman ve Alkan, 2016:54; Baştuğ, 2014; Cirit, 2014; Grava, 2002).

HRS kavramı mevcut sistemlerde tramvayları da kapsamaktadır. HRS’ ler, tramvaylardan farklı özellik ve tasarımlara sahiptir. Bir raylı sisteme HRS tanımlaması yapılabilmesi için taşıması gerekli özellikler aşağıdaki gibi olmaktadır;

- HRS hattı ile yolların kesiştiği noktalarda HRS araçlarına özel sinyalizasyon sistemli geçiş üstünlüğü olmalı,
- Yüksek taşıma kapasiteli araçlara sahip olan sistemlerde setler 2 ile 4 araçlık setler halinde işletilmeli,
- Araçlarda güvenli ve hızlı bir şekilde iniş ve biniş için birden fazla kapı bulunmalıdır,



Şekil 6. Antalya, Antray HRS Tramvayı Model 1

Kaynak: <https://www.antalyaulasim.com.tr/Haberler/Habericerik?Sayfa=1>
(Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)



Şekil 7. Antalya, Antray HRS Tramvayı Model 2

Kaynak: <https://www.antalyaulasim.com.tr/Haberler/Habericerik?Sayfa=1>
(Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

4.1.3. Metro Sistemi

Tramvay ve HRS'ler, kapasitelerinin gelişen kentlerdeki artan nüfus yoğunluğuna bağlı olarak artan uzun mesafeleri karşılayamayacak hale gelmiştir. Yüksek taşıma kapasiteli ulaşım sistemlerine ihtiyaç duyulmaya başlanması sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu soruna alternatif olarak ortaya 1863 yılında faaliyete geçen Londra Metropolitan metro Hattı olmuştur. Metro ile ulaşımın sisteminde yüksek yolcu kapasitesine sahip olunmasında 2 faktör etkilidir. Bunlardan ilki araçların yolcu taşıma kapasitesi ve ikincisi ise işletme sıklığı denilen arka arkaya gelen iki araç arasında geçen süredir.

Metro sistemleri diğer taşıma türlerinin trafiğinden tamamen ayrılmış olduğundan neredeyse hiçbir şekilde karayolu ile kesişmemektedir. Bu nedenden dolayı diğer türlerden daha hızlı bir işletim sunmaktadır. Herhangi bir dış etkene maruz kalmamaktadır. Kendilerine has hatlarda işletilen gelişmiş sinyalizasyon sistemlerine sahiptirler.

Mevcut yer yüzü yapısına bağlı şekilde tünel veya delme olarak inşa edilebilen metro sistemleri bazen yüzeyde veya viyadük üzerinde de inşa edilmektedirler. Bu nedenlerden dolayı daha büyük bir istasyon tasarımı ve çeşitli sanat yapılarına ihtiyaç duyulmakta ve

yatırım maliyetleri artmaktadır. Buna karşılık işletme giderlerinin en düşük olduğu sistemlerdir.

Genellikle 2-10 vagonan oluşan Metro sistemleri, 4 aksa sahip olup, 16 ile 23 metre uzunluğa ve 2,5 ile 3,2 metre arasında genişliğe sahiptirler.

Yolcu kapasiteleri açısından ise yüzde 25 ile 60 arasında koltuk kapasitesine sahiptirler. Ortalama olarak 8 araçlık diziler halinde çalışmaktadır. Çoğunlukla kentin merkez bölgelerinin ulaşım gereksinimlerini karşılamaktadır.

Tüm kentiçi ulaşım türleri arasında en hızlı olan türdür. Araç dışında ücret toplama sistemlerinin olması, platform ve istasyon yapılarının yüksek ve geniş olması, çift taraftan araç binış kapılarının olması avantajlarıyla, HRS araçlarından 3-5 kat daha fazla yolcu taşınabilmekte ve böylece kapasite bakımından yüksek kapasiteli olmaktadırlar. (60 bin kişi/saat) (100.bin kişi/yön) sistem olmaktadır.

Metro sistemlerinin diğer toplu taşıma türlerine göre sahip oldukları üstün özelliklerden bazıları aşağıdaki gibidir.

- Yüksek yolcu kapasitelerine sahip olması,
- Yeryüzü altında veya yükseltilmiş yollarda hareket etmesinden ötürü trafik sıkışıklığına ve problemlerine neden olmaması,
- Yolcu başına tüketilen enerji miktarının diğer türlere göre daha az olması,
- Fosil yakıtlı türlere göre) sera gazı emisyonunun olmaması,
- Yüksek hızlı ve kaliteli taşımacılığın yanı sıra emniyetli ve dakik bir ulaşım sağlaması şeklindedir. (Akman ve Alkan, 2016:54; Baştuğ, 2014; Cirit, 2014; Grava, 2002).



Şekil 8. İstanbul, Örnek Metro Aracı

Kaynak: https://en.wikipedia.org/wiki/Istanbul_Metro
(Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

4.1.4. Banliyö Sistemi

Banliyö sistem araçları genellikle metrolara benzetilmektedir. Birbirleri arasındaki en büyük fark banliyö trenlerinin hatları için genellikle konvansiyonel şehirlerarası raylı sistem hatları kullanılmaktadır. Yoğun kent dışı bölgelerinde hizmet veren Banliyö sistemleri kentin çevre ilçelerinin (banliyölerin) kent merkezi ile olan ulaşım bağlantısını sağlar. Bu bölgelerde mevcut trafik küçük hacimli olmasına rağmen gerek sanayileşme gerekse yerleşim yerlerinin kent dışına çıkması dolayısıyla nüfus yoğunluğu günden güne artmaktadır. Bu nedenle insanların kent merkezleri arasında ulaşım çift yönlü olarak önem kazanmaktadır. Banliyö sistemlerinin talep düzeylerine bakıldığında saatte 30- 35 bin yolcu olduğu görülmektedir. Bu yolcu talebi sayıları düzeylerini ulaşıldığında raylı sistem koridoru için metro ve bununla birlikte banliyö sistemleri olmaktadır.

İstasyon aralıkları mesafeleri çok fazla değişkenlik gösterdiği için ivmelenmeleri düşüktür. Yaklaşık 1 ile 5 km arasında değişen uzun mesafeli istasyon aralarına sahip olması banliyö trenlerinin şehir merkezinde kullanımını zorlaştırmaktadır. Ulaşabileceği en yüksek hız olarak 110 km / saat ile 130km / saat şeklindedir. Kent içi raylı sistem türlerinde en fazla yolcu kapasitesi banliyö sistemlerindedir. Tek yönde ve bir saatte, 110

bin yolcu taşıma kapasitelerine sahip olup ortalama bir saatte bir yönde 70 bin ile 75 bin arasında yolcu taşıyabilmektedir. (Bakioğlu ve Gökaşar, 2018:549; Çağlayan, 1995).



Şekil 9. İzmir, İZBAN Banliyö Sistemi Aracı

Kaynak: https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:IZBAN_E22107.jpg
(Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

4.1.5. Füniküler Sistemi

Bu sistemler genellikle şehir merkezlerinde kullanılmaktadırlar. Aralarında kot farkı olan iki farklı bölge arasında çalışmaktadırlar. Füniküler sistemler için hem asansör hem de demiryolu sistemlerinin birleşimi denilebilmektedir. Füniküler sistemlerinde esas demiryolları, eğimli bir arazi üzerinde insan veya eşya taşımak için kullanılmaktadır. Türkiye’ de; funiküler sistem olarak ilk kez 1875 yılında İstanbul’da Galata ve Beyoğlu (Pera) arasında “Tünel” ismiyle hizmete geçmiştir. Elektrik gücü yerine buhar gücü kullanılmıştır. İstanbul’ da bulunan bu sistem, İki İstasyon arasında, 61 m kot farkı bulunmaktadır. İki istasyon arası 573 m hat uzunluğuna sahip olan sistemde, 2 araç 3,5 dk. sefer aralığı ile çalışmakta ve günlük ortalama 12.500 civarında yolcu taşımaktadır. (Baştuğ, 2014).

İstanbul’ da yer alan bir diğer funiküler sistemi ise 2006 yılında hizmete F1 Taksim-Kabataş funiküler hattı’ dır. Kabataş istasyonu, deniz seviyesinden 16 m aşağıda bulunmaktadır. Taksim İstasyonu ile arasında ise 70 m yükseklik farkı bulunmaktadır. İki istasyon arasındaki eğim ise %22,19 derecedir. 640 m hat uzunluğuna sahip olan

sistemde, 4 araç 3 dk. sefer aralığı ile çalışmakta ve günlük ortalama 35.000 civarında yolcu taşımaktadır.



Şekil 10. İstanbul, Füniküler Tramvay Aracı

Kaynak: https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Istanbul_Tunel_Karakoy_Beyoglu.jpg
(Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

4.1.6. Monoray Sistemi

Monoray sistemleri yukarıdan yollu kısa mesafe elektrikli, toplu taşıma sistemidir. Yüksek kapasiteli beton ve/veya çelik kolonlarda asılı şekilde hareket etmektedir. Hızları ise 80 km / saat civarında sınırlanmıştır.

Monoray sistemleri tasarlanırken, hattın tek veya çift yönlü olma durumu etkili olmaktadır. Hattın tek veya çift yönlü olma durumundaki hat yapısı olası bir kazaya sebep vermeyecek şekilde tasarlanmaktadır. (Baştuğ, 2014; Taş vd., 2017:64).



Şekil 11. Örnek Bir Monoray Aracı

Kaynak: https://tr.wikipedia.org/wiki/Monoray#/media/Dosya:Monorail_Moskau_-_Einfahrt_in_Station_Telezentrum.jpg (Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

5. ANTALYA’NIN DEMOGRAFİK, SOSYAL VE EKONOMİK YAPISI

Antalya şehir 1970’li yıllar sonrasında hızla büyümeye başlamıştır. Bugün Avrupa’nın en önde gelen turizm merkezlerinden birdir. Özellikle 1980 yılı sonrası düzenli biçimde yaşanmış olan bu değişimde, Antalya’nın ekonomik bakımdan, tarımsal yapıdan önce sanayiye, sonrasında, turizm ve hizmetlere yönelişini ve kentin kimlik değişimini yansıtmaktadır.

Antalya’da 1970’de tarım, sanayi ve inşaat sektörleri temel sektörler iken, 1990’da tarım, ticaret, turizm ve ulaştırma ile toplum hizmetleri, temel sektörler olarak çıkmaktadır Antalya ili nüfus sayısı, TÜİK 2020 yılı verilerine göre 2.548.308 kişi olarak açıklanmış olup bu oran Türkiye nüfusunun yaklaşık %3,05 lik kısmına tekabül etmektedir. Bu oranla Antalya; diğer büyük şehirler arasında Türkiye’ nin en kalabalık 5. şehri olmaktadır. 2020 yılında ise Antalya’ nın net göç hızı %8,16 olarak verilmiştir.

İl merkezinde nüfusun artması ve Antalya genelinde olağanüstü artış nedeniyle şehir içi ulaşım sorunlarını da beraberinde gelmiştir. Ulaşım altyapısı, karayolu ulaşım ağı, toplu taşıma, ara toplu taşıma işletmeciliği, çevre yerleşimlere toplu taşıma servisleri, şehirlerarası ulaşım ve terminaller, kent içi yük taşımacılığı, yaya ve bisiklet kullanımını içermektedir. Her gün farklı amaçlar için yapılan yolculuklar insanların günlük ulaşım hareketini belirlemektedir. Antalya ilinde ulaşım ve trafik bilgilerinin toplanması amacıyla ilgili kamu ve özel kurum ve kuruluşlarla görüşülerek, ulaşım ve altyapılarına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Gösterge	Antalya İl Geneli	Ölçü Birimi
Yüzölçümü	20.177	Km ²
Nüfus	2.548.308	Kişi
Nüfus Yoğunluğu	126	Kişi/Km ²
Yıllık Nüfus Artış Hızı	11,6	%
Net Göç Hızı	8,16	%
Yüz bin Kişide Kişi Başına Mevcut Hastane Yatak Sayısı	294	Adet
Okuma Yazma Bilmeyen Sayısı	20.570	Kişi
Hastane Sayısı	47	Adet

(Tablo 14. Devam)

Otomobil Sayısı	552.589	Adet
Bin Kişi Başına Otomobil Sayısı	217	Adet
Kişi Başına Elektrik Tüketimi	3.461	kWh
İşsizlik Oranı	12,2	%
İşgücüne katılma Oranı	53,6	%

Tablo 14. Antalya İli Temel Ekonomik göstergeler

Kaynak: Kaynak: TÜİK

5.1. Antalya’da Kent Planlaması

Antalya’ da ilk Nazım İmar Planı Kaleiçi ve civarını içerecek şekilde önce 1956 ile 1959 yılları arasında daha sonrasında ise, İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından 1965 yılında hazırlanmıştır. 1976 – 1978 yılları arasında, İkinci Nazım İmar Planı gerçekleştirilmiştir. 1995 yılında ise üçüncü Nazım İmar Planı yapılmıştır. (Tezcan ve Ergün, 2005:439).

5.1.1. Yürürlükteki İmar Planı

Antalya Büyükşehir Belediye Meclisi’nin 594 sayılı meclis kararı ile 10.07.2017 tarihinde onaylanmıştır. Merkez ve çevre ilçeleri kapsamaktadır.

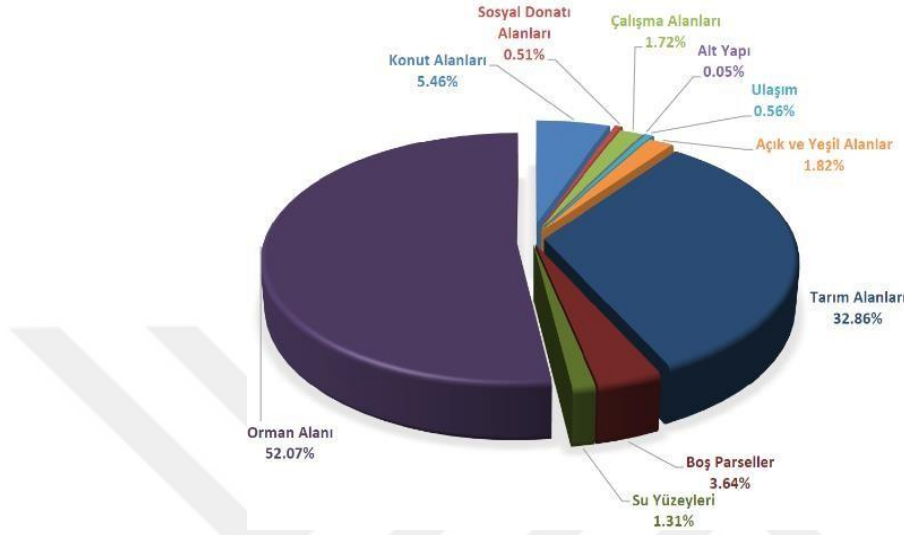
Toplu taşımanın da içinde bulunduğu “Ulaşım” Antalya ilindeki toplam yüzölçümü alan planı Şekil 12’ deki “Alan Büyüklükleri” grafiğinde görüldüğü gibidir.

5.1.2. Antalya 2040 Vizyonu

Antalya’ nın yükselişi, sosyal, ekonomik yönle birlikte yerleşim açısından bir değişime neden olmaktadır. Bunun sonucunda ise yeni sorunların oluşmaktadır. Mevcut sorunların çözüm arayışı ile yeni yaklaşımları da ortaya çıkmaktadır Antalya kentinin son 30 yıldaki gelişmesini belirleyen etkenler,

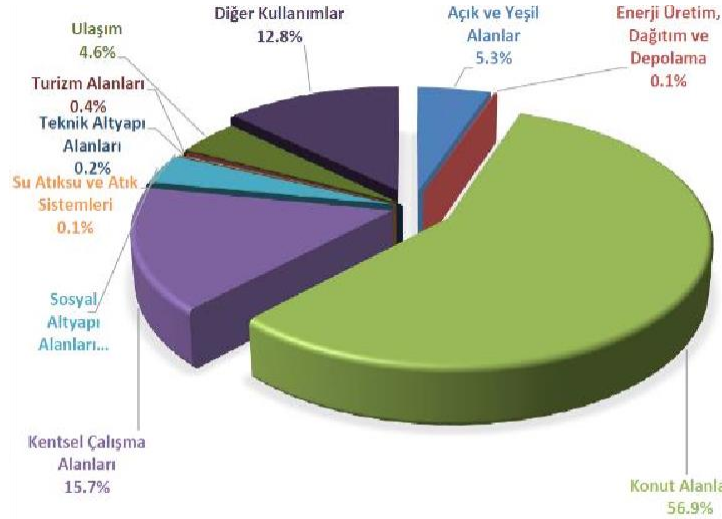
1. Nüfus artışı,
2. Hızlı kentleşme, mekânsal yığılma ve yayılma,
3. Havayolu ulaşımındaki gelişmeler,
4. Yönetim yapısındaki değişimler,

5. Hızlı tren, demiryolu hatları,
6. Mevcut karayolu ulaşım projeleri,
7. Uluslararası fuar ve tanıtım etkinlikleri,
8. Devlet turizm ve kültürel politikaları,



Şekil 12. Alan Büyüklükleri

Kaynak: Antalya Büyükşehir Belediyesi, Antalya 1-25.000 ölçekli İlave ve Revizyon Nazım İmar Planı Açıklama Raporu, 2017



Şekil 13. 2040 Yılı Antalya Yerleşme Alanlarının Ana Kullanımlara Göre Dağılımı

Kaynak: Antalya Büyükşehir Belediyesi, Antalya 1-25.000 ölçekli İlave ve Revizyon Nazım İmar Planı Açıklama Raporu, 2017

5.2. Ulaşım Ana Planı Çalışmaları

Nüfus ile ilgili veriler, nüfusun artış miktarları ile nüfusun ekonomik ve sosyal surumu, yerleşim dağılımı şeklindeki bilgiler, şehir planlamasında, mevcut yapının incelenmesi ve geleceğe ilişkin tahminlerin sağlıklı yapılmasında rol oynamaktadır. Bu bağlamda büyük kentlerde yapılması gerekli olan “Ulaşım Ana Planları” hazırlanmaktadır.

5.2.1. Ulaşım Ana Planı Tanımı

Ulaşım Ana Planı, kısaca UAP olarak bilinmekte ve yapısal olarak metodolojik bir süreçten oluşmaktadır. Matematiksel metotlar ile talep ve tahminlerle birlikte kurulumunu hedefleyen şehirlerin 15 ile 20 yıl civarındaki hedefleri doğrultusunda kapsamlı bir çalışmadır şeklinde açıklanmaktadır. Bu çalışma ile o kentteki insanların çeşitli taşıma sistemleri ile veya yaya şekilde hızlı ve güvenli bir şekilde ulaşması ve bu ulaşimleri sırasında şehrin gelişmesine ve ulaşım ile trafik şartlarının ise sağlıklı bir şekilde yapılan çalışmalar bütünüdür.

5.2.2. Ulaşım Ana Planının Amacı

UAP çalışması; uygulama yapılacak kentlerdeki, gelişen nüfus ve işgücü ile artan araç sayısına karşın kentsel yerleşim alanlarının büyümesi ve çeşitli etkenler nedeniyle önem arz etmektedir. Kentiçi ulaşımın çevre ve enerji ile beraber sosyal denge gibi konular üzerindeki etkileri açısından düzenlenmesi gerekli kılınmaktadır.

5.2.3. Ulaşım Ana Planını Çalışmasının Kapsamı ve Çalışma Alanı

Ulaşım Ana Planı için incelenmekte olan planlama senaryoları öncelikli bir şekilde fayda etkileri açısından değerlendirilmelidir. Alınacak aksiyonlar ve çalışmaların gerçekleştirilme önceliği ise kısa, orta ve uzun vadeli şekilde sınıflandırılmalıdır. Son yapılan yasal düzenlemeler ile büyükşehir belediyesinin il sınırları genişlemiştir. Bu nedenle UAP kapsamı Büyükşehirlerde bütün il mülki hudutlarını içerecek şekilde düzenlenmelidir. (Türkiye Belediyeler Birliği, 2014).

5.3. Antalya İli İçin Ulaşım Ana Planı Çalışmaları

Antalya için UAP amacı; hızlı toplu taşıma yatırımlarına temel oluşturan yolculuk kestirim modeli kullanılarak güncelleştirilmesi toplu taşıma sistemlerine öncelik verilerek şekilde toplu taşıma sistemlerinin bir bütün olarak kabul edilmesi, ulaşım ile beraber trafik sorunlarına kısa, orta ve uzun vadelerde çözüm önerilerinin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

1. Kent içi otopark ihtiyaçlarının tespit edilmesi
2. Trafik, proje ve etüt çalışmaları amacıyla ABB tarafından belirlenmiş kavşak ve koridorlarda trafik sayımları yapılarak analiz edilerek kavşakların mevcut trafik modelleri kurulmuş ve hizmet seviyeleri etüt edilmesi şeklindedir.

Bu kapsamda tamamlanmış olan etüt ve proje çalışmaları;

1. Hemzemin kavşak kavram proje ve etütleri,
2. Katlı kavşak kavram proje ve etütleri,
3. Trafik dolaşım planları,
4. Karayolu koridoru kavram projeleri.

Şeklindedir. Antalya UAP hazırlanması kapsamında Şekil 14’ de Antalya ili için mevcut kavşaklar ve önerilen kavşaklar görülmektedir.



Şekil 14. Antalya İli Kavşakların İncelenmesi Çalışması

Kaynak: Boğaziçi Proje, Antalya Büyükşehir Belediyesi, Antalya Ulaşım Ana Planı Hazırlanması, Danışmanlık Hizmet Raporları, 2015

Şekil 15’ de ise Antalya ili için trafik koridorları çalışmasından bir örnek görülmektedir. Çalışmaların devamında ise kent merkezi için sirkülasyon planları ve öneri projeleri hazırlanmıştır.



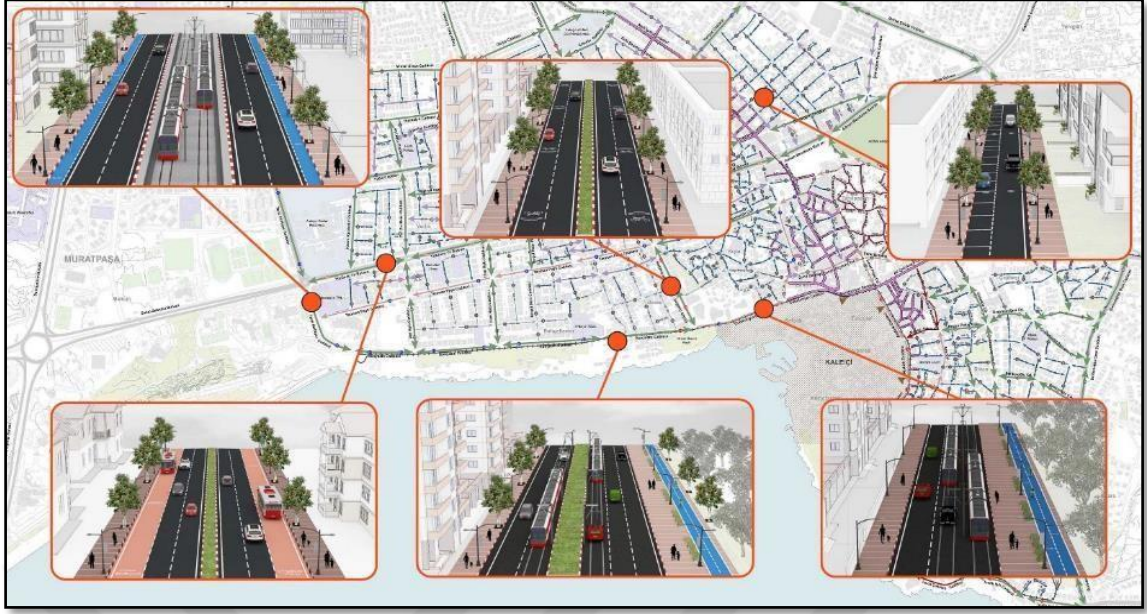
Şekil 15. Antalya İli Trafik Koridorları İncelenmesi Çalışması

Kaynak: Boğaziçi Proje, Antalya Büyükşehir Belediyesi, Antalya Ulaşım Ana Planı Hazırlanması, Danışmanlık Hizmet Raporları, 2015

Bu çalışmalar karayollarının mevcut olan tek yön – çift yön gibi kararları incelenerek gerekli önerilerde bulunulmuş ve böylece trafik akışının artırılması amaçlanmıştır. Ayrıca Şekil 16’ da Antalya ili için sirkülasyon plan ve öneri projelerinden bir örnek görülmektedir.

Tüm bu çalışmalar sonucunda Antalya ili için, mevcut ve hedeflenen 2040 yılındaki düşünülen veriler ise Tablo 15’ de görüldüğü şekilde oluşmuştur.

Antalya ilinde yapılan çalışmalar sonucunda, yolculuk sayılarının, hızla gelişen nüfus ve araç sayısına paralel bir şekilde artış gösterme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 16. Antalya İli Sirkülasyon Plan ve Öneri Projeleri

Kaynak: Boğaziçi Proje, Antalya Büyükşehir Belediyesi, Antalya Ulaşım Ana Planı Hazırlanması, Danışmanlık Hizmet Raporları, 2015

	2015 Yılı	2040 Yılı	% Artış Oranı
Nüfus sayısı	1,4 Milyon kişi	3,2 Milyon kişi	%128
Otomobil sayısı	290.000	1.000.000	%258
Otomobil sahipliği	203 araç/1000 kişi	339 araç/1000 kişi	%67
Günlük toplam yolculuk	2 milyon	4,8 milyon	%140

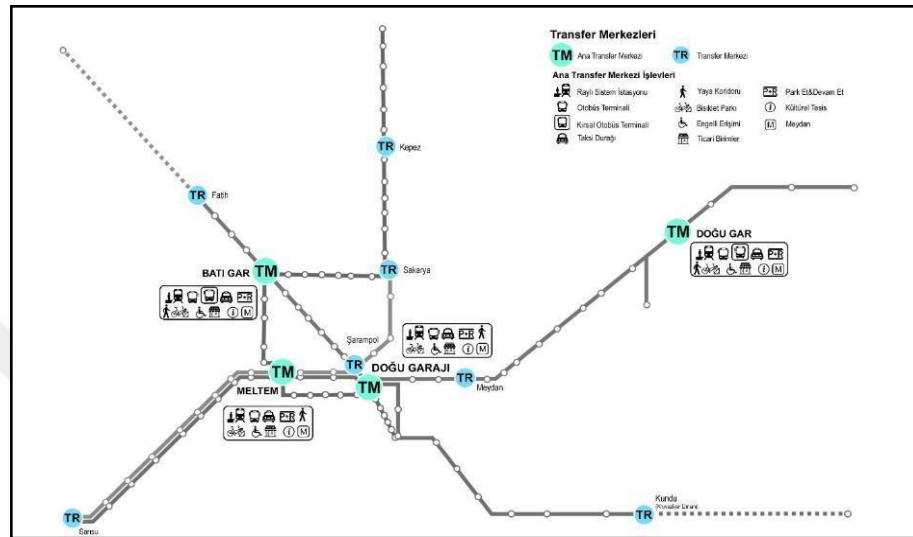
Tablo 15. Antalya İli 2040 Yılı Ulaşım Öngörülleri

Kaynak: Boğaziçi Proje., Antalya Büyükşehir Belediyesi, Antalya Ulaşım Ana Planı Hazırlanması, Danışmanlık Hizmet Raporları, 2015

Belirlenen temel stratejiler neticesinde ise artan yolculuk taleplerinin karşılanması için alternatif senaryolar tespit edilmiştir. Buna göre 12 farklı temel toplu ulaşım tespiti ve 4 alternatif senaryo değerlendirilmiştir. Sonucunda en verimli sistemler ile UAP senaryosu oluşturulmuştur. Oluşturulan bu senaryoya göre;

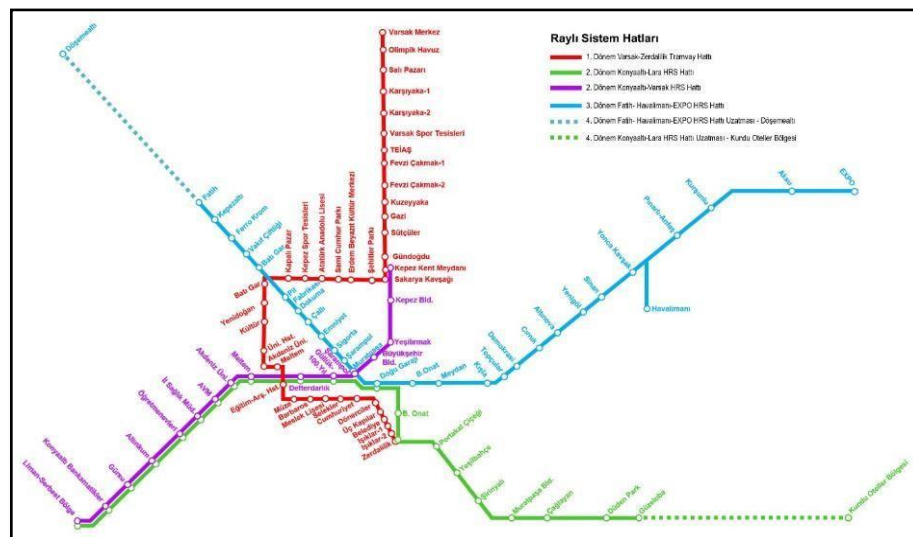
- Raylı sistem ağının 34 km' den 110 km' ye çıkartılması,
- Kaleiçi ve kent merkezinin yayalaştırılması,

gerek görülmüştür. Transfer merkezi önerileri Şekil. 17’ de yer almakta olup, raylı sisteme ait öneriler ise Şekil. 18’ de yer almaktadır.



Şekil 17. Antalya İli İçin Transfer Merkezi Önerileri

Kaynak: Boğaziçi Proje, Antalya Büyükşehir Belediyesi, Antalya Ulaşım Ana Planı Hazırlanması, Danışmanlık Hizmet Raporları, 2015



Şekil 18. Antalya İli İçin Raylı Sistem Önerileri

Kaynak: Boğaziçi Proje, Antalya Büyükşehir Belediyesi, Antalya Ulaşım Ana Planı Hazırlanması, Danışmanlık Hizmet Raporları, 2015

6. ANTALYA KENTİÇİ RAYLI SİSTEMLERİ

Antalya’ da bulunan raylı sistemlerin işletimi; Antalya Büyükşehir Belediyesi mülkiyetinde olan ve ABB iştirakleri ortaklığı ile kurulmuş olan Antalya Ulaşım A.Ş. tarafından yapılmaktadır. Antalya Ulaşım A.Ş. 2010 yılı başlarında Antalya’ da toplu taşıma hizmeti vermek üzere kurulmuş bir şirkettir. Şirketin yapmakta olduğu faaliyetler arasında; Antalya ilindeki “Nostalji Tramvayı” işletilmesi, “Hafif Raylı Sistem” (ANTRAY) işletilmesi, Antalya şehirlerarası otobüs terminali ve ilçelerdeki otobüs terminallerinin işletilmesi, Antalya Kaleiçi “Yat Limanı” ve deniz otobüslerinin (ANTDO) işletilmesi, kentiçi belediye otobüslerinin (ANTOBÜS) işletilmesi, toplu taşımacılık ücret toplama sistemi olan “Antalya Kart” projesinin yürütülmesi şeklindedir.

6.1. Antray 1. Aşama HRS Projesi

Antalya ilinde yapılmış olan 1. Aşama HRS hattı; Antalya Ulaşım Ana Planı üzerinde Kepez – Otogar – Havaalanı koridorunda yer alması öngörülen raylı sistem hattının, Kepez – Otogar – Meydan arasında uzanan ve yaklaşık 11,13 km uzunlukta olan kesimini kapsamaktadır.

Antray 1. Etap HRS projesi, yaklaşık 116 milyon Euro proje bedeli ile yapılmış olup, proje kapsamında 14 Adet CAF marka araç temin edilmiştir. 2010 yılında faaliyete geçirilen projede 2 si yer altı istasyon olmak üzere 16 durak ve bir adet tramvay araçların bakım ve onarım atölyesi bulunmaktadır. Sistem, kentin kuzey koridorunu şehir merkezine bağlayıp Antalya ilinin toplu taşıma sistemi ağının bir parçasını oluşturmaktadır. Proje Antalya UAP üzerinde 2020 belirlenen yılı çift hatlı olacak şekilde bir cadde tramvay sistemi olarak tasarlanmıştır.

Projenin açılmasının planlandığı 2010 yılı için 4,50 dakika sefer aralığı ile tek yönde 7.000 yolcu / saat, 2020 yılında ise 2,50 dakika sefer aralığı ile tek yönde 12.500 yolcu / saat taşıma kapasitesinde olması hesaplanmıştır.

Antalya şehir merkezi, Türkiye’nin 2. derece deprem bölgesi içinde yer almaktadır. Antalya Raylı Sistem 1. Aşama hattı “Deprem Araştırma Dairesi” nin hazırlamış olduğu “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası” nda deprem bölgesi olarak 2. bölgededir. Proje alanı ve yakın çevresinde ve tramvay güzergahında temel zeminini

yapay dolgu ve Antalya travertenini oluşturmaktadır. Güzergahı oluşturan ve Antalya yöresinde geniş alanları yüzeyleyen traverten birimi şeklindedir.

Tasarım hızı, durak yaklaşımlarında, sinyalizasyonlu karayolu kavşak geçişlerinde, makaslı geçişlerde, hat üzerinde geometrik kısıtlamalar nedeniyle zorunlu olarak yer alan dar yarı çaplı kuplar üzerinde ve ana hat servisinin programlı giriş ve çıkışlarında daha düşük olmaktadır. Güzergâh üzerinde maksimum teorik işletme hızları aşağıdaki Tablo 16’ da öngörülmektedir.

Gidiş-dönüş hat uzunluğu, Fatih – Meydan arası 22,26 (2x11,13) km olarak planlanmış, ticari hız 27 km/saat ve dolaşım süresi 48 dakika olarak hesaplanmıştır.

Lokasyon	Uzunluk	Maksimum İşletme Hızı
Fatih – Otogar	2,25 km	70 km/saat
Otogar – Muratpaşa	3,75 km	50 km/saat
Muratpaşa – Doğu Garajı	1,00 km	20 km/saat
Doğu Garajı – Meydan	1,63 km	50 km/saat
Karayolu Geçiş ve Duraklar	2,50 km	20 km/saat

Tablo16. Antalya 1. Aşama HRS İşletme Hızı Öngörülleri

Kaynak: Yüksel Proje Uluslararası A.Ş. Antalya Büyükşehir Belediyesi. Antalya Hafif Raylı Sistem 1. Aşama Proje Raporu, 2006

Hattın ticari hızı, hattın iki ucundaki istasyonlar arasındaki uzaklığın iki katının bir dolaşım süresi tamamlamak için geçen zamana bölünmesiyle bulunmaktadır. Bir dolaşım süresi, bir tramvayın çıkış noktasından harekete geçip güzergahtaki son varış noktasına gitmesi ve sonra geri dönmesi için gerekli olan süredir. Bu durumda, bir aracın Fatih durağından hareket edip aradaki bütün duraklarda duraklamak sureti ile Meydan durağına vardıktan sonra tekrar Fatih durağına dönmesi ve Fatih durağında yeni bir sefere başlamak üzere Meydan durağı yönüne dönüş manevrası yapmak için geçen toplam süre “dolaşım süresi” olmaktadır.

Sistemde kullanılacak tramvay dizilerinin maksimum 45 m uzunlukta olan şekilde olması ve araçların her istasyonda maksimum 20 sn. duraklaması prensibi ile yapılması planlanmıştır. Projenin kapasitesi hesaplanırken araç içinde oturmadan yolculuk

yapanların doruk saat yoğunluğu 6 kişi / m² olarak alınmıştır. Araçların doruk saat süresinde %95 doluluk oranı ile çalışacağı varsayılmıştır.

Hat tasarlanırken T.C. Devlet Demiryolları (TCDD) Genel Müdürlüğü'nün uymuş olduğu standartlar, "Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları" (DLH) Genel Müdürlüğü'nün HRS' lere ilişkin yayınladığı standartlar, "Türk Standartları Enstitüsü" tarafından hazırlanmış olan standartlar ve uluslararası standartlar kullanılmıştır. Güzergah yapıları tasarlanırken oluşturulan tipik kesitler hattın geneline uygulanabilecek niteliktedir. Tipik kesitler hazırlanırken araçların hareketinden kaynaklanan ve sistemin her kısmında en olumsuz durumdaki araç dış hatlarını kapsayan araç dinamik zarfı da göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 19. Antalya 1. Aşama HRS Güzergah Haritası

Kaynak: <https://www.antalya-ulasim.com/antalya-hafif-rayl305-sistemi-antray-guuzmlzergah-haritas305.html> (Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

6.2. Antray 2. Aşama HRS Projesi

Antalya ilinde yapılmış olan 1. Aşama HRS hattının devamı niteliğinde olan 2. aşama HRS projesinin Antalya UAP üzerinde doğu- batı koridorunda yer alması öngörülmüştür. Bu kapsamda 1. aşama HRS sistemi son durağı olan Meydan durağından başlayan HRS hattı EXPO fuar merkezi ve Antalya havalimanına kadar gitmektedir.

Meydan-Havaalanı-EXPO 2016 raylı sistem projesi, mevcut 1. aşama Fatih-Meydan raylı sistem hattının devamı olarak mevcut Meydan istasyonundan itibaren Aspendos Bulvarı üzerinden doğuya devam eden, daha sonra Demokrasi kavşağından itibaren aynı yönde Serik Caddesinden havaalanı ve devamında Antalya- Alanya yolu üzerinde EXPO 2016 alanında son bulan raylı sistem hattı' dır.

Sistem Meydan Durağında 1. aşama' ya entegre olmaktadır. “Meydan-Havaalanı-EXPO 2016 Raylı Sistem Projesi” güzergahın yaklaşık %60'ında diğer trafikten ayrılmış olup mevcut “1. Aşama Fatih- Meydan Hattı” işletme standartları ile uyumlu, 18,1 km uzunluğunda ve 15 duraklı bir sistemdir. Sistemin depo alanı ihtiyacı, gelecekteki ihtiyaçların bir kısmını da karşılayabilecek şekilde rezerv alanla birlikte 1. aşama HRS için tesis edilmiş olan depo ve atölye alanında sağlanmaktadır. Bu amaçla 2. aşama hattı araçları için mevcut depo sahası rezerv alanında tevsii hatları inşa edilmiştir.

Hat Kesimlerinde Yolculuk		
Duraklar	Doğuya	Batiya
Meydan	4.800	
Kışla	5.100	4.000
Topçular	5.250	4.150
Demokrasi	6.100	4.250
Cırnık	7.300	4.200
Altınova	7.300	4.150
Yenigöl	7.150	4.000
Sinan	6.950	3.950
Yonca - Kavşak	5.600	3.900
Pınarlı - Anfaş	5.300	3.850
Kurşunlu	4.750	3.600
Aksu	4.200	3.700
EXPO	0	3.200

Tablo 17. Meydan-Havaalanı-EXPO Raylı Sistem Doruk Saat Yolcu Yükleri (2016)

Kaynak: Optim Obermeyer Proje, Antalya Büyükşehir Belediyesi. Antalya Hafif Raylı Sistem 2. aşama proje raporu, 2006

2. aşama HRS' de 2016, 2020 ve 2030 yılları için oluşacak yolculuk taleplerinin hesaplanması; 2013 yılında Antalya Büyükşehir Belediyesince ulaşım modeli ile bulunan

değerlerin, yeni nüfus verileri ve bu etüt kapsamında yapılan sayım sonuçlarıyla kalibrasyonu ile bulunmuş, ara yıl yolculuk talepleri orantılarla elde edilmiştir.

Dizi aralığı hesaplamalarında kullanılmak üzere 2016, 2020 ve 2030 yılları için belirlenen değerlerin hat kesimleri yolculukları ile durumunu gösteren tablolardan Tablo17’ de 2016 yılı için, Tablo 18’ da 2020 yılı için ve Tablo 19’ de ise 2030 yılı için yolcu yükleri sunulmuştur.

Hat Kesimlerinde Yolculuk		
Duraklar	Doğuya	Batıya
1. Durak Meydan	5.300	
2. Durak Kışla	5.650	5.200
3. Durak Topçular	5.800	5.350
4. Durak Demokrasi	6.650	5.450
5. Durak Cırnık	7.850	5.400
6. Durak Altınova	7.900	5.350
7. Durak Yenigöl	7.850	5.150
8. Durak Sinan	7.650	5.100
9. Durak Yonca - Kavşak	5.900	5.100
10. Durak Pınarlı - Anfaş	5.650	5.000
11. Durak Kurşunlu	5.100	4.550
12. Durak Aksu	4.300	4.250
13. Durak EXPO	0	3.500

Tablo 18. Meydan-Havaalanı-EXPO Raylı Sistem Doruk Saat Yolcu Yükleri (2020)

Kaynak: Optim Obermeyer Proje, Antalya Büyükşehir Belediyesi. Antalya Hafif Raylı Sistem 2. aşama proje raporu, 2006

Hat Kesimlerinde Yolculuk		
Duraklar	Doğuya	Batıya
1. Durak Meydan	7.000	
2. Durak Kışla	7.400	8.250
3. Durak Topçular	7.550	8.250
4. Durak Demokrasi	8.250	8.600
5. Durak Cırnık	9.250	9.250
6. Durak Altınova	9.300	9.750
7. Durak Yenigöl	9.200	9.950
8. Durak Sinan	9.050	10.050
9. Durak Yonca - Kavşak	7.250	10.350
10. Durak Pınarlı - Anfaş	6.700	10.300
11. Durak Kurşunlu	5.900	9.300
12. Durak Aksu	4.900	7.700
13. Durak EXPO	0	6.000

Tablo 19. Meydan-Havaalanı-EXPO Raylı Sistem Doruk Saat Yolcu Yükleri (2030)

Kaynak: Optim Obermeyer Proje, Antalya Büyükşehir Belediyesi. Antalya Hafif Raylı Sistem 2. aşama proje raporu, 2006

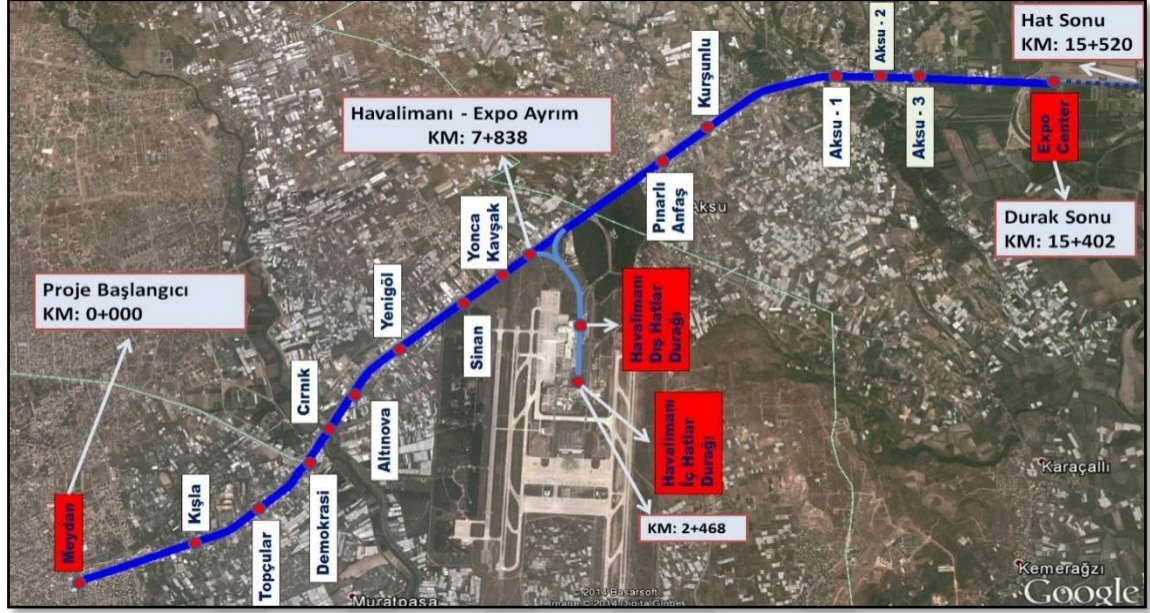
Sistemin 2016 yılı için 5 dakika sefer aralığı ile tek yönde bir kesitte 7 bin yolcu / saat, 2020 yılında ise 4,62 dakika sefer aralığı ile yaklaşık 7.900 yolcu / saat, 2030 yılında ise 3,53 dakika sefer aralığı ile 10.300 yolcu/saat taşıma kapasitesine sahip olması öngörülmüştür.

Planlanan 2. aşama HRS sisteminde maksimum 35 m uzunluğunda olan, 1 veya 2 araçtan oluşan diziler kullanılması planlanmıştır. İşletim, araçların her durakta 20 sn., uç duraklarda 120 sn. duraklaması prensibi ile yapılmaktadır. Proje kapasitesi hesaplanırken genel olarak ayakta yolculuk edenlerin doruk saat yoğunluğu 6 kişi / m² olarak alınmıştır.

Ana hat üzerinde maksimum teorik işletme hızı; trafik yoğunluğuna göre güzergah kısımlara ayrılarak, Tablo 20’ de görüleceği üzere,

1. Meydan-Perge-Kışla durakları arası km (0+000-1+540) 30 km/s
2. Kışla-Topçular-Demokrasi durakları arası km (1+540-2+845) 35 km/s
3. Demokrasi-Kavşak durakları arası km (2+845-7+323) 50 km/s

4. Kavşak-Havaalanı Dış Hatlar ve İç Hatlar durakları arası 60 km/s
 5. Kavşak- EXPO durakları arası km (7+323-15+265) 60 km/s
- olarak öngörülmüştür.



Şekil 20. Antalya 2. Aşama HRS Güzergah Haritası

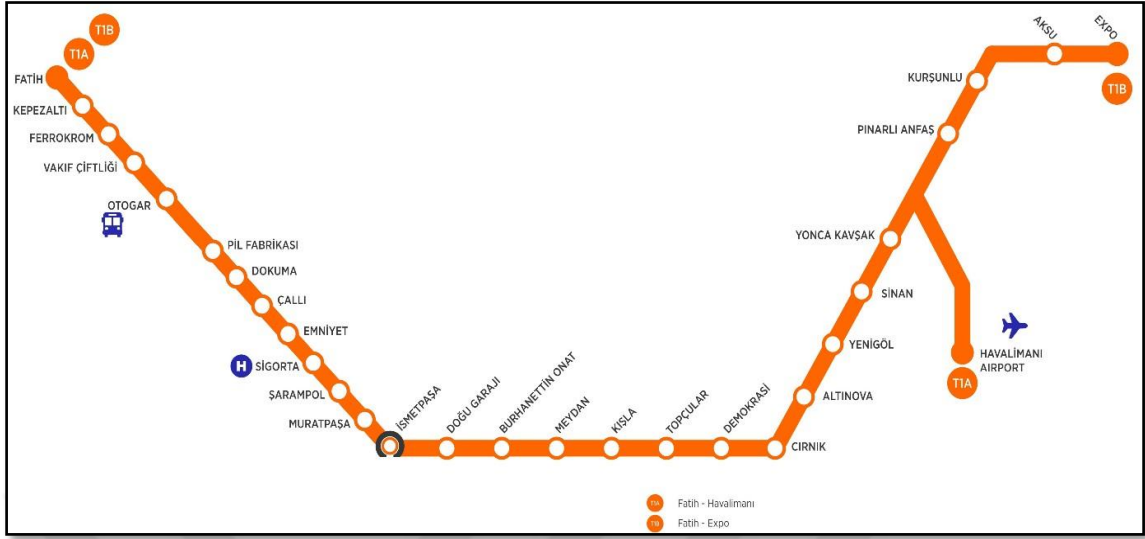
Kaynak: Optim Obermeyer Proje, Antalya Büyükşehir Belediyesi. Antalya Hafif Raylı Sistem 2. aşama proje raporu, 2006

Dolaşım süresi hesabında $1,1 \text{ m/sn}^2$ olan hızlanma ivmesi hat üzerinde eğimler, düşük yarıçaplı dönüşler, hattın tam korumalı olmaması gibi hızın azalmasını etkileyen faktörler göz önüne alınarak ortalama $0,95 \text{ m/sn}^2$, frenleme ivmesi ise ortalama $0,8 \text{ m/sn}^2$ alınmış, uç duraklarda 120 sn, ara duraklarda 20 sn. bekleme kabulü ile yaklaşık dolaşım süresi 59 dakika 58 saniye ve ticari hız 33,04 km/s olarak hesaplanmıştır.

Lokasyon	Uzunluk	Maksimum İşletme Hızı
Meydan-Perge-Kışla	1,54 km	30km/saat
Kışla-Topçular-Demokrasi	1,3 km	35km/saat
Demokrasi-Kavşak	4,48 km	50km/saat
Kavşak-Havaalanı Dış Hatlar ve İç Hatlar	2,88 km	50km/saat
Kavşak- EXPO	7,90 km	60km/saat

Tablo 20. Antalya 2. Aşama HRS İşletme Hızı Öngörülleri

Kaynak: Optim Obermeyer Proje, Antalya Büyükşehir Belediyesi. Antalya Hafif Raylı Sistem 2. aşama proje raporu, 2006



Şekil 21. Antalya 1. ve 2. Aşama HRS Güzergah Haritası

Kaynak: Optim Obermeyer Proje, Antalya Büyükşehir Belediyesi. Antalya Hafif Raylı Sistem 2. aşama proje raporu, 2006

6.3. Antray 3. Aşama HRS Projesi

Antalya 3. Aşama Raylı Sistemi tramvay hattı, Antalya ilinde mevcut tramvay hattına bağlantı hatları ile geçiş imkanı bulunan müstakil bir HRS projesi olarak tasarlanmıştır. Tramvay sistemi (Antalya 3. Aşama Raylı Sistemi Projesi); Kepez Varsak'tan başlayıp, Antalya Müzesi önündeki son durakla birlikte, 18 kilometrelik bir hat olup, "3. Etap Raylı Sistem Projesi" planlanırken 28 adet hemzemin durak ve 1 adet yerin altında olacak istasyon olmak üzere toplam 29 adet durak olması tasarlanmıştır.

Proje kapsamında ilk olarak 3. Aşama HRS sisteminin 1. kısmı olan 20 duraklık bölümünün açılması ve daha sonrasında geri kalan durakların açılması ile sistemin bir bütün halinde işletilmesi amaçlanmıştır.

3. aşamada ticari işletme yapılacak 0+000 km ve 11+500 km arasındaki kesiminde, 20 adet istasyon bulunmaktadır. Varsak durağından başlayan hat Süleyman Demirel Bulvarı, Yeşilırmak Bulvarı ve Sakarya Bulvarını takip ederek Yeşiltepe durağında son bulmaktadır.

Duraklar	İki Durak Arası Mesafe (m)
Varsak Kepezpark	375,765
Kepezpark - Aktoprak	428,298
Aktoprak – Aydoğmuş	520,937
Aydoğmuş - Karşıyaka	563,143
Karşıyaka - Şelale	588,811
Şelale - Süleyman Demirel	576,482
Süleyman Demirel - Ulubatlı Hasan	364,461
Ulubatlı Hasan - Fevzi Çakmak	575,776
Fevzi Çakmak - Kuzeyyaka	421,231
Kuzeyyaka - Gazi	401,509
Gazi - Sütçüler	598,039
Sütçüler - Gündoğdu	632,319
Gündoğdu - Yeşilırmak	581,456
Yeşilırmak - Kepez Belediye	511,386
Kepez Belediye - Şehitler Parkı	493,273
Şehitler Parkı - Erdem Beyazıt K. M.	619,275
Erdem Beyazıt K. M. - Yıldırım Beyazıt	365,317
Yıldırım Beyazıt - Zafer	462,114
Zafer - Atatürk	445,465

Tablo 21. Antalya 3. Aşama HRS Duraklar Arası Mesafeler

Kaynak: Antalya Büyükşehir Belediyesi, Antalya 3. Aşama Raylı Sistem Hatları
Yapım İş Raporları, 2018

Ticari işletme yapılacak hat kesiminde genel hız limiti 35 km/s olarak belirlenmiştir. Hattın ticari hızı, hattın iki ucundaki istasyonlar arasındaki uzaklığın iki katının bir dolaşım süresi tamamlamak için geçen zamana bölünmesiyle bulunmuştur. Bu durumda, bir aracın Varsak durağından hareket edip aradaki bütün duraklarda minimum bekleme süresi kadar duraklamak sureti ile Atatürk durağına vardıktan sonra tekrar Varsak durağına dönmesi ve Varsak durağında yeni bir sefere başlamak üzere Atatürk durağı yönüne harekete başlamaya hazır olması için geçen toplam süre “dolaşım süresi” olmaktadır. Duraklardaki minimum bekleme süresi 20 saniye olarak belirlenmiştir.

Buna göre hattın ticari hızı yaklaşık 18,2 km/s ve dolaşım süresi yaklaşık 72 dakika olarak öngörülmüştür. Bu öngörüde duraklarda bekleme süresinin ortalama 25 saniye civarında olduğu varsayılmıştır.

7. ANTALYA’DA BULUNAN HAFİF RAYLI SİSTEM PROJELERİNİN BULANIK MANTIK ENTEGRASYONLU AHP ve VIKOR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Antalya’ da bulunan hafif raylı sistemlerinin ÇKKV yöntemleri ile incelenmesi çalışmasında bir takım veri setlerine ihtiyaç duyulmuştur. Tez çalışması için faydalanılan bu veri setleri dört ana grup halinde oluşturulmuştur. “Ekonomi, konfor, çevre ve güvenlik” grupları ana kriter olarak kabul edilmiş ve bu ana kriterlere etki eden alt kriterler tespit edilmiştir. Alt kriterler ise yolcuları etkileyen, işletmeyi etkileyen ve çevresel etkilere sahip olan alt kriterler şeklinde ayrılmıştır. Yolculuk ücretlerini içeren “seyahat maliyeti”, yolcuların tercih sebeplerinden olan “yolcu kapasiteleri”, yolcuların duraklara erişimi ile ilgili olan “ulaşılabilirlik” ve yine seyahat ile ilgili yolcuların tercih sebebi olan “ergonomi değerleri” yolcular ile ilişkili olan alt kriterler olarak kabul edilmiştir. İşletmeyi ekonomi açısından etkileyen “işletmeci maliyetleri” ve aynı şekilde “enerji tüketimleri” ise işletmesel alt kriterler olarak kabul edilmiştir. Raylı sistemlerde yaşanan “kaza istatistikleri”, “elverişlilik ve güvenilirlik” ile “güvenlik ve emniyet değerleri” ise tercih edilebilirlik ile ilgili olup hem yolcuları hem de işletmeyi etkileyen alt kriterler olarak değerlendirilmiştir. Bunların dışında kalan bir diğer alt kriter ise genel anlamda toplumsal etkilere sahip olan “çevresel etki (gürültü ve ses) ve sera gazı değerleri” olmaktadır. Tüm bu alt kriterlere ait bilgilerin toplanması ile ana kriterlere ait genel verilere ulaşılmış ve bu sayede bulanık mantık entegrasyonlu ÇKKV yöntemleri çalışmasında bu veri setleri kullanılmıştır.

Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında “bulanık mantık” kavramı ilk kez ortaya atılmıştır. Zadeh bu kavramı “The Theory of Fuzzy Logic and Fuzzy Sets” (Bulanık Mantık ve Bulanık Kümeler Teorisi) adlı çalışmasında açıklamıştır. Bulanık mantıkta yer alan yaklaşımda insanlar tarafından oluşturulan veriler ve deneyimler farklı bir şekilde değerlendirilmektedir. Klasik mantıkta “0” ve “1” şeklinde iki değerlendirme mevcut iken bulanık mantıkta “0-1” değer aralığında birden fazla değer olmaktadır. Klasik mantıkta yer alan doğru veya yanlış ifadeleri yerine bulanık mantıkta yanlışa yakın, doğruya yakın, kısmen yanlış, kısmen doğru gibi ifadeler bulunmaktadır. Bulanık mantıkdüşüncesinde belirtilen bu kesin değerlerin yerine bahsedildiği şekilde yaklaşık değerler yer aldığından dolayı çok kriterli karar verme yöntemleri gibi matematiksel ifadelerin

karışık ve zor işlemlerinde bulanık mantığın kullanılması ile doğru sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Bulanık mantık, ilk ortaya çıktığı zamanlarda çeşitli fabrikaların farklı işlem proseslerinde kullanılmaya başlamış olup günümüzde teknolojinin çoğu alanında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bulanık mantığın önemi gün geçtikçe artmış ve mantıktan felsefeye kadar çoğu alanda kendine yer bulmuştur. Bununla birlikte bulanık mantık kavramının yapay zekaya olan katkıları da oldukça fazladır.

Raylı sistemlere yönelik uygulamalarda araçların işleyişi için bulanık mantık entegrasyonlu çeşitli denetleyiciler kullanılmaktadır. Raylı sistemler dışında ise teknoloji alanında oldukça fazla kullanım alanına sahiptir.

Bulanık mantık tüm teknik problemlerin cevabı olmadığı halde uygulama kolaylığı ve hızının önemli olduğu kontrol problemleri için önemli olmaktadır. Bulanık mantık bu durumlarda oldukça başarı sağlamaktadır. Bulanık kontrolü başarıyla kullanan uygulamalardan bazıları aşağıdaki şekildedir;

Çevresel yönden kullanım alanları

- Klimalar
- Nemlendiriciler

Ev içi kullanım alanları

- Çamaşır Makineleri/Kurutucular
- Elektrikli süpürgeler
- Tost makineleri
- Mikrodalga fırınlar
- Buzdolapları

Tüketici Elektronik

- Televizyon
- Fotokopi makineleri
- Fotoğraf ve Video Kameralar
- Hi-Fi Sistemleri

Otomotiv Sistemleri

- Araç İklim Kontrolü
- Otomatik Şanzımanlar
- Dört Tekerlekten Direksiyon
- Koltuk/Ayna Kontrol Sistemleri

Ayrıca, sağlık sektöründeki görüntüleme sistemleri, araçların motor, fren ve süspansiyon gibi bileşenlerinin çevre şartlarına uyarlı bir şekilde çalışması, yazılım teknolojileri, insansız hava araçları da dahil olmak üzere diğer havacılık ve uzay sanayisi bulanık mantığın kullanıldığı yerlerden bazılarıdır.

İnşaat sektörü incelendiğinde, bulanık mantık, bulanık kümeler ve bulanık kümeler teorilerinin inşaat sektöründe yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. İnşaat yönetimi araştırmalarında kullanılmış olan teori ve kavramlar ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalardan örnekler Tablo 22’ de gösterilmektedir.

Yazar/Yazarlar	Teori veya kavram	Alan / uygulama	İlgi/sınıflandırma
Singh, D. ve Tiong, R.L.K. (2005)	Bulanık kümeler	Yüklenici seçimi	Karar verme, performans değerlendirme
Tam, C.M., Tong, T.K.L., Leung, A.W.T. ve Chiu, G.W.C. (2002)	Bulanık kümeler	Saha hazırlığı	Karar verme
Zhang, H., ve Tam, C.M. (2003)	Bulanık kümeler	Dinamik kaynak tahsisi	Karar verme
Seo, S., Aramaki, T., Hwang, Y. ve Hanaki, K. (2004)	Bulanık kümeler teorisi	Çevresel sürdürülebilir binalar	Karar verme, değerlendirme

(Tablo 22. Devam)

Fayek, A. (1998)	Bulanık kümeler teorisi	Rakip teklif stratejisi	Karar verme, değerlendirme
Wang, R.C. ve Liang, T.F. (2004)	Bulanık kümeler teorisi	Proje yönetimi kararları	Karar verme
Li, H. ve Shen, Q. (2002)	Bulanık kümeler teorisi	Sürdürülebilir konut	Karar verme
Ng, S.T., Luu, D.T., Chen, S.E. ve Lam, K.C. (2002)	Bulanık kümeler teorisi	Tedarikçi seçim kriterleri	Karar verme
Holt, G.D. (1998)	Bulanık kümeler teorisi	Yüklenici seçimi	Değerlendirme
Zheng, D.X.M. ve Ng, S.T. (2005)	Bulanık kümeler teorisi	Proje Yönetimi, risk yönetimi	Zaman ve maliyet performansı
Zhang, H., Li, H. ve Tam, C.M. (2004)	Bulanık kümeler teorisi, Bulanık mantık	Etkinlik süresi	Zaman performansı
Lin, C.T. ve Chen, Y.T. (2004)	Bulanık mantık	Teklif/teklifsiz karar verme	Karar verme
Oliveros, A.V.O. ve Fayek, A.R. (2005)	Bulanık mantık	Proje Yönetimi, aktivite gecikme analizi	Zaman performansı
Knight, K. ve Fayek, A.R. (2002)	Bulanık mantık	Maliyet kontrolü, proje yönetimi	Maliyet performansı, karar verme
Zayed, T.M. ve Halpin, D.W. (2004)	Bulanık mantık	Üretkenlik	Niceliksel değerlendirme performansı
Chao, L.C. ve Skibniewski, M. (1998)	Bulanık mantık	İnşaat teknolojisi	Değerlendirme
Tah, J.H.M. ve Carr, V. (2000)	Bulanık mantık	İnşaat projesi risk değerlendirmesi	Değerlendirme
Shang, H., Anumba, C.J., Bouchlaghem, D.M. ve Miles, J.C. (2005)	Bulanık mantık	Akıllı risk değerlendirme sistemi	Değerlendirme
Ma, H., Deng, Z. ve Solvang, W.D. (2004)	Bulanık mantık	Distribütör kıyaslama	Kıyaslama/değerlendirme

Tablo 22. İnşaat Sektöründe Bulanık Mantık Çalışma Alanları

Kaynak: Chan, A., Chan, Dr D., and Yeung, J. (2009). Overview of the Application of “Fuzzy Techniques” in Construction Management Research, (2009)

Büyük şehirlerdeki raylı ulaşım sistemlerinin değerlendirilmesi, en iyi raylı sistem yatırımına karar vermede çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, ulaşım alanındaki ÇKKV çalışmaları arasında iki aşamalı bir bulanık küme kullanılmıştır. Önerilen yönteme Türkiye'nin en büyük şehirlerinden biri olan Antalya'daki üç HRS hattının gözlemlerinden elde edilen veri setleri uygulanmıştır. Yaygın olarak kullanılan bir ÇKKV yöntemi sayılan “Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci” (Fuzzy Analytic

Hierarchy Process-FAHP), ekonomi, konfor, çevre ve güvenlik gibi dört ana kriteri ve bunların on üç alt faktörünü ağırlıklandırmak için kullanılmıştır. AHP, aralık değerli Pisagor bulanık sayılarla (Pythagorean fuzzy numbers-IVPFN 'ler) elde edilmiştir. Bulanık VIKOR (Fuzzy VIKOR- FVIKOR) yaklaşımı daha sonra üç HRS hattı alternatifinin önceliklendirilmesi için uygulanmıştır. Sonuçlar, şehirdeki en kullanışlı HRS hattını ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle, önerilen tez yaklaşımı, bulanık küme ile ÇKKV yöntemlerinin entegrasyonuna ilişkin yeni bir anlayışın benimsenmesine metodolojik olarak katkıda bulunmaktadır.

7.1. Literatür Taraması

Günümüzde gelişmekte olan ülkelerde dahil olmak üzere büyük ve kalabalık şehirlerde kentiçi raylı ulaşım sistemleri esastır. Daha hızlı ve güvenli yolculuk, konfor, erişilebilirlik gibi unsurlar raylı sistemler için insanların tercihleri arasında yer almaktadır. Büyük metropollerde seyahat talebinin yüksek olması nedeniyle trafik sorununun çözümüne yardımcı olmak için raylı sistemler tercih edilmektedir. Raylı sistem projelerinin uygulanması için çok yüksek bir bütçe gerekmektedir. Bu toplu ulaşım planlarının gerçekleştirilmesinde değerlendirme süreci ve doğru karar verilmesi büyük önem taşımaktadır. Literatürde raylı sistemlerin değerlendirilmesi ile ilgili çeşitli çalışmalar olmasına rağmen, raylı sistemler ile ilgili çok kriterli karar verme (ÇKKV) çalışmalarının sayısının az ve yetersiz olduğu görülmektedir. (Ak ve Gül, 2019:113). Tezin bu kısmında, çeşitli ÇKKV yöntemlerinden, bulanık mantık entegrasyonlu Pisagor AHP ve VIKOR içerenler, metodolojik olarak incelenmiştir. (Gül vd., 2019:135).

Bu çalışma sayesinde Türkiye, Antalya'da yapılan hafif raylı sistem yatırımlarının ÇKKV yöntemlerine göre karşılaştırmaları incelenmiş ve analiz sonuçlarına göre Antalya'da en uygun ve verimli hafif raylı sistem yatırımı belirlenmiştir.

Toplumların yaşam standartları ve gelişmişlik derecelerindeki artış nedeniyle enerji ihtiyaçları da artmaktadır. Ayrıca çevre sorunları, kirlilik seviyeleri ve boşa harcanan bazı uygulamalardan kaçınılması gerektiği görülmektedir.

Yolcu ihtiyaçlarına yönelik sessiz ve konforlu raylı ulaşım araçları tasarlaması ile birlikte bu araçlar daha çevre dostu, daha yüksek enerji verimliliği gibi özelliklerde

olmaya başlamıştır. Böylece raylı ulaşım sistemlerine karşı bir eğilim oluşmuştur. (Haylan vd., 2016:294; Shen vd., 2016:20).

Demiryolu taşımacılığı, karayolu taşımacılığına göre daha yüksek yatırım maliyetleri gerektirmesine rağmen daha düşük işletme maliyetlerine sahiptir. Ayrıca karayolu ile yapılan ulaşımın göre kaza ve enerji sarfıyatı ile trafik sıkışıklığı ve personel istihdamı ihtiyacı daha düşüktür. Bununla birlikte raylı sistemlerde karayolu ile taşımacılığa göre çok daha yüksek bir taşıma kapasitesine sahiptir. Tüm bu faktörlerden dolayı günümüzde raylı sistemlerin büyümesini hızlandırmıştır.

Son yıllarda ulaşımın tüm alanlarını içeren ulaşım altyapısını değerlendirmek için yapılan birçok çalışma olmasıyla birlikte raylı ulaşım sistemlerinin de ulaşım yöntemlerini değerlendirmek için ÇKKV yöntemleri üzerine birçok araştırma yapılmıştır. (Broniewicz ve Ogrodnik, 2020:102351). Yapılan bu çalışmalara örnek olarak, Çelik E. ve arkadaşları entegre yeni bir aralık tip-2 bulanık TOPSIS ve GRA yöntemi olan bir yaklaşımı tanıtmışlardır. (Çelik vd., 2013:28). Bu çalışmalara ek olarak, birçok araştırmacı raylı ulaşımı, ÇKKV modelleme çerçevelerini kullanarak değerlendirmiştir. Nasereddine M. ve Eskandari H., Delphi yöntemini, “Grup Analitik Hiyerarşi Sürecini” (GAHP) ve değerlendirmelerin zenginleştirilmesi için tercih sıralama organizasyon yöntemini (PROMETHEE) tercih etmişlerdir. (Nasereddine ve Eskandari, 2017:427). Stoilova ve arkadaşları bulanık doğrusal programlama yönteminin entegre bir yaklaşımı ve üç adımı içeren çok kriterli analiz çalışmasında bulunmuşlardır. Bulanık AHP yöntemi uygulayarak kriterlerin ağırlıklarını belirlemişlerdir. Bulanık AHP sonucunda elde edilen sonuçları kullanarak ve PROMETHEE yöntemini uygulayarak taşımanın varyant şemalarını önceliklendirmişlerdir. (Stoilova, 2018:367). Ghorbanzadeh O. ve arkadaşları, AHP ve Aralıklı AHP (IAHP) tabanlı bir metodoloji gerçekleştirmiştir. Yolcu memnuniyet düzeyini değerlendirmek için büyük şehirlerde tamamlanan anket çalışmaları yapıp, metro, taksi, otobüs, metrobüs, raylı sistem ve minibüs dahil toplu taşıma sistemini değerlendirmiştir. Böylece toplu taşıma hizmet kalitesinin artırılmasına yönelik önerilerde bulunmuşlardır. (Ghorbanzadeh vd., 2019:9). Kicinski M. ve Solecka, K. tarafından; seyahat süresi, filo kullanım etkinliği, çevreye etkileri, toplu taşıma uyumluluğu, emniyet ve güvenlik, kar etme ve yatırım gibi maliyetlerin olduğu çeşitli kriterler kullanılarak toplu taşımayı değerlendirmek için bir çalışma yapılmıştır. (Kicinski ve Solecka, 2018:71). Dominguez L. ve arkadaşları kentsel hareketlilik ve yolcular için

toplu taşıma hakkında bir model tanımlamışlardır. Çalışmaları, genel performansı tanımlayan kriterler aracılığıyla alternatifleri analiz etmek ve değerlendirmek amaçlı olup modelleri Pisagor bulanık kombinasyon mesafesine dayalı değerlendirme (CODAS) metoduna dayanmaktadır. (Dominguez vd., 2021:1281). Ayrıca başka bir çalışmada, Öztürk F. müşteri memnuniyeti anketlerinin bir değerlendirmesi ile toplu taşıma uygulamalarının performanslarını bulmak için tip-2 bulanık küme ÇKKV' yi uygulamıştır. Dakiklik ve yolcu bilgisi sağlama gibi performans kriterlerinin yolcu mutluluğunu tatmin etmek için yeterli olduğu bulmuşlardır. (Öztürk, 2021:10261).

Bununla birlikte, toplu ulaşım sisteminin birçok alt grubu vardır. Çoğu zaman, bir değerlendirme için yalnızca bir ulaşım modu dikkate alınmaktadır. Toplu ulaşım sistemlerinden metrobüs (bus rapid transit, BRT) incelendiğinde çeşitli çalışmaların yapıldığı görülmektedir.

ÇKKV yaklaşımlarını kullanarak halk otobüsü ağlarının değerlendirilmesi konusunda Nassereddine M. ve Eskandari H. büyük bir şehirde şehir içi otobüs ve metrobüs hatları dahil olmak üzere toplu ulaşım sistemlerini değerlendirmiştir. (Nassereddine ve Eskandari, 2017:427). Deveci M. tarafından, personel seçimi için yapılan ÇKKV çalışmasında bulanık VIKOR yöntemine dayalı bir metod uygulanmıştır. Bir teknoloji firması için personel seçiminde Bulanık VIKOR yöntemi kullanmışlardır. (Yıldız ve Deveci, 2013:427). Benzer bir çalışma Hamurcu, M. ve Eren, T. tarafından yapılmış olup, çalışmalarında kent içi ulaşım sistemlerinde bulanık AHP tabanlı VIKOR yöntemi ile proje seçiminde bulunmuşlardır. (Hamurcu ve Eren, 2017). Mavi R. ve arkadaşları, Subjektif bir kriter ağırlıklandırma yöntemi olarak karar verme literatüründe yer alan SWARA (Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis) için, SWARA-G adlı yeni bir yöntemi tanıtmışlar ve Otobüs hizmetini iyileştirmek için hatlara yeni otobüsler eklemeyi önermişlerdir. (Mavi vd., 2018:187). Büyüközkan G. ve arkadaşları bulut bilişim teknolojisi seçimi için aralık değerine dayalı sezgisel bulanık ÇKKV yöntem çalışmasında bulunmuşlardır. (Büyüközkan vd., 2018:5091). Havayolu taşımacılığı ile ilgili olarak Sennaroğlu, B., ve Celebi, G. tarafından yapılan bir çalışmada, havaalanlarının lokasyonları; PROMETHEE, VIKOR, COPRAS, MAIRCA ve MABAC yöntemleri gibi ÇKKV yaklaşımları kullanılarak değerlendirilmiştir. (Sennaroğlu ve Celebi, 2019:160). Deveci M. ve arkadaşları havalimanlarının kullanılabilirliğini arttırmak için aralıklı tip 2 bulanık entegreli TOPSIS yöntemi kullanılarak beş değişik

destinasyonda yeni bir rota seçimi için bir karar analizi uygulamıştır. Bununla birlikte hava yollarındaki hizmetler birkaç farklı çalışmada değerlendirilmiştir. (Deveci vd., 2017:83). Örneğin, Chen I. Tayvan havayolu sektöründeki servis kalitesini geliştirilmesi amacıyla, (Chen, 2016:7). Ghorabae M. ve arkadaşları havayolu şirketlerinin hizmet kalitesini birden fazla kriterle değerlendirmek için DEMATEL, ANP, TOPSIS, WASPAS, COPRAS ve EDAS yöntemlerini kullanmıştır. (Ghorabae vd., 2017:45).

Raylı sistemlere yönelik çalışmalardan bazılarında ise Aydın N. ve arkadaşları İstanbul'daki toplu ulaşım hatlarında müşteri memnuniyet düzeyini incelemiştir. İstatistiksel analiz, bulanık analitik hiyerarşi süreci, yamuk bulanık kümeler ve Choquet integralinin bir kombinasyonunu içeren bir çerçeve önermişler ve sonuçlara göre toplu ulaşım hatlarının iyileştirilmesi için önerilerde bulunmuşlardır. (Aydın vd., 2015:61). Ayrıca, Azadeh A. ve arkadaşları, toplu ulaşım türü olan bir raylı ulaşım sistemini değerlendirmek için bir çerçeve önermiştir. Modellerinde sağlık, güvenlik, ergonomi ve dayanıklılık mühendisliği gibi birkaç kriteri dikkate almışlardır. (Azadeh vd., 2016:12). Bir başka çalışmada ise Özgür O. birçok demiryolu projesinin ve büyük şehirlerdeki hatların performansını maliyet ve yolcu sayısı tahminlerini dikkate alarak değerlendirmiştir. (Özgür, 2011:147).

Bunlara ek olarak, demiryolu ağlarını veya hatlarını sıralamak içinde ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Örneğin Hamurcu M. ve Eren T., (Hamurcu ve Eren, 2020:2777). Mandic D. ve arkadaşları (Mandic vd., 2014:88). ve Görçün O. büyük demiryolu ağlarını değerlendirmek için AHP yöntemini kullanmışlardır. (Görçün, 2021:104). Bir başka çalışmada ise Çerçioğlu H. ve Kılıç O. TCDD iltisak hatlarının değerlendirmesinde VIKOR ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak, 78 farklı yerleşim için altı farklı öncelik sıralaması belirlemişlerdir. (Kılıç ve Çerçioğlu, 2016:211). Yücel N. ve Taşabat S. çalışmalarında ise toplu ulaşımın değerlendirilmesi için AHP kullanmış ve “En İyi En Kötü Yöntem” uygulanarak alternatif ağırlıkları tanımlanmıştır. Sonucunda planlanan toplu ulaşım projeleri arasında sonuç olarak İstanbul şehri için en uygun olanı belirlemişlerdir. (Yücel ve Taşabat, 2019:382). Li J.ve arkadaşları toplu ulaşım hatlarını değerlendirmek için bulanık teori, istatistiksel analiz ve TOPSIS yaklaşımını sentezleyen bir teknik tanıtmıştır. (Li vd., 2019:114271). Buna benzer bir şekilde Stoilova S. ve arkadaşları tarafından Kentsel Sistemler için Sıralı Etkileşimli Modelleme (SIMUS)

entegre ÇKKV kullanarak bir demiryolu ağı performansını değerlendirmek için yeni bir yaklaşım önermiştir. (Stoilova vd., 2020:1482).

Bu çalışmalara ek olarak, toplu ulaşım sistemleri alanında risk yönetiminin önemini vurgulamak için de ÇKKV yaklaşımları kullanılmıştır. Örneğin Zhang H. ve Sun Q. tarafından yapılan bir çalışmada, optimum tren raydan çıkma risk yanıtı stratejisini seçmek için entegre bir ÇKKV yaklaşımı tanıtılmıştır. (Zhang ve Sun, 2020:47). Raylı sistemlerdeki risk yönetimine ilişkin çalışmalar tezin ikinci bölümünde yer almaktadır.

Literatürde ulaşım sistemlerine yönelik ÇKKV yöntemlerinden AHP ve VIKOR yöntemlerine ait Bulanık mantık entegrasyonlu AHP ile VIKOR çalışmaları ilerleyen kısımlarda yer almaktadır.

7.1.1. AHP ve Bulanık AHP' ye Dayalı Çalışmalar

AHP ve Bulanık AHP çeşitli ve farklı uygulama alanları için kullanılmıştır. Bu bölümde, ulaşım sistemlerini çeşitli uygulama alanlarında ve ulaşım altyapısında yer alan çalışmaları değerlendirmek için literatürde hem AHP hem de Bulanık AHP' yi uygulayan çalışmalar yer almaktadır.

Shiau (2013) sürdürülebilir ulaşım stratejilerini değerlendirirken, bu çalışmanın sonuçları, İstanbul Bölgesi'nin konteyner limanı ile ilgili uygun bir kent olduğunu öne sürmüştür.

Mandiç ve arkadaşları (2014) Sırp demiryollarında orijinal iki aşamalı çok kriterli modeli geliştirmiş, bu araştırmanın sonuçları, çok zayıf teknik alt sistemlere rağmen, öncelikli projenin Sırp demiryollarında yeniden yapılandırma ve reforma odaklandığını bulmuştur.

Chou ve arkadaşları (2011), güvence ve güvenilirliğin hizmet kalitesinin önemli kriterleri olduğunu bulmuşlardır.

Bruno ve arkadaşları (2015) stratejik kararların desteklenmesi için uçak değerlendirmesi makalesinin bulgusunda kabin bagaj bölmesi boyutu faktörünün en iyi faktör olduğunu göstermiştir.

Rezaei ve arkadaşları (2014) havayolu perakende sektöründe tedarikçiyi değerlendirip seçmiş, bu makalenin bulgusu tedarikçi seçiminde finansal istikrarın önemli bir kriter olduğunu göstermiştir.

Yedla ve Shrestha (2003), Delhi ulaşım sisteminde çevresel açıdan sürdürülebilirlik açısından en iyi alternatifi değerlendirip seçmiştir. Çalışmalarının sonucunda, “Basınçlı Doğal Gazlı” (CNG) arabada önemli olan nicel kriterlerin maliyet, enerji ve çevre kriterleri olduğunu bulmuşlardır, ayrıca, Niteliksel sonuca yönelik durumunda, CNG otobüs ve CNG araçlarda teknoloji ve uygulanabilirliğin önemli kriterler olduğunu göstermişlerdir. Jones ve arkadaşları (2013) sürdürülebilirlik kriterlerine dayalı olarak kentsel ulaşım ile ilgili projelerin taranması için yeni bir çerçeve önermiştir. Bu çalışmanın sonuçları önerilen çerçevenin öncelikler, yerel sürdürülebilir ulaşım ihtiyaçları ve algıları için yeterince mevcut olduğunu göstermiştir.

7.1.2. VIKOR ve Bulanık VIKOR tabanlı çalışmalar

Çelik ve arkadaşları (2014), raylı ulaşım gibi toplu taşımalarda müşteri memnuniyeti odağının belediyeler ve devlet için önemli bir görev olduğunu, müşteri memnuniyeti ile ilgili önemli faktörlerin gürültü seviyesi ve titreşim, kalabalık ve yoğunluk, klima sistemi ve telefon hizmetleri olduğunu göstermiştir.

Kuo ve Liang (2011), Kuzeydoğu Asya uluslararası havalimanlarının hizmet kalitesini değerlendirmek için etkili bir yöntem sunmuş, çalışma sonuçları, bu yaklaşımın bulanık bir ortamda nitel niteliklerin öznel değerlendirmelerini içeren ÇKKV sorunlarıyla mücadele için etkili bir araç olduğunu göstermiştir.

Liou ve arkadaşları (2011) makalenin bulgusunda; uygulanan VIKOR ve GRA ile Tayvan'daki yerel havayolları arasında hizmet kalitesini artırmak olarak amaçlanmış, havayollarının önemli faktörlerinin odaklanmak isteyebilecekleri ve havayollarının zaten iyi durumda oldukları ve genel durumu etkilemeden çabalarını azaltabilecekleri konusunu ortaya çıkarmıştır.

Tablo 23' de gösterilen çalışmaların beşinde, ulaşım sistemlerini değerlendirmek için VIKOR ve bulanık VIKOR diğer tekniklerle birlikte kullanılmıştır. (Mardani vd., 2014:88).

Yazar (lar) ve yıl	Teknik ve yaklaşım	Uygulama alanı ve kapsamı	Çalışma amacı	Boşluk ve araştırma problemi	Sonuçlar
Kabir (2015)	Bulanık VIKOR	Ulaşım firması	Tehlikeli endüstriyel atık taşıma firması seçimi ve değerlendirme	Tehlikeli endüstriyel atık taşıma firmasının değerlendirilmesi, tehlikeli atık üreticileri için önemli bir sorundur.	Bu çalışma ile sadece nakliye firmalarının sıralaması değil değerlendirip derecelendirmede sağlanmıştır.
Kuo (2011)	Bulanık VIKOR ve GRA	Havayolu sektörü	Havayollarında hizmet kalitesini değerlendirme	Önceki çalışmalar, hava yolculuğu yolcu hizmetlerinin hizmet seviyelerini etkili bir şekilde ölçemez ve ele alamaz.	Ampirik örneğe göre, bu çalışmada önerilen yaklaşımı kullanarak en iyi alternatif tespit edilse bile önceliğin iyileştirme kriterli başka bir alternatif olduğu da elde edebilir.
Liou ve arkadaşları (2011a)	VIKOR	Havayolu sektörü	Tayvan'daki yerel havayolları arasında hizmet kalitesini arttırmak	Rekabetçi bir ortamda, yüksek kaliteli hizmet sunmak önemlidir. 2008'den itibaren küresel ekonomik gerileme, havayollarının sadece hayatta kalmak için mücadele ettiğini göstermektedir.	Havayollarının halihazırda iyi performans gösterdikleri ve genel hizmet seviyesini etkilemeden çabalarını azaltabilecekleri hususlarının izole edilmesi
Kuo, Liang (2011)	GRA' ı VIKOR	Havalimanları	Kuzeydoğu Asya uluslararası havalimanları hizmet kalitesini değerlendirme için etkili bir yöntem sağlamak	Uluslararası havalimanı hizmetlerinde sunulan her bir hizmetin hizmet düzeyinin araştırılması ihtiyacı	Sunulan yaklaşımın, bulanık bir ortamda nitel niteliklerin öznel değerlendirmeleri de dahil olmak üzere ÇKKV problemlerinin çözümü için çok önemli olduğunu göstermiştir.
Celik ve arkadaşları	VIKOR ve aralık tipi-2 bulanık kümeler	Demiryolu taşımacılığı	Türkiye'de demiryolu taşımacılığında müşteri memnuniyetini değerlendirilme	Raylı sistem gibi toplu taşımalarda müşteri memnuniyeti odaklılık belediyeler ve devlet için önemli bir görevidir.	Müşteri memnuniyeti ile ilgili önemli faktörler gürültü seviyesi ve titreşim, kalabalık ve yoğunluk, klima sistemi ve telefon hizmetleridir.

Tablo 23. Diğer tekniklerle birlikte VIKOR ve Bulanık VIKOR Tabanlı Dağıtım

Kaynak: Zhang, H. and Sun, Q., An Integrated MCDM Approach to Train Derailment Risk Response Strategy Selection, 2020

7.2. Çalışma Yöntemi

ÇKKV yaklaşımlarında, plan, politika, strateji ve eylem tarzlarının alternatifleri karşılaştırılarak önemli sayıda aday sınıflandırılır ve aralarından en iyisi seçilmeye çalışılır. ÇKKV yöntemleri, çelişkili niteliklere sahip karmaşık sorunları çözmek için kriterler hakkındaki ağırlık bilgilerini kullanır. (Gül ve Ak, 2018:653). İlk olarak, alternatifler ve nitelikler tanımlanır. Daha sonra her bir alternatifin her bir kriterle göre (ayrı ayrı) ölçümleri alınarak kriterlere göre ağırlıkları atanır. Alternatiflerin toplam değerleri, atanan kriter ağırlıkları ile alternatiflerin tek kriterli değer ölçümlerinin bir entegrasyon modeli ile birleştirilmesiyle belirlenir. Son olarak duyarlılık analizi yapılarak sonuç önerileri ve değerlendirmeleri sunulur.

7.2.1. Önerilen Entegre Yaklaşım

Önerilen entegre yaklaşımda kullanılan yöntemlerin teorik arka planı bu bölümde açıklanacaktır. “Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci” (PFAHP) adımları birinci bölümde verilmektedir. İkinci bölümde ise, toplu ulaşım hattı alternatiflerini değerlendirmek için kullanılan “Bulanık VIKOR” (FVIKOR) yöntemi sunulmuştur. Tez çalışmasının son bölümde ise, önerilen yaklaşım PFAHP ve FVIKOR yöntemlerinin sonuçları gösterilmiştir.

7.2.2. Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (PFAHP)

Bu alt bölümde, önerilen bulanık analitik hiyerarşi metodolojisini içerir. PFAHP yönteminin aşamaları aşağıdaki adımlarda gösterilmiştir. Pisagor bulanık analitik hiyerarşi sürecine ait yöntemin adımları ve yöntemde yer alan formüller aşağıda gösterildiği şekilde olmaktadır. (İlkbahar vd., 2018; Ak. ve Gül, 2018; Bakioğlu G. ve Atahan A. O., 2021; An vd., 2011)

1. Adım:

Uzlaşılan ikili karşılaştırma matrisi $R = (r_{jt})_{m \times n}$ uzmanların değerlendirmelerine göre yapılandırılmıştır. Karar matrisleri için kullanılan dilsel ölçek, İlkbahar E. ve arkadaşlarının çalışmasından yer almakta olan Tablo 27’ de sunulmaktadır. (İlkbahar vd., 2018:124).

2. Adım:

Üyelik dışı ve üyelik fonksiyonların farklı değerleri (alt ve üst) arasındaki fark matrisleri $D = (d_{ij})_{m \times n}$ kullanılarak hesaplanır.

Denklem (1) ve (2):

$$d_{ijL} = \mu_{ijL}^2 - V_{ijU}^2 \quad (1)$$

$$d_{ijU} = \mu_{ijU}^2 - V_{ijL}^2 \quad (2)$$

3. Adım:

Aralık çarpım matrisi $S = (s_{ij})_{m \times n}$ (3) ve (4) nolu denklemler aracılığıyla hesaplanır.

Denklem (3) ve (4):

$$s_{ijL} = \sqrt{1000 d_{ijL}} \quad (3)$$

$$s_{ijU} = \sqrt{1000 d_{ijU}} \quad (4)$$

4. Adım:

r_{jt}' in $H = (h_{ij})_{m \times n}$ belirleyicilik değeri Denklem kullanılarak hesaplanır. (5):

$$h_{ij} = 1 - (\mu_{ijU}^2 - \mu_{ijL}^2) - (V_{ijU}^2 - V_{ijL}^2) \quad (5)$$

5. Adım:

Belirsizlik dereceleri $S = (s_{ij})_{m \times n}$ matrisi ile çarpılarak normalizasyon ağırlıkları $T = (r_{ij})_{m \times n}$ öncesi matris Denklem ile hesaplanır. (6):

$$\tau_{ij} = \frac{s_{ijL}}{s_{ijU}} h_{ij} \quad (6)$$

6. Adım:

Normalleştirilmiş öncelik ağırlıkları w_i Denklem ile elde edilir. (7):

$$W = \frac{\sum_{j=1}^m w_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij}} \quad (7)$$

7.2.3. Bulanık Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü (FVIKOR) Fuzzy Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (FVIKOR)

2004 yılında, ÇKKV konularını ele alırken, Opricovic ve Tzeng, ilk olarak Opricovic olarak ifade edilen VIKOR sürecini kullanmışlardır. Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü kelimesinin kısaltması olan VIKOR' un tanımı, birden fazla parametrenin optimizasyonu ve uzlaşmaya yönelik bir çözümdür. Alternatifler bağlamında ve değerlendirme kriterleri kapsamında, yaklaşımın temeli uzlaşmacı bir çözüm oluşturmaktır.

Bu uzlaşma yaklaşımı, optimal çözüme en yakın olanıdır. Bu yaklaşımda, alternatifler için çok kriterli bir derecelendirme indeksi oluşturularak, bazı koşullar altında optimal çözüme en yakın kararı almak mümkündür. Uzlaşma derecesi, yakınlık değerlerinin optimal alternatifle karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmektedir.

Bu alt bölümde, önerilen FVIKOR metodolojisi yer almakta olup FVIKOR yönteminin aşamaları aşağıdaki adımlarda gösterilmiştir. (Hamurcu E. vd. 2017; Gül vd. 2018:3-16; Bakioğlu G. ve Atahan A. O., 2021)

1. Adım:

Öncelikle değerlendirme kriterleri için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerleri hesaplanır. Fayda anlamında bir kriter olan, “i” kriteri değerlendirme açısından, $I = 1, 2, \dots, n$ şeklinde ise (f_i^*) ve (f_i^-) aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$(f_i^*) = \max_j f_{ij}, (f_i^-) = \min_j f_{ij} \text{ “i” inci fonksiyon bir faydayı temsil ediyorsa,}$$

$$(f_i^*) = \min_j f_{ij}, (f_i^-) = \max_j f_{ij} \text{ “i” inci fonksiyon bir maliyeti temsil ediyorsa,}$$

2. Adım:

Değerlendirme birimleri için “ S_j ” ve “ R_j ” değerleri belirlenir. Kriter ağırlıkları w_i ile ifade edilir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n W_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (8)$$

$$R_j = \max [W_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad (9)$$

3. Adım:

Her değerlendirme birimi için Q_j değerleri hesaplanır.

$$Q_j = v \frac{(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) \frac{(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (10)$$

“Niteliklerin çoğunluğunun” (veya “maksimum grup faydasının”) karar verme stratejisinin ağırlığı;

$v \in [0,1]$ olduğunda,

$$(S^*) = \min_j S_j, (S^-) = \max_j S_j \text{ ve } (R^*) = \min_j R_j, (R^-) = \max_j R_j$$

4. Adım:

S , R ve Q ' nin ölçülen değerlerini listelenir. Alternatif kategorisinde en iyi seçenek olarak en küçük Q değerine sahip değerlendirme birimi ifade edilir ve son adım, Q ölçüsüne göre en iyi sıralanan bir uzlaşmalı çözüm önerilir.

5. Adım:

Elde edilen sonuçların doğruluğunun kabul edilebilmesi için iki koşulun karşılanması gerekir. Bu şekilde alternatif, minimum Q değeri ile daha iyi veya en uygun olarak kabul edilebilir. Birinci koşul, kabul edilebilir avantajla, ikincisi ise karar vermede kabul edilebilir istikrarla ilgilidir. En iyi alternatif de en iyi S veya R parametreleriyle sıralanmalıdır.

7.3. Tez Çalışmasında Önerilen Yaklaşımın Uygulanması

Tez çalışmasında, Antalya HRS işletmesinde yer alan 3 farklı aşama incelenmiş ve bu aşamalar, dört ana kriter üzerinden değerlendirilmiştir. Öncelikle bu dört kriter için, uzman görüşleri alınmış ve bu görüşlere bağlı olarak değerler kayıt altına alınmıştır. Böylece dört ana kriter için Pisagor Bulanık Kümesi Tablo 28' deki gibi oluşturulmuştur. Tablo 28 de gösterilen analizde faydalanılan kriterler ekonomi, konfor, çevre ve güvenlidir.

Her bir kriter, raylı sistem hatlarının derinlemesine araştırılmasını ve bunların uygulanabilir ve özel karşılaştırmasını anlamak için çeşitli alt faktörlere sahiptir.

Örneğin önde gelen kriter olan ekonominin dört adet alt faktörü bulunmaktadır; bu alt faktörler Tablo 29' da yer almakta olup aşağıdaki gibidir.

Personel maliyeti,

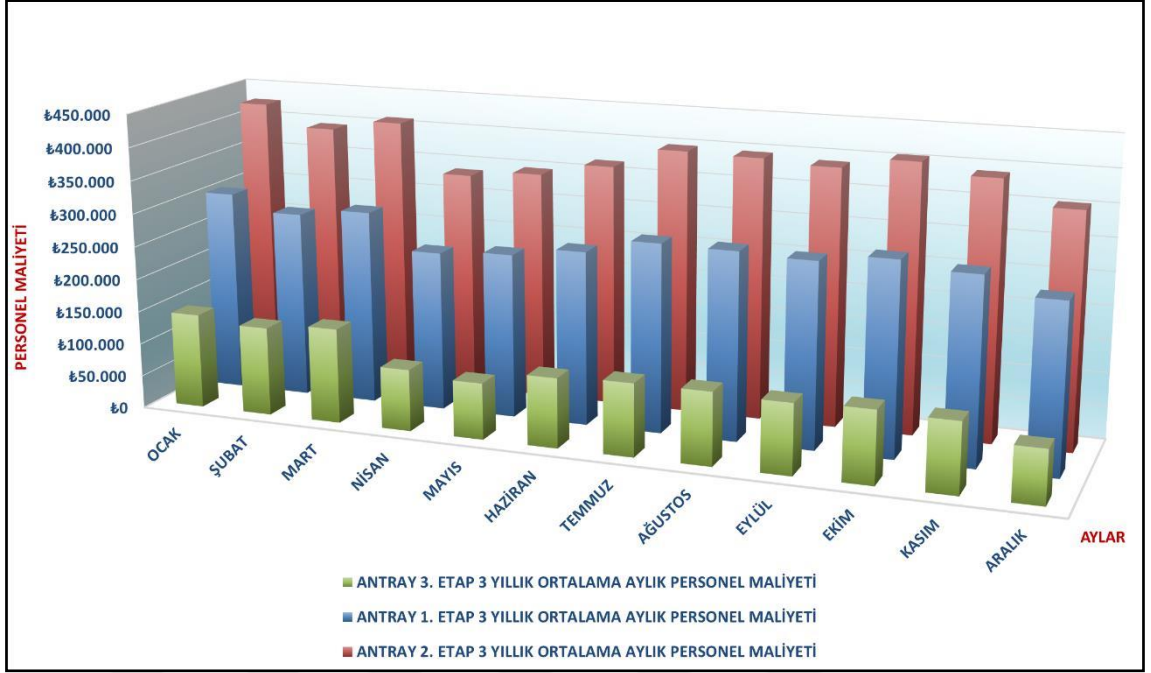
Enerji maliyeti,

Yolculuk maliyeti,

Km başına işletme maliyeti,

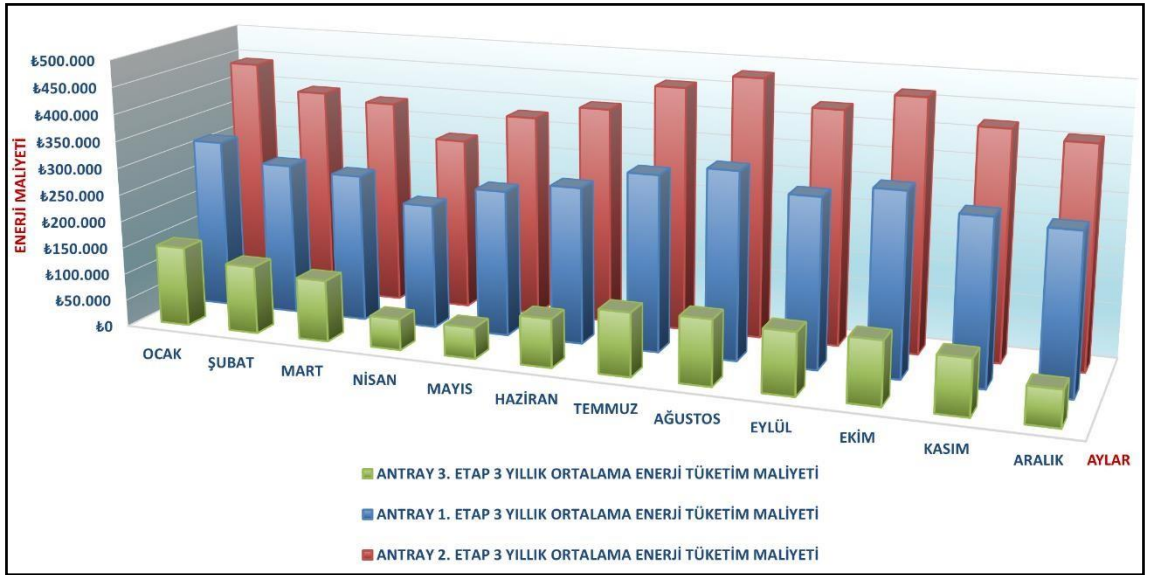
Personel maliyeti, maaşları gibi personele yapılan harcamalara bağlıyken, enerji maliyeti, enerji şirketlerine ödenmesinden dolayı oluşan masrafları ifade eder. Ayrıca yolculuk maliyeti temel olarak yolcuların toplu taşıma aracı kullanımı için alınan ücretleri, km başına işletme maliyeti ise hattın işletme maliyetini ifade etmektedir.

Personel maliyetleri hesaplanırken Antalya kentiçi hafif raylı sistemde yer alan üç farklı aşama göz önüne alınmıştır. İşletim yapılan yıllar ve aylara göre son 3 yılın verileri işlenmiştir. Personel maliyetlerini Tramvay araçlarını kullanan vatmanlar, durak ve tramvay araçlarının temizlik hizmetini yapan görevliler ile tramvay, raylı sistem hatları ve sabit tesisler departmanlarında görevli olan teknik personellerin işveren maliyetleri hesaba katılmıştır. Son 3 yılın verileri toplanmış ve aylık bazda ortalama personel maliyeti çıkarılmıştır. Çıkarılan personel maliyetleri ortalama aylık olarak aşağıdaki Şekil 23' de gösterilmektedir.



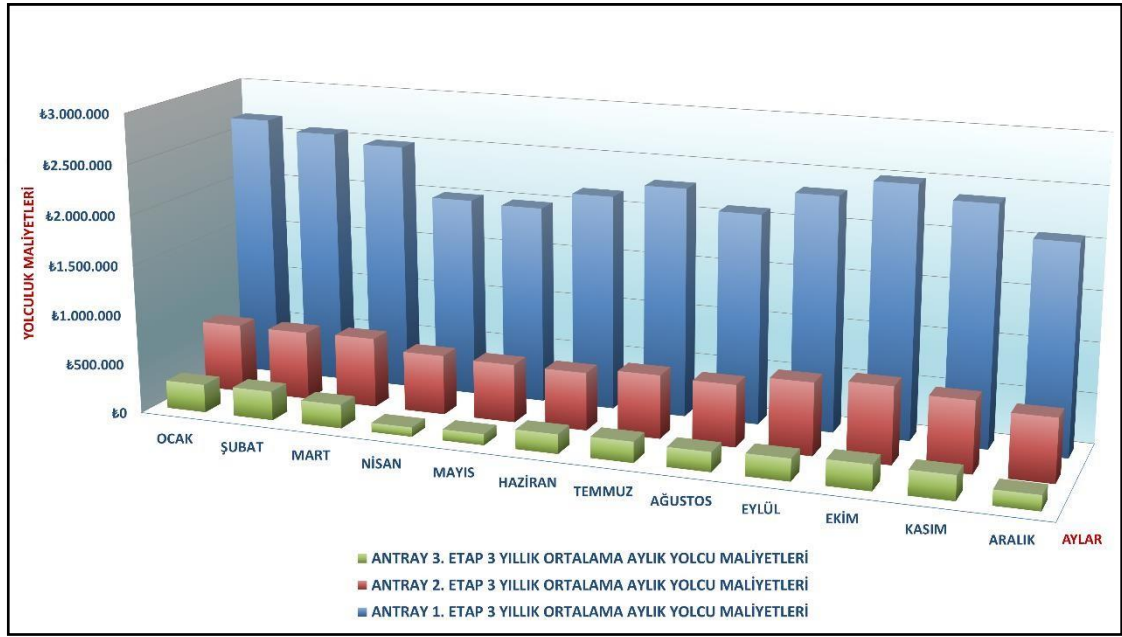
Şekil 23. Antray HRS Hatları 3 Yıllık Ortalama Aylık Personel Maliyetleri

Bir alt faktör olan enerji maliyetleri hesaplanırken yapılan her bir sefer ve tramvay araçlarının yaptığı kilometreler göz önüne alınmıştır. Yine enerji maliyetleri çalışmasında 3 farklı hafif raylı sistem aşaması için yıllar bazında toplam yapılan sefer ve kilometreler hesaplanıp aylık ortalama enerji tüketimleri bulunmuştur. Aylara göre son 3 yılın ortalama enerji maliyetleri Şekil 24’ de gösterilmektedir.



Şekil 24. Antray HRS Hatları 3 Yıllık Ortalama Aylık Enerji Maliyetleri

Yolcuların tramvay araçlarını kullanmak için ödedikleri ücretler yolculuk maliyeti olup, bu ücretlerde farklı tarihlerde fiyat düzenlemeleri (ücret zamları, resmi veya özel günlerde ücretsiz binişler vb.) yapılabilmektedir. Ayrıca kentiçi toplu taşıma ücretlerinde çeşitli kategorilerde indirimler ve ücretsiz kullanım hakları mevcuttur. Ücretsiz binişler, farklı türdeki indirimli yolculuk yapan kişilerin toplam biniş sayıları ve son 3 yıla göre ortalama aylık kullanımları hesaplandığı zaman yolculuk maliyetlerinde 3 farklı aşama için Şekil 25’ deki grafik ortaya çıkmaktadır.



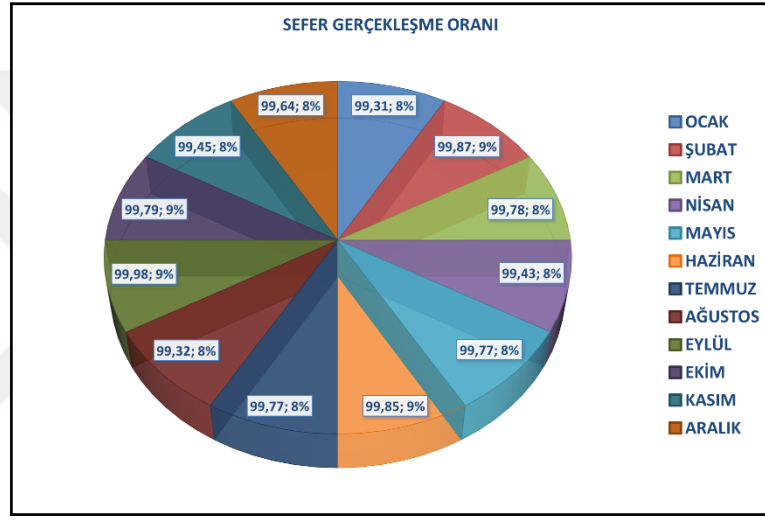
Şekil 25. Antray HRS Hatları 3 Yıllık Ortalama Aylık Yolculuk Maliyetleri Oranı

Diğer ana kriter olan konfor ise Tablo 29’ da gösterildiği üzere beş alt gruba ayrılmıştır Konfor kriterinin alt grupları aşağıdaki gibi olup bu gruplardaki değerler; hizmette bulunan tramvay araçlarının tarifeye göre oranını, işletme kapasitesi (araç sayıları, sefer tarifeleri, araç tipleri, istasyon erişimleri vb.) gibi bilgilerini ifade etmektedir.

- Hafif raylı sistem işletme hızı,
- Hafif raylı sistemde yaşanan sefer gecikmelerinin sayısı,
- Hafif raylı sistemde yaşanan sefer gecikme süreleri,
- Hafif raylı sistemde yer alan istasyonların erişimi,
- Hafif raylı sistem araçlarında oturarak yapılan yolculukların oranıdır.

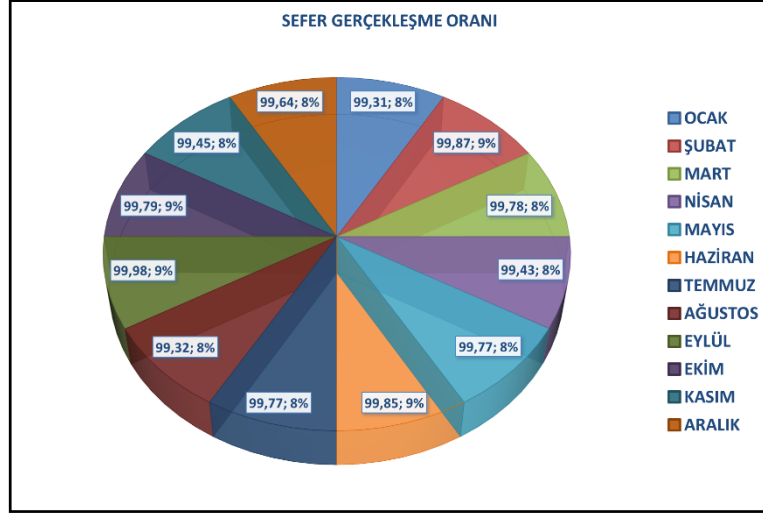
Öte yandan, yolcuların konforunu da etkileyebilecek gecikmeler meydana gelebilir. Bunun için sefer gecikme sayısı ve sefer gecikme süreleri analiz için konforun alt faktörleri olarak ele alınmıştır.

Sefer sayıları ANTRAY işletmesi tarafından planlanmış olan 1. 2. ve 3. aşamada günlük olarak yapılacak tramvay seferlerini ifade etmekte olup, gerçekleşen sefer sayıları çeşitli nedenler dolayı değişiklik gösterebilmektedir. Antalya hafif raylı sistem işletmesi tarafından son 3 yılın aylık planlanan ve gerçekleşen sefer gerçekleştirme oranları aşağıdaki tablolarda yer almaktadır.



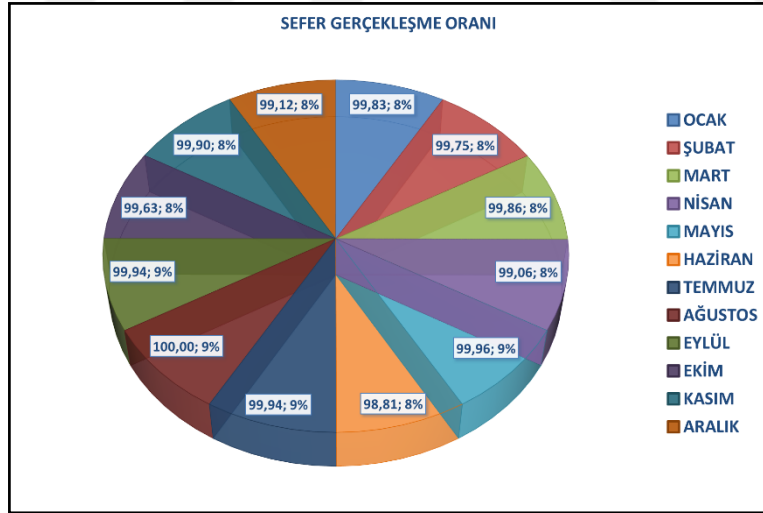
Şekil 26. Antray HRS 1. Aşama Ortalama Sefer Gerçekleşme Oranları

Antalya HRS 1. aşama olan Fatih – Meydan hattına ait son üç yılın ortalama sefer planlama ve gerçekleştirme oranları incelendiğinde Şekil 26’ da görüleceğ üzere, en yüksek sefer gerçekleştirme oranına ait ayın % 99,98 oran ile Eylül ayı olduğu görülmüştür. Yine aynı şekilde en düşük sefer ortalama sefer gerçekleştirme oranının ise % 99,31 oran ile Ocak ayı olduğu görülmüştür.



Şekil 27. Antray HRS 2. Aşama Ortalama Sefer Gerçekleşme Oranları

Antalya HRS 2. aşama olan Meydan – Havalimanı – Expo hattına ait son üç yılın ortalama sefer planlama ve gerçekleşme oraları incelendiğinde ise Şekil 27’ de görüleceği üzere, en yüksek sefer gerçekleşme oranına ait ayın yine % 99,98 oran ile Eylül ayı olduğu görülmüştür. Aynı şekilde en düşük sefer ortalama sefer gerçekleşme oranının ise % 99,31 oran ile Ocak ayı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 28. Antray HRS 3. Aşama Ortalama Sefer Gerçekleşme Oranları

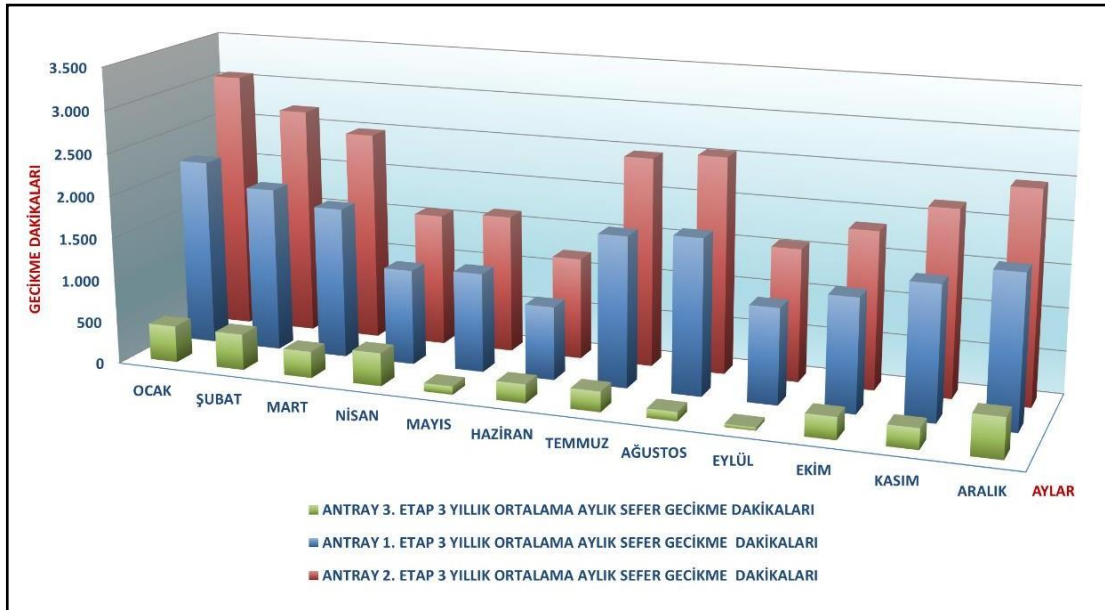
Benzer şekilde Antalya HRS 3. aşama hattına ait olan Varsak – Atatürk durakları arasında planlan ve gerçekleşen seferlerin son üç yılın ortalaması incelendiğinde ise Şekil 28’ de görüleceği üzere, en yüksek sefer gerçekleşme oranına ait ayın yine % 100 oran ile

Ağustos ayı olduğu görülmüştür. Aynı şekilde en düşük sefer ortalama sefer gerçekleşme oranının ise % 99,06 oran ile Nisan ayı olduğu tespit edilmiştir.

Sefer sayılarında ise planlanan seferlerde çeşitli nedenlerden dolayı yaşanan gecikmeleri kapsamaktadır. Konfor ana kriteri altındaki bu alt grupların çeşitli nedenleri,

- Tramvay aracının arızası nedeniyle yaşanan sefer gecikmesi veya iptali,
 - Tramvay hattında meydana gelen kaza, yangın vb. sebeplerden sefer gecikmesi,
 - Tramvay hatlarında yaşanan elektrik kesintileri nedeniyle sefer gecikmesi veya iptali,
 - Tramvay hatlarında yaşanan hat alt yapı veya üst yapı ile ilgili problemler veya diğer arızalar nedeniyle sefer gecikmesi veya iptali,
 - İklim koşulları nedeniyle yaşanan sefer gecikmesi veya iptali,
 - Çeşitli nedenlerden dolayı, (yürüyüş, konser, eylem, koşu maratonu vb.) yaşanan sefer gecikmesi veya iptali,
- Olarak sayılabilmektedir.

Antalya hafif raylı sistem işletmesi tarafından son 3 yılın aylık olarak yapılan seferlerin ortalama gecikme süreleri Şekil 29’ da gösterildiği gibidir.



Şekil 29. Antray HRS 3 Yıllık Ortalama Sefer Gecikme Dakikaları

Ayrıca, istasyonlara erişim, tramvay hizmetlerine ulaşmak için yolcuların konforu için çok önemlidir, çünkü istasyonların veya durakların düşük erişilebilirliği, toplu taşıma kullanıcılarını hafif raylı sistemi tercihini etkilemektedir. Tramvay duraklarına erişimde, uzman görüşleri tarafından yapılan puanlama sistemi ile 3 farklı hafif raylı sistem aşaması ve tüm duraklar ile istasyonların analizi yapılmıştır. Uzmanlar tarafından yapılan ortalama puanlama ise, Tablo 24’ de gösterilmektedir.

Durağa Erişebilirlik Yönü	Puanlama
Tek Taraftan Hemzemin Geçit	1
Çift Taraftan Hemzemin Geçit	2
Üç Taraftan Alt Geçit	3
İki Taraftan Alt Geçit	2
Çift Taraftan Üst Geçit	2
Bilet Makinesi	Puanlama
Mevcut	1
Mevcut Değil	0
Perona Giriş Tipi	Puanlama
Tek Yönlü	1
İki Taraftan Giriş	2
Yürüyen Merdiven	Puanlama
Mevcut	1
Yok	0
Yürüyen Bant	Puanlama
Mevcut	1
Yok	0
Asansör	Puanlama
Mevcut	1
Yok	0
Perondaki Turnike Sayısı	Puanlama
0-2 Adet	1
3-5 Adet	2
6 ve Üzeri	3

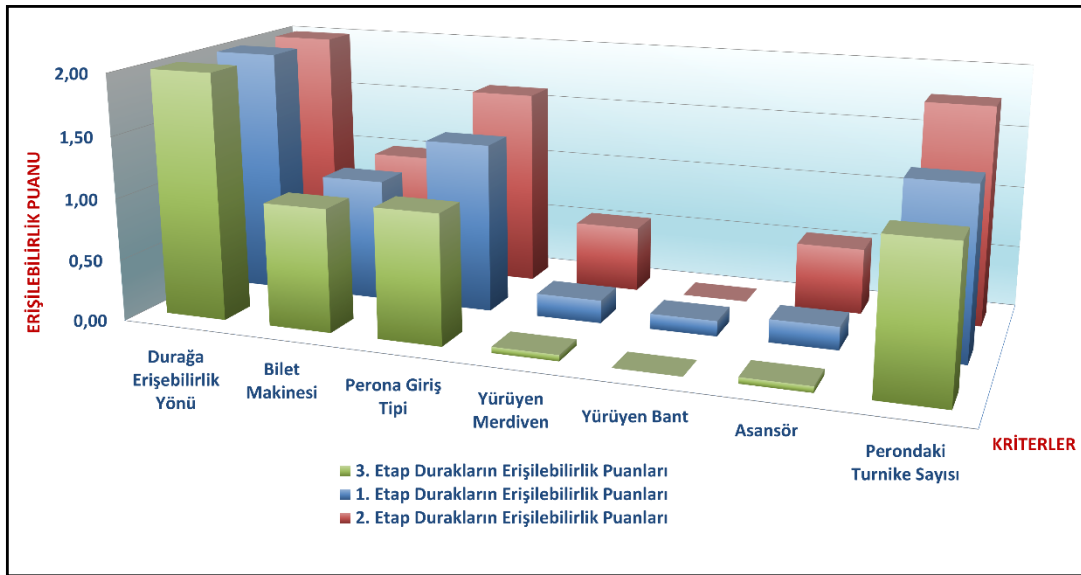
Tablo 24. Antray HRS Duraklarının Erişebilirlik Puanları

Bu puanlamada esas olan kriterler aşağıdaki gibidir,

- Durağa erişebilirlik durumu,
- Bilet Makinesi bulunma durumu,

- Perona giriş tipi, (durak peron giriş ve çıkış sayıları)
- Yürüyen merdiven bulunma durumu,
- Yürüyen bant bulunma durumu,
- Asansör bulunma durumu,
- Perondaki turnike sayısı

Uzmanlar tarafından belirlenmiş olan ortalama puanlama sistemine göre üç etabın duraklardaki erişilebilirlik puanları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, durağa erişilebilirlik yönü, bilet makinesi bulunma durumu, perona giriş tipi, yürüyen merdiven, bant ve asansör bulunma durumu ve turnike sayısı açısından yedi farklı kriter üzerinden yapılmıştır. Şekil 30’ da görüleceği üzere yapılan hesaplamalara göre duraklara erişilebilirlik yönü ve bilet makinelerinin bulunması açısından her üç etap aynı puanı almıştır. Perona giriş tipi, duraklarda yürüyen merdiven ve asansör bulunması ve turnike sayısı açısından ise 2. aşama puanlamasının 1. ve 3. aşamalarının puanlamasından yüksek olduğu görülmüştür. Ayrı ayrı puanlama sonucunda ise 1. 2. ve 3. aşamalara ait toplam durak erişilebilirlik puanları Şekil 31’ deki gibi bulunmuştur. Bu hesaplamalara göre 2. aşama ilk sırada yer alırken 3. aşama ise 3. sırada yer almıştır.

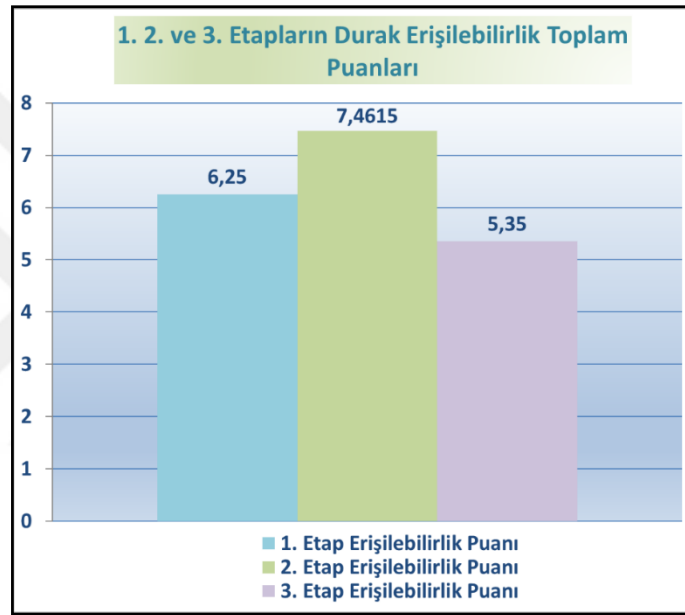


Şekil 30. Antray HRS Duraklarının Belirlenen Kriterlere Göre Erişilebilirlik Puanları

Aynı şekilde istasyonlara erişimin yüksek olması da yolcu sayısını arttırabilmektedir. Hizmete erişim hayati önem taşır, bununla birlikte seyahat sürecinse oturarak yolculuk yapmak genellikle yolcuların konforunu ve memnuniyetini artırır. Bu

nedenle, hizmet başına oturarak yolculuk oranı da analizde bir alt faktör olarak yer almaktadır.

Oturarak yapılan yolculuk hesaplamalarında hafif raylı sistem hatlarında yapılan seferler ve seferlerde kullanılan araçlar göz önüne alınmıştır. İşletmede bulunan iki farklı tip araç bulunmakta olup araç kapasiteleri farklılık göstermektedir. Yapılan toplam seferlerin taşınan toplam yolcu oranları ile kapasite hesabı yapılmış ve böylece yolculuk için oturarak yolculuk yapılabilme oranları bulunmuştur. Şekil 32’ de son 3 yılın aylı ortalama oturarak yapılan yolculuk oranları görülmektedir.



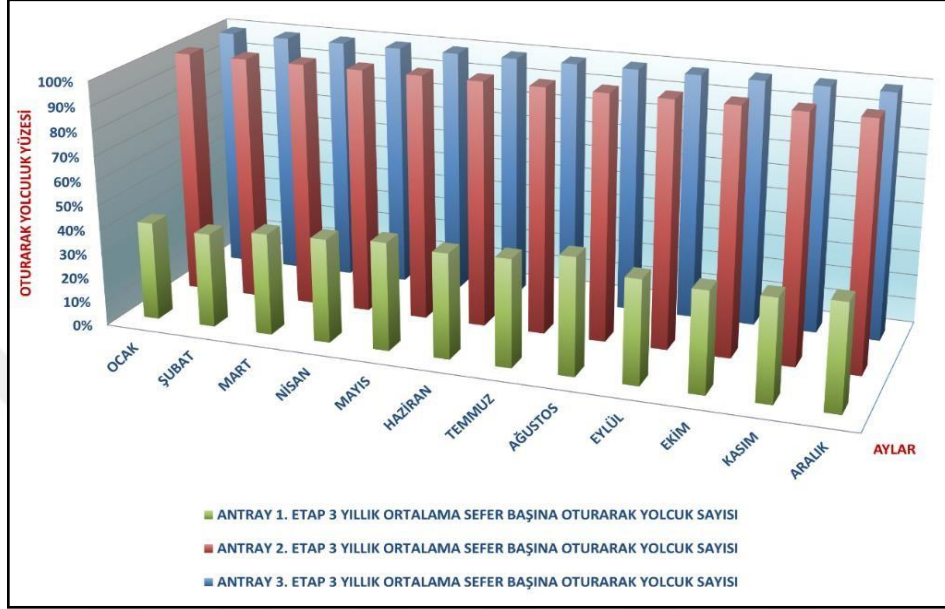
Şekil 31. Antray HRS Aşamaların Toplam Durak Erişilebilirlik Puanları

Çevresel etki kriteri de ana kriter olarak, toplu taşımadaki raylı sistem hatlarını değerlendirmek için esastır, çünkü çoğu hat, birçok insanın yaşadığı kentsel veya yerleşim alanlarından geçer. Çevresel faktörler ile ilgili çevre kriteri üç alt gruptan oluşur; bu alt gruplar,

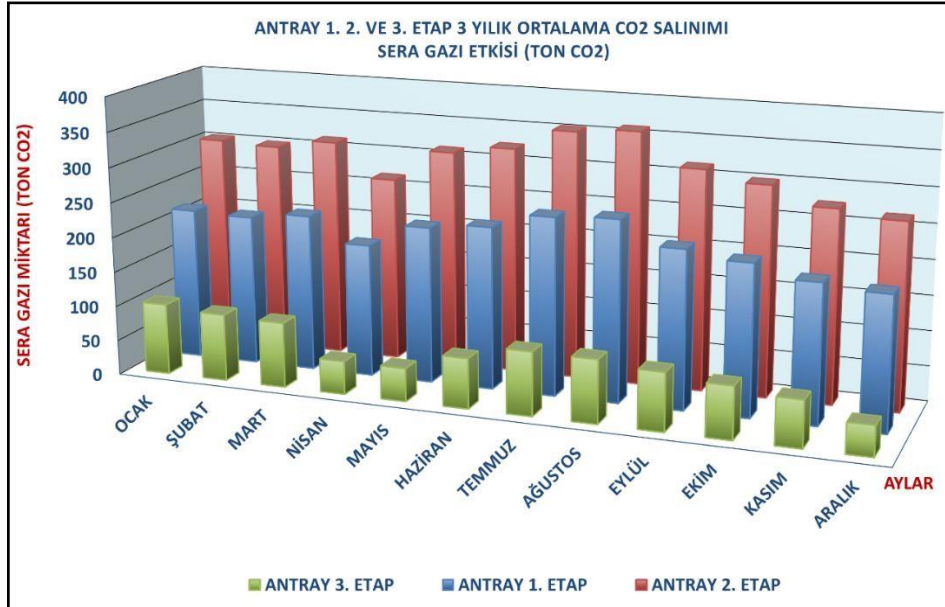
- Sera gazı emisyonu,
- Gürültü seviyesi,
- Temizlik hizmetleri, şeklinde sayılabilmektedir.

Sera gazı emisyonu, hava kirliliğine neden olan raylı sistem hattındankaynaklanan emisyon veya egzoz gazlarının miktarını ifade eder. Hava kirliliği solunum

bozukluklarına veya hastalıklara neden olduğundan, raylı sistem hatlarının değerlendirilmesinde üretilen emisyon gazı miktarı dikkate alınmalıdır. Antalya hafif raylı sistem işletimleri sırasında tüketilen elektrik enerjisi nedeniyle bu elektriğin üretilmesi sırasında açığa çıkan sera gazları Şekil 33’ deki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 32. Antray HRS 1. 2. ve 3. Aşamada Oturarak Yolculuk Oranları



Şekil 33. Antray HRS Etaplarında Elektrik Tüketimi Nedeniyle Ortaya Çıkan Sera Gazları Miktarları

Aynı zamanda gürültü seviyesi, raylı sistem araçları ile demiryolu arasındaki sürtünme gürültüsü gibi, esas olarak demiryolu hizmetlerinden kaynaklanan gürültü kirliliği miktarını gösterir. Aynı şekilde gürültü kirliliği de yaşam kalitesini düşürdüğü ve birçok hastalığa neden olabileceği için değerlendirmeye dahil edilmektedir. Gürültünün hesaplanmasında, tramvay işletimi sırasında ve bekleme sürelerinde meydana gelen gürültüler, duraklarda ve istasyonlardaki süreler etkili olmakta ve değerlendirme uzmanın yapmış olduğu puanlama sistemine göre yapılmıştır. Çevresel gürültünün değerlendirilmesi Tablo 25’ de gösterilmekte olup, 04.06.2010 Tarih ve 24601 sayılı “Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği” ve eklerine göre yapılmıştır.

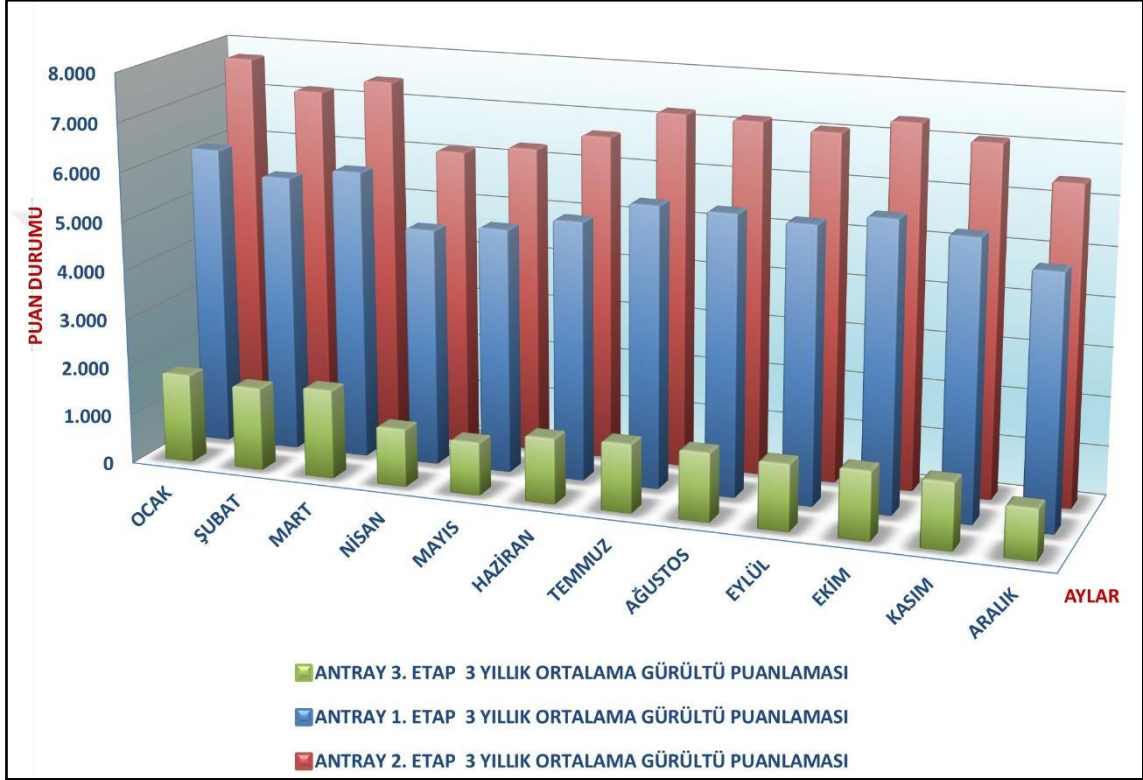
Yer altı istasyonlar		L _{eq} (dBA)	Yer üstü istasyonlar		L _{eq} (dBA)
Gişeler, merdivenler, koridorlar		55	Platformlar (platform kenarından 1,8 m)	Duran ve kalkan trenler için	70
Platformlar (platform kenarından 1,8 m)	Duran ve kalkan trenler için	80		Geçen trenler	75
	Geçen trenler	85		Çalışır durumda bekleyen trenler için	65
	Çalışır durumda bekleyen trenler için	65			
İstasyon içinde havalandırma sistemi		55			
Caddelerde havalandırma kanalları (9 m’de)		55			
İstasyon içinde kapalı hacimlerde bulunan acil havalandırma fanları (22,5 m’de)		80			

Tablo 25. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği

Kaynak: Murat., S. ve Şahin, L., Düünden Bugüne İstanbul'da Ulaşım, 2010

Antalya HRS’ de yer alan 3 aşama ve duraklarda ortaya çıkan puanlama sonucunda 1. 2. ve 3. aşamanın ortalama gürültü puanlaması Şekil 34’ deki gibi bulunmuştur.

Ayrıca, tramvay araçlarının ve durakların temizliği yolcuları toplu taşımayı kullanmaya teşvik ettiğinden temizlik hizmeti de çevre kriteri kadar önem arz etmektedir. Puanlama sistemi, raylı sistem işletmelerinde çalışan uzmanların ortak görüşleri neticesinde oluşturulmuştur. Hafif raylı sisteme ait tramvay araçları ile 1. 2. ve 3. aşama durakları ve bu aşamaların hat altyapı ve üst yapı temizlik türleri ve temizlik sayısında göre puanlamaları Tablo 26’ da gösterildiği gibidir.



Şekil 34. Antray HRS Hatlarında Yapılan Seferlerden Kaynaklı Oluşan Gürültü Puanlaması

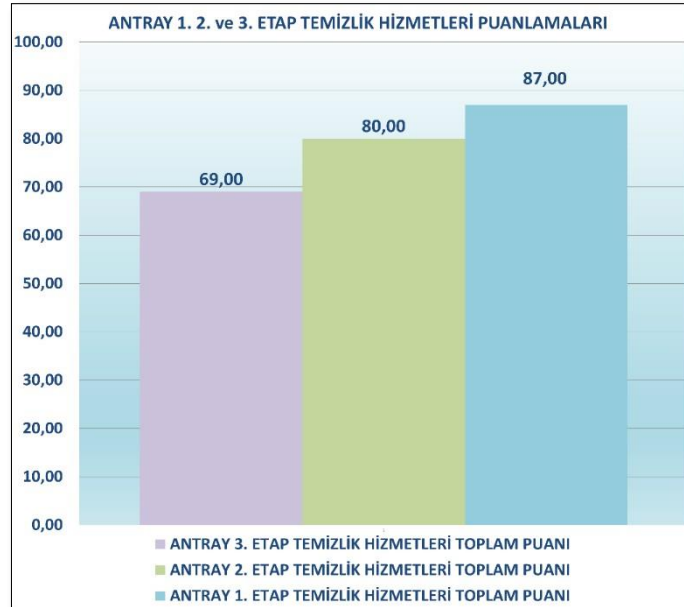
1 Yıl İçerisinde Yapılan Temizlik İşlemleri	Yılda Yapılan Temizlik Sayısı	Yapılan İşe Göre Puanlama
Durak Zemin Temizliği	0	0
Durak Camları Temizliği	1	1
Durak Paslanmaz Yüzey Temizliği	2	2
Durak Çöplerinin Alınması	3	3
Araç İçi Temizlik	4	4

(Tablo 26. Devam)

Araç İçi Dezenfeksiyon	5 - 12	5
Araç Dış Yıkama	13 - 15	6
Ray Oluk İçleri Temizliği	16 - 26	7
Hat İçerisi Drenaj Mazgalları Temizliği	27 - 36	8
Hat Kenarı Drenaj Kanalı Temizliği	37 - 52	9
Hat İçerisi Ot vb. Temizliği	53 - 180	10
Yeraltı İstasyon Drenaj Pompaları Kontrolü	180 -240	11
Yeraltı İstasyon Drenaj Odaları Temizliği	> 240	12

Tablo 26. Antray HRS Hatlarında Yapılan Temizlik Türleri ve Puan Katsayıları

Tramvay araçları, durak ve istasyonlar ile hatlara ait sistem temizlikleri puanlaması sonucunda toplam elde edilen puanlar ise Şekil 35’de gösterilmektedir.



Şekil 35. Antray HRS Hatlarında Yapılan Temizlik Hizmeti Puanlaması

Uzman görüşlerine göre dört ana kritere öncelik verilmiştir. Şekil 40' da görüleceği üzere, ekonomi kriteri %47,2 ile en yüksek önceliğe sahip iken, güvenlik kriteri %25,6 ile ikinci sırada yer almaktadır. Daha sonra konfor ve çevre sırasıyla üçüncü ve dördüncü sırada yer almaktadır.

Toplu taşıma projelerinin yatırım maliyetinin yüksek olması nedeniyle en yüksek ağırlığa sahip olarak “Ekonomi” kriteri elde edilmiştir. Çünkü inşaat sektöründe bütçelerin kısıtlı olması ve karar vericilerin çoğu zaman minimum bütçe ve kısıt kaynaklarla en yüksek faydayı elde etmeye çalışmasını gerektirmektedir.

Uzman görüşleri incelendiğinde, HRS hatları için güvenliğin ikinci sırada olduğunu ortaya çıkmaktadır. Bu sonucun bir nedeni, birçok taşıtın öncelikli olmayan güvenli toplu taşıma hatlarını kullanması olarak görülmektedir.

Konfor kriteri, çevre kriterine göre daha yüksek bir önceliğe sahiptir, çünkü yolculuk sırasında konforun yüksek olması toplu taşıma kullanıcıları için tercih edilebilirliği arttırmaktadır.

Uzman görüşleri neticesinde, önde gelen ekonomi kriterinin öncelik ağırlığı hesaplamasının değerlendirilmesinde ise Şekil 41' de görüleceği üzere sonuç olarak, en yüksek öncelikli ağırlığın, enerji maliyeti alt faktörüne karşılık geldiği görülmektedir diğer alt faktör ağırlıkları benzer olmasına rağmen personel maliyet ağırlığı, yolcuma liyet ağırlığı ve km ağırlık başına işletme maliyetinden biraz daha fazladır.

Konfor ana kriterinin alt faktörleri olan; sefer sayılarının gerçekleşme oranı, sefer gecikme süreleri, sefer gecikme sayısı, istasyonlara erişimi ve seferlerdeki araçlarda oturarak yapılan yolculuk oranları uzman görüşleri doğrultusunda en yüksek öncelikli ağırlıktan en düşüğe doğru sıralanmıştır. Yapılan sıralama Şekil 42' de gösterilmiştir. Sefer oranlarının hizmetteki güvenilirliği, hattın niteliklerine önemli katkı sağlamaktadır. Bu nedenle en yüksek ağırlıklar hizmet hızı, hizmet gecikme süreleri ve hizmet gecikme sayısı için görülmektedir. Bu oranların toplamı neredeyse %80'dir. Bu sonuç, raylı sistem hizmetlerinde güvenilirlik ve dakiklığın önemli bir rol oynadığını açıklamaktadır.

İstasyonların erişimi ve sefer başına oturarak yapılan yolculukların oranı, müşteri memnuniyeti için gerekli olan diğer kriterlerdir. Uzmanlara göre, zamanında hizmet,

yolcuların istasyonun erişimi ve seyahat esnasında oturarak yolculuk yapmaları seyahatleri daha konforlu hale getirmektedir.

Şekil 43’ de “Çevre” etki ana kriterinin alt faktörleri uzman görüşlerine göre öncelik ağırlıklarında sıralanmıştır. Alt faktörlerden olan sera gazı emisyonu, %62,5 ile en yüksek öncelikli ağırlığa ulaşmaktadır. Çevresel etkinin alt faktörlerinin ağırlıklarında yarısından fazlasının hava kirliliğinin öncelikli ağırlığı olarak ortaya çıkması, bu alt faktörün gürültü seviyesi ve temizlik gibi diğer alt faktörlerle karşılaştırıldığında önemini ortaya koymaktadır. Gürültü ve temizlik alt faktörlerinin ağırlıkları, uzman görüşlerine bağlı olarak hemen hemen aynıdır. Bununla birlikte, gürültü seviyesi ağırlığı, temizlik ağırlığından biraz daha fazladır.

Öncelikle yapılan tez çalışmasının bu kısmında, “Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci” (PFAHP) için gerekli olan ana kriterleri ve alt faktörlerini değerlendirmek için öncelikle uzman görüşleri kayıt altına alınmıştır. Daha sonrasında ise alt faktörlerin öncelik ağırlıklarını elde etmek için uzman görüşleri kullanıldığından dolayı “Bulanık Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü” (FVIKOR) ile bir sonraki analiz aşaması için bir ulaşım bilgisi arka planı hazırlanmıştır. FVIKOR tarafından bir sonraki aşamada ise hafif raylı sistem hatlarından gerçek vakalardan elde edilen sayısal veriler dikkate alınmıştır. Bu nedenle, PFAHP sonuçları, FVIKOR analizinin sonucunu güçlü bir şekilde desteklemektedir. Bu parametrelere göre tehlikelerin öncelik sıraları daha sonra FVIKOR kullanılarak belirlenir. Bu parametrelere göre kriterlerin öncelik sırası FVIKOR kullanılarak belirlenmiştir. Uzmanların bulanık oranlarını dile getirdikleri uzmanların değerlendirme ölçeği Tablo 27’ de verilmiştir.

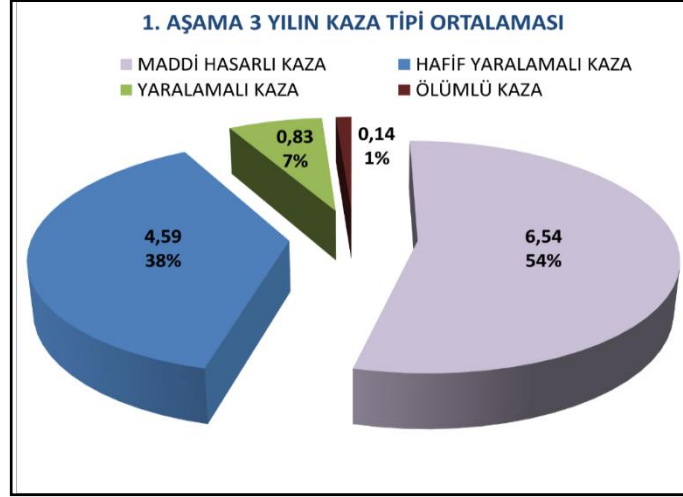
Tablo 33’ de ekonomi kriterinin alt kriterlerinin gerçek durum verilerine göre, Hafif raylı sisteme ait 1. aşama, 2. aşama ve 3. aşama gibi alternatif raylı sistem hatları arasında bir derecelendirme yapılmıştır. FVIKOR analizini kullanarak ekonomi verilerini işledikten sonra ortaya çıkan sonuçlardan hafif raylı sistemdeki 3. aşamanın; personel maliyeti, enerji maliyeti, yolcu maliyeti ve km başına işletme maliyeti alt faktörleri göz önüne alındığında en iyi seçenek olduğu görülmektedir. Diğer yandan personel maliyeti, enerji maliyeti ve km başına işletme maliyeti açısından en kötü alternatif ise 2. Aşama olarak ortaya çıkmıştır.

Konfor kriteri için FVIKOR analizinin sonuçları ise Tablo 34' de yer almaktadır. Tüm hafif raylı sistem hatları hizmet kriterlerine göre benzerlik göstermektedir. Ancak 3. aşama, sefer gecikme sorunları açısından en iyi seçenektir, çünkü sefer gecikmelerinin sayısı ve sefer gecikme süreleri açısından en iyi performansı göstermektedir. Ayrıca 3. aşama, istasyon erişimi açısından yine en iyi alternatif olmakla birlikte, oturarak yolculuk sağlama kategorisinde 2. aşama ile birlikte ilk sıralarda yer almaktadır.

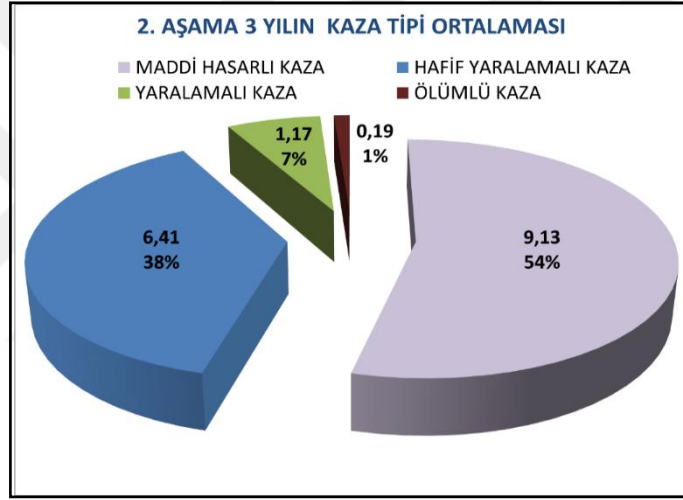
Yapılan çevre kriteri için FVIKOR karar matrisinin sonuçları Tablo 35' de gösterilmektedir. Sera gazı emisyonu ve gürültü seviyesi kriterlerine göre en iyi alternatif 3. Aşama olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte 2. aşama, temizlik hizmetleri, diğer bir deyişle bakım sağlama açısından en iyisi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sonucun bir nedeni, çok sayıda turistin ve yerel halkın kullandığı havalimanı bölgesi ve EXPO bölgesine hizmet etmesi gösterilebilmektedir.

Yapılan başka bir değerlendirme ise güvenlikle ilgili olarak FVIKOR analizi olup, bu çalışmada, kaza veya çarpışma sayısının diğer alternatiflerden daha az olduğu durumlarda 3. aşamanın en iyi seçenek olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Kaza ve çarpışmalarla ilgili veriler aşağıdaki tabloda yer almakta olup kaza türlerine göre 3 yıllık süreçte aylık ortalamalar göz önüne alınmıştır. İlgili FVIKOR analizine ait veriler Tablo 36' da gösterilmektedir.

Sonuç olarak, ortaya çıkan FVIKOR parametrelerine göre, Tablo 37' da Antalya' da bulunan HRS alternatiflerin derecesini gösterilmektedir. Qi için alternatiflerin net değeri en küçükten en yükseğe doğru sıralanmıştır. En iyi seçenek olarak 3. aşama olarak ortaya çıkmış ve ikinci en iyi alternatif FVIKOR analizine göre ise 1. aşama olmuştur. Üçüncü sırada ise 2. aşama yer almıştır.



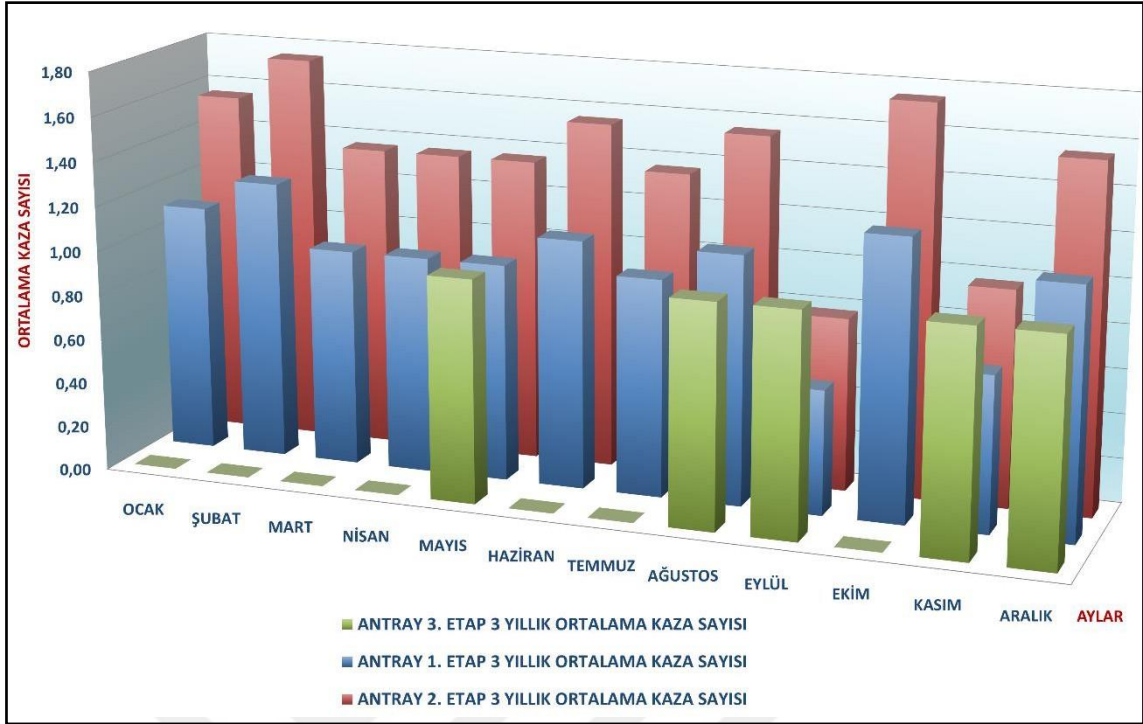
Şekil 36. Antray HRS 1. Aşamada Meydana Gelen Ortalama Kaza Oranları



Şekil 37. Antray HRS 2. Aşamada Meydana Gelen Ortalama Kaza Oranları



Şekil 38. Antray HRS 3. Aşamada Meydana Gelen Ortalama Kaza Oranları



Şekil 39. Antray HRS 1. 2. ve 3. Aşamada Meydana Gelen Ortalama Kaza Oranları

Sözel terim	Aralık değerli Pisagor bulanık sayıları			
	μL	μU	νL	νU
Kesinlikle düşük önemli (KDÖ)	0,00	0,00	0,90	1,00
Çok düşük önemli (ÇDÖ)	0,10	0,20	0,80	0,90
Düşük önemli (DÖ)	0,20	0,35	0,65	0,80
Ortalamanın altında önemli (OAÖ)	0,35	0,45	0,55	0,65
Ortalama önemli (OÖ)	0,45	0,55	0,45	0,55
Ortalamanın üzerinde önemli (OÜÖ)	0,55	0,65	0,35	0,45
Yüksek önemli (YÖ)	0,65	0,80	0,20	0,35
Çok yüksek önemli (ÇKÖ)	0,80	0,90	0,10	0,20
Kesinlikle çok önemli (KÇÖ)	0,90	1,00	0,00	0,00
Tam eşit (TE)	0,197	0,197	0,197	0,197

Tablo 27. Aralık Değerli PFAHP' nin Ağırlıklandırılması İçin Ölçek

Ana Kriter	Ekonomi				Konfor			
Ekonomi	0,197	0,197	0,197	0,197	0,550	0,650	0,350	0,450
Konfor	0,200	0,350	0,650	0,800	0,197	0,197	0,197	0,197
Çevre	0,200	0,350	0,650	0,800	0,350	0,450	0,550	0,650
Güvenlik	0,350	0,450	0,550	0,650	0,450	0,550	0,450	0,550
Ana Kriter	Çevre				Güvenlik			
Ekonomi	0,650	0,800	0,200	0,350	0,450	0,550	0,450	0,550
Konfor	0,450	0,550	0,450	0,550	0,350	0,450	0,550	0,650
Çevre	0,197	0,197	0,197	0,197	0,200	0,350	0,650	0,800
Güvenlik	0,550	0,650	0,350	0,450	0,197	0,197	0,197	0,197

Tablo 28. Uzman Görüşlerine Göre Ana Kriterler İçin Pisagor Bulanık Kümesi

	Personel maliyeti				Enerji maliyeti			
Personel maliyeti	0,197	0,197	0,197	0,197	0,350	0,450	0,550	0,650
Enerji maliyeti	0,450	0,550	0,450	0,550	0,197	0,197	0,197	0,197
Yolculuk maliyeti	0,350	0,450	0,550	0,650	0,200	0,350	0,650	0,800
Km başına işletme maliyeti	0,450	0,550	0,450	0,550	0,200	0,350	0,650	0,800
	Yolculuk maliyeti				Km başına işletme maliyeti			
Personel maliyeti	0,450	0,550	0,450	0,550	0,350	0,450	0,550	0,650
Enerji maliyeti	0,650	0,800	0,200	0,350	0,550	0,650	0,350	0,450
Yolculuk maliyeti	0,197	0,197	0,197	0,197	0,450	0,550	0,450	0,550
Km başına işletme maliyeti	0,350	0,450	0,550	0,650	0,197	0,197	0,197	0,197

Tablo 29. Ekonominin Alt Faktörlerinin Temel Kriteri İçin Pisagor Bulanık Küme

		Sefer gerçekleşme oranı				Sefer gecikmelerinin sayısı						
Sefer gerçekleşme oranı		0,197	0,19	0,197	0,197	0,550	0,650	0,350	0,450			
Sefer gecikmeleri sayısı		0,200	0,35	0,650	0,800	0,197	0,197	0,197	0,197			
Sefer gecikme süreleri		0,200	0,35	0,650	0,800	0,197	0,197	0,197	0,197			
İstasyonların erişimi		0,350	0,45	0,550	0,650	0,350	0,450	0,550	0,650			
Sefer başına oturarak yolculuk oranı		0,200	0,35	0,650	0,800	0,200	0,350	0,650	0,800			
	Sefer gecikme süreleri				İstasyonların erişimi				Sefer başına oturarak yolculuk oranı			
Sefer gerçekleşme oranı	0,55	0,65	0,35	0,45	0,45	0,55	0,45	0,55	0,65	0,80	0,20	0,35
Sefer gecikmelerinin sayısı	0,19	0,19	0,19	0,19	0,45	0,55	0,45	0,55	0,55	0,65	0,35	0,45
Sefer gecikme süreleri	0,19	0,19	0,19	0,19	0,45	0,55	0,45	0,55	0,65	0,80	0,20	0,35
İstasyonların erişimi	0,35	0,45	0,55	0,65	0,19	0,19	0,19	0,19	0,45	0,55	0,45	0,55
Sefer başına oturarak yolculuk oranı	0,20	0,35	0,65	0,80	0,35	0,4	0,55	0,6	0,20	0,20	0,2	0,20

Tablo 30. Konforun Alt Faktörlerinin Ana Kriteri İçin Pisagor Bulanık Küme

	Sera gazı salınımı				Gürültü seviyesi				Temizlik Hizmeti			
Sera	0,197	0,197	0,197	0,197	0,650	0,800	0,200	0,350	0,450	0,55	0,450	0,550
Gürültü	0,200	0,350	0,650	0,800	0,197	0,197	0,197	0,197	0,350	0,45	0,550	0,650
Temizlik	0,200	0,350	0,650	0,800	0,450	0,55	0,450	0,550	0,200	0,35	0,650	0,800

Tablo 31. Çevrenin Alt Faktörlerinin Ana Kriteri İçin Pisagor Bulanık Küme

Sözel ifade	Karşılık gelen Pisagor bulanık sayısı (u, v)	
Çok düşük	0,15	0,85
Düşük	0,25	0,75
Orta derecede düşük	0,35	0,65
Orta	0,50	0,45
Orta derecede yüksek	0,65	0,35
Yüksek	0,75	0,25
Çok yüksek	0,85	0,15

Tablo 32. Hat Alternatiflerini Değerlendirmek İçin Sözel Terimler ve Eşdeğer Pisagor Bulanık Sayılar

Alternatif Güzergahlar	Personel maliyeti (u, v)		Enerji maliyeti (u, v)		Yolculuk maliyeti (u, v)		Km başına işletme maliyeti (u, v)	
1. Aşama	0,40	0,58	0,50	0,48	0,72	0,28	0,40	0,58
2. Aşama	0,55	0,42	0,63	0,35	0,40	0,58	0,55	0,42
3. Aşama	0,25	0,75	0,22	0,78	0,18	0,82	0,25	0,75

Tablo 33. Ekonomi Kriteri İçin Matris Formunda Birleştirilmiş Pisagor Bulanık Kararı

Alternatif Güzergahlar	Sefer oranı		Sefer gecikmelerinin sayısı (u, v)		Sefer gecikme süreleri (u, v)		İstasyonların erişimi (u, v)		Sefer başına oturarak yolculuk oranı (u, v)	
1. Aşama	0,5	0,48	0,40	0,58	0,39	0,59	0,46	0,52	0,30	0,69
2. Aşama	0,5	0,48	0,54	0,45	0,53	0,45	0,44	0,54	0,46	0,51
3. Aşama	0,5	0,48	0,15	0,85	0,18	0,83	0,49	0,51	0,46	0,51

Tablo 34. Konfor Kriteri İçin Matris Formunda Birleştirilmiş Pisagor Bulanık Kararı

Alternatif Güzergahlar	Sera gazı salınımı (u, v)		Gürültü seviyesi (u, v)		Bakım masrafı (u, v)	
1. Aşama	0,35	0,64	0,35	0,64	0,37	0,61
2. Aşama	0,49	0,49	0,51	0,48	0,51	0,48
3. Aşama	0,22	0,78	0,21	0,79	0,19	0,81

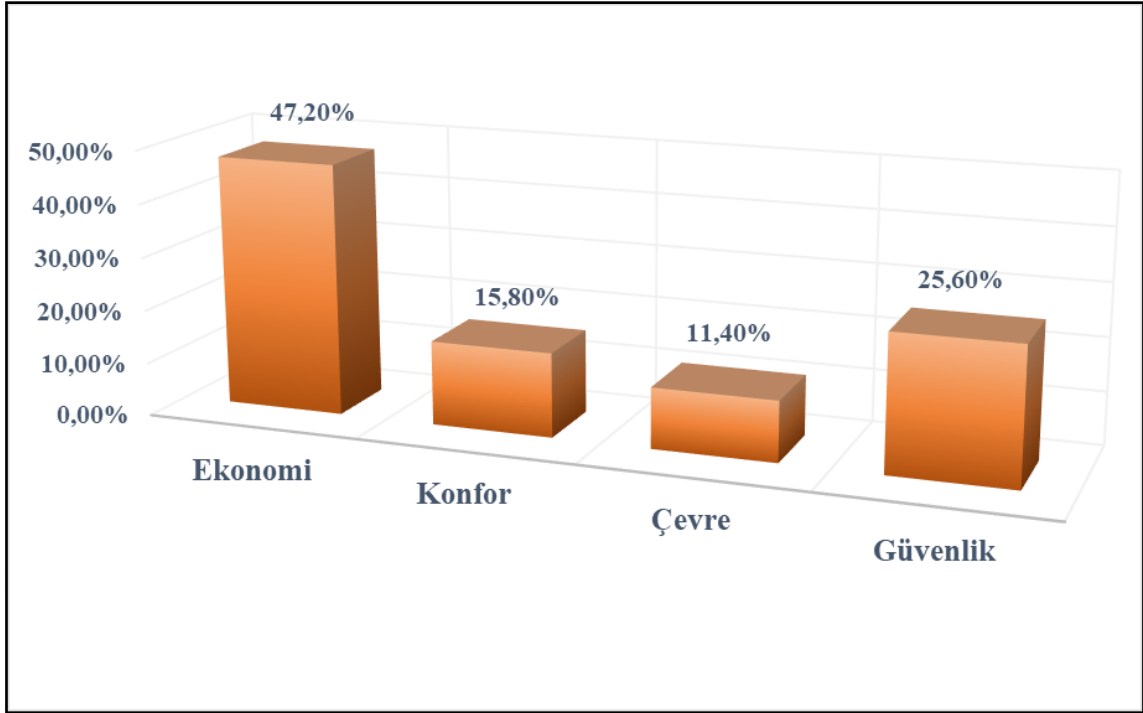
Tablo 35. Çevre Kriteri İçin Matris Formunda Birleştirilmiş Pisagor Bulanık Kararı

Alternatif Güzergahlar	# kaza/çarpışma (u, v)	
1. Aşama	0,37	0,61
2. Aşama	0,34	0,65
3. Aşama	0,29	0,71

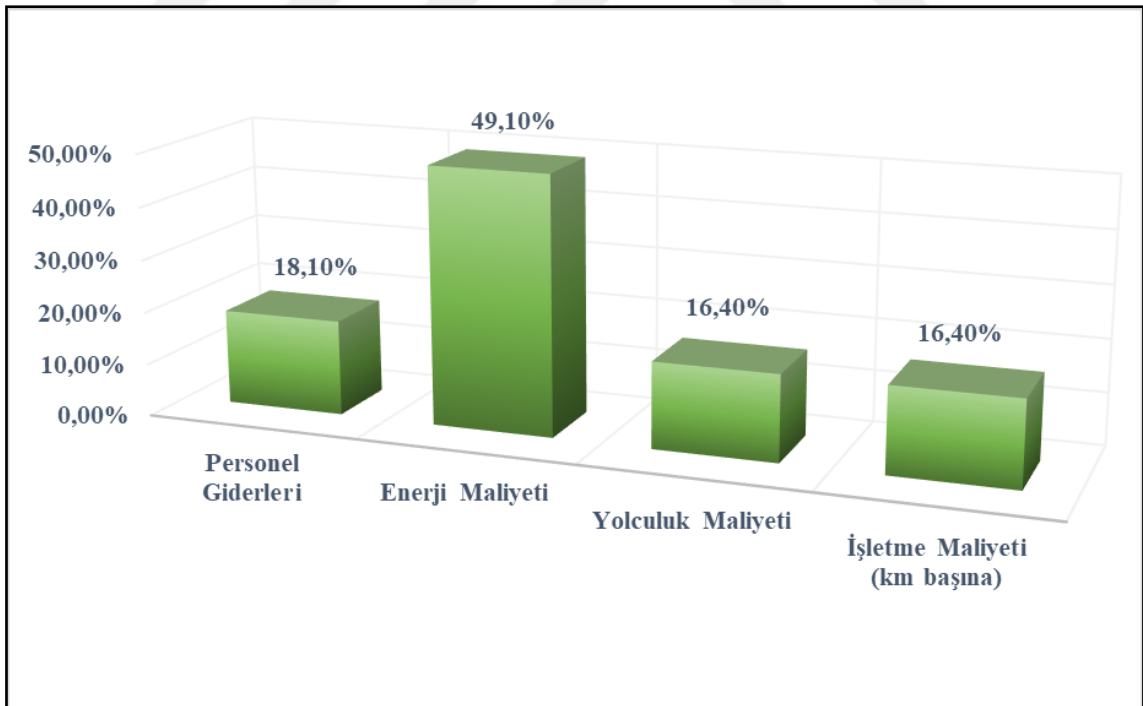
Tablo 36. Güvenlik Kriteri İçin Matris Formunda Birleştirilmiş Pisagor Bulanık Kararı

Alternatif Güzergahlar	S_i	R_i	Q_i	Derecelendirme
1. Aşama	2	2	2	İkinci
2. Aşama	3	3	3	Üçüncü
3. Aşama	1	1	1	Birinci

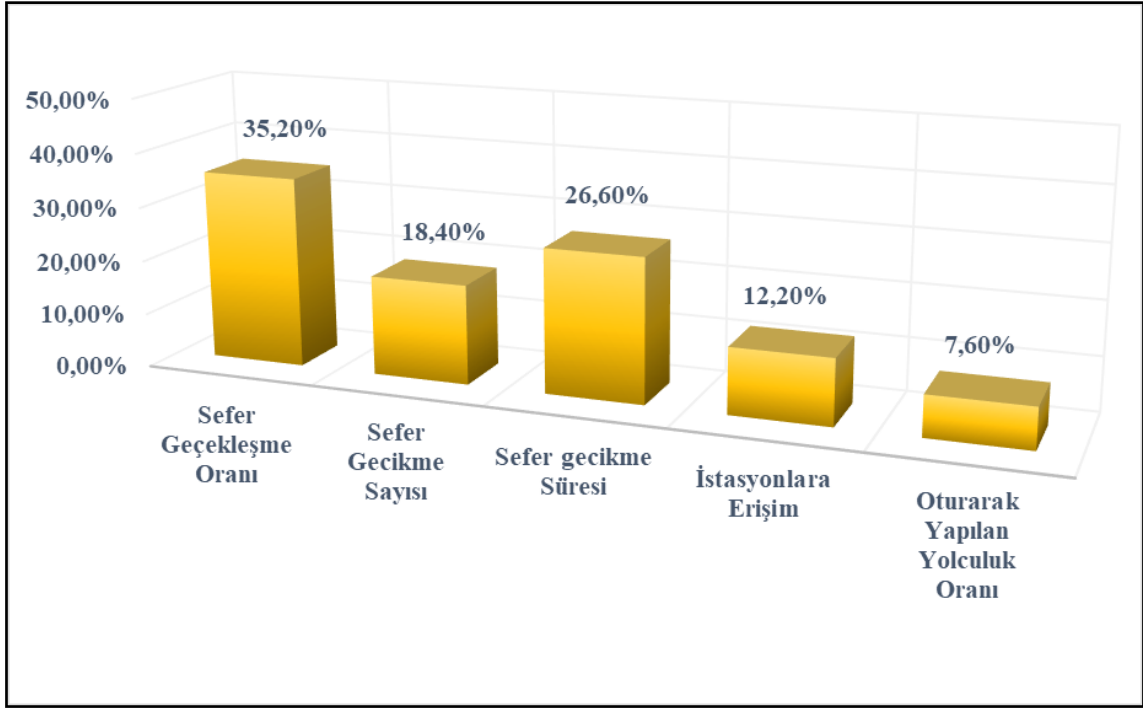
Tablo 37. S, R ve Q Değerlerine Göre Gözlemlenen Durumun Hat Alternatifleri İçin Uzlaşılan (Kabul Edilebilen) Sıralamaları



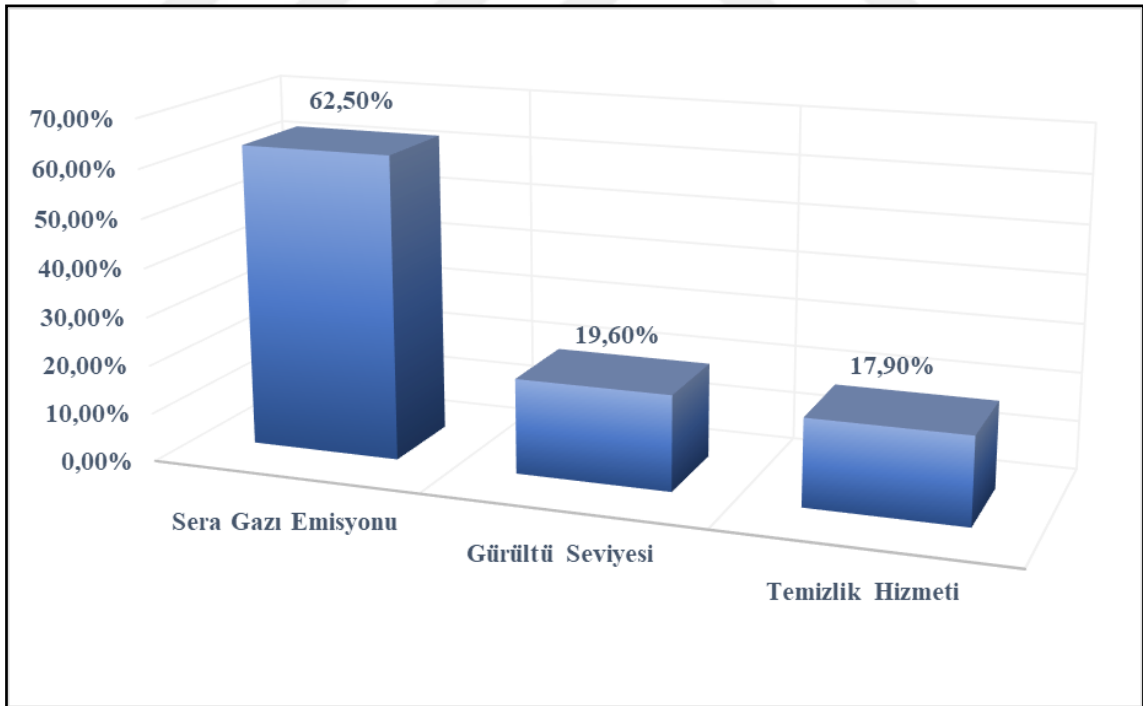
Şekil 40. PFAHP Tarafından Ana Kriterlerin Normalleştirilmiş Öncelik Ağırlıkları



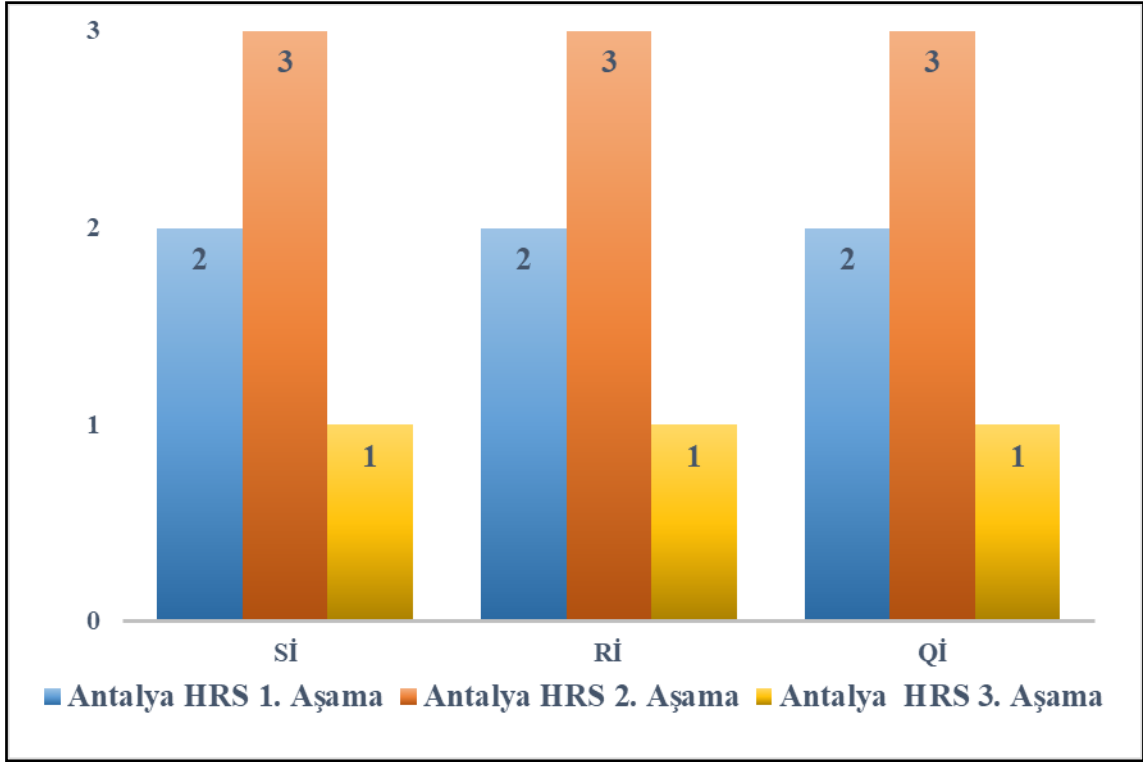
Şekil 41. Ekonomi Ana Kriteri Alt Faktörlerinin Öncelik Ağırlıkları



şekil 42. Konfor Ana Kriteri Alt Faktörlerinin Öncelik Ağırlıkları



şekil 43. Çevre Ana Kriteri Alt Faktörlerinin Öncelik Ağırlıkları



Şekil 44. Derecelendirme Sonuçları Diyagramı

7.4. Bulgular ve Yorum

Tezin birinci bölümünü oluşturan bulanık mantık entegrasyonu ile ÇKKV uygulanması sonucunda Antalya ilinde mevcut olan HRS sistemleri için en uygun alternatif sıralaması elde edilmiştir. Daha fazla tutarlılık ve doğruluk sağlayan bu metot için iki aşamalı bulanık entegrasyonlu ÇKKV yöntemi uygulanmıştır. Ek olarak, tez çalışması, Pisagor bulanık AHP ve FVIKOR' u sentezleyen sistematik olarak çeşitli ÇKKV yöntemlerinin benzersiz bir entegrasyonu ile değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasında önerilen yöntem, Antalya ilindeki Hafif Raylı Sistem işletmesinde bulunan 3 farklı raylı sistem aşamasında son 3 yıla ait gerçek verilere dayanan vaka çalışmaları yoluyla uygulanmıştır. Hizmette olan üç raylı sistem hattının tamamı yeni bir metodoloji ile kullanılarak analiz edilmiştir. Değerlendirme aşamasında ise, ekonomi, konfor, çevre ve güvenlik olmak üzere dört ana kriterde Pisagor bulanık AHP kullanılmıştır.

Daha sonra FVIKOR yöntemi kullanılarak raylı sistem hatlarının alternatiflerinin önceliklendirilmesi belirlenmiştir. Vaka çalışmasının sonuçlarına göre, bu çalışmada önerilen yöntemde uygulanan ulaşım ile ilgili parametrelere göz önüne alındığında en

önemli ve hizmet verilebilir aşamanın ANTRAY HRS' de yer alan 3. aşama olduğunu göstermiştir. Ayrıca analiz sonuçları, 3. Aşamanın diğer HRS olan 1. ve 2. aşamaya kıyasla şehirdeki en uygun raylı sistem yatırımı olduğunu ortaya koymuştur.

Bu tez çalışmanın kentiçi raylı sistemler yönünden katkısı ise aşağıdaki şekildedir;

Kentiçi raylı sistemlerde İki aşamalı bir bulanık kümenin kullanıldığı ulaşım alanındaki ilk ÇKKV çalışmasıdır.

Gerçek hayattaki raylı sistem yolculukları ve deneyimlerinden elde edilen veri setleri ile uygulamaların yapılması literatüre katkı sağlamaktadır.

Veri setleri gözlemlerden elde edildiğinden, bu çalışma belirsizliği en aza indirmektedir. Bu belirsizlik minimizasyonu, son zamanlarda çok yüksek olan gelecekteki ulaşım yatırım maliyetlerinin azalmasına için bir örnek teşkil edecektir.

Bu çalışmada yer alan yaklaşım, ÇKKV yöntemlerinin bulanık küme ile entegrasyonuna yeni bir bakış açısı geliştirilebileceği öngörülmektedir.

Elde edilen veriler ışığında kentiçi raylı sistemlere yönelik bu çalışma ile Antalya ilindeki HRS' lerin yatırımında bulanık mantık entegrasyonlu ÇKKV yönteminin önemi bir kez daha öne çıkmıştır. Antalya HRS işletmesi olarak ele alındığında ise yapılan bu çalışmada yolcu sayıları ve tercih sebeplerine etken olan, ekonomi, konfor, çevre ve güvenlik ana kriterlerinin İşletmenin performansına direkt olarak etkilediği belirlenmiştir.

İşletme hedeflerinin iyileştirilmesinde ayrıca bu metodun katkısı olmuştur. Bu metot sayesinde Antalya HRS işletmesi performans arttırmaya yönelik faaliyetlerde bulunmuştur. Şirket yetkililerinden alınan bilgiler doğrultusunda ana kriterlere etki eden alt kriterlerin önümüzdeki yıllarda geliştirilmesi sayesinde performansı arttırmaya yönelik çalışmalarda bulunulacağı belirtilmiştir. Planlanan bu çalışmalara örneklem yapılrsa, ekonomin kriterinin alt kriterlerinde yapılması planlanan enerji maliyetinin düşürülmesine yönelik mevcuttaki indirimli elektrik abonelik sözleşme değerlerinin iyileştirilmesi, personel ile ilgili maliyetlerde kalifiye personel sayılarının arttırılması ve verimsiz durumlarının ortadan kaldırılması sayesinde yolculuk ve işletme maliyetlerinde önemli bir oranda düşüş hedeflenmiştir. Konfor ana kriterine etki eden alt kriterlerde planlanan iyileştirilmelerde ise sefer gecikmelerine neden olan durumlara yönelik önleyici çalışmaların yapılması, (elektrik kesintileri için yedekleme sistemlerinin

arttırılması ve faal halde tutulması, hat yapısı ile ilgili problemlerin erken zamanda çözülmesi, tramvay araçlarındaki arızalara karşı yedek araç sayılarının arttırılması ve hazırda bulundurulması vb.) alternatif işletim planlarının geliştirilmesi, duraklara ilave üst geçitler, asansörler, yürüyen merdivenler konuşlandırılarak ve duraklara giriş yönlerinde iyileştirmelere yaparak duraklara yönelik erişimin arttırılarak yolcuların HRS kullanımına teşvik edilmesi sayılabilmektedir. Çevresel ana kritere etki eden alt kriterler olarak ele alındığında ise insanların HRS' yi tercihinde gürültü seviyesinin ve temizlik hizmetinin ön planda olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu kriterleri iyileştirmeye yönelik temizlik faaliyetlerinin arttırılması, gürültüye neden olan kaynakların azaltılması (tramvay araçlarında süspansiyonlarda ve fren sistemlerinde yapılacak ilave revizyonlar, bakımların ve onarımlarının sayısının arttırılması, raylarda gürültü önlemeye yönelik otomatik yağlama sistemlerin devreye alınması gibi) çalışmalarında bulunulacağı belirtilmiştir. Güvenlik kriterine yönelik ise yolcuların tercih sebebinde kazaların etkisi öne çıkmaktadır. Kaza sayılarının düşük olması yolculara yüksek güvenlik hissiyatı vermekte ve tercih edilebilirliği attırmaktadır. Bu nedenle kaza ve çarpışmaları önleyici faaliyetlerin uygulanması işletmenin planları arasında yer almaktadır. HRS hattında gerekli yerlerde, yayaların ve araçların HRS hattına girmesini engelleyici korkulukların yapılması, tramvay sürücülerinin görüşlerinin iyileştirilmesi amacıyla durak giriş çıkış ve kör noktalara ayna montajlarının yapılması, hemzemin geçitlerde trafik sinyalizasyonlarında gerekli düzenlemelerin yapılarak tramvay-arac kazalarının minimize edilmesi, yaya ve araç kazalarına karşı uyarıcı tabela ve işaretlerin sayısının arttırılması şeklinde sayılmıştır.

8. ANTALYA'DA BULUNAN HAFİF RAYLI SİSTEMLERİNDE RİSK DEĞERLENDİRMESİNİN BULANIK MANTIK ENTEGRASYONLU ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Büyük şehirlerdeki raylı ulaşım sistemlerinin risk değerlendirmesinin başlıca sebepleri arasında, risk yönetiminin yapılması, emniyeti arttırması ve bakım maliyetlerini azalması, varlıkların korunması ve demiryolu taşımacılığının çevre üzerindeki zararlı etkilerini azaltmanın yanısıra trafik koşullarını iyileştirmeyi, yolcularını ve çalışanlarını korumak için güvenlik düzeyini artırmak amacıyla raylı sistem işletmeleri için büyük önem arz etmektedir. Kentiçi raylı sistemler, hatlarda gerçekleşen işletim güvenliği, belirsizlik ve dinamiklerle dolu karmaşık bir sistematik konudur; güvenlik, insan, yönetim, çevre ve ekipman faktörleri dahil olmak üzere çok sayıda unsur tarafından belirlenmektedir. (Zhang ve Sun, 2018:599).

Tezin ikinci kısmını oluşturan bu bölümde yapılan çalışma ile etkili ve verimli bir şekilde hem niteliksel hem de nicel risk verileri ve bilgileri içeren, risk değerlendirme sisteminin, kentiçi raylı sistemlerde risk analistleri, yöneticileri ve mühendisleri için bir fayda sağlayarak demiryolu sistemlerinin güvenlik yönetimini iyileştirmek ve güvenlik standartlarını belirlemek için bir yöntem ve araç sağlanması amaçlanmıştır. Bu bölümünde, kentiçi raylı sistemler alanında risk değerlendirmesinde, bulanık mantık entegrasyonlu bir ÇKKV çalışması olarak, ilk kez iki aşamalı bir bulanık küme kullanılacaktır. Önerilen yöntemde için Türkiye'nin en büyük şehirlerinden biri olan Antalya'daki üç hafif raylı sistem hattında uygulanmakta olan risk değerlendirme gözlemlerinden elde edilen veri setleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, kentiçi raylı sistemlerde risk değerlendirmesinde önerilen yaklaşımın, bulanık küme ile ÇKKV yöntemlerinin entegrasyonuna ilişkin yeni bir anlayışın benimsenmesine metodolojik olarak katkıda bulunması amaçlanmıştır.

Bir ÇKKV yönteminin temel özellikleri aşağıdaki gibidir. (Çelik vd., 2014:329).

- Değerlendirilecek alternatifler,
- Alternatiflerin değerlendirildiği kriterler,

- Bir alternatifin kriterler üzerinde beklenen performansının değerini yansıtan puanlar,
- Diğerlerine kıyasla her bir kriterin göreli önemini ölçen kriter ağırlıkları.

8.1. Literatür Taraması

Raylı ulaşım sistemleri, yalnızca zaman, maliyet ve kalite açısından verimli değil, aynı zamanda makul bir güvenlik düzeyine de saygı duyan bir işletmeyi sağlamak için birçok insan, sistem, teknoloji, evre ve bunların karşılıklı etkileşimleri ile sürekli etkileşime girmesini gerektiren karmaşık bir sosyo-teknik sistemdir. (An vd., 2011:3946). Demiryolu sektöründeki risk, yolcuların ve çalışanların ölümüne veya yaralanmasına yol açan kazalar ve olaylarla ilgili olarak tanımlanabilir. (Aydın, 2017:87; Min vd., 2013:27). Sektördeki son yapılandırılmış tehlike tanımlama çalışmaları; çarpışma, raydan çıkma ve yangın gibi kaza türlerinin yüksek riskli senaryolardan olduğunu doğrulamıştır. Bu durumlar, raylı sistemler endüstrisinin tehlikeli doğasını ve artan farkındalık ve daha iyi güvenlik yönetimine olan ihtiyaı gösterir. (Min vd., 2013:27). Karayolu taşımacılığına kıyasla, demiryolları, özellikle yolcuları ve çalışanları için açık ara en güvenli kara taşımacılığı araçlarından biridir. Ancak havayolu taşımacılığı ile karşılaştırıldığında hem gerçekte bu konumu sürdürmek hem de kamunun demiryolu güvenliği mükemmelliği algısını sürdürmekle ilgili bazı sorunlar bulunmaktadır. Demiryolu endüstrisindeki başlıca risklerin, çarpışma, raydan çıkma ve yangın sonucu insanlar ve mallar için olduğu görülmektedir. Demiryolu güvenliği için tasarım ve yapım kavramları standartlarında tanıtılmıştır. Demiryolu sistemlerinin tasarımı ve inşasında riskleri yönetmek ve kontrol etmek için yaygın olarak uygulanan EN 50128 (BS EN 50128, 2009) ve EN 50129 (BS EN 50129, 2003) standartlarıdır. (An vd., 2016:18). Araçların ve demiryolu altyapısının işletilmesi ve bakımı yoluyla ve ayrıca Vandalizm ve karayolu olayları gibi demiryolu dışından kaynaklanan birçok olası risk nedeni vardır. ne çıkan durumlar ise, raylı sistem hatlarının modifikasyonu ve bakımın sırasında en fazla ciddi vaka sayısı raydan çıkmaları, altyapıyı bozan araçlar gibi durumlardan kaynaklı olduğunu göstermektedir. Her biri çeşitli disiplinleri ve çalışma gruplarını içeren birçok olası neden kombinasyonu vardır. Risk değerlendirmesinin sonuçları, risk dereceleri ve risk seviyeleri olarak temsil edilir ve raylı sistemlerdeki emniyet riski yöneticilerine ve mühendislerine emniyet yönetimi standartlarını iyileştirmeleri için araçlar sağlar. (Zhang ve Sun, 2018:599).

Tez çalışmasının bu bölümünde, bulanık teoriye dayalı karmaşık geçiş sistemlerindeki riskleri değerlendirmek entegre bir risk değerlendirme yöntemi tanıtılmaktadır. Önerilen metodolojiyi göstermek için bir Antalya ili kentiçi raylı sistemlere ait bir vaka çalışması yapılmıştır. Tezin ilerleyen bölümlerinde bu konulardan bahsedilmektedir.

Günümüzde risk değerlendirmesinin farklı sektörlerde ve farklı metotlarla yapıldığını görülmektedir. Risk değerlendirmesiyle ilgili yapılan literatür incelemelerinde; M. Gül ve M. F. AK tarafından İSG risk değerlendirmesinde risklerin derecelendirmelerini karşılaştırmalı bir çalışma ile ölçmüşlerdir. 5 X 5 risk matrisi belirledikten sonra tanımlanan tehlikeleri sıralamak için ideal çözüme benzerlik (FTOPSIS) yöntemine göre sıra tercihi için bulanık teknik uygulayıp karşılaştırmalı bir metodoloji önermişlerdir. Çalışmalarında ayrıca, bir yenilik olarak, 5 X 5 matris yönteminin iki parametresi olan olasılık ve ağırlık, İSG uzmanları tarafından subjektif değerlendirilmiştir. Daha sonra Pisagor bulanık analitik hiyerarşi süreci (PFAHP) kullanılarak bu parametreler için önem seviyelerini belirlemişlerdir. (Gül ve Ak, 2018:653). Carpitella S. ve arkadaşları, karmaşık sistemlerin bakım faaliyetlerini optimize etmek için güvenilirlik analizlerini ve çok kriterli karar yöntemlerini birleştiren bir yaklaşım önermişlerdir. İlk olarak bir arıza modu, etkileri ve kritiklik analizi gerçekleştirmişler ve önceden tanımlanmış arıza modlarını sıralamak için bulanık TOPSIS (FTOPSIS) yöntemi uygulamışlardır. (Carpitella vd., 2018:394). Nezir A. ise yolcu memnuniyeti anketleri yoluyla demiryolu transit hatlarının performanslarını ölçmek için bir hizmet kalitesi değerlendirme taslağı önermiştir. Önerdiği yöntemde, çok dönemli hizmet kalite seviyelerini değerlendirmek için istatistiksel analiz, bulanık yamuk sayılar ve TOPSIS' i birleştirmiştir. Yönteminde ilk olarak, raylı sistem servis kalite seviyesini değerlendirmek için çok dönemli ve çok boyutlu ÇKKV süreci için bir taslak sunmuş ve daha sonra yamuk bulanık sayıların temel tanımını TOPSIS ve Fuzzy-TOPSIS açıklamış ve uygulamada bulunmuştur. (Aydın, 2017:87). Bakioğlu G. ve Atahan O. ise otomon araçlarda riskleri önceliklendirmek için Pisagor bulanık kümeleriyle TOPSIS ve VIKOR yöntemlerini entegre ettikleri bir çalışmada bulunmuş ve çalışmalarında AHP ve TOPSIS ile VIKOR' a dayalı yeni hibrit ÇKKV yöntemi önererek sürücüsüz araçlarla ilgili risklerin önceliklendirilmesini ele almışlardır. Önerilen modellerinin sonucunu, duyarlılık analizi yaparak doğrulamışlardır. (Bakioğlu ve Atahan, 2021:99). Zhang H. ve

arkadaşı kılçık diyagramı analizini, bulanık akıl yürütme yaklaşımı ve hem niteliksel hem de niceliksel risk verilerini verimli ve etkili bir şekilde değerlendirebilen bir bulanık analitik hiyerarşi aracını kullanarak özel hat manevra risk değerlendirmesi yapmak için entegre bir yaklaşım sunmuşlardır. Çalışmalarında, yeni bir risk modeli sunarak, kılçık diyagramı, FRA ve FAHP uygulamalarını incelemişlerdir. Daha sonra, Yujialiang kömür madenindeki özel hat geçişlerinin risk değerlendirmesine ilişkin bir vaka çalışmasında bulunmuşlar ve önerilen risk değerlendirme metodolojisinin uygulamasını göstermişlerdir. (Zhang ve Sun, 2018:599). Bureika G. arkadaşları tarafından, Demiryolu altyapısının trafik güvenliği riskini değerlendirmek için AHP uyguladıkları çalışmalarında uzman değerlendirmesine dayalı olarak, demiryolu altyapısının çeşitli nesneleri ile ilgili olarak yazarlar tarafından geliştirilen bir trafik güvenliği risk değerlendirme modelini sunmuşlardır. (Bureika vd., 2013:376). Erdebilli, B. ve Gür, L. ise, uzman görüşleri yardımıyla, bir baraj için sekiz adet riske ait değerleri tespit ederek Fine Kinney ve Bulanık Fine Kinney yöntemleri kullanmışlar ve iki farklı risk skoru hesaplayıp bir karşılaştırmada bulunmuşlardır. (Erdebilli ve Gür, 2020:75). Min, An ve arkadaşlarının yapmış olduğu başka bir çalışmada ise demiryolu risk bilgisi sürecine bulanık akıl yürütme ve bulanık AHP temelli bir yaklaşımda bulunarak demiryolu risk yönetim sistemini incelemişlerdir. Çalışmalarında, arıza sıklığı, sonuç şiddeti ve sonuç olasılığı açısından her bir tehlikeli olayın risk düzeyini tahmin etmek için bulanık akıl yürütme yaklaşımı (fuzzy reasoning approach, FRA) kullanmışlar ve Londra metro sisteminde Hammersmith depo alanında bir manevra risk değerlendirmesi çalışmasında bulunmuşlardır. Ana kriterleri finansal, ekonomik, sistem planlaması ve politika olarak tanımlanmıştır. (An vd., 2011:3946). Kabir S. ve Papadopoulos Y. bulanık kümelerin güvenlik ve güvenilirlik mühendisliği uygulamalarında incelenmesi ile ilgili bir araştırma yapmışlardır. İlk olarak, bulanık küme teorisi ile ilgili tanımlamalarda bulunmuşlar ve ardından bulanık küme teorisinin sistem güvenliği ve güvenilirlik analizine ait uygulamalarını incelemişlerdir. İncelemelerinde bulanık FTA, bulanık FMEA, bulanık ETA, bulanık Bayes ağları, bulanık Markov zincirleri ve bulanık Petri ağlarını içeren, güvenlik ve güvenilirlik mühendisliğine uygulanan bulanık küme teorisine dayalı metodolojilere yer vermişlerdir. (Kabir ve Papadopoulos, 2018:29). An M. ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir başka çalışmalarında ise önerilen demiryolu risk değerlendirme sistemini göstermek için demiryolu araçları varlık risk değerlendirmesine ilişkin bir vaka çalışması yapmışlardır. Bu vaka çalışması için bulanık küme, üyelik

fonksiyonu (membership function-MF), bulanık işlem, bulanık eğer-öğleyle kuralı ve bulanık çıkarım sistemi (fuzzy inference system-FIS) ile ilgili temel kavramlar ile beraber bulanık bir akıl yürütme yaklaşımı kullanan yeni bir demiryolu risk değerlendirme sistemi sunmuşlardır. Demiryolu arıza olasılığı, ağırlık şiddeti ve risk seviyesi kriterleri ile bu değişkenlerin üyelik fonksiyonu içinde yer aldığı bir sistem içerisinde incelemede bulunmuşlardır. (An vd., 2006:18). Kokangül A. ve arkadaşları AHP ve Fine Kinney metodolojilerini kullanarak risk değerlendirmesi için yeni bir yaklaşım öne sürmüşlerdir. Çalışmalarında, tehlikelerin önem seviyeleri ve risk sınıfları AHP yöntemi ile birlikte belirledikleri, Fine-Kinney risk yöntemindeki risk sınıflarının ölçüsünü AHP yöntemi kullanılarak gerçeğinden hareketle yeni bir yaklaşım geliştirilmişlerdir. Önerdikleri metodoloji çalışmasını, Türkiye’ de faaliyetlerini yürüten büyük bir makine imalat şirketinde yapmışlardır. (Kokangül vd., 2017:24). Habib Hadj-Mabrouk tarafından demiryolu kazalarında “Yapay Zekanın Risk Değerlendirmesine Katkısı” nı araştırmış ve yapmış olduğu çalışmada, bilgi edinme ve makine öğreniminin tamamlayıcı ve eşzamanlı kullanımına dayanan bir metodoloji kullanmıştır. Üretici tarafından dikkate alınmayan ve yeni bir raylı ulaşım sisteminin güvenliğini tehlikeye atabilecek potansiyel arıza önerilerini uzmanlara sunmayı amaçlayan ve güvenlik analizi yardım metodolojisini destekleyen ACASYA adında bir yazılım kullanmıştır. (Hadj-Mabrouk vd., 2019:104). Demiryolları ile ilgili bir başka risk değerlendirmesi ise Demirel H. tarafından yapılmış olan makas üretim fabrikalarında risk değerlendirmesi çalışmasıdır. Çalışmasında Fine Kinney risk değerlendirmesinde bulunmak amacıyla dört şehirde ve yedi farklı fabrikada ön inceleme ile araştırmalarda bulunmuştur. (Demirel, 2006). Bulanık ÇKKV yaklaşımının kullanıldığı bir başka çalışma ise Lu S. arkadaşları tarafında Tayvan' daki demiryolu yeniden yapılandırma projesi riskinin değerlendirilmesi çalışmasıdır. Çalışmalarında karar vericilerin risk faktörlerinin ortaya çıkma olasılığını ve demiryolu yeniden inşa projeleri için proje başarısı üzerindeki etkilerini değerlendirmelerine yardımcı olmak için ÇKKV tekniklerini ve bulanık küme teorisini birleştiren bulanık ÇKKV 'yi benimsemişlerdir. (Lu vd., 2014:239793). Li M. ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışma ile ağ modeline dayalı olarak kent içi raylı sistemlerin risk yayılım analizi gerçekleştirmişlerdir. Karmaşık ağ ve kaza nedenselliği teorilerinden yararlanan çalışmalarında, kentsel raylı ulaşımarda risklerinin oluşumunu ve yayılmasını araştırmış ve operasyonel kazaları önlemeyi ve kontrol etmeyi amaçlayan risklerinin yayılma yolunu ve yasasını tahmin etmişlerdir. Önerilen risk ağı çalışmalarını, bir trenin

boji sistemi ve ilgili risk düğümleri üzerinde MATLAB simülasyonları ile doğrulamışlardır. (Li vd., 2019:114271). Zhang Q. ve arkadaşları Çin yüksek hızlı tren istasyonuna ilişkin bir örnek olay İncelemesinde bulunmuşlar ve çalışmalarında FTA ve belirsiz petri ağına (fuzzy petri net- FPN) dayalı demiryolu güvenliği risk değerlendirmesi ve kontrol optimizasyonu yöntemini incelemişlerdir. Çalışmalarında hata ağacının risk faktörlerini analiz etmiş ve risk kazasının hata ağacını bulanık petri ağına aktarıp ve ardından FPN-FTA' yı oluşturmuşlardır. Dinamik ağırlıklı bulanık petri ağı (FPN) ve hata ağacı analizini (FTA) birleştirerek oluşturdukları bu modelde Matlab yazılımı ile FTA-FPN modelini simüle etmişlerdir. (Zhang vd., 2020:11). Kyriakidis M. ve arkadaşları metro demiryolu güvenliğine yönelik çalışmalarında kaza öncüllerinin analizinde bulunmuşlardır. Çalışmalarında COMET Metro Topluluğu (Comet- Community of Metros Benchmarking Group) ve Nova Metro Üyeleri Grubu (Metro Members Group) demiryollarından gelen öncü analiz sonuçlarını özetlemişlerdir. Metro sistemlerinde en önemli olaylar, yaralanmalar ve ölümler arasındaki potansiyel ilişkinin analizi ve tanımı ile birlikte yeni bir emniyet olgunluk modelinin geliştirilmesi ve bundan türetilen test önlemleri ve bunların yaralanmalar ve ölümler gibi emniyet sonuçlarıyla korelasyonu yoluyla güvenliği artırmaya yönelik yaklaşımları ele almışlardır. (Kyriakidis vd., 2012:1535). Marhaviyas, P. ve arkadaşları ise çalışma sahalarında risk analizi ve değerlendirme metodolojileri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında 2000-2009 dönemi bilimsel literatürü gözden geçirerek sınıflandırılma ve karşılaştırmalarda bulunmuşlardır. Yapmış oldukları çalışmayı, birinci kısım olarak ana risk değerlendirme metodolojilerinin araştırılması, sunumu ve detaylandırılması, ikinci kısım ise risk değerlendirmesinin istatistiksel analizi, sınıflandırılması ve karşılaştırmalı çalışması şeklinde iki bölüm olarak oluşturmuşlardır. Bilimsel literatür taramalarını, risk analizinin ve değerlendirme tekniklerini nitel, nicel ve hibrit teknikler (nitel nicel, yarı nicel) üç ana kategoriye ayrılması şeklinde gerçekleştirmişlerdir. (Marhaviyas vd., 2011:477).

Gül M. ve Çelik, E., Raylı ulaşım sistemleri için bulanık kural tabanlı Fine-Kinney risk değerlendirme yaklaşımı çalışmasında bulunmuşlardır. İstanbul' da bir raylı ulaşım sistemi için örnek bir olay incelemesinde bulunmuşlardır. Klasik Fine Kinney yöntemiyle bir karşılaştırma yapmışlardır. Vaka çalışmasının sonucunda, risk kümelerini ve dikkate alınması gereken ilgili kontrol önlemlerini ortaya koymuşlardır. (Gül ve Çelik, 2018:1786). Sun D. ve arkadaşları, demiryolu yolcu taşımacılığında emniyet riski analizi

için Bulanık-Bayes ağ tabanlı (fuzzy Bayesian network- FBN) bir çalışmada bulunmuşlardır. Uzman grubu karar yöntemiyle belirlenen temel olayın bulanık olasılığına dayanarak, önerilen FBN yöntemi ile demiryolu yolcu güvenliği riskinin olasılığını tahmin etmişlerdir. (Sun vd., 2018:135). Oturakçı M. ve Dağsuyu C. inşaat sektörüne yönelik bir risk değerlendirmesi için klasik Fine Kinney yöntemi ile bulanık Fine Kinney risk değerlendirmelerini karşılaştırmışlardır. (Oturakçı ve Dağsuyu, 2017:17). Risk değerlendirmesinde FMEA yöntemine bulanık mantık yaklaşımının uygulandığı bir başka çalışma ise Ünlü E. tarafından yapılmıştır. Çalışma içeriği olarak FMEA ile beraber “Bulanık Hata Türleri” ve “Etkileri Analizi” yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmasında deney ve kalibrasyon laboratuvarlarında gerçekleşmiş 91 farklı denetim sonucunda tespit edilen 199 hata türünden faydalanmıştır. (Ünlü, 2019).

Bir başka çalışmada ise Blagojević A. ve arkadaşları, sürdürülebilir trafik yönetimini sağlamak için demiryolu geçişlerinde güvenlik derecesinin değerlendirilmesinde bulunmuşlardır. Kriterlerin önemini belirlemek için yeni bir entegre bulanık tam tutarlılık yöntemi, FUCOM (full consistency method) ve bulanık PIPRECIA (pivot pairwise relative criteria importance assessment, pivot ikili görelî kriter önem değerlendirmesi) modeli oluşturmuşlardır. Ana kriterlerin ağırlık değerlerini hesaplarken, ortalamaları için bulanık Heronian ortalama operatörü kullanmışlar ve hemzemin geçitlerin değerlendirilmesinde, bulanık alternatiflerin ölçümü ve uzlaşık çözüme göre sıralama, MARCOS kullanarak yapmışlardır. (Blagojević vd., 2021:932). Hindistan’ da yapılan bir başka çalışmada ise Srivastava A. ve arkadaşları AHP ile Hint demiryolu güvenlik sisteminde yorumlayıcı yapısal model analizinde bulunmuşlardır. (Srivastava vd., 2019:378). Tričković G. ve arkadaşları demiryollarında geçiş güvenilirliğinin belirlenmesi için bulanık FTA metodu kullanmışlardır. Çalışmalarında FTA’ daki temel bir olayın başarısızlık olasılığının gerçekçi bir tahminini vermek için değerler bulanık sayılara dönüştürmüş ve demiryolu geçişlerindeki kazaların sayısını azaltacak senaryoları ve olayları tanımlayabilen bir model oluşturmuşlardır. (Tričković vd., 2018). Dağdeviren M. ve Yüksel, I., iş güvenliği ve emniyet yönetimi için bir model oluşturmuş ve hem çok kriterli hem de eş zamanlı değerlendirmeye izin veren AHP yaklaşımı ile incelenmelerde bulunmuşlardır. Çalışmalarında ikili karşılaştırmalarda hatalı davranışa neden olan faktörleri üçgen bulanık sayılarla ağırlıklandırmışlar ve önerilen yöntemi gerçek bir imalat firmasında uygulamışlardır. (Dağdeviren ve Yüksel, 2008:1717).

8.2. Araştırma Yöntemi ve Metodoloji

Çok kriterli karar verme problemlerindeki belirsizlikler ve muğlaklık, gerçek yaşam durumlarındaki gerçekçi sorunların karmaşıklığından kaynaklanmaktadır. Çok sayıda ÇKKV yöntemi farklı alternatif sıralamalar sunabilir. Bu nedenle, tek bir teknik artık gerçek dünya sorunları için en iyi çözümü vermeyebilir. (Bakioğlu ve Atahan, 2021:99). Kentiçi raylı sistem işletmeciliği her ne kadar güvenilir bir toplu taşıma türü olsa da gerekli önlemler alınmadığı takdirde yaşanabilecek kazalar sonucunda tehlikeli bir taşıma sistemlerinden biri olarak kabul edilir ve genellikle kazalarla ilgili ciddi ölümler meydana gelebilmektedir.

Raylı sistemlere yönelik ortaya çıkan riskleri sıralamaya ilişkin çok kriterli değerlendirme sorunu, oldukça belirsiz bilgilere sahip olan zorlu bir görev olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bakış açısıyla tez çalışmasının bu bölümünde, ulaşım alanlarında en popüler yöntemlerden AHP ve VIKOR sistemlerinde bulanık mantık kullanılarak hibrit çok kriterli karar verme yöntemleri ile bir metot üzerine çalışılmıştır. Tezin bu kısmında, farklı bir değerlendirme yaklaşımı önerilmiş (Pisagor bulanık ortamı) ve Antalya ilindeki kentiçi raylı sistemlere yönelik bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Böylece, kentiçi raylı sistem taşımacılığı ile ilgili tehlikeleri ve ilişkili riskler farklı bir bakış açısı ile ele alınmıştır. Bu karmaşıklıkların üstesinden gelmek için, tezin bu kısmında aynı zamanda belirsizliği ve kararsızlığı daha esnek bir şekilde karakterize etmek için Pisagor bulanık kümelerini kullanılmıştır.

Çalışmanın sonuç kısmında, bulanık yaklaşımın uzlaşmış çözümleri aracılığıyla tehlikelerin farklı risk seviyelerinde kategorize edilebileceği gösterilmiştir. Çalışma, Pisagor bulanık sayılara dayalı bir VIKOR yaklaşımı önererek risk analizine teorik bir katkı sağlamaktadır. Önerilen metodoloji ile ayrıca, risk yönetiminin potansiyel tehlikelerini göz önünde bulundurarak ve tavsiyelerde bulunarak kentiçi raylı sistemlerdeki genel güvenlik seviyelerinin iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. (Gül vd., 2019:135).

Demiryolu kazalarının mevcut istatistiksel verilerinin analizine göre, çeşitli risk faktörlerinin (personel faktörleri, yönetim faktörleri gibi) olduğu tespit edilmiştir. Demiryolu yolcu taşımacılığının güvenliğini etkileyen unsurlar birbirinden bağımsızdır ve bu risk faktörlerinin ortaya çıkma olasılığı oldukça belirsizdir. (Sun vd., 2018:135).

Bulanık akıl yürütme yaklaşımı, özellikle risk verilerinin eksik olduğu ve yüksek düzeyde bir belirsizlik söz konusu olduğunda, demiryolu sistemlerinin risk modellemesinde büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bulanık akıl yürütme yaklaşımlarını kullanan risk analizi, alan insan uzmanlarının bilgisini ve mühendislik yargılarını formüle edebilmektedir. Ayrıca, bulanık mantık çıkarım sürecinde çeşitli kaynaklardan gelen bilgiler dönüştürülerek bilgi tabanı oluşturulabilmektedir. (An vd., 2006:18).

Belirlenen risk faktörlerine dayalı olarak,-ilişkin kritik risk faktörleri hakkında farkındalık oluşturmaya yardımcı olmak için bulanık ÇKKV yaklaşımına dayalı bir değerlendirme çerçevesi, bunlar için etki ve gerçekleşme olasılığını ölçer.

Risk değerlendirmesi, tanımlanmış risk faktörleri ile ilişkili risk yanıtları arasında bağlantı kurmada temel bir rol oynar ve risk yönetimi sürecinde çok karmaşık ve zor bir iştir. Bu nedenle, demiryolu yeniden inşa projelerinde proje başarısını artırmak için, müşteriler ve genel yükleniciler için karar vermede yardımcı olacak bir temele hizmet edecek bilimsel, kolay işletilen bir risk değerlendirme modeli geliştirilmelidir.

Kentiçi raylı sistemde mesleki risklere karşın, tehlikelerin değerlendirme ve bu değerlendirmelere yönelik önlemlerin değerlendirmesi şeklinde iki aşamadan oluşmaktadır. Bu çalışmada, bulanık mantık ve ÇKKV yöntemleri ile geleneksel risk analizi yaklaşımının doğruluğu artırılmıştır. İlk aşamada, risk analizinde geleneksel olarak kullanılan Fine Kinney yöntemi “olasılık” “şiddet” ve “frekans” kriterlerine “tespit edilebilirlik”, “maliyet etki değeri” ve “kişisel koruyucu kullanım etki değeri” unsurları da eklenmiş ve bulanık-AHP ile faktör ağırlıkları belirlenmiştir.

İkinci aşamada ise elde edilmiş olan ağırlıkların kullanılmasıyla Bulanık-VIKOR ile belirlenen tehlikeler sıralanmıştır. Faktör ağırlıklarının kullanılmasıyla tehlikelerin öncelik sırası Pisagor bulanık kümeli VIKOR’ a (Pythagorean fuzzy Vikor , PFVIKOR) dayalı yeni bir İSG risk değerlendirme yaklaşımı uygulanmıştır. Pisagor bulanık kümelerinin kullanılması, risk değerlendirme sürecinde İSG uzmanının gerçekleştirmesinin belirsizliğini ve öngörülemezliğini uygun şekilde yönetmektedir. Literatürde yukarıda belirtilen çalışmaların hiçbirinde uzmanlar için bir öncelik ağırlığı belirlememiştir. Bu çalışmada, İSG risk değerlendirme sürecinde İSG uzmanlarının yılların deneyimine göre belirlenen öncelik ağırlıkları dikkate alınmaktadır. Çalışmanın

ana hatlarına bir duyarlılık analizi eklenmiştir. Ayrıca önerilen önleyici eylem planlarını içeren bir risk değerlendirmesi de yapılmıştır.

8.2.1. Uygulama Metotları

Bu bölümde, tez çalışmasında önerilen yöntem ve yaklaşımın prosedürle ilgili ayrıntılarını verilmiştir. Sırasıyla Fine Kinney Metodu ve kriterleri ile risk değerlendirmesi, AHP ve FAHP yöntemlerinden bahsedilmiş ve sonrasında Pisagor Bulanık AHP (PFAHP) ile risklerin ağırlıklandırılması ve Bulanık VIKOR (FVIKOR) Yöntemi ile önemlerine göre sıralamanın yapılması verilmiştir. Sonrasında, önerilen bulanık tabanlı risk modelinin sonucu gösterilmiştir.

Yukarıda bahsedilen önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için Antalya’ da kentiçi raylı sistemler alanında bir vaka çalışması yapılmıştır. Yapılan incelemede işletmeye ait atölyeler, istasyonlar, raylı sistem hatları ve çevreleri ile genel ofis binalarındaki İSG sorunları nedeniyle çeşitli tehlikelerle karşılaşabileceği düşünülmüş ve çalışmada bu tehlikeler göz önüne alınmıştır. İSG yönetiminden sorumlu analistler tarafından tüm süreçlerin kapsamlı bir analizini yaparak Ek 1’ de özetlenen ve kodlanan 200 adet tehlike belirlenmiştir. Mevcut çalışmada, kentiçi raylı sistem risk değerlendirmesine ilişkin mesleki tehlike risklerini derecelendirmek ve analiz etmek amacıyla altı uzman görüşünden faydalanılmıştır. Tablo 38’ de uzman ekip ve ilgili iş tecrübesi hakkında toplanan detaylı bilgiler gösterilmektedir. Risk değerlendirme verilerinin analizinde her uzman için farklı önem (öncelik ağırlığı) verilmiştir. Uzmanların kimlikleri, anonimliği korumak için burada belirtilmemiş ve bu nedenle 1. Uzman, 2. Uzman, 3. Uzman, 4. Uzman, 5. Uzman ve 6. Uzman olarak adlandırılmıştır.

Uzmanların öncelik ağırlıklarında iş deneyimini dikkate alan metodoloji kullanılarak sıralanmıştır. (Kabir vd., 2018) yapmış olduğu çalışmada uzmanların çalışma pozisyonu, iş deneyimi, eğitim seviyesi ve yaş bilgisine göre yapmış oldukları puanlama sisteminden faydalanmışlardır. Tablo 38’ de gösterildiği şekilde, örneğin mesleki deneyim yılı 30 yıldan fazla ise 5 puan verilmiştir. Sınıflandırmalarda; 20–29 yıl, 10–19 yıl, 6–9 yıl ve ≤ 5 yıl olduğunda ise puanlamalar sırasıyla 4, 3, 2 ve 1’dir.

Mevki	Sınıflandırma	Puanı
Profesyonel pozisyonu, Görevi	Kıdemli Akademisyen, Genel müdür, Direktör,	5
	Akademisyen, Müdür, Denetçi	4
	Mühendis, Danışman	3
	Teknisyen, Tekniker, Ustabaşı	2
	Operatör, İşçi	1
	30 yıldan fazla	5
	20-29 yıl arası	4
İş Deneyimi	10-19 yıl arası	3
	6-9 yıl arası	2
	5 yıldan az	1
Eğitim	Doktora derecesi	5
	Yüksek lisans derecesi	4
	Lisans derecesi	3
	Ön lisans derecesi	2
	Lise mezunu	1
Yaş Aralığı	50 yaşından büyük	4
	40-49 yaş arasında	3
	30-39 yaş arasında	2
	30 yaşından küçük	1

Tablo 38: Uzmanın Özelliklerine Göre Puan Derecelendirmesi.

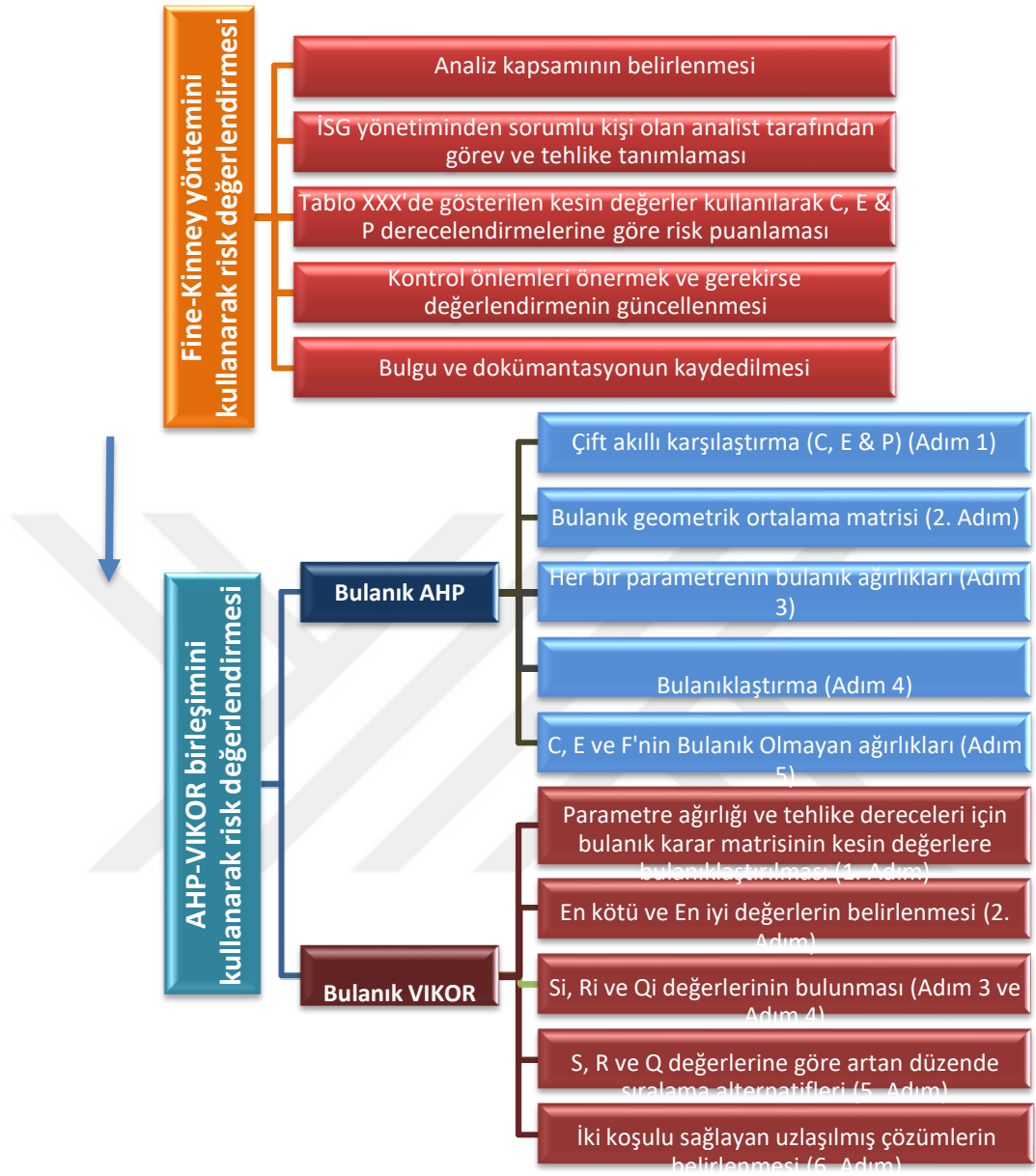
Kaynak: Kabir S., Yazdi M., Aizpurua J. I., Papadopoulos Y, Uncertainty-Aware Dynamic Reliability Analysis Framework for Complex Systems, 2018

Değerlendirmede bulunan uzmanların ağırlıklandırılması Tablo 38' e göre yapılmış ve bu uzmanlara ait puanlama tablosu Tablo 39' da gösterildiği şekilde hazırlanmıştır.

Uzman	Görevi	İş Deneyimi	Eğitim Seviyesi	Yaş Aralığı	Ağırlık Puanı
1. Uzman	Kıdemli Akademisyen (5)	10-19 (3)	Doktora (5)	40-49 (3)	16/85=0,188
2. Uzman	Müdür (4)	20-29 (4)	Doktora (5)	>50 (4)	17/85=0,200
3. Uzman	Denetçi (4)	10-19 (3)	Yüksek lisans (4)	40-49 (3)	14/85=0,165
4. Uzman	Danışman (3)	20-29 (4)	Yüksek lisans (4)	>50 (4)	15/85=0,176
5. Uzman	Mühendis (3)	10-19 (3)	Yüksek lisans (4)	40-49 (3)	13/85=0,153
6. Uzman	Mühendis (3)	6-9 (2)	Lisans (3)	30-39 (2)	10/85=0,118
Toplam					85/85=1,000

Tablo 39. Uzmanların Özelliklerine Göre Puanlandırılması

Kentiçi raylı sistemlere ilişkin risk değerlendirmesinde yapılacak tez çalışması için kurulacak Fine Kinney – Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Şekil 45' de gösterildiği gibi çözülmesi planlanmıştır.



Şekil 45. Fine Kinney – Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR yapısı

Kaynak: Gül, M., Güven, B. ve Güneri, A. F., A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR, 2018

8.2.2. Fine Kinney Yöntemi

Kentiçi raylı sistemlerde artan bir farkındalığa ve daha iyi iş sağlığı ve güvenliği (İSG) yönetimine ulaşmak için bu çalışmada yeni bir risk değerlendirme için Fine-Kinney yöntemi ile bulanık kural tabanlı uzman sistemin bir kombinasyonunu kurulacaktır.

Fine-Kinney yöntemi “Fine” isimli kişi tarafından “Tehlikelerin kontrolü için matematiksel değerlendirme” adı altında Kaliforniya Donanma Silah Merkezi için geliştirilmiştir. W. T. Fine tarafından geliştirilen “Tehlikelerin Kontrolü İçin Matematiksel Değerlendirmeler”, metodu, Kinney ile arkadaşı Wiruth tarafından revize edilerek “Emniyet Yönetimi İçin Pratik Risk Analizi”, adı altında yayınlanmış ve günümüzde “Fine-Kinney Metodu” olarak anılmaktadır. Ayrıca “Güvenlik yönetimi için pratik risk analizi” adı ile NWC-TP-5865 standardı olarak yayınlanmıştır.

Fine Kinney yönteminde, risklerin gerçekleşme olasılığı ile tehlikelerin gerçekleşme periyodu ve gerçekleştiği taktirde meydana gelecek olan etki faktörlerinin çarpımları şeklinde hesaplanmaktadır. Bu faktörlerin çarpılması ve sonuçların çıktısı kavramsal olarak tanımlandıktan sonra değer ataması yapılmaktadır.

Fine Kinney hesaplamalarındaki olasılık göstergeleri Tablo 40’ da frekans göstergeleri Tablo 41’ de ve şiddet göstergeleri ise Tablo 42’ de gösterilmektedir. Risk puanlarına ait göstergeler ise Tablo 43’ de verilmiştir. (Birgören, 2017:19; Kinney, 1976; Kokangül vd., 2017:24; Gül ve Çelik, 2018:1786). Olasılık skalasında en düşük değeri “Neredeyse İmkansız” şeklinde tanımlanmış ve olasılık değerine ise 0,1 değerini vermiştir. Yine bezer şekilde frekans değerlerinin tespitini; meydana gelme periyotlarına göre sınıflandırmıştır. Frekans göstergesi için referans değeri olarak ise benzer biçimde “10” ve “0,5” aralığından oluşmaktadır. Fine Kinney yönteminin üçüncü değişkeni olan şiddet tablosu ise risklerin sonucunda meydana gelen maliyetler ve/veya hasarların miktarları dikkate alınmasıyla ortaya çıkmıştır. (Erdebilli ve Gür, 2020:75). Olasılık, frekans ve şiddet tablolarına göre klasik Fine Kinney yönteminde risk değerlendirmesi; $Risk = Olasılık \times Frekans \times Şiddet$ şeklinde olup, Tablo 43’ deki gibidir.

Fine-Kinney parametrelerine tezin bu kısmında daha fazla hassasiyet ve doğruluk oranı elde edilmesi için ilave kriterler eklenmiştir. İSG risk değerlendirme verilerinde yüksek düzeyde belirsizlik bulunduğundan, risk puanını değerlendirmek için olasılık (O), frekans (F) ve şiddet (Ş) için kural tabanlı uzman sistemlerine ilave verilerle geliştirilmiştir. Antalya kentiçi raylı sistemlerde yapılan bu risk değerlendirmesi raylı sistemlere yönelik bir ilk olma özelliği taşımaktadır. Çalışma metodolojik olarak bilgideki risk değerlendirmesine katkıda bulunurken, gerçek bir raylı ulaşım sistemindeki

vaka çalışması, güvenliğin iyileştirilmesinde toplu taşıma endüstrisine bir bakış açısı sunmuştur.

8.2.2.1. *Fine Kinney Yöntemi Olasılık Kriteri*

Olasılık kelime anlamı olarak; Tehlikenin gerçekleşmesi durumunda, “bir kaza ya da hasarın meydana gelme ihtimali”, şeklinde ifade edilmektedir Bir başka ifade ile tehlike-olay meydana geldiğinde, kaza ve sonuçlara yol açmak için gerekli zamanlama ve tesadüf ile birlikte, tüm kaza-olay dizisinin takip etmesi ihtimalidir. (Birgören, 2017:19; Kinney, 1976; Kokangül vd., 2017:24; Gül ve Çelik, 2018:1786). Tehlikeli birolayın meydana gelme olasılığı, gerçekte meydana gelebileceği matematiksel olasılık ile ilgilidir. Aynı zamanda güvenlik durumlarında karşılaşılabilecek olasılıklar, tamamen beklenmedik ve beklenmeyen ya da uzaktan olası olan ve gelecekte beklenebilecek bir olaya kadar değişkenlik gösterebilmektedir. Güvenlik hususları, yalnızca bu tür olası tüm durumları değil, aynı zamanda imkansızla yaklaşanları da sağlamalıdır. Ancak, tarif edilebilecek hiçbir olay kesinlikle imkansız olarak kabul edilemez; yani matematiksel olasılık sıfırdır. Kesinlikle imkansız olaya sıfır olabilirlik değeri atanır. Olasılığın değeri hesaplanırken, yaşanmış kazaların sayısı veya geçmiş zamandaki durumlar toplamı olarak bulunabilir ya da olayın öngörülmesi olarak gerçekleşme ihtimali alınabilir. Tablo 40’ da olasılığa ilişkin değerler gösterilmektedir.

Olasılık Aralıkları	“O” Değeri
Kesin beklenir,	10,0
Yüksek derecede mümkün (%50-%50) *	6,0
Seyrek biçimde olası	3,0
Düşük olasılık fakat mümkün	1,0
Oldukça düşük olasılık ve beklenmez	0.50
Pratikte imkansız	0.20
Neredeyse imkansız	0.10

Tablo 40. Olasılık Skalası (*parantez içindeki ifade Fine’ a aittir.)

Kaynak: Birgören, B., Fine Kinney Risk Analizi Yönteminde Risk Analizi Yönteminde Risk Faktörlerinin Hesaplama Zorlukları ve Çözüm Önerileri, 2017

8.2.2.2. *Fine Kinney Yöntemi Frekans Kriteri*

“Frekans” kriteri, meydana gelme sıklığı olarak tanımlanmaktadır. Bir tehlike olayının, hangi zaman bazında oluşabileceği sıklıklarına göre değerlendirilmiş ve buna göre puanlanmıştır. Potansiyel olarak tehlikeli bir duruma maruz kalma durumu ne kadar büyük olursa, ilişkili risk de o kadar büyük olmaktadır. Bunu sağlamak için, riske maruz kalma değeri, belki de yılda sadece birkaç kez, oldukça nadir görülen bir maruz kalma durumuna belki de her gün olacak şekilde ortaya çıkabilmektedir. Çok seyrek nadir olabilecek riskler için “0,5” değeri atanmışken sürekli tekrar eden risk maruziyetleri için tabloda gösterilen “10” değeri atanmaktadır. Bu iki referans noktası arasındaki enterpolasyon, ara değerler ile sağlanmaktadır. Çok nadir görülen bir maruziyet durumlarını sağlamak için ekstrapolasyon gereklidir ve gerçekten de hiç maruz kalma için sıfır değeri atanmaktadır. Frekans tablosundaki risklerin skorları Tablo 41’de gösterildiği şekilde sınıflandırılmıştır. (Birgören, 2017:19; Kinney, 1976; Kokangül vd., 2017:24; Gül ve Çelik, 2018:1786).

Frekans Aralıkları (F)	“F” Değeri
Devamlı olarak	10
Sıkça (Günde bir kez)	6
Bazen (Haftada bir kez)	3
Nadiren (Ayda bir kez)	2
Seyrek (Yılda birkaç kez)	1
Oldukça Seyrek (Yılda bir kez veya daha az)	0,5

Tablo 41. Frekans Skalası

Kaynak: Gul, M. and Celik, E., Fuzzy rule based Fine Kinney risk assessment approach for rail transportation systems, 2018

8.2.2.3. *Fine Kinney Yöntemi Şiddet Kriteri*

Risk puanının hesaplanmasında bir başka kriter olan “Şiddet” için hazırlanan skala tablosunda risk sonucunda oluşan maliyet ve hasar miktarı dikkate alınmaktadır. Tehlikeli bir olaydan kaynaklanan hasar, neredeyse fark edilemeyen küçük hasarlardan felakete kadar değişebilir. Bu çok geniş aralık, sayısal değerlerde yirmi yılı aşan bir aralık olarak kabul edilmektedir. Böylece, fark edilebilir durum için birliğin referans değeri ve felaket

için 100 değeri atanır. Olası maddi hasar ile sonuç faktörü arasındaki ilişkinin ampirik formülle temsil edilebileceği aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Faktör} = (\text{hasar}/100)^{0,4} \quad (1)$$

Şiddet faktörlerinin oldukça farklı iki yönü vardır. Biri, personel yaralanması veya ölümü veya her ikisi şeklinde iken diğeri maddi hasar şeklindedir. Hesaplamalarda durumun pratikliği, bu oldukça farklı iki kalem için (örneğin sorumluluk sigortası için) ortak bir ölçek gerektirir. Böyle bir ortak ölçeğin hem kişisel yaralanma hem de maddi hasarın meydana gelebileceği durumları sağlayabilmesi açısından bir avantajı vardır; burada sonuç faktörü, onun iki farklı yönünün ağırlıklı toplamıdır. (Kinney, 1976). Tablo 42’ de oluşturulan skalada şiddetin sonucunda oluşan maliyet veya ölüm oranları dikkate alınmış ve buna göre puanlama yapılmıştır.

Şiddet Aralıkları (\$)	“\$” Değeri
Oldukça fazla ölümün yaşandığı (birçok ölüm veya $>10^7$ \$ hasar)	100
Birden fazla ölümlü kaza (az sayıda ölüm veya 10^6 \$ dan fazla hasar)	40
Ölümlle sonuçlanabilecek oldukça ciddi yaralanma (ölüm veya 10^5 \$ dan fazla hasar)	15
Çok ciddi yaralanma (uzuv kaybı, kalıcı sağlık problemleri/iş göremezlik veya $>10^4$ \$ hasar)	7
Önemli derecede yaralanma (sakatlık veya $>10^3$ \$ hasar))	3
Küçük Yaralanma (küçük ilk yardım kazası veya >100 \$ hasar)	1

Tablo 42. Şiddet Skalası

Kaynak: Kinney, G. F., Practical Risk Analysis for Safety Management, 1976

8.2.2.4. Fine Kinney Yöntemi Risk Değerlendirme Sonucu

Fine Kinney yöntemine göre bazı potansiyel olarak tehlikeli durumlar için risk puanı, üç faktörün ürünü olarak sayısal olarak verilir. Yapılan hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan risk değerlendirme sonuçlarında “20” puana kadar olan risklerin düşük riskli bir durumu temsil ettiğini, endüstriyel çalışma için mevcut standartlar tarafından kabul edilebilir olduğu ortaya çıkarmaktadır. 20 ile 70 puan arasındaki risklerde ise gerçekleşmenin olası olduğu ve tehlikenin gözlenmesi gereken bir risk olduğu ortaya çıkmıştır. 70 ile 200 arasında bir risk puanına sahip bir durumda ise riskin önemli olduğu

ve önlem alınmasına gerek duyulan önemli risk içeren bir durum olduğu gösterilmektedir. Hesaplama puanı “200” den büyük ve “400” e kadar olan risklerde ise gerekli önlem çalışmalarının yapılmasını gerektiren ve düzeltmenin acilen gerekli olduğu önemli bir riskin varlığından söz edilmektedir. Fine Kinney’ e göre en büyük riski ise değerlendirme sonucu “400” puandan fazla olan riskler oluşturmaktadır. (Kinney, 1976). Bu tür risklerde tespit edilen eksikliği gidermek için en azından geçici önlemler alınana kadar operasyonun durdurulması düşünülmelidir veya operasyon güvenli hale getirilemezse, belki de kalıcı kapatılma gerekli olmaktadır. Bu risk puanı sınıflandırmaları deneyime dayalıdır ve deneyim aksini gösterdiğinde düzeltmeye tabidir. Risk değerlendirme sonuçlarına ait aralıklar Tablo 43’ de yer almaktadır.

Risk (R)	Risk Değerlendirme Sonucu
Risk > 400	Oldukça yüksek risk acilen gerekli tedbirler alınmalı, operasyonların durdurulması düşünülmelidir.
200 ≤ Risk ≤ 400	Ciddi risk: Acilen önlem alınmalıdır.
70 ≤ Risk < 200	Önemli risk: tedbir ihtiyacı bulunmaktadır.
20 ≤ Risk < 70	Muhtemel risk: operasyon gözetim altında yapılmalıdır.
Risk < 20	Önemli olmayan risk: tedbir önceliği yoktur

Tablo 43. Risk Düzey Sınıflandırması

Kaynak: Kinney, G. F., Practical Risk Analysis for Safety Management, 1976

8.2.2.5. Tespit Edilebilirlik Kriteri

Tespit edilebilirlik kavramı risk değerlendirme kriterlerinde üç farklı değerlendirme neticesinde ortaya çıkan kriterler bütünüdür. (Birgören ve Yalçınkaya, 2019:41; Kahraman ve Demirer, 2010:53). Bu sorular;

- Tehlike kaynaklarını neler oluşturmaktadır?
- Bu tehlikeden kimler veya neler zarar görebilir?
- Zararlar hangi şekilde ortaya çıkabilir?

şeklinde. Tablo 44’ de gösterilmekte olan tespit edilebilirlik derecelendirmesi için sistematik yaklaşım içerisinde aşağıdaki veriler yardımıyla oluşturulabilmektedir,

Tespit Edilebilirlik (TE)	Tespit Edilebilirlik Olasılığı	(TE) Değeri
Tespit Edilmesi imkansız	Potansiyel hataların nedeni ve takip eden hataların keşfedilebilirliği imkansız	10
Oldukça Az	Potansiyel hataların nedeni ve takip eden hataların keşfedilebilirliği oldukça az	9
Az	Potansiyel hataların nedeni ve takip eden hataların keşfedilebilirliği az	8
Oldukça Düşük	Potansiyel hataların nedeni ve takip eden hataların keşfedilebilirliği oldukça düşük	7
Düşük	Potansiyel hataların nedeni ve takip eden hataların keşfedilebilirliği düşük	6
Orta	Potansiyel hataların nedeni ve takip eden hataların keşfedilebilirliği orta	5
Yüksek Ortalama	Potansiyel hataların nedeni ve takip eden hataların keşfedilebilirliği yüksek orta seviyesinde	4
Yüksek	Potansiyel hataların nedeni ve takip eden hataların keşfedilebilirliği yüksek	3
Oldukça Yüksek	Potansiyel hataların nedeni ve takip eden hataların keşfedilebilirliği oldukça yüksek	2
Kesin Sayılmakta	Potansiyel hataların nedeni ve takip eden hataların keşfedilebilirliği kesin	1

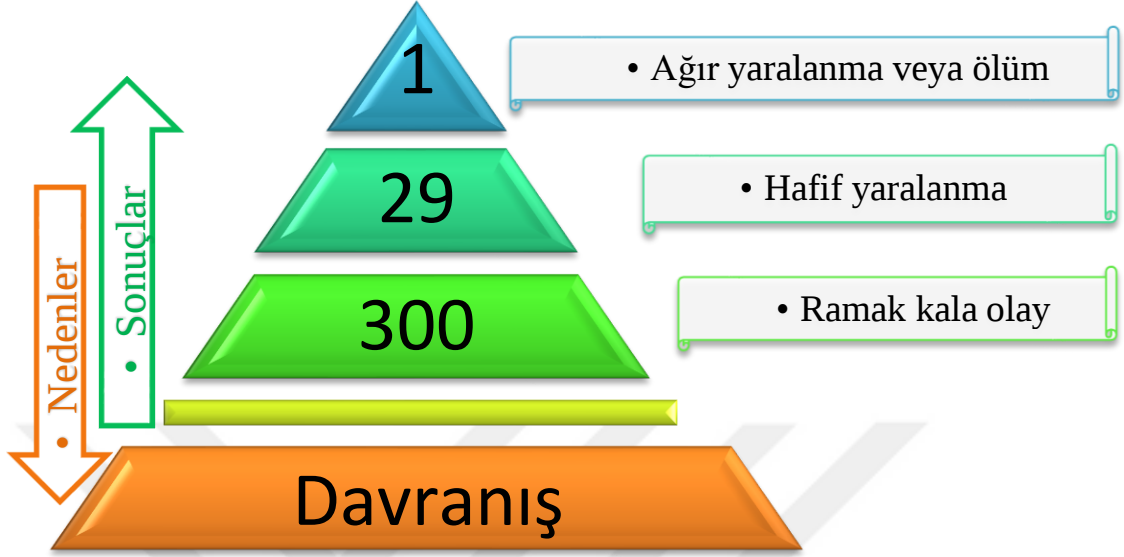
Tablo 44. Tespit Edilebilirlik Değeri Skalası

Kaynak: Kahraman, Ö. ve Demirer A., OHSAS 18001 Kapsamında FMEA Uygulaması, 2010

8.2.2.6. Maliyet Etki Değeri (işveren, çalışan işçi, toplumsal vb.)

Günümüzde birçok sektörde olduğu gibi raylı sistemlerde de İSG uygulamaları çoğunlukla maddi yükümlülükleri sebebiyle göz ardı edilmektedir. H.W. Heinrich tarafından geliştirilen buz dağı teorisi ile bir işletmenin iş kazası maliyetleri doğrudan ve dolaylı maliyet olarak iki sınıfa bölünmüştür.

Heinrich' in hesaplamada sadece maddi zararların olduğu kazaları hesaplamaya katarak geliştirdiği teorisine ilişkin veriler Şekil 46' daki gibidir.



Şekil 46. Heinrich Piramidi (Heinrich, 1931)

Kaynak: Koçak. D., Demiryolu Çalışmalarında İş Sağlığı ve Güvenliği Vagon Bakım Onarım Atölyesi Risk Değerlendirmesi Örneği, 2014

İş kazalarının sebep olduğu ilave maliyetler iki ana başlık altında incelenmektedir. Bunlardan ilki doğrudan maliyetler iken (ilk bakışta ihmal edildiği halde çok daha etkin olan) ikincisi ise dolaylı maliyetlerdir. Zira yapılan araştırmalar, dolaylı maliyetlerin doğrudan maliyetlere göre yaklaşık 4 ile 10 kat daha yüksek olduğunu göstermektedir. (Koçak, 2014; Bayram, 2016).

Maliyet Etkisi (ME)	Maliyet Etki Değeri	(ME) Değeri
Ulusal Derece Çok Yüksek	Kesinlikle katlanılamaz, (felakete yol açabilecek tehlikeye sahip maliyet ortaya çıkartan)	10
Çevresel Derecede Yüksek	İş gücü, işletim ve prestij kaybı, çeşitli tazminatlar vb. (Yüksek hasara ve toplu ölümlere yol açabilecek etkiye sahip)	9

(Tablo 45. Devam)

Çok Yüksek Derecede	İş gücü, işletim ve prestij kaybı, çeşitli tazminatlar vb. (Sistemin tamamen hasar görmesini sağlayan yıkıcı etkiye sahip ağır yaralanmalar vb.)	8
Önemli Yüksek Derecede	İş gücü, işletim ve prestij kaybı, çeşitli tazminatlar vb. (Ekipman tamamen hasar görmesine sebep olan ve ölüme, zehirlenme vb. sebep olan)	7
Yüksek Derecede	İş gücü, işletim ve prestij kaybı vb. (Sistemin performansını etkileyen, uzuv ve organ kaybı, ağır yaralanma, vb. sebep olan)	6
Orta Derecede	Maddi zararlar, zaman kaybı vb. (Kırık, kalıcı küçük iş görmezlik, 2. derece yanık vb. sebep olan)	5
Düşük Derecede	Maddi zararlar, zaman kaybı vb. (İncinme, küçük kesik ve sıyrıklar, ezilme vb. hafif yaralanmalar vb. sebep olan)	4
Çok Düşük Derecede	Zaman kaybı vb. (Sistemin çalışmasını yavaşlatan vb.)	3
İhmal Edilebilir Derecede	Zaman kaybı vb. (Sistemin çalışmasında kargaşa yaratan vb.)	2
Herhangi Bir Mali Etkisi Yok	Etki yok	1

Tablo 45. Maliyet Etki Değeri Skalası**8.2.2.7. Kişisel koruyucu Kullanım Etki Değeri (KKD Etki Değeri)**

Kişisel koruyucu donanımları (KKD), Belirli bir işin yapılması esnasında kullanılan, takılan ya da elde tutulan KKD olmayan ekipmanlarla kullanılan koruyucu teçhizat veya cihaz olarak tanımlanmaktadır. KKD' ler, bir veya birden fazla tehlikelere karşı kullanılmaktadır.

Kişisel koruyucuların etki değeri, iş kazalarındaki risk değerlendirmesine etkisi Tablo 47' de gösterildiği gibi olmakta olup, KKD kullanımının ortaya çıkan tehlikeye

veya riske karşı etkisini göstermektedir. KKD kullanımının skor değerleri uzmanlar tarafından değerlendirilmiş ve 1 ile 5 arasında tanımlanmıştır.

Kişisel koruyucu donanımlarının başlıcaları; baş, kulak, göz ve yüz gibi kafa bölgesini koruyanlar, solunum sistemi ve uzuv (el, kol, ayak ve bacak) bölgelerini koruyanlar ile cilt, gövde-karın bölgesi ve vücut koruyucuları olmak şeklindedir. KKD'lerin çalışılan faaliyete göre doğru şekilde tercih edilmesi iş kazalarının önlenmesi açısından büyük önem arz etmektedir. KKD kullanımı iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında alınacak ön son önlem olarak değerlendirilmektedir. Bu donanımlar tehlike ve risklerin bertaraf edilmesinden dolayı toplu korunma yöntemleri sonrasında devreye girmektedir.

Farklı ortamlara ve işlere göre KKD kullanımı sayesinde çalışma ortamına göre koruyuculuk etkileri aşağıdaki gibi olmaktadır.

- Kimyasal ortam ve maddelere karşı maruziyetlerin önlenmesi,
 - Sıcak veya soğuğa karşı korumanın sağlanması,
 - Duman, toz gibi partiküllerin zararlarına karşı koruma,
 - Gürültü, radyasyon gibi etkilere maruziyetin önlenmesi,
 - Keskin parça, malzeme ve cisimlere karşı koruma sağlanması,
 - Düşme tehlikesine karşı önlemler,
 - Elektrik çarpmalarına karşı önlem sağlanması,
- şeklinde sıralanmaktadır.

KKD'lerin kullanıldığı işyerlerinden bazılarında yapılan çalışmalar incelendiğinde, koruyucu donanımları bulunmadığı makinelerde veya kişisel koruyucu donanımlarının kullanılmadığı durumlarda iş kazalarının yaşanabildiği tespit edilmiştir. Bu çalışmalardan bir tanesi Serin H. ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Çalışanlardan kişisel koruyucu kullanmayanların oranının %44,8 olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca bu nedenle gerçekleşen iş kazaları neticesinde, ağır yaralanmalı kazaların %20,7 ve %17,2 sinin ise uzuv kaybına neden olan iş kazası olduğu tespit edilmiştir. %62,1 oranında kaza ise çalışanların hafif yaralanması ile sonuçlanmıştır. (Serin vd. 2015) Benzer şekilde Gülhan B. ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada, İş kazalarının sebepleri arasında kişisel koruyucu donanımların yetersiz kullanımından kaynaklı olarak %44 oranında olduğu belirtilmiştir. Çalışmalarında elde ettikleri sonuca, Ankara'da faaliyet göstermekte olan bir metal imalat şirketinde, Haziran 2008 ve Nisan 2008 dönemleri

arasında 201 işçiye uyguladıkları anket çalışması neticesinde ulaşmışlardır. (Gülhan vd. 2012) Kahya E. ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada ise kişisel koruyucu kullanımının iş kazalarına olan etkileri gösterilmiş ve en az bir iş kazası geçiren çalışanlara yönelik KKD kullanımına yönelik frekans skalası hazırlanmıştır. Buna göre iş kazası geçirmiş olan çalışanlardan kulaklık koruyucusu kullanmayanların %51,85 ve iş gözlüğü kullanmayanların ise %81,48 oranında oldukları tespit edilmiştir. (Kahya vd. 2019)

Yapılan bu çalışmalar neticesinde KKD kullanımının iş kazalarının sonuçlarına direkt olarak etki ettiği ve bu nedenle risk değerlendirme çalışmalarında etki değeri olarak ilave edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Kişisel Koruyucu Donanım Adı	KKD Sahip Olma Durumu	İş Kazası Sırasında Kullanılmamış	İş Kazası Sırasında Kullanılmış
Kulaklık veya kulak tıkacı	1	13	12
İş Gözlüğü	11	11	5
Kafa Kaskı	13	14	-
Toz Maskesi	14	13	-
Eldiven	1	2	24
Koruyucu burunlu ayakkabı	-	1	26

Tablo 46. İş Kazalarında KKD Kullanımının Etkisi

Kaynak: Kahya, E., Ulutaş, B. ve Özkan, N., Metal Endüstrisinde Kişisel Koruyucu Donanım Kullanımının Analizi, 2019

KKD Kullanımı Etki Değeri	(KKD) Değeri
Kesinlikle KKD kullanılmalı, etkisi kesin sayılmakta	5
Yüksek derecede KKD etkisi mevcut	4
KKD kullanımına göre etki değeri büyük oranda artmakta	3
KKD kullanımına göre etki değerinde artış gözlenmemekte	2
KKD kullanımının bir etkisi görülmemektedir	1

Tablo 47. KKD Kullanımı Etki Değeri Skalası

8.2.3. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

AHP 1968 yılında Myers ile Alpert tarafından ortaya çıkartılmıştır. 1977 yılında bir model olarak geliştiren Profesör Thomas Lorie Saaty sayesinde karar verme problemleri için kullanılabilir duruma getirilmiştir. Geliştirilen metot ile birden fazla alternatifin tespit edilen kriterler yardımıyla ile karşılaştırılması sağlanmaktadır. AHP ile, kişilerin karar verme mekanizmalarını anlamaları ve böylece daha iyi kararlar alınması sağlanmaktadır. (Gülenç ve Bilgin, 2010:97).

Kriterlerin ikili karşılaştırmasına dayanan AHP metodolojisi, farklı kategorilerdeki her birinin katılımcıları ve uzmanlarından elde edilen veriler dikkate alınarak ağırlıklarını (W_r - önemlerini) belirlemek için kullanılmaktadır. Kentiçi raylı sistemlerde risk değerlendirmesini tanımlayan kriterlerin ağırlıklarını belirleme yöntemleri, uzmanlar tarafından değerlendirilmiş ve öznel olarak kabul edilmiştir. AHP yaklaşımında, uzmanların aynı hiyerarşik seviyedeki kriterlerin ağırlıklarını daha üst seviye kriterlere göre belirlemesine veya hiyerarşik olarak yapılandırılmamış kriter ağırlıklarını belirlemesine olanak tanınmaktadır. Uzmanlar, değerlendirilen tüm R_i ve R_j kriterlerini ($i, j = 1, \dots, n$) karşılaştırır. (Burada n , karşılaştırılan kriterlerin sayısını ifade etmektedir.) (Çevik, 2009). AHP ayrıca sonlu bir “A” değişkenleri kümesinin sıralanmasına izin vererek karar probleminin hiyerarşik analizine dayanır. Karar probleminin hiyerarşisi, genel amacının, değerlendirme kriterlerinin ve alt kriterlerinin ve son olarak değişkenlerin tanımı yoluyla inşa edilmesini sağlar. AHP metodunda cevabı istenen problemin öncelikli olarak hedefi kararlaştırılır Daha sonra kriterler ve varsa alt kriterler gösterilerek, probleme ait bir hiyerarşik yapı oluşturulur. Kriterler arasında yapılan ikili karşılaştırmalar sonucu elde edilen matris b_{ij} ve w değerleri bulunur Normalize edilmiş olan bu verilerde tutarlılık kontrolü yapılması ile birlikte elde edilen sonuçlar kontrol edilir. CR değerleri 0.10’dan ufak tutarlı, büyük ise tutarsız kabul edilir. (Taş vd., 2017:64). Kriterlerin öz vektörlerinin bulunması işlemi, belirlenmiş olan kriterlerde her birinin, farklı şekilde belirlenen alternatifler ile karşılaştırılarak şeklinde yapılmaktadır. Öz vektörler ve karşılaştırma matrislerinin matris çarpımlarıyla bulunan CI değerinden elde edilen değerlerle CR değerleri bulunmaktadır. Bu sayede tutarlılık oranlarıda hesaplanmaktadır.

AHP, problemin belirlenmesi sayesinde başlayan süreç adımları kriterler ve alternatiflerin kararı ile hiyerarşi yapısının kurulması, kriterlerin arasında ve her bir kriter için farklı alternatiflerde ikili karşılaştırmalar, karşılaştırma tutarlılıklarının tespiti ve alternatiflerin önem ağırlıklarının bulunması olarak sonuçlanmaktadır. AHP, kriter ve alternatiflerin birbirinden bağımsız olduğu varsayımına dayanmaktadır. (Hamurcu ve Eren, 2017; Carpitella vd., 2018:394).

AHP analizine ilişkin hiyerarşi mantığının çeşitli avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlar aşağıdaki gibidir.

1. Kurulan sistem yapısının üst seviyelerinde yer alan elemanların niteliklerindeki değişimin, alt seviye elemanlarını nasıl etkilediğini belirlenmesinde yardımcı olur.
2. Ele alınan problemin "sistem yaklaşımı" ilkesi ile ele alınmasından dolayı sistemdeki yapı ve alt sistemlerin fonksiyonları hakkında oldukça detaylı bilgiler verirler.
3. Hiyerarşik biçimde düzenlenen sistemlerde modüler yapıli sistemlerin bir bütün olarak değerlendirilmesinden daha verimli sonuçlar elde edilir.
4. Hiyerarşi sistemler hem kararlı hem de esnekler. Böylece yapısı iyi kurulmuş bir hiyerarşinin performansı, yapılan eklemeler sonucunda değişmez. Yapılan küçük değişikliklerde kurulan hiyerarşide küçük oranda etkilenir. (Yılmaz, 2006).

AHP' nin adımları özet olarak Tablo 48' de gösterildiği gibi oluşturulmaktadır. Aynı zamanda bu adımlar Şekil 47' de gösterilmektedir

Bir AHP çalışmasında en az üç seviye vardır, bu seviyeler aşağıdaki gibi olmaktadır.

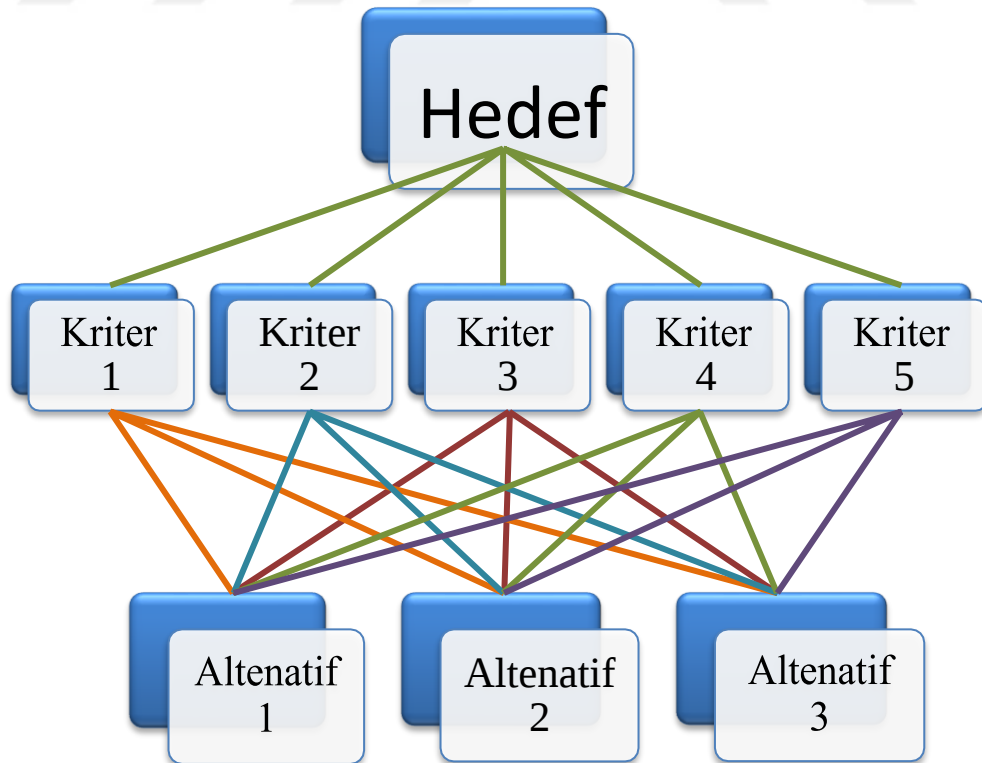
1. **Seviye:** En baştaki soruya ait temel amaç.
2. **Seviye:** Alternatifler için tanımlanmış kriterler.
3. **Seviye:** En sondaki alternatifler.

Problemin karar hiyerarşisi Şekil 47 ve Şekil 48' de yer almaktadır.

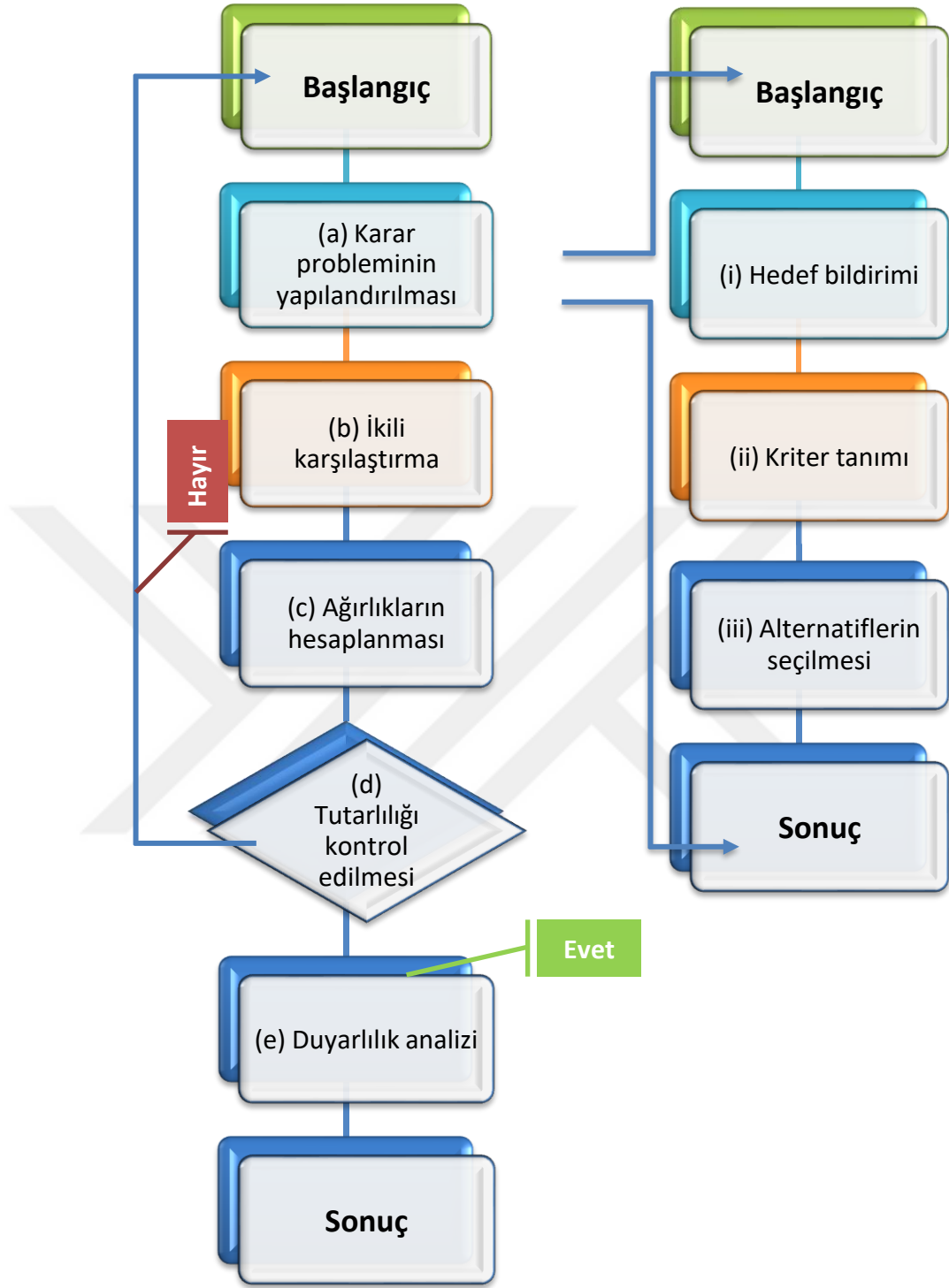
AHP Adımları	AHP adımlarında yapılan işlemler	
1. Adım	Öncelikle problemin belirlenmesi ile hiyerarşi modeli kurulur.	
2. Adım	Kriterler ve alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır.	$\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix}$
3. Adım	Karşılaştırma sonuçlarında normalleştirmeler yapılarak öz vektörler bulunur.	$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, w = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n}$
4. Adım	Ağırlıklar ve tutarlılık oranı bulunur (CR, 0,10' dan büyükse ise matris tutarsız kabul edilir.)	$CR = \frac{CI}{RI}$
5. Adım	Kriter ağırlıkları ve alternatiflerin ağırlıkları arasında matris çarpımı yapılır. Sonuca göre alternatif ağırlıkları bulunur ve sıralama yapılır.	

Tablo 48. Analitik Hiyerarşi Prosesi Adımları

Kaynak: Taş, M., Özlemiş, Ş., Hamurcu, M. ve Eren, T. Ankara'da AHP ve PROMETHEE Yaklaşımıyla Monoray Hat Tipinin Belirlenmesi, 2017



Şekil 47. Bir AHP Çalışması Seviyeleri



Şekil 48. Bir AHP 'nin Adımları

Kaynak: Kumar, A., Singh, G. and Vaidya OS., A Comparative Evaluation of Public Road Transportation Systems in India Using Multicriteria Decision-Making Techniques, 2020

AHP' nin uygulama adımları aşağıdaki gibidir. (Çevik, 2009; Hamurcu ve Eren, 2018:92; Yılmaz, 2006; Yücel ve Taşabat, 2019:382).

1. Adım: Karar Verme Problemi Tanımlanması

Karar verme problemleri çözümü için kullanılan bütün yöntemlerin ilk aşaması problemin tanımlanmasıdır. Problemi tanımlanması, iki farklı aşamadan oluşturulur. Birinci aşamada karar noktaları belirlenir sonrasında amaç ve kriterler göz önünde alınarak olası alternatifler belirlenir.

2. Adım: Faktörler Arası Karşılaştırma Matrisi Oluşturulması

Problemin amaçlarının belirlenmesi veya tüm aktörlerin, amaçların ve sonuçlarının dikkate alınması amacıyla problemi, tüm düzeyleri belirlenmiş kriterlerden oluşan bir hiyerarşi yapıya ayrıştırılır. Farklı kriterlerin ağırlıkları hesaplamak için, AHP’ de ikili bir karşılaştırma matrisi “A” oluşturulmaya başlanır. “A” matrisi, “m”nin dikkate alınan değerlendirme kriterlerinin sayısı olduğu bir “m×m” gerçek matrisidir. Karşılaştırmada kullanılacak matris, “nXn” boyutunda kare matristir. Bu matrisin köşegenleri üzerindeki matris değerleri 1 şeklindedir.

Mukayese yapabilmek için, karşılaştırıldıkları kriter veya özelliğe göre bir unsurun diğerine göre durumunu gösteren bir sayı skalasına gerekmektedir. İki kriter arasında nispi önemler aşağıdaki Tablo 49’ da ifade edildiği gibi “1’ den 9’ a kadar” sayısal bir ölçekte sıralanır. Burada j-inci kriterin k-inci kritere eşit ya da yüksek önemli olduğu varsayımında bulunulur.

Sayısal Derece	Sözel Değerlendirme	Açıklama
1	Eşit önemli	İki faaliyetin amacına eşit olarak yardımda bulunur
2	Eşit ile orta arası önemli	
3	Orta derecede önemli	Deneyim ve yargı, bir faaliyeti diğerine biraz daha fazla tercih eder
4	Orta-güçlü arası önem	
5	Güçlü derecede önemli	Deneyim ve yargı, bir faaliyeti diğerine güçlü bir şekilde tercih eder

(Tablo 49. Devam)

6	Güçlü-çok güçlü arası önem	
7	Çok güçlü önem (very strong importance)	Bir faaliyet diğerine göre çok güçlü bir şekilde tercih edilir
8	Çok güçlü-mutlak arası önem	
9	Mutlak önem	Bir faaliyetin diğerine göre tercih edilmesi,
Yukarıdakilerin karşılıkları	“i” etkinliği, “j” etkinliği ile karşılaştırıldığında kendisin için belirlenen sıfırdan farklı sayılardan birine sahipse, o zaman j ve i ile mukayese edildiğinde karşılıklı değere sahiptir.	Mantıklı bir varsayım
1.1 – 1.9	Eğer aktiviteler çok yakınsa	En iyi değer atanması zor olabilir, fakat diğer zıt faaliyetlerle mukayesesinde küçük sayıların boyutu fazla tespit edilmeyecektir, ancak yine de faaliyetlerin göreceli önemini gösterebilirler.

Tablo 49. AHP’ de Kullanılan İkili Karşılaştırma (Mutlak Sayıların) Temel Skalası

Kaynak: Yucel, N. and Tasabat, S., The Selection of Railway System Projects with Multi Criteria Decision Making Methods: A Case Study for Istanbul, 2019

Saaty L. T. tarafından 1997 yılında yapmış olduğu “Hiyerarşik Yapılarda Öncelikler için Ölçeklendirme Yöntemi (A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures)” isimli çalışmasında AHP’ ye yönelik adımlar açıklanmıştır. Bu çalışmanın adımları ve bu doğrultuda elde edilen formüller aşağıdaki gibi oluşmaktadır. “A” matrisi oluşturulduktan sonra, bütün sütunlardaki girişlerin toplamaları 1' e eşitlenir ve normalleştirilmiş çiftli karşılaştırma matris değeri A_{norm} u “A” dan türetmek mümkündür, yani A_{norm} matrisinin her $\bar{a}_{jk}$ girişi şu şekilde hesaplanır, (Yücel N. vd. 2019)

$$a_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{l=1}^m a_{lk}} \quad (1)$$

Son olarak, ölçüt ağırlık vektörü “w” (yani m boyutlu bir sütun vektörü), A_{norm} ' un her satırındaki girişlerin ortalaması alınarak oluşturulur,

$$W_j = \frac{\sum_{l=1}^m a_{jl}}{m} \quad (2)$$

3. Adım: Faktörlerin yüzde önem dağılımları belirlenir

Karşılaştırma için hesaplanan matris, faktörlerdeki karşılıklı önem seviyelerini belirli bir mantık içerisinde göstermektedir. Fakat bu faktörler bir bütün olarak ağırlıklarını, matrisi oluşturan sütun vektörlerinden yararlanması sayesinde n adet ve m bileşenli B sütun vektörü oluşturulması ile elde eder. Seçenek puanlarının matrisi bir “nXm” gerçek matris “S”dir. S' nin S_{ij} içindeki her girişi, j. kritere göre i. seçeneğin puanını temsil eder. Önce $j=1, \dots, m$ m kriterlerinin her biri için ikili bir karşılaştırma matrisi oluşturulur. $B^{(j)}$ Matrisi, bir nXn gerçek matrisidir, burada n, değerlendirilen seçeneklerin sayısıdır. $B^{(j)}$ Matrisinin her bir $b_{ij}^{(j)}$ girişi, j. kritere göre i. seçeneğin h. seçeneğe kıyasla değerlendirmesini temsil eder. Eğer $b_{ih}^{(j)} > 1$, i. seçenek h. seçenektan daha iyidir, eğer $b_{ih}^{(j)} < 1$ ise, o zaman “i.” Seçenek olan “h.” seçenektan daha da kötüdür. “j.” kriterine göre ise iki farklı seçenek eşdeğer olarak değerlendirilirse, o zaman $b_{ih}^{(j)} = 1$ ise $b_{ih}^{(j)}$ ve $b_{hi}^{(j)}$ girişleri aşağıdaki kısıtlamayı karşılar.

$$b_{ih}^{(j)} \cdot b_{ih}^{(j)} = 1 \quad (3)$$

ve tüm i için $b_{ii}^{(j)} = 1$ Karar vericinin ikili değerlendirmelerini sayılara çevirmek için Tablo 46' daki değerlendirme ölçekleri kullanılabilir.

$$B_i = |b_{ij}|_{m \times 1} \quad (4)$$

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{l=1}^m a_{il}} \quad (5)$$

İkinci olarak, AHP her $B^{(j)}$ matrisine karşılaştırma matrisi olan “A” için açıklanan aynı iki aşamalı metot uygulanır. Her girişi aynı sütundaki girişlerin toplamına böler ve



ardından her birindeki girişlerin ortalamasını alır. Böylece skor vektörleri $s^{(j)}$, $j=1,...,m$ elde edilir. $s^{(j)}$ Vektörü, j. kritere göre değerlendirilen seçeneklerin puanlarını içerir.

Son olarak, skor matrisi S şu şekilde elde edilir:

$$S = [s^{(1)} \dots s^{(m)}] \quad (6)$$

Burada, S'nin j. sütunu $s^{(j)}$ 'ye karşılık geldiği ortaya çıkmaktadır.

4. Adım: Seçeneklerin sıralaması

"W" ağırlık vektörü ve "S" puan matrisi hesaplanır ve sonrasında, AHP, "S" ile "w" nin çarpılmasıyla global puanların bir "v" vektörünü elde edilir.

$$V = S \cdot w \quad (7)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix} \quad (8)$$

v. ve i. girişi v_i , AHP ile "i." seçeneğe atanmış olan global puanı temsil edilir. Bir sonraki adımda, küresel puanların azalacak bir sıralama ile seçenek sıralaması gerçekleştirilir.

5. Adım: Tutarlılığın kontrol edilmesi

AHP kendi içerisinde her ne kadar tutarlı bir olsa da sonuçların reel olması doğal olarak, araştırmacının faktörler arasında yaptığı karşılaştırmadaki tutarlılığa bağlıdır. Öz vektör hesaplanırken "Tutarlılık Oranı" bulunmaktadır. Bu indeksin 0,1 ve daha yüksek olduğu durumlarda değerlendirmeler uyumsuz olarak belirtilir. (Ramadan, 2018; Erdoğan ve Kaya, 2016:84).

Tutarlılık matrisindeki tutarsızlıkları önlemek için Tutarlılık Oranı (CR) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Tutarlılık Oranı CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

Burada “CR” tutarlılık oranıdır, “CI” tutarlılık indeksi (göstergesi) ve “RI” rastgele indekstir. CI, Denklem aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır. Burada maksimumun yaklaşım $\lambda_{\max}$ ve m ise eleman sayısıdır.

$$\text{Tutarlılık Göstergesi CI} = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \quad (10)$$

(λ), “Temel Değer” denilen bir katsayı karşılaştırılmaya dayanmaktadır. λ ’nın hesaplanmasında öncelikle “A” matrisi ile “W” vektörü matris çarpımı ile “D” sütun vektörü elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_m \end{bmatrix} \quad (5.1.)$$

“D” sütun vektörü ile “W” sütun vektörünün bölümlerinden “E” temel değeri elde edilir. Bu değerlerdeki aritmetik ortalama ise karşılaştırmaya yönelik temel değer olan (λ)’yı verir. (Çevik E. 2009, Yılmaz S. 2006)

$$E = \frac{d_i}{W_i} \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (5.2.)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (5.3.)$$

Kusursuz tutarlı bir karar verici her zaman CI=0 elde etmelidir, ancak küçük tutarsızlık değerleri tolere edilebilir. Hesaplanmış olan “CR” değerinin 0,1’den küçük olması durumunda araştırmacının karşılaştırmalarında tutarlı olduğu görülür “CR” değeri 0,1’den büyük ise AHP’de bir hesaplama hatası olabileceği veya araştırmacının karşılaştırmadaki tutarsızlığına işaret eder. Son olarak ise “CI” (tutarlılık indeksi), rastgele indeks “RI” denilen ve Tablo 50’de gösterilen standart düzeltme faktörüne bölünmesiyle “CR” (tutarlılık oranı) bulunur.

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \quad (2.8)$$



Matris Boyutu (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rastgele İndex (RI)	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tablo 50. Rastgele İndeks (RI) (Küçük Problemler için RI' nin Değerleri)

6. Adım: Ağırlık puanı hesaplanması

Ağırlıklandırma puanı, seçeneklerin her biri (alternatifler veya kriterler) için hesaplandıktan sonra, göreceli ağırlıklar, en büyük özdeğer $\lambda_{\max}$ 'a karşılık gelen sağ özvektör (w) tarafından verilir; (An vd., 2006:18; Hamurcu E. vd. 2020)

$$Aw = \lambda_{\max} * W \quad (11)$$

8.2.3.1. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık küme teorisi, ilk olarak Zadeh tarafından önerilen ve çeşitli alanlara uygulanmıştır. Bir elemanın değeri, bir bulanık küme içindeki elemanın üyeliği ile belirlenir ve 0-1 arasında bir değerle sonuçlanır. Bulanık bir sayı, 1'in tam üyeliği ve 0'ın üye olmamayı ifade ettiği kapalı 0 ve 1 aralığına aittir. Buna karşılık, kesin kümeler yalnızca 0 veya 1'e izin verir. Bu nedenle bulanık kümeler, kesin kümelerin genel bir biçimidir. Bulanık küme teorisi, insan yargısına benzeme yeteneğine sahiptir. Bulanık kümeler, insan karar verme sürecindeki tüm belirsizlik, belirsizlik ve kesinlik içinde kararlar üretmeyi sağlar. Zadeh tarafından tanıtılan Bulanık AHP uygulamalarında en yaygın kullanılan yöntem Chang tarafından 1992 yılında önerilen kapsam analizi yöntemidir. (Chang ve Pham, 2001; Erdoğan ve Kaya, 2016:84; Hamurcu ve Eren, 2020:3589).

Bulanık kümenin matematiksel tanımında klasik bir evrensel küme olan “U” ve elemanlarının genel olarak “X” şeklinde gösterildiği durumda bu evrensel kümesi,

$U = \{ x \}$ şeklinde ifade edilmektedir.

“U” evrensel kümesi içinde ise bulanık küme olan “A”, “U” nun tüm elemanlarına [0,1] arasında reel bir sayı değeri atayan “ $\mu_A(x)$ ” üyelik fonksiyonuyla gösterilir.

“A” küme elemanı ve çift olan üyelik derecesi aşağıdaki şekilde gösterilir,

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in U\}$$

Genel bir “A” kümesi için ise üyelik fonksiyonu,

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{sadece ve sadece } x \in A \\ 0, & \text{sadece ve sadece } x \notin A \end{cases}$$

Sonlu bir küme olan $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ise bulanık bir küme “A” ya göre aşağıdaki şekilde de ifade edilmektedir.

$$A = \sum_i^n x_i / \mu_A(x_i) \quad (1)$$

“U” nun sonsuz ve sürekli bir küme olması durumunda ise,

$$A = \int x_i / \mu_A(x) \quad (2)$$

şeklinde gösterilir.

8.2.3.2. Üyelik Fonksiyonları

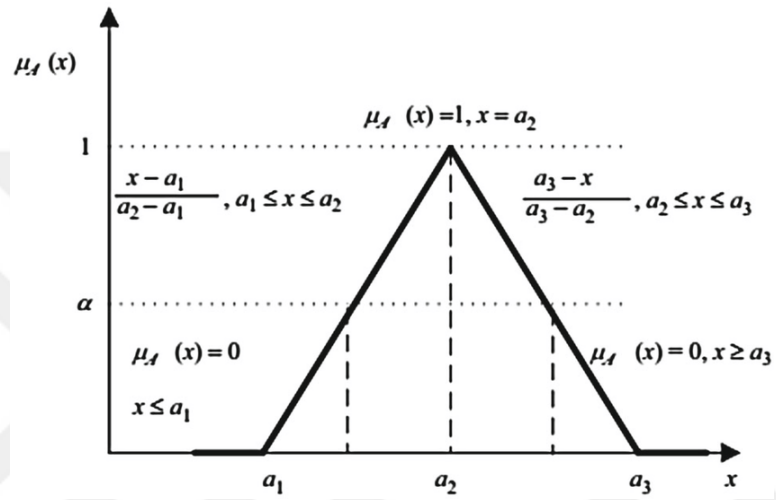
Üyelik fonksiyonları, bulanık küme elemanlarındaki mevcut kümeye ait olma kapasitesini etkileyen matematiksel bir anlatımdır. Bulanık kümeler tamamen nesnelerden oluşan evrenin “X”, [0,1] birim arasında kalan fonksiyonlarıdır. (Çevik, 2009). Üyelik fonksiyonundaki en önemli özellikler, alt küme değerlerindeki orta öğelere göre daha küçük olmasıdır. Teoride çoğunlukla düzgün şekilli üyelik fonksiyonları ile birlikte üçgen, yamuk şeklindeki üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır.

a. Üçgen üyelik fonksiyonu

Üçgen bulanık sayılar (l, m, u) ile gösterilir. (Mahdevari vd., 2014:85). Harfler, sırasıyla, bir bulanık olayda en küçük değeri, en olası değeri ve en büyük değeri ifade eder. Bulanık kümeyi belirtmek için harfin üzerinde bir “~” işareti kullanılır. Şekil 49’ da gösterildiği üzere üçgen bulanık sayı “A” ve “a1, a2 ve a3” net sayılara bağlı olarak

$A = [a_1 \ a_2 \ a_3]$ şeklinde olup aşağıdaki şekilde bir denklem kurulmaktadır. (Hamurcu ve Eren, 2020:3589).

$$f_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x < a_2 \\ 1, & x = a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 \leq x < a_3 \\ 0, & x \geq a_3 \end{cases} \quad (1)$$



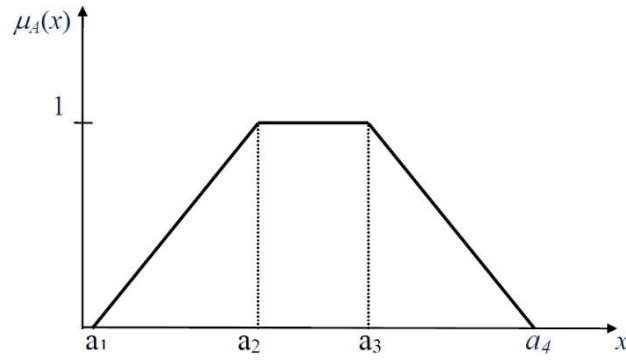
Şekil 49. Üçgen Bulanık Sayı Grafiği

Kaynak: Çevik E., Yatırım projelerinin belirsizlik altında bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile değerlendirilmesi, 2009

b. Yamuk üyelik fonksiyonu

Giriş ve çıkış parametreleri yamuk üyelik fonksiyonu ile tanımlanır. Fonksiyon parametreleri “{a,b,e,d}” ile gösterilir. Yamuk üyelik fonksiyonuna ait matematiksel ifade aşağıdaki gibidir. (Çevik, 2009).

$$f_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x < a_2 \\ 1, & a_2 \leq x < a_3 \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3}, & a_3 \leq x < a_4 \\ 0, & x \geq a_4 \end{cases} \quad (2)$$



Şekil 50. Yamuk Bulanık Sayı Grafiği

Kaynak: Çevik E., Yatırım projelerinin belirsizlik altında bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile değerlendirilmesi, 2009

8.2.4. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (FAHP)

ÇKKV yaklaşımlarında yaygın olarak kullanılan AHP metodudur. Birbiriyle çelişen birçok bileşen içeren karışık kararları organize ve analiz etmek için yapılandırılmıştır. Farklı kriterlerdeki karmaşık kriterler yapısı arasında karar vermenin en iyi yollarından biridir. AHP, geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bu metodun en büyük avantajı çok yönlü kriterlerin kolayca yönetilmesidir. Ayrıca AHP' nin anlaşılması daha kolaydır. (Erdoğan ve Kaya, 2016:84). Laarhoven ile Pedryez. 1983 yılında ilk defa bulanık AHP çalışmasında bulunmuştur. Çalışmalarında üçgen üyelik fonksiyonu ile tanımlanmış olan bulanık oranlar karşılaştırılmıştır. AHP' nin karar vericilerin yargılarına dayalı çok kriterli karar verme problemlerinin hem nicel hem de nitel kriterlerini ele alma kolaylığına rağmen karar vericiler tarafından kesin olmayan yargılara yol açabilmektedir. Bunun için bulanık AHP, hiyerarşik bulanık problemlerin çözümü için geliştirilmiştir. Bulanık AHP metodu, klasik AHP 'den geliştirilen analitik bir yöntem olarak görülmektedir. (Kahraman vd., 2014:48). Bulanık teknik, niceliksel ifade yerine dilsel değişkenleri kullanır. Bu teknik, çok karmaşık veya yeterince iyi tanımlanmamış durumlarla başa çıkmak için çok yardımcı bir kavramdır. Zadeh (1965) tarafından ortaya atılan bulanık mantık, kesin sınırların ve kesin değerlerin olmadığı durumlarda belirsizliği hesaba katabilir ve problemleri çözebilir. Dilsel değişken, değerleri sayı olmayan, ancak çok zayıf, zayıf, orta, güçlü vb. gibi doğal bir dilde sözcükler veya cümleler olan bir değişken olarak tanımlanır. (Mahdevari vd., 2014:85).

Literatür araştırmalarında yer alan çeşitli yazarların ortaya koymuş olduğu Bulanık AHP yöntemleri bulunmaktadır. Aşağıdaki Tablo 51’ de Bulanık AHP yöntemleri açısından bir değerlendirme sunulmaktadır.

Kaynak	Yöntemin Karakteristik Özellikleri	Avantaj (+) ve Dezavantajları (-)
Van Laarhoven ve Pedrycz (1983)	Saaty’ nin AHS yöntemindeki üçgen bulanık sayıları kullanarak uygulama	+ Çoğu karar vericide düşüncelerin karşılıklı matrislerde modellenenebilmesi - Yalnızca üçgen bulanık sayılar kullanılabilir.
Buckley (1985)	Saaty’ nin AHS yöntemi için yamuk bulanık sayılar kullanılmıştır	+ Bulanık durumu genişletmek mümkündür. + Tek bir sonucu garanti edilir - Hesap gereksinimi oldukça fazladır.
Boender ve arkadaşları	Van Laarhoven ile Pedrycz’ in yöntemleri az düzeyde geliştirilmiştir.	+ Birden fazla karar vericinin düşünceleri modellenenebilir.
Chang (1996)	Sentetik değerler Basit sıralama Karma toplam sıralaması	+ Hesap gerekliliği azdır. + Klasik AHS’ deki sıralamaları izler. İlave işlem gerekmez. - Yalnız üçgen bulanık sayılar kullanılır.
Cheng (1996)	Bulanık standartlar oluşturulur. Performans skorları üyelik fonksiyonları ile ifade edilir. Toplam ağırlıkları için entropi kavramı kullanılır.	+ Fazla hesap gerekmez. - Olasılıkların dağılımı bilindiğinde entropide kullanılır. Yöntem hem olasılık hem de olabilirlik şeklindedir.

Tablo 51. Bulanık AHP Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Kaynak: Ramadan Ö., Raylı Sistem Projelerinin Önceliklendirilmesi, 2018

Bulanık AHP, en yaygın kullanılan bulanık çok kriterli analiz (fuzzy multi-criteria analysis – FMCA) yöntemlerinden biridir. Klasik AHP öznel bir düşünme biçimi sağlayamadığından, bulanık bir ortamda hiyerarşik problemleri çözmek için FAHP önerilmektedir. Bazı FAHP yöntemlerinin sınırlamaları olduğundan, tezin bu bölümünde Buckley’ nin (1985) yöntemi kullanılmıştır. Buckley’ nin FAHP yönteminin süreci aşağıdaki gibi şekilde sıralanmaktadır.

8.2.4.1. Buckley' in FAHP Yaklaşımı

1. Adım: Hiyerarşi sistemindeki tüm kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır. Sözel terimler ve bunlara karşılık gelen bulanık sayılar aşağıdaki Tablo 52' de verilmiştir bu tabloda gösterildiği gibi hangisinin daha önemli olduğu sorularak dilsel terimler atanır. Ölçek, karşılık gelen bulanık üyelik fonksiyonları üçgen olan dokuz dilsel değer ile karakterize edilir.

Sözel terimler	Bulanık değerler (Triangular fuzzy number (TFN) - Üçgen bulanık sayı)
Kesinlikle güçlü	(2.5/2.3)
Çok güçlü	(3/2, 2.5/2)
Oldukça güçlü	(1, 3/2, 2)
Biraz güçlü	(1, 1, 3/2)
Eşit	(1, 1, 1)
Biraz zayıf	(2/3, 1, 1)
Oldukça zayıf	(1/2, 2/3, 1)
Çok zayıf	(2/5, 1/2, 2/3)
Kesinlikle zayıf	(1/3, 2/5, 1/2)

Tablo 52. Bulanık AHP, Ağırlık Değerlendirmesi İçin Sözel Terimler ve Karşılık Gelen Bulanık Değerler

Kaynak: Samanlıoğlu, F., Evaluation of Influenza Intervention Strategies in Turkey with Fuzzy AHP-VIKOR, 2019

$$\tilde{M} = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_2 & \dots & \tilde{a}_n \\ \tilde{a}_1 & 1 & \dots & \tilde{a}_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_2 & \dots & \tilde{a}_n \\ 1/\tilde{a}_1 & 1 & \dots & \tilde{a}_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\tilde{a}_1 \quad \tilde{a}_2 \quad \dots \quad 1 \quad 1/\tilde{a}_1 \quad \tilde{a}_2 \quad \dots \quad 1$$

2. Adım: Bulanık geometrik ortalama matrisi, geometrik ortalama tekniği kullanılarak tanımlanır.

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} \tilde{a}_{ij} & i \text{ kriteri}, j \text{ kriterinin göre önemidir.} \\ 1 & i = j \end{cases} \quad (2)$$

$$\tilde{1}^{-1}, \tilde{3}^{-1}, \tilde{5}^{-1}, \tilde{7}^{-1}, \tilde{9}^{-1} \text{ } j \text{ kriteri}, i \text{ kriterine göre önemdir}$$

$$r_{\tilde{i}} = (a_{i1} \otimes a_{i2} \otimes \dots \otimes a_{in})^{1/n} \quad (3)$$



3. Adım: Her bir kriterin bulanık ağırlıkları şu şekilde elde edilmektedir,

$$\tilde{w} = r_i \otimes (r_1 \otimes r_2 \otimes \dots \otimes r_n)^{-1} \quad (4)$$

Burada $\tilde{w}$ i kriterinin bulanık ağırlığıdır. $\tilde{w} = (lw_i, mw_i, uw_i)$ Burada lw_i, mw_i, uw_i , i kriterinin bulanık ağırlığının alt, orta ve üst değerini doğrular.

4. Adım: Alan merkezi (CoA) yöntemi, aşağıdaki gibi bulanık olmayan en iyi performansı bulmak için kullanılır.

$$\tilde{w}_i = \frac{[(uw_i - lw_i) + (mw_i - lw_i)]}{3} + lw_i \quad (5)$$

8.2.5. Pisagor Bulanık AHP (PFAHP)

Üyelik fonksiyonları, üyelik dışı fonksiyon ve tereddüt derecesi kümeleri açıklayabilen terimlerdir. Öte yandan, üyelik ve üye olmama derecesinin 1'den büyük olması gibi bazı durumlarda şartı yerine getirmeyi başaramaz. Sezgisel bulanık kümelerin durumu ele alamayacağı tartışılmaz. Bunun doğal bir sonucu olarak Yager (2014) tarafından Pisagor bulanık kümeleri geliştirmiştir. İlkbahar E. ve arkadaşları yapmış oldukları iş sağlığı ve güvenliği için risk değerlendirmesi ile Bakoğlu G. ve Atahan A. O.' nun yapmış olduğu sürücüsüz araba risklerinin önceliklendirilmesi çalışmalarında yer alan tanımlar ve formüller aşağıda gösterilmiştir. (İlkbahar E. vd., 2018:124-136; Bakioğlu ve Atahan, 2021)

Tanım 1. X sabit, boş olmayan bir küme olsun. X içindeki bir Pisagor Bulanık Kümeleri (Pythagorean Fuzzy Sets - PFS) $\tilde{P}$ şu şekilde tanımlanır:

$$\tilde{P} \cong \{ \langle x, \mu_{\tilde{P}}(x), \nu_{\tilde{P}}(x) \rangle; x \in X \} \quad (1)$$

burada $\mu_{\tilde{P}}(x): X \mapsto [0,1]$ üyelik derecesini tanımlar ve $\nu_{\tilde{P}}(x): X \mapsto [0,1]$ $x \in X$ ile $\tilde{P}$ ögesinin üye olmama derecesini tanımlar, sırasıyla ve her $x \in X$ için aşağıdaki şekildedir,

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x)^2 + \nu_{\tilde{A}}(x)^2 \leq 1 \quad (2)$$

Burada da kararsızlık durumunun derecesi şu şekildedir:

$$\pi_p(x) = \sqrt{1 - \mu_p(x)^2 + v_p(x)^2} \quad (3)$$

Tanım 2. $\tilde{A} = (\mu_1, v_1)$ ve $\tilde{B} = (\mu_2, v_2)$ iki farklı Pisagor bulanık sayı (PFN) olsun. $\lambda > 0$ ise, bu iki PFN üzerindeki işlemler aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (\sqrt{\mu_1 + \mu_2 - \mu_1 \mu_2}, v_1 v_2) \quad (4)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = (\mu_1 \mu_2, \sqrt{v_1 + v_2 - v_1 v_2}) \quad (5)$$

$$\lambda \tilde{A} = (\mu_1 \mu_2, \sqrt{1 - (1 - \mu^2)^\lambda}, v^\lambda) \quad (6)$$

$$\tilde{A}^\lambda = (\mu^\lambda, \sqrt{1 - (1 - v^2)^\lambda}) \quad (7)$$

Tanım 3. " $A_i = (\mu_i, v_i), i = (1, 2, \dots, n)$ " PFN'lerin bir koleksiyonu ve

$w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ nin, " $\tilde{A}_i, i = (1, 2, \dots, n)$ " ile " $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ " in ağırlık vektörü olsun. Bu durumda, "Pisagor bulanık ağırlıklı güç geometrik ortalama operatörü" (Pythagorean Fuzzy Weighted Power Geometric Average, PFWPG) operatörü aşağıdaki gibi oluşmaktadır. (İlkbahar E. vd, 2018:124-136)

$$\text{PFWPG}(\tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_n) = ((1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i^2)^{w_i})^{\frac{1}{n}}, (1 - \prod_{i=1}^n (1 - v_i^2)^{w_i})^{\frac{1}{n}}) \quad (8)$$

1. Adım:

Uzlaşılan ikili karşılaştırma matrisi $R = (r_{jt})_{m \times n}$ uzmanların değerlendirmelerine göre yapılandırılmıştır.

2. Adım:

Üyelik dışı ve üyelik fonksiyonlarının üst ve alt değerleri arasında bulunan fark matrisleri $D = (d_{ij})_{m \times n}$ kullanılarak hesaplanır. **Denklem (1) ve (2):**

$$d_{ijL} = \mu_{ijL}^2 - V_{ijU}^2 \quad (1)$$

$$d_{ijU} = \mu_{ijU}^2 - V_{ijL}^2 \quad (2)$$

3. Adım:

Aralık çarpım matrisi $S = (s_{ij})_{m \times n}$ (3) ve (4) nolu denklemler aracılığıyla hesaplanır.

Denklem (3) ve (4):

$$s_{ijL} = \sqrt{1000^{d_{ijL}}} \quad (3)$$

$$s_{ijU} = \sqrt{1000^{d_{ijU}}} \quad (4)$$

4. Adım:

r_{jt} ' in $H = (h_{ij})_{m \times n}$ belirleyicilik değeri Denklem kullanılarak hesaplanır. (5)

(Yücesan M. vd. 2019)

$$h_{ij} = 1 - (\mu_{ijU}^2 - \mu_{ijL}^2) - (V_{ijU}^2 - V_{ijL}^2) \quad (6)$$

5. Adım:

Belirsizlik dereceleri $S = (s_{ij})_{m \times n}$ matrisi ile çarpılarak normalizasyon ağırlıkları $T = (r_{ij})_{m \times n}$ öncesi matris Denklem ile hesaplanır. (7):

$$\tau_{ij} = \frac{s_{ijL}}{s_{ijU}} h_{ij} \quad (7)$$

6. Adım:

Normalleştirilmiş öncelik ağırlıkları w_i Denklem ile elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij}} \quad (8)$$

8.2.6. Bulanık VIKOR (FVIKOR) Yöntemi

VIKOR (1998) tarafından çok kriterli optimizasyon problemleri ve uzlaşma çözümleri için geliştirilmiş çok kriterli analiz yöntemlerinden biridir. Alternatifleri sıralar ve “ideal” çözüme en yakın olan uzlaşık çözümü belirler. Bu yöntemin bulanık versiyonu

“FVIKOR”, kriter ve alternatiflerin bulanık değerlendirmelerini içerir. (Gül vd., 2018:3; Samanlıoğlu, 2019; Zhu ve Li., 2018:42). VIKOR tabanlı uygulamalar ve bunların



bulanık uzantılarına yönelik FVIKOR yönteminin adımları aşağıdaki gibi gösterilmektedir. (Gül M. vd. 2018)

1 Adım:

Kriter ağırlıkları ve alternatifler için bulanık karar matrisinin elemanlarının net değerlere durulaştırılması gerçekleştirilir. Bir bulanık sayı $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ kullanılarak net bir sayıya dönüştürülür.

$$\tilde{a} = \frac{a_1 + 4a_2 + a_3}{6} \quad (1)$$

Tehlike sıralamalarının değerlendirilmesinde, sözel ölçek ve karşılık gelen üçgen bulanık sayılar, Tablo 53’ de verildiği gibi kullanılmaktadır.

Sözel terimler	Bulanık değerler (Triangular fuzzy number (TFN) - Üçgen bulanık sayı)
Çok zayıf	(0. 0. 1)
Zayıf	(0. 1. 3)
Orta zayıf	(1. 3. 5)
Orta	(3. 5. 7)
Orta iyi	(5. 7. 9)
İyi	(7. 9. 10)
Çok iyi	(9. 10. 10)

Tablo 53. Bulanık VIKOR (FVIKOR) Tehlike Sıralaması Bulanık Değerleri

Kaynak: Gul, M., Guven, B. and Guneri, A. F. A, new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR, 2018

2. Adım:

Bütün kriter derecelendirmelerinin en kötü ve en iyi değerleri “j = 1,2,...,n” ve alternatifleri olan “i = 1,2, ..., m” aşağıdaki şekilde tespit edilir.

$$(f_i^*) = \max_j f_{ij}, (f_i^-) = \min_j f_{ij} \text{ “i” inci fonksiyon bir faydayı temsil ediyorsa,} \quad (2)$$

$$(f_i^*) = \min_j f_{ij}, (f_i^-) = \max_j f_{ij} \text{ “i” inci fonksiyon bir maliyeti temsil ediyorsa,} \quad (3)$$

3. Adım:

Her bir değerlendirme birimi için S_j ve R_j değerleri belirlenir. Kriter ağırlıkları w_i ile ifade edilir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (4)$$

$$R_j = \max \left[\frac{w_i (f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \right] \quad (5)$$

4. Adım:

Her değerlendirme birimi için Q_j değerleri hesaplanır.

$$Q_j = v \frac{(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) \frac{(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (6)$$

“Niteliklerin çoğunluğunun” (veya “maksimum grup faydasının”) karar verme stratejisinin ağırlığı;

$v \in [0,1]$ olduğunda,

$$(S^*) = \min_j S_j, (S^-) = \max_j S_j \text{ Ve } (R^*) = \min_j R_j, (R^-) = \max_j R_j \quad (7)$$

5. Adım:

S , R ve Q ' nin ölçülen değerlerini listelenir. Alternatif kategorisinde en iyi seçenek olarak en küçük Q değerine sahip değerlendirme birimi ifade edilir ve son adım, Q ölçüsüne göre en iyi sıralanan bir uzlaşmalı çözüm önerilir.

6. Adım:

Elde edilmiş olan sonucun doğru sayılabilmesi için iki koşulun karşılanması gerekir. Sadece bu şekilde alternatif, minimum Q değeri ile en uygun veya daha iyi olarak kabul edilebilir. Birinci şart kabul edilebilme avantajı, ikincisi ise karar vermede kabul edilebilir istikrarla ilgilidir. En iyi alternatif de en iyi S veya R parametreleriyle sıralanmalıdır.

Yapılan literatür taramalarında, AHP ve VIKOR’ a dayalı En son bulanık ÇKKV tabanlı Risk Analizi (RA) çalışmaları Tablo 54’ deki gibidir.

Çalışmanın Adı	Bulanık kümenin versiyonu	Uygulanan ÇKKV yöntemi	Uygulama alanı	Kullanılan ek geleneksel RA yöntemi
Gül M. “Application of Pythagorean fuzzy AHP and VIKOR methods in occupational health and safety risk assessment”	Pisagor bulanık seti	AHP, VIKOR	İmalat	-
Gül M, Güneri AF, Başkan M “An occupational risk assessment approach for construction and Operation period of wind turbines”	Trapez bulanık küme	AHP, VIKOR	İmalat	Fine Kinney
Gül M, Ak MF, Güneri AF “Occupational health and Safety risk assessment in hospitals”	Üçgen bulanık küme	AHP, VIKOR	Sağlık hizmeti	-
Gül M, Çelik E, Akyüz E (A hybrid risk-based approach for maritime applications)	Üçgen bulanık küme	AHP, VIKOR	Denizcilik	Fine Kinney
Özdemir Y, Gül M, Çelik E “Assessment of occupational hazards and associated risks in fuzzy environment”:	Aralık tipi-2 bulanık küme	AHP, VIKOR	Eğitim	FMEA

Tablo 54. AHP ve VIKOR Tabanlı Risk Değerlendirme Çalışmaları

Kaynak: Ak, M. F. and Gul, M., AHP-TOPSIS integration extended with Pythagorean fuzzy sets for information security risk analysis, 2019

8.3. Kentiçi Raylı Sistemler İçin Risk Değerlendirme Yapısının Oluşturulması

Önerilen tez çalışmasındaki risk değerlendirmesinin yapılması ve uygunluğunun gösterilmesi amacıyla Antalya’ da bulunan Hafif Raylı Sistemi ele alınmıştır. Her biri alanlarında uzmanlaşmış ve İSG yönetiminden sorumlu 6 farklı uzman değerlendirici bu çalışmaya katılmış ve raylı sistemlerdeki işletim sürecini kapsamlı bir şekilde analiz etmişlerdir. Öncelikle tehlikelerin değerlendirilmesi için Antalya HRS işletmesinde yapılan incelemelerde gözlemlenen olası tehlike kaynakları ve risklerin (EK 1’ de gösterilmiştir. Tespiti ve büyüklüklerinin belirlenmesi, “O” (Olasılık), “F” (Frekans), “Ş”

(Şiddet), “TE” (Tespit Edilebilirlik), “ME” (Maliyet Etki Değeri) ve “KKD” (KKD Kullanım Etki Değeri) uzman görüşlerinin alınmasıyla faktörlerinin hangi ağırlıklarda ele alınması belirlenmiştir. Yapılan analizler neticesinde EK 1' de belirtilen 200 adet tehlike tipi belirlenmiştir. Daha sonra ilave kriterler eklenmiş Fine Kinney tablolarındaki gibi net derecelendirmelerle “O” (Olasılık), “F” (Frekans), “Ş” (Şiddet), “TE” (Tespit Edilebilirlik), “ME” (Maliyet Etki Değeri) ve “KKD” (KKD Kullanım Etki Değeri) değerlerine bağlı olarak o tehlikeye ait Fine Kinney risk skorları oluşturulmuştur. Uzmanlar tarafından tablolardaki derecelendirmeler kullanılarak analizi yapılan tehlikelerin değerlendirilmesi ve sıralama sonuçları EK 1' de gösterilmektedir. Daha sonra alınan uzman görüşleri üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüş ve bulanık sayılar tek bir değere indirgenmiştir. Fine Kinney hesaplamasındaki puanlamalar dikkate alınarak 200 farklı tehlike beş küme altında sınıflandırılmıştır.

Antalya’ da bulunan hafif raylı sistemler ile ilgili, risklerin değerlendirmesi yapılırken tehlike kaynakları ve risklerin nedenleri uzmanlar tarafından aşağıdaki şekilde göz önüne alınarak tespit edilmiştir.

1. **Çevresel Faktörler;** Doğal afetler, sel, kar, buzlanma vb. alınmayan tedbirler gibi,
2. **Hat altyapı üstyapı kusurları;** Raylar, bağlantı elemanları, yol geometrisi vb. Testleri, kontrol ve bakımları yapılmayan alt yapı elemanları, üstyapı bileşenleri vb
3. **Tramvay/Metro araçları;** Araçların testleri, kontrol ve bakımları eksik/hatalı yapılması
4. **Elektrifikasyon (Havai hat/kataner) Sistemleri;** Testleri, kontrol ve bakımları yapılmayan güç sistemleri, kataner hatları, acil durum senaryoları ve önlemleri vb.
5. **Demiryolu hemzemin geçişleri;** Hatalı/uygun olmayan geçit kaplamaları, gerekli uyarı tabela ve sistemlerinin eksikliği hatalı yerleşimleri, vb.
6. **İstasyon ve durakları;** Durak tasarımları, giriş çıkışlar, hatalı veya eksik yönlendirmeler, havalandırma sistemleri, zemin kaplamaları vb.
7. **Tüneller;** Aydınlatma sistemleri, havalandırma sistemleri, acil çıkışlar, yönlendirme / bilgilendirme tabela vb. eksikliği
8. **Yolcu Kaynaklı;** Dikkatsiz yolcular, Vandalizm, sabotaj,

9. Personel Kaynaklı; Dikkatsiz personel, uygun olmayan çalışma şartları, ekipmanlar vb.

Tezin ikinci kısmını oluşturan bu kısımda önerilen risk değerlendirme metodolojisini göstermek için Antalya “ANTRAY” HRS hatları, depo sahası ile duraklar için risk değerlendirmesine ilişkin örnek bir vaka örneği kullanılmıştır. Aşağıda ise çalışmayla ilgili sekiz tehlike grubu belirlemiş ve tanımlanmıştır

8.3.1. Raydan Çıkma Tehlike Grubu

Üç alt tehlike grubunu içerir; örneğin tipik sonuç (hafif yaralanma, küçük çaplı maddi hasar) ve en kötü durum senaryosu (ölüm, büyük maddi zarar). Bu tehlike grupları,

- Hattın yapısından veya elektromekanik kusurlar (geometri bozukluğu, altyapı bozulmaları, bağlantı/destek elemanları hasarları, ray kırılması, sinyalizasyon hataları, makas operasyon problemleri vb.) nedeniyle,
- Tramvay araçları, (Araçlardaki mekanik arızalar, fren vb., akslar, tekerler, bojilerdeki hasarlardan vb.) kaynaklı olabilir,
- İnsan hataları, (Aşırı hızlı kullanma, sinyal ihlali yapma vb.) nedeniyle olabilir.

8.3.2. Çarpışma Tehlike Grubu

Bu tehlike grubu 4 alt grubu içerir, (hafif yaralanma, küçük çaplı maddi hasar) ve en kötü durum senaryosu (can kaybı, büyük maddi zarar). Bu tehlike grupları,

- Tramvay aracının başka bir tramvay aracı veya hatta giden bakım araçları ile çarpışması,
- Tramvay aracının bir yaya ile teması,
- Tramvay aracının bir karayolu taşıtı ile çarpışması,
- Tramvay aracının herhangi bir engele çarpması,

8.3.3. Yangın Tehlike Grubu

İki alt tehlike grubunu içerir; örneğin tipik sonuç (hafif yaralanma, küçük çaplı maddi hasar) ve en kötü durum senaryosu (ölüm, büyük maddi zarar). Bu tehlike grupları,

- Tramvay aracında çeşitli nedenlerden meydana gelen yangın,

- İstasyonlar, duraklar, atölyeler, depo sahası vb. yerlerde meydana gelen yangınlar,

8.3.4. Elektrik Çarpması Tehlike Grubu

Üç alt tehlike grubunu içerir; örneğin tipik sonuç (hafif yaralanma) ve en kötü durum senaryosu (can kaybı). Bu tehlike grupları,

- Tramvay hattı besleme yüksek gerilim ile temas kaynaklı,
- Hasarlı tesis kullanımı,
- Uygun olmayan şartlarda ve ekipmanlarla (Islak zemin vb.) yapılan elektrikli çalışmalar,

8.3.5. Kayma / Takılma Tehlike Grubu

İki alt tehlike grubunu içerir; örneğin tipik sonuç (hafif yaralanma) ve en kötü durum senaryosu (can kaybı). Bu tehlike grupları,

- Personel veya yayaların Zemin kaynaklı takılıp, kayıp düşmeleri,
- Personel veya yayaların herhangi bir engelle takılıp düşmeleri,

8.3.6. Düşme Tehlike Grubu

Üç alt tehlike grubunu içerir; örneğin tipik sonuç (hafif yaralanma) ve en kötü durum senaryosu (can kaybı). Bu tehlike grupları,

- Personel veya yayaların merdiven, asansör boşluğu, çukur vb. yerlerden düşmeleri,
- Personel veya yayaların perondan tramvay hatlarına düşmeleri vb.
- Personel veya yayaların tramvay veya başka bir demiryolu üzerinden düşmesi gibi,

8.3.7. Doğal Afet Tehlike Grubu

Üç alt tehlike grubunu içerir; örneğin tipik sonuç (hafif yaralanma) ve en kötü durum senaryosu (can kaybı). Bu tehlike grupları,

- Deprem halinde enerji sistemleri ve diğer yapıların hasar görmesi, yıkılması şeklinde,
- Tramvay hatlarını, yer altı istasyonları, depo sahası, atölye vb. sel baskınları şeklinde,

8.3.8. Sağlık Tehlike Grubu

İki alt tehlike grubunu içerir; örneğin tipik sonuç (hafif yaralanma) ve en kötü durum senaryosu (can kaybı). Bu tehlike grupları,

- Havalandırma sistemleri arızası nedeniyle boğulma vb.
- Tehlikeli kimyasallar nedeniyle zehirlenme veya boğulma şeklindedir.

Yukarıda sayılan tehlike grupları hakkında bulanık mantık destekli yapılacak yeni bir risk değerlendirme metodu sonucunda aşağıdaki şekilde iyileşmeler beklenmektedir.

Bir sonraki adımda ise tehlikelere yönelik Fine Kinney yöntemi kullanılarak risk değerlendirmesi yapıldıktan sonra, Bulanık “AHP” ve Bulanık “VIKOR” u kapsayan yeni bir risk değerlendirme yaklaşımı uygulanmıştır.

İlk olarak, aşağıda yer alan tablolardaki ölçekler kullanılarak altı risk parametresinin ağırlıkları ve tehlikelerin değerlendirilmesi için sözel ölçekler tanımlanmıştır. Buckley' in Bulanık AHP metodu ikili karşılaştırma yöntemine göre, analist değerlendirmek için Tablo 49' daki bulanık AHP, ağırlık değerlendirmesi sözel terimleri kullanılmıştır.

Bulanık AHP uygulanarak risk parametrelerinin ağırlıkları elde edilmiştir. Tutarlılık indeksi CI 0.015, rastgele tutarlılık indeksi RI = 0.58 ve tutarlılık oranı $CR=CI/RI = 0.025$ olarak elde edildiğinden ve elde edilen CR değeri %10'dan az olduğu için tutarlılık testi karşılanmıştır.

Buckley' nin bulanık AHP' si ile “O”, “F”, “Ş”, “TE”, “ME” ve “KKD” risk parametrelerinin ağırlıkları belirlendikten sonra, her bir risk parametresinin gözlemlenen hafif raylı sistem için tehlikelerine göre bulanık değerlendirmeleri bulanık VIKOR uygulanmıştır. Niteliksel terimlere ilişkin ağırlıklar aşağıdaki Tablo 55' de gösterilmiştir.

Niteliksel terimler	1. Ölçek	2. Ölçek	3. Ölçek	4. Ölçek	5. Ölçek	6. Ölçek	7. Ölçek	8. Ölçek
Yok								(0,0,0.1)
Çok Düşük			(0,0,0.2)		(0,0,0.1, 0.2)	(0,0,0.1, 0.2)	(0,0,0.2)	(0,0,0.1, 0.2)
Düşük-Çok							(0,0,0.1, 0.3)	(0,1,0.2, 0.3)
Düşük		(0,0,0.2, 0.4)	(0,1,0.2, 0.3)	(0,0,0.3)	(0,0.2,0.4)	(0.1,0.25,0.4)	(0,0.2,0.4)	(0.1,0.3,0.5)
Oldukça Düşük				(0,0.25,0.5)	(0.2,0.2,0.6)		(0.2,0.35,0.5)	(0.3,0.4,0.5)
Aşağı Yukarı Düşük								(0.4,0.45,0.5)
Orta	(0.4,0.6,0.8)	(0.2,0.5,0.8)	(0.3,0.5,0.7)	(0.3,0.5,0.7)		(0.3,0.5,0.7)	0.3,0.5,0.7)	(0.3,0.5,0.7)
Aşağı Yukarı Yüksek								(0.5,0.55,0.6)
Oldukça Yüksek				(0.5,0.75,1)	(0.4,0.6,0.8)		(0.5,0.65,0.8)	(0.5,0.6,0.7)
Yüksek	(0.4,0.6,1)	(0.6,0.8,1.1)	(0.6,0.8,1)	(0.7,1,1)	(0.6,0.75,0.9)	(0.6,0.75,0.9)	(0.6,0.8,1)	(0.5,0.7,0.9)
Yüksek Çok Yüksek							(0.7,0.9,1.1)	(0.7,0.8,0.9)
Çok Yüksek			(0.8,1,1)		(0.8,0.9,1.1)	(0.8,0.9,1.1)	(0.8,1,1)	(0.8,0.9,1)
Mükemmel								(0.9,1,1)

Tablo 55 Niteliksel Terimler ve Bunlara Karşılık Gelen Bulanık Sayılar

Değerlendirilen her tehlike, önerilen çerçeve kullanılarak risk derecelerine göre farklı bir risk kümesine yerleştirildikten sonra, riskleri azaltmak veya ortadan kaldırmak için uzmanlar tarafından potansiyel kontrol önlemleri dikkate alınmıştır. Her bir risk

kümesi altındaki çeşitli tehlikeler ve önerilen kontrol önlemleri Tablo 56' da sunulmuştur. Risk puan hesaplamalarına göre 200 tehlikeden, risk puanları 400'ün üzerinde olanların sayısı **154** olarak elde edilmiş ve Küme-1' e “Çok Yüksek (Büyük) Risk” e yerleştirilmiştir. Toplam **23** tehlike ise puanı 201 ile 400 arasında kaldığından “Yüksek (Esaslı) Risk” kümesine yerleştirilmiştir. Risk puanı 71 ile 200 arasında değişen **18** tehlike ise Küme-3' de yer alan “Önemli Risk” altına yerleştirilmiştir. Puanları 20 ile 70 arasında değişen **4** tehlike ise olası risk kümesi olan, Küme-4 'te yer almıştır. Sonuncu ve **1** adet tehlike olan ise risk puanı 20'nin altında kaldığından ve Küme-5'e yer almıştır.

Risk kümeleri	Gerekli kontrol önlemleri
Küme 1	(1) Yanıcı maddeler ve yanıcı ortamlar belirlenerek bu bölgelerdeki kıvılcım kaynakları korunacaktır. (2) Aydınlatmalar ex-proof olmalıdır. (3) İSG risk yönetimi konusunda çalışanlara eğitim verilmelidir. (4) Doğal gaz alanları işaretlerle işaretlenmelidir. (5) Patlamadan korunma belgesi gözden geçirilmelidir.
Küme 2	(1) İş sırasında, uygun kulak koruyucu temini ve kullanımını sağlamak için iş ekipmanının gürültü seviyelerini tespit etmek için yapılan çevresel ölçümlerin sonuçları değerlendirilmelidir. (2) Çalışanlar, KKD kullanımı ve ergonomi konusunda eğitilmelidir.
Küme 3	(1) Kullanımda olan yüksekte çalışma ekipmanları gözden geçirilmeli ve hasarlı parçalar hurdaya ayrılmalıdır. CE belgeli malzemeler temin edilmelidir. Bu ekipman zarar görmeyecek şekilde saklanmalıdır. Yüksekte çalışan personel, yüksekte çalışma güvenlik kuralları eğitimlerine ilk katılan kişiler olmalıdır. (2) Torna, matkap gibi ekipmanlardaki koruyucu eksiklikler giderilmelidir. Tezgahlardan eksik olan kapak koruyucular acilen tamamlanmalıdır. Çalışanlar, KKD kullanımı konusunda eğitilmelidir. (3) Her türlü bakım ve onarım için çalışma ekipmanlarının enerji kesintisi yapılmalıdır. Sertifikalı elektrikçi personeli dışında kimsenin müdahale etmemesine dikkat edilmelidir. (4) Kablolar değiştirilmeli, deforme olmuş ve uygun olmayan kablolar değiştirilmeli ve topraklama hataları (kaçak akımlar, gövde topraklaması vb.) giderilmelidir.
	(1) Yemekhane ve çayevi çalışanlarına hijyen eğitimi verilmelidir. (2) Acil durum eylem planı revize edilerek ekiplerin oluşturulması için gerekli eğitim ve yasal gereklilikler yerine getirilmelidir. (3) Mobil ve sabit taşıma kullanımında mutlaka uygun koruyucu gözlük kullanılması gerekmektedir.

(Tablo 56. Devam)

Küme 4	Taşınabilir taşıma cihazlarının muhafazaları takılmalıdır. Muhafazasız taşıma cihazları kullanılmamalıdır. (4) Çalışanlar işe uygun koruyucu gözlük kullanmalı ve ergonomi konusunda eğitim almış olmalıdır. (5) Ölçü raporlarına göre eksik aydınlatmalar kullanım yoğunluğuna göre tamamlanmalıdır. Periyodik olarak ölçümler yapılmalıdır. (6) Çalışma sırasında takılma riski oluşturan malzemeler yerinde bırakılmamalı ve dağınık ortamlardan kaçınmak için düzenli olarak çalışılmalıdır. (7) Sıcak ve soğuk yüzey alanlarına uyarı levhaları yapıştırılmalıdır. (8) Çalışma sırasında dökülen yağların hemen emilmesi ve/veya işaretlenerek işaretlenmesi sağlanır. Uyarı işaretleri sağlanmalıdır. Sık kullanılan rotalar periyodik olarak temizlenmelidir. (9) Kullanılan tüm kimyasallar bölüm bazında listelenmelidir. Yeni ve uygun bir kimyasal depolama bölgesi oluşturulmalıdır. (10) Çalışanların mesleki eğitim sertifikaları olmalıdır. Ayrıca forklift kullananların sertifikalı olması gerekmektedir.
Küme 5	(1) Çalışma sırasında takılma riski oluşturan malzemeler yerinde bırakılmamalı ve dağınık ortamlara yol açmamak için düzenli olarak toplanmalıdır. (2) Ağır malzemelerin taşınması veya istiflenmesi, uygun tekniklerle ve birden fazla kişi ile yapılmalıdır. Yorucu çalışmalar sırasında düzenli dinlenmeler yapılmalıdır. Çalışanlar manuel kaldırma ve taşıma işleri konusunda eğitilmelidir. (3) Tüm makinelerde emiş sistemleri kurulmalıdır. (4) Çalışanlar, teşhir araçları ve ergonomi ile çalışmak için eğitilmelidir. (5) Üst raflara ağır eşya konulmamasına dikkat edilmelidir.
Küme 6	(1) Çalışma sırasında takılma riski oluşturan malzemeler yerinde bırakılmamalı ve dağınık ortamlara yol açmamak için düzenli olarak toplanmalıdır. (2) Hava şartlarına uygun kıyafet kullanımı konusunda çalışanlar bilgilendirilmelidir. İşçilerin yazlık ve kışlık kıyafetlerinin görünür örnekleri satın alınmalıdır.
Küme 7	Çok düşük risk seviyesi

Tablo 56. Tespit Edilen Tehlike Kaynakları ve Risklere Karşı Alınması Gereken Tedbirler

Kaynak: Gul, M., Guven, B. and Guneri, A. F., A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR, 2018

Yapılan bulanık VIKOR sıralaması sonrasında tehlike ve risklere ait ağırlıklandırmalarda 10 grup elde edilmiş olup bu 10 grup içerisinde yer alan her bir risk ise kendi ağırlığına göre sıralanmıştır. Elde edilen sıralama EK 2’ de yer almaktadır.

8.4. Bulgular ve Yorum

Tezin ikinci bölümünü oluşturan bu bölümde bulanık mantık entegrasyonlu risk değerlendirmesi uygulaması sonucunda Antalya ilinde mevcut olan HRS sistemleri için en faydalı risk değerlendirmesi ve risklerin sıralaması elde edilmiştir. Daha fazla tutarlılık ve doğruluk sağlayan bu metot için iki aşamalı bulanık entegrasyonlu ÇKKV yöntemi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda bulanık yaklaşımın uzlaşmış çözümleri aracılığıyla tehlikelerin farklı risk seviyelerinde kategorize edilebileceği gösterilmiştir.

Çalışmadan elde edilen veriler neticesinde özellikle raylı sistemler İSG risk değerlendirmesi için uzman görüşleri yardımıyla farklı risk grupları oluşturmuştur. Uzmanlar tarafından tespit edilen ortak 200 tehlike grubu için Fine Kinney risk değerlendirmesine ilave kriterler eklenmesi ile yeni değerlendirmeler sonucunda klasik yöntemdeki önem derecelerinin yeni metoda göre değişiklik gösterdiği ve elde edilen ağırlıklandırma sonuçları sayesinde tehlikelerin sıralamalarının değiştiği görülmüştür.

Tehlike sıralamasının ve önem seviyelerinin değişmesi sayesinde işletmelerin karşılaşılabileceği tehlikelere veya tehlikeli durumlara karşı alacağı önlemler açısından önceliklerinin yeniden gözden geçirilmesine olanak sağlamıştır. Böylece risklerin sonuçlarının ve zararlarının azaltılmasına amaçlanmıştır. Tehlikeli olayların sıklıklarının ve etkilerinin azaltılması adına yapılan değerlendirme sonucunda ise ek önlemler alınması ile işletmelerdeki tehlike kaynaklarının bertaraf edilmesi veya benzeri olayların önüne geçilmesi mümkün kılınmaktadır. Geleneksel Fine Kinney risk değerlendirmesinde kullanılmakta olan “olasılık”, “şiddet” ve “frekans” kriterleri yapılan hesaplamalara ilave olarak tez çalışmasında önerilen yöntemde eklenmiş olan “Tespit Edilebilirlik”, “Maliyet Etki Değeri” ve “Kişisel Koruyucu Kullanımı Etki Değeri” ilave değerlendirme kriterleri ile hesaplama puanlarının ve toplam risk skorlarının sonucunun değiştiği tespit edilmiştir. Yeni sıralama ve risklerin gruplandırılması sayesinde potansiyel tehlikelerin önem sıralaması da değişmiştir.

Özellikle işletmelerde meydana gelen iş kazalarının sonucunda ortaya çıkan maliyetlerin, etki değerinin risk değerlendirmesi çalışmasına eklenmesi sayesinde alınacak önlemlerin bu sonuçlara göre gözden geçirilerek tekrar düzenlenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Tespit edilebilirlik açısından ilave edilen kriter sayesinde ise işletmelerin oluşması muhtemel tehlike veya duruma karşı önceden alınması gereken önlemlerin önemi ortaya çıkarmaktadır. Bu sayede risklerin sonuçlarına olan etkisi azaltılabilmektedir.

Örneğin klasik yöntemde elde edilen bir tehlike veya tehlikeli bir durum için risk değerlendirme skoru " $20 \leq \text{Risk} < 70$ " ve risk değerlendirme sonucu "Muhtemel risk: operasyon gözetim altında yapılmalıdır." şeklide iken "Maliyetlerin Etkisi, Tespit Edilebilirlik ve KKD Kullanımı" şeklindeki kriterler ve tezde önerilen "Pisagor Bulanık AHP (PFAHP) ile risklerin ağırlıklandırılması ve Bulanık VIKOR (FVIKOR) Yöntemi ile önemlerine göre sıralamanın yapılması" sonrasında risk değerlendirme skoru olarak " $200 \leq \text{Risk} \leq 400$ " olduğu görülmüş ve risk değerlendirme sonucu ise "Ciddi risk: Acilen önlem alınmalıdır." şeklinde değerlendirilmiştir. Bu nedenle o riskin hassasiyeti ve önem derecesinin değiştiği tespit edilmiştir. Bu sayede işletmenin bu riski üst risk düzeyi kategorilerinden değerlendirmesi sağlanmış ve buna göre çalışmaların yapılmasına imkan sağlanmıştır. Böylece o riskin sonuçlarına ve muhtemel kazalara karşı alınacak acil önlemler sayesinde, riskin şiddetinin düşülebilmesi, yaralanma, ölüm, iş gücü kaybı, maddi zararların şeklindeki olumsuz sonuçların azaltılması sağlanmıştır.

Yapılan değerlendirmeler sonrasında çalışmaya katkıda bulunan altı uzmanın görüşleri alındığında, raylı sistem alanında profesyonel yetkinlikte olan uzmanların, çalışma sonucunda elde edilen bulgular ve önem derecesine göre sıralamanın işletmelerinde alınacak önlemler açısından faydalı olduğunu, maruziyetlerin azaltılabileceğini ve ayrıca raylı sistemlerde oluşabilecek bir kaza sonrasında risk değerlendirme sonuçlarına karşı önceden daha etkin önlemler alınabileceğini belirtmişlerdir. Bundan dolayı bu çalışma sonuçlarının raylı sistem işletmelerine katkı sağladıklarında hem fikir olmuşlardır. Diğer sektörlerde çalışmakta olan uzmanlarda benzer bir şekilde sadece raylı sistem için değil önerilen metot sonuçlarının ISG risk değerlendirmesinde bulunan tüm işletmeler için geçerli olacağını ve tüm alanlarda bu çalışmanın yukarıda bahsedilen faydaları sağlayabileceğine katılmışlardır.

Kentiçi raylı sistemlerde, Pisagor bulanık kümenin kullanıldığı iki aşamalı AHP ve FVIKOR' u sentezleyen ve benzersiz bir entegrasyonu ile değerlendirilen ulaşım alanındaki en kapsamlı çalışmadır.

Gerçek hayattaki raylı sistemler sektöründe yer alan profesyonel yetkinliğe sahip çalışanlar ve uzmanların deneyimlerinden elde edilen veri setleri ile uygulamaların yapılması literatüre katkı sağlamaktadır.

Veri setleri gözlemlerden elde edildiğinden, bu çalışmada tehlike türleri ve risk analizlerindeki belirsizlik ve hatalı değerlendirme en aza indirilmektedir.

Bu çalışmada yer alan yaklaşım ile sadece raylı sistem için değil diğer alanlar içinde risk değerlendirilmesine yeni bir bakış açısı geliştirilebileceği öngörülmektedir.



9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın motivasyonu, literatürde önemli derece noksanlık hissedilen bulanık mantık entegreli FAHP ve FVIKOR çalışmaları ile “Raylı Sistem Projelerinin Önceliklendirilmesi” ve “Raylı Sistemlere Yönelik Risk Değerlendirme” çalışmaları konusunda daha gerçekçi ve yeni bir değerlendirme modelinin oluşturulmasıdır. Bu çalışma ile ayrıca Antalya ve Ülkemiz için raylı sistem projeleri öncelikli olmak üzere planlanan tüm yatırım projelerinde daha etkili ve verimli bir sonuca ulaşılması ve bu yatırımların karar verilmesine katkı sağlanması şeklindedir. Ayrıca hatalı ve hassas olmayan risk değerlendirme çalışmaları ve bunun olumsuz sonuçlarının da önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Karar verme, insanlar ve kurumların tüm çalışmalarında çokça karşılaştığı bir süreçtir. Günümüzde gerek bireysel gerekse toplumsal olarak birçok konuda karar almak zorunda kalınmaktadır. Genel olarak bakıldığında çeşitli yatırımların yapılması ve proje evrelerinde karar verme süreçlerinden faydalanılmaktadır. Karar verme süreci genellikle zorlu bir süreç olmaktadır. Bu süreçte tercih yapılırken birçok alternatif değerlendirilmekte ve bu alternatifler arasından en iyi sonuca varılması hedeflenmektedir. Bu nedenle mutlaka bilimsel metotlardan faydalanılması gerekmektedir. Karar verme çalışmaları incelendiğinde literatürde birçok farklı yöntemin yer aldığı görülmektedir. Bununla birlikte bulanık mantık entegreli hem AHP hem de VIKOR çalışmalarının hibrit bir şekilde kullanıldığı yöntemlerin azlığı dikkat çekmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasının birinci bölümünde, Antalya ilinde yer alan raylı sistem projelerinin önceliklendirilerek yapılan bu yatırımlarının en uygun ve verimli olanının tespit edilmesi sağlanmıştır. İkinci bölümünde ise raylı sistemlere yönelik potansiyel risklerin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışmasına konu olarak Antalya ilindeki 3 farklı hafif raylı tramvay projesi ele alınmıştır. Bu projelerin değerlendirilmesi ise 4 farklı ana kriter ve altında yer alan 13 farklı alt kriterin beraber değerlendirilmeye alınması şeklinde olmuştur. Karar vericilerin belirlenmesinde ise deneyimleri göz önüne alınmıştır. Raylı sistem sektörü ve İSG alanında deneyimli olan 6 farklı uzmanın görüşlerinden faydalanılmıştır.

Önerilen metot, tez çalışması sırasında yapılan literatür araştırmalarına göre bilindiği kadarıyla raylı sistem projelerinin ve risklerin değerlendirilmesi konusunda yapılmış ilk çalışmadır. Ayrıca çalışmada ortaya çıkartılan ve sunulan karar verme modeli orjinaldir. İlerleyen zamanlardaki araştırma ve çalışmalarda geliştirilen bu metodoloji sayesinde projelerin ve risklerin önceliklendirilmesi sorunlarına katkı sağlanabilecektir.

Tezin birinci kısmını oluşturan raylı sistem projeleri yatırımlarına yönelik kısımda “Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci” ve “Bulanık VIKOR” yaklaşımı ile hafif raylı sistem hattı alternatiflerinin sıralamasının önemi ortaya çıkmıştır. Ekonomi, konfor, çevre ve güvenlik gibi dört ana kritere ve bunların on üç alt faktörüne dayalı olan hesaplamalar neticesinde bir HRS sisteminin faydalı bir yatırım olmasının, sadece taşıdığı yolcu sayısı ile orantılı olmadığı anlaşılmıştır. Günümüzde raylı sistem projeleri de başta olmak üzere çoğu inşaat yatırımları çok yüksek maliyetler ile yapılmaktadır. Gerek projelerin hazırlık safhaları gerekse projenin hayata geçirilmesi sonrasında beklenen faydayı sağlayamaması durumunda o projenin karar verilmesinde hatalar olduğundan bahsedilebilmektedir. Bu sayede hem çalışma ve iş gücü kaybı hem de kamu zararı oluşmaktadır. Böyle bir yatırımın düzeltilmesi ve yararlı bir projeye dönüştürülmesi ise bazen imkansız ya da ilk yatırım maliyetlerine yakın maliyetlerde olmaktadır. Bu nedenle yapılacak yatırımlar öncesi bilimsel yöntemler ile mutlaka karar verme çalışması yapılması gerekmektedir. Tezde önerilen çalışma ile bulanık küme ve ÇKKV yöntemlerinin entegrasyonu sayesinde yeni bir anlayışın benimsenmesine metodolojik olarak katkıda bulunulmuştur.

Tez çalışmasında göz önüne alınan birden fazla ana kriter ve alt kriterler değerlendirilmiştir. Bu kriterlerin uzman görüşleri ve FAHP ile ağırlıklandırılması sonrasında FVIKOR ile sıralanması ile Antalya ili için en yararlı projenin tespiti sağlanmıştır. Çalışma neticesinde önerilen yöntemde uygulanan ulaşım ile ilgili kriterler ve veri setleri göz önüne alındığında FVIKOR analiz sonuçlarına göre Antalya ANTRAY 3. aşama raylı sistem projesinin “personel maliyeti, enerji maliyeti, yolcu maliyeti ve km başına işletme maliyeti, sefer gecikmelerinin sayısı ve sefer gecikme süreleri, sera gazı emisyonu ve gürültü seviyesi, kaza veya çarpışma sayısı” alt kriterlerinde en yüksek değerlere sahip olduğu ve bu nedenle en önemli ve hizmet verilebilir aşamanın ANTRAY HRS’ de yer alan 3. aşama olduğu tespit edilmiştir. FVIKOR değerlendirme sonuçlarında Antalya ANTRAY 2. aşamanın “personel maliyeti, enerji maliyeti ve km başına işletme maliyeti açısından” en düşük skora sahip olduğu tespit edilmiştir. Buradan anlaşılabileceği

üzere geneline bakıldığında Antalya ANTRAY 1. ve 2. aşamaların skorları 3. aşamadan düşük kalmıştır. Bu sebeple analiz sonuçlarına göre, 3. aşamanın 1. ve 2. aşamaya nazaran şehirdeki en uygun raylı sistem yatırımı olduğunu ortaya koyulmuştur.

Yapılan bu çalışma ile sadece mevcut yatımlara yönelik bir karar verme mekanizması olmadığı yeni yapılacak raylı sistem projelerinde de benzer bir şekilde fayda gösterebileceği düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışmada rol oynayan ana kriterler ve alt kriterlere ilişkin verilerin iyileştirilmesi (ana kriterleri etkileyen alt kriterlerde yapılacak, gürültü ve sera gazı emisyonlarının düşürülmesi, personel, elektrik vb. işletme maliyetlerinin düşürülmesi, sefer gecikme sayılarının azaltılması ve yolcu erişimlerinin revize edilmesi veya daha kullanışlı hale getirilerek müşteri memnuniyetlerinin artırılması, kaza sayısının azaltılmasına yönelik çalışmalarda bulunulması şeklinde) sayesinde yatırımların faydalarının arttırılabileceği öngörülmektedir.

Benzer biçimde uygulanan çalışma metodolojisinin sadece kentiçi hafif raylı sistemler ile sınırlı kalmayıp, diğer raylı sistem projelerine de entegre edilebileceği hatta bu değerlendirmenin diğer toplu taşıma türleri içinde benzer şekilde uygulanabileceği ortaya çıkmıştır.

Tezin ikinci kısmında yer alan bulanık mantık entegrasyonu ile risk değerlendirmesi çalışmasında raylı sistemlere yönelik risk değerlendirmesine farklı bir metodolojik yaklaşım sunulmuştur. Elde edilen veriler sayesinde iş sağlığı ve güvenliğine yönelik bir belirsizlik kapatılmış ve tehlikeler veya tehlikeli durumlara karşı İSG risk değerlendirmesi sonuçlarının daha gerçekçi olması hedeflenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonrasında risk skorlarının değişmesinden dolayı risklerin sonuçlarının da değiştiği tespit edilmiştir. Böylece riskler sonrasında meydana gelecek etkilerinin ve maliyetlerinin neler olabileceği ve bu tehlikelere karşı alınması gereken önlemlerin sıralaması hakkında daha doğru ve güvenilir sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Klasik Fine Kinney metoduna ilave edilen ek kriterler neticesinde risk değerlendirmesinde yer alan “Olasılık”, “Şiddet” ve “Frekans” tahminlerinden fazlasıyla daha kapsamlı ve objektif sonuçlar elde edilmiştir.

Raylı sistem projelerinde yer alan çeşitli teknik, idari ve operasyonel çalışmaların yapıldığı alanlarda İş sağlığı ve güvenliğine yönelik artan bir farkındalık yaratmak adına ve daha iyi sonuçlar alınabilen, daha yararlı olacağı düşünülen bu İSG risk

değerlendirmesi çalışmasında yeni ve etkili bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen bu yeni yaklaşım çalışmasının yapılmasının temel sebebini, risk değerlendirmesi sonuçlarında görülmekte olan yetersiz ve sınırlı değerlendirmeler oluşturmaktadır. Risk değerlendirmesinde en büyük etkeni risklere karşı yapılan puanlama sistemi oluşturmakta ve bundan dolayı puanlama sistemi, risk değerlendirmesinin ilk adımı şeklinde olmaktadır.

Risk değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılmakta olan Fine Kinney yönteminde “Olasılık”, “Frekans” ve “Şiddet” kriterleri puanlama sistemi için esas parametreler olmakta ve bunların çarpımlarının sonucu ile risk skoru elde edilmektedir. Risk değerlendirme sonuçları, elde edilen bu risk skoruna göre yapılmaktadır. Bu üç kriterin risk skoru hesaplamasında eşit ağırlıklara sahip olmaları nedeniyle, risk değerlendirme sonuçlarında yetersiz veya hatalı sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında bulanık mantık entegre edilmiş analitik hiyerarşi süreci (FAHP) ile bulanık VIKOR’ u (FVIKOR) birleştiren bir çalışma öngörülmüştür. Fine Kinney yöntemindeki kriterlere ilave edilen “Maliyetlerin Etkisi, “Tespit Edilebilirlik” ve KKD Kullanımı” kriterleri ile türetilen bu risk parametrelerinin FAHP yöntemi ile ağırlıklandırılması ve sonrasında ise tespit edilen tehlikelerin FVIKOR ile belirlenerek önceliklendirilmesi sonucunda elde edilen risk skorlarının klasik Fine Kinney yöntemine göre farklı olduğu ve bu nedenle risk değerlendirme sonuçlarının da buna bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Bu sayede İSG uzmanlarının tarafından tespit edilen tehlikelere karşı belirsizliğini ve öngörülemezliğinin de önüne geçildiği görülmüştür.

Uygulanan bu yöntem sayesinde raylı sistemler sektöründe yer alan risk analistleri, yöneticileri ve mühendisleri için bir fayda sağlanmış olup raylı sistemlerinin güvenlik yönetimini iyileştirme ve güvenlik standartlarını belirleme adına yeni bir metot ortaya çıkartılmıştır.

Risk değerlendirmesinde uygulanan bu metot sayesinde raylı sistemler sektöründeki yolcuların ve çalışanların ölümüne, yaralanmasına veya maddi kayıplara yol açan kazalar veya olaylara karşı risk değerlendirme kriterlerinin ve hesaplamalarının doğruluğu arttırılmıştır. Risk değerlendirmesinin daha gerçekçi ve kapsamlı yapılabilmesi sayesinde raylı ulaşım sistemlerinde, yalnızca zaman, maliyet ve kalite açısından değil, aynı zamanda üst düzeyde bir güvenlik sistemi de uygulanabilir olmuştur.

Ayrıca uygulanan bu metodun İSG risk değ erlendirme kapsamı olarak sadece raylı sistemler değil diğer risk değ erlendirmesinde bulunan tüm işletmeler için faydalı ve uygulanabilir olabileceği kanısına varılmıştır.



10. KAYNAKÇA

Kitap Kaynakları

- Bakioğlu. G. ve Gökaşar. I. (2018). *İstanbul İli İçin Toplu Taşıma Sistemlerinin İncelenmesi: Ulaşım Bağlantısı mı Şehir İçi Trafik Çözümleri mi Hedeflenmeli?* Transit 2018 Bildiri Kitabı (ss. 549-556). İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
- Chen, G. and Pham, T.T. (2001). *Introduction to Fuzzy Fets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems*. United States of America: CRC Press LLC
- Grava., S. (2002). *Urban Transportation Systems (1st edition)*. New York: McGraw-Hill
- Hamurcu, M. ve Eren, T. (2018). *Kentsel Ulaşımın Geliştirilmesi için MOORA Yöntemi Kullanılarak Çok Amaçlı Optimizasyon*. Transit 2018 Bildiri Kitabı (ss. 21-30). İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
- Murat., S. ve Şahin, L. (2010). *Dünden Bugüne İstanbul'da Ulaşım*. İstanbul: İstanbul Ticaret Odası Yayınları

Makale Kaynakları

- Ak, M. F. and Gul, M. (2019). AHP-TOPSIS integration extended with Pythagorean fuzzy sets for information security risk analysis. *Complex & Intelligent Systems*, 5, 113-126. doi: 10.1007/s40747-018-0087-7
- Akman, G. ve Alkan, A. (2016). İzmit kent içi ulaşımda alternatif toplu taşıma sistemleri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 22(1), 54-63. doi: 10.5505/pajes.2015.55376
- An, M., Chen, Y. and Baker, C.J. (2011). A fuzzy reasoning and fuzzy-analytical hierarchy process based approach to the process of railway risk information: A railway risk management system. *Computer Science and Information Systems*, 181(18), 3946-3966. doi: 10.1016/j.ins.2011.04.051

- An, M., Huang, S. and Baker, C.I. (2007). Railway risk assessment – the fuzzy reasoning approach and fuzzy analytic hierarchy process approaches: a case study of shunting at Waterloo depot. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 221(3), 365-383. doi: 10.1243/09544097JRRT106
- An, M., Lin, W. and Stirling, A. (2006). Fuzzy-reasoning-based approach to qualitative railway risk assessment. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 220(2), 153-167. doi: 10.1243/09544097JRRT34
- An, M., Qin, Y., Jia, L. M. and Chen, Y. (2016). Aggregation of group fuzzy risk. *Safety Science*, 82, 18-28. doi: 10.1016/j.ssci.2015.08.011
- Antalya' da Kentleşme. (2001). 5 *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 415, 36-37
- Awasthi, A., Omrani, H. and Gerber, P. (2018). 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. doi: 10.1016/j.tra.2018.06.007
- Aydin, N. (2017). A fuzzy-based multi-dimensional and multi-period service quality evaluation outline for rail transit systems. *Transport Policy*, 55, 87-98. doi: 10.1016/j.tranpol.2017.02.001
- Aydin, N., Celik, E. and Gumus, A.T. (2015). A hierarchical customer satisfaction framework for evaluating rail transit systems of Istanbul. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 61-81. doi: 10.1016/j.tra.2015.03.029
- Azadeh, A., Salehi, V. and Kianpour, M. (2016). Performance evaluation of rail transportation systems by considering resilience engineering factors: Tehran railway electrification system. *The Transportation Letters International Journal of Transportation Research*, 10(1), 12-25. doi: 10.1080/19427867.2016.1207928

- Bakioglu, G and Atahan, A. O. (2021). AHP integrated TOPSIS and VIKOR methods with Pythagorean fuzzy sets to prioritize risks in self-driving vehicles. *Applied Soft Computing*. 99. 106948. 10.1016/j.asoc.2020.106948.
- Banai, R. (2010). Evaluation of land use-transportation systems with the Analytic Network Process. *The Journal of Transport and Land Use*. 3, 85-112. doi: 10.5198/jtlu.v3i1.137
- Birgören, B. ve Yalçınkaya, M. (2019). İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesinde Hata Türleri ve Etkileri Analizinin (FMEA) Kullanımı. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(1). 41-50.
- Birgören, B., (2017). Fine Kinney Risk Analizi Yönteminde Risk Analizi Yönteminde Risk Faktörlerinin Hesaplama Zorlukları ve Çözüm Önerileri. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9(1). 19-25.
- Blagojević, A., Sandra K., Željko S., Goran T., and Vesna P. (2021). Evaluation of Safety Degree at Railway Crossings in Order to Achieve Sustainable Traffic Management: A Novel Integrated Fuzzy MCDM Model. *Sustainability* 13(2), 832. doi: 10.3390/su13020832
- Broniewicz, E. and Ogrodnik, K. (2020). Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83, Article Number 102351. doi: 10.1016/j.trd.2020.102351
- Bureika, G., Bekintis., G, Liudvinavicius., L. and Vaiciunas, G. (2013). Applying analytic hierarchy process to assess traffic safety riskof railway infrastructure. *Eksplatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*, 15 (4): 376–383.
- Buyukozkan, G., Gocer, F. and Feyzioglu, O. (2018). Cloud computing technology selection based on interval-valued intuitionistic fuzzy MCDM methods. *Soft Computing*, 22(15), 5091-5114. doi: 10.1007/s00500-018-3317-4
- Carpitella, S., Certa, A., Izquierdo, J. and La Fata, CM. (2018). A combined multi-criteria approach to support FMECA analyses: A real-world case. *Reliability. Engineering and System Safety*, 169, 394-402. doi: 10.1016/j.res.2017.09.017

- Celik, E. and Akyuz, E. (2018). An Interval type-2 fuzzy AHP and TOPSIS methods for decision-making problems in maritime transportation engineering: The case of ship loader. *Ocean Engineering*, 155, 371-381. doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.01.039
- Celik, E. Gul, M., Aydin, N. Gumus, A. T. and Guneri, A. F. (2015). A comprehensive review of multi criteria decision making approaches based on interval type-2 fuzzy sets. *Knowledge-Based Systems*, 85, 329-341. doi: 10.1016/j.knosys.2015.06.004
- Celik, E., Aydin, N. and Gumus, AT. (2014). A multiattribute customer satisfaction evaluation approach for rail transit network: A real case study for Istanbul, Turkey. *Transport Policy*, 36, 283-293. doi: 10.1016/j.tranpol.2014.09.005
- Celik, E., Bilisik, O. N., Erdogan, M., Gumus, A. T. and Baracli, H. (2013). An Integrated novel interval type-2 fuzzy MCDM method to improve customer satisfaction in public transportation for Istanbul. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 58, 28-51. doi: 10.1016/j.tre.2013.06.006
- Chan, A., Chan, Dr D., and Yeung, J. (2009). Overview of the Application of “Fuzzy Techniques” in Construction Management Research. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135, 1241. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000099
- Chang, Y., Yang, Y. and Dong, S. (2018). Comprehensive Sustainability Evaluation of High-Speed Railway (HSR) Construction Projects Based on Unascertained Measure and Analytic Hierarchy Process. *Sustainability*, 10(2), 408. doi: 10.3390/su10020408
- Chen, I. S. (2016). 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. doi: 10.1016/j.jairtraman.2016.07.004
- Çubuk M. K. ve Türkmen M. (2003). Ankara' da Raylı Ulaşım. *Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt* 18(1), 125-144

- Dagdeviren, M. and Yuksel, I. (2008). Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management. *Information Sciences*, 178-6, 1717-1733. doi: 10.1016/j.ins.2007.10.016
- Deveci, M., Demirel, N. C. and Ahmetoglu, E. (2017). Airline new route selection based on interval type-2 fuzzy MCDM: A case study of new route between Turkey-North American region destinations. *Journal of Air Transport Management*, 59, 83-99. doi: 10.1016/j.jairtraman.2016.11.013
- Dinç, S., Hamurcu, M. ve Eren, T. (2018). Kentsel Ulaşım İçin Alternatif Tramvay Araçlarının Çok Kriterli Seçimi. *Gazi Müh. Bilimleri Dergisi*, 4(2), 124-135.
- Dinç, S., Hamurcu, M. ve Eren, T. (2019). Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Hattında İstasyon Yerlerinin Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Destekli 0-1 Hedef Programlama Modeli. *Demiryolu Mühendisliği*, 2019(9), 1-16.
- Dindar, S., Kaewunruen, S., An, M. and Gigante-Barrera, A. (2017). Derailment-based Fault Tree Analysis on Risk Management of Railway Turnout Systems. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 245, Article Number 042020. doi: 10.1088/1757-899X/245/4/042020
- Dominguez, L. P., Durán, S. N. A., López, R. R. and Olguin, I. J. C. P., Cruz, D. L. and Gómez, J. A. H. (2021). Assessment urban transport service and Pythagorean Fuzzy Sets CODAS method: A case of study of Ciudad Juárez. *Sustainability*, 13(3), Article Number 1281. doi: 10.3390/su13031281
- Erdebilli, B. ve Gür, L. (2020). Bulanık Fine-kinney Yöntemiyle Risk Değerlendirmesi Uygulaması. *Journal of Industrial Engineering*, 31(1), 75-86. doi: 10.1016/j.tranpol.2018.03.010
- Erdogan, M. and Kaya, I. (2016). A combined fuzzy approach to determine the best region for a nuclear power plant in Turkey. *Applied Soft Computing*, 39, 84-93. doi: 10.1016/j.asoc.2015.11.013
- Eren, T. ve Hamurcu, M. (2017). Raylı Sistem Projeleri Kararında Ahs-Hp Ve Aas-Hp Kombinasyonu. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 1-13.

- Farooq, A., Xie, M., Stoilova, S. and Ahmad, F. (2019). Multicriteria Evaluation of Transport Plan for High-Speed Rail: An Application to Beijing-Xiongan. *Mathematical Problems in Engineering*, Article Number 8319432. doi: 10.1155/2019/8319432
- Gençer, M. A., Özcan, E. ve Eren T. (2021). Raylı Sistem Tren Ekipmanlarının Yerleştirme Problemi için Çok Kriterli Bir Karar Modeli. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 36-49.
- Gerçek, H., Karpak, B. and Kilincaslan, T. (2004). A multiple criteria approach for the evaluation of the rail transit networks in Istanbul. *Transportation*, 31, 203-228. doi: 10.1023/B:PORT.0000016572.41816.d2
- Ghorabae M. K., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. and Antucheviciene, J. (2017). A new hybrid simulation-based assignment approach for evaluating airlines with multiple service quality criteria. *Journal of Air Transport Management*, 63, 45-60. doi: 10.1016/j.jairtraman.2017.05.008
- Ghorbanzadeh, O., Moslem, S., Blaschke, T. and Duleba, S. (2019). Sustainable urban transport planning considering different stakeholder groups by an interval-AHP decision support model. *Sustainability*, 11(1), Article Number 9. doi: 10.3390/su11010009
- Gorcun, O.F. (2021). Evaluation of the selection of proper metro and tram vehicle for urban transportation by using a novel integrated MCDM approach. *Science Progress*, 104-1, Article Number 0036850420950120. doi: 10.1177/0036850420950120
- Gulhan, B., Ilhan, M., Civil, E. (2012). Occupational accidents and affecting factors of metal industry in a factory in Ankara. *Turkish Journal of Public Health*. (10)
- Gul, M. and Ak, M.F. (2018). A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment. *Journal of Cleaner Production*, 196, 653-664. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.06.106

- Gul, M. and Celik, E. (2018). Fuzzy rule based Fine Kinney risk assessment approach for rail transportation systems. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(7), 1786-1812. doi: 10.1080/10807039.2017.1422975
- Gul, M., Ak M.F. and Guneri, A.F. (2019). Pythagorean fuzzy VIKOR-based approach for safety risk assessment in mine industry. *Journal of Safety Research*, 69, 135-153. doi: 10.1016/j.jsr.2019.03.005
- Gul, M., Guven, B. and Guneri, A. F. (2018). A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR incorporation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 53, 3-16. doi: 10.1016/j.jlp.2017.08.014
- Guner, S. (2018). 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. doi: 10.1016/j.cstp.2018.05.005
- Gülenç, İ. F. ve Bilgin, G. A. (2010). Yatırım kararları için bir model önerisi: AHP yöntemi. *Öneri Dergisi*, 9(34), 97-107. doi: 10.14783/od.v9i34.1012000233
- Gündüz, A., Kaya, M. ve Aydemir, C. (2011). Kentiçi Ulaşımında Karayolu Ulaşımına Alternatif Sistem Raylı Ulaşım Sistemi. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 2(1), 134-151
- Hamurcu, M. and Eren, T. (2018). A Fuzzy Analytical Network Process Approach to The Selection of Rail System Projects. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 9(4), 415-426.
- Hamurcu, M. and Eren, T. (2018). Transportation planning with analytic hierarchy process and goal programming. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 2(02), 92-097.
- Hamurcu, M. and Eren, T. (2019). An Application of Multicriteria Decision-making for the Evaluation of Alternative Monorail Routes. *Mathematics*, 7-1, Article Number 16. doi: 10.3390/math7010016

- Hamurcu, M. and Eren, T. (2020). Electric bus selection with multicriteria decision analysis for green transportation. *Sustainability*, 12(7), Article Number 2777. doi: 10.3390/su12072777
- Hamurcu, M. and Eren, T. (2020). Strategic Planning Based on Sustainability for Urban Transportation: An Application to Decision-Making. *Sustainability*, 12(9), Article Number 3589. doi: 10.3390/su12093589
- Hamurcu, M., Alagas, H.M., and Eren, T. (2017). Selection of Rail System Projects With Analytic Hierarchy Process and Goal Programming. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 8(4), 291-302.
- Hyland, M. F., Mahmassani, H.S. and Mjahed, L. B. (2016). Analytical models of rail transportation service in the grain supply chain: Deconstructing the operational and economic advantages of shuttle train service. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 93, 294-315. doi: 10.1016/j.tre.2016.06.008
- Ilbahar, E., Karasan, A., Cebi, S. and Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety Science*, 103, 124-136 doi: 10.1016/j.ssci.2017.10.025
- Jafarian, E., and Rezvani, M. A., (2012). Application of fuzzy fault tree analysis of railway safety risks: an evaluation of root causes for passenger train derailment. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 226(1), 14-25. doi: 10.1177/0954409711403678
- Kabir, S. and Papadopoulos, Y., (2018). A review of applications of fuzzy sets to safety and reliability engineering. *International Journal of Approximate Reasoning*, 100, 29-55. doi: 10.1016/j.ijar.2018.05.005
- Kabir S., Yazdi M., Aizpurua J. I. and Papadopoulos Y., (2018) Uncertainty-Aware Dynamic Reliability Analysis Framework for Complex Systems, *IEEE Access*, 6, 29499-29515. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2843166

- Kahraman, C., Oztaysi, B., Sari, I. U. and Turanoglu, E. (2014). Fuzzy analytic hierarchy process with interval type-2 fuzzy sets. *Knowledge-Based Systems*, 59, 48-57. doi: 10.1016/j.knosys.2014.02.001
- Kahraman, Ö. ve Demirer A. (2010). OHSAS 18001 Kapsamında FMEA Uygulaması. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 7(1). 53-68
- Kahya, E., Ulutas, B. ve Özkan, N. (2019). Metal Endüstrisinde Kişisel Koruyucu Donanım Kullanımının Analizi. *Selcuk University Journal of Engineering ,Science and Technology*, (7). 420-433. Doi:10.15317/Scitech.2019.209.
- Kırlangıçoğlu C. (2016). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Kent İçi Raylı Sistem Koridor Planlaması. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Dergisi*, 33, 53-71.
- Kicinski, M. and Solecka, K. (2018). Application of MCDA-MCDM Methods for an Integrated Urban Public Transportation System Case Study, City of Cracow. *Archives of Transport*, 46(2), 71-84. doi: 10.5604/01.3001.0012.2107
- Kilic, O. and Cercioğlu, H. (2016). Application of compromise multiple criteria decision making methods for evaluation of TCDD's railway lines projects. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31(1), 211-220.
- Kim, D. S. and Yoon, W. C. (2013). An accident causation model for the railway industry: Application of the model to 80 rail accident investigation reports from the UK. *Safety Science*, 60, 57-68. doi: 10.1016/j.ssci.2013.06.010
- Kokangul, A., Polat, U. and Dagsuyu, C. (2017). A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies. *Safety Science*, 91, 24-32. doi: 10.1016/j.ssci.2016.07.015
- Krmac, E. and Djordjevic, B. (2017). An Evaluation of train control information systems for sustainable railway using the analytic hierarchy process (AHP) model. *European Transport Research Review*, 9, Article Number 35. doi: 10.1007/s12544-017-0253-9

- Kumar, A., Singh, G., Vaidya and OS. (2020). A Comparative Evaluation of Public Road Transportation Systems in India Using Multicriteria Decision-Making Techniques. *Journal of Advanced Transportation*, Volume 2020, Article ID8827186. doi: 10.1155/2020/8827186
- Kyriakidis, M., Hirsch, R. and Majumdar, A. (2012). Metro railway safety: An analysis of accident precursors. *Safety Science*, 50(7), 1535-1548. doi: 10.1016/j.ssci.2012.03.004
- Lambas, M. E. L., Giuffrida, N., Ignaccolo, M. and Inturri, G. (2016). Comparison Between Bus Rapid Transit And Light-rail transit systems: A Multi-Criteria Decision Analysis approach. *WIT Transactions on the Built Environment*, 176, 143-154. doi: 10.2495/UT170131
- Leitner, G. (2017). A General Model for Railway Systems Risk Assessment with the Use of Railway Accident Scenarios Analysis. *Procedia Engineering* 187, 150-159. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.361
- Li, M., Wang, Y., Jia, L. and Cui, Y. (2020). Risk propagation analysis of urban rail transit based on network model. *Alexandria Engineering Journal*. 59(3), 1319-1331. doi: 10.1016/j.aej.2020.02.030.
- Lu, S. T., Yu, SH. and Chang, DS. (2014). Using Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Approach for Assessing the Risk of Railway Reconstruction Project in Taiwan. *The Scientific World Journal*, Article Number 239793. doi: 10.1016/j.tra.2018.03.025
- Mabrouk H. (2020). Analysis and prediction of railway accident risks using machine learning. *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, 4(1), 19-46. doi: 10.3934/ElectrEng.2020.1.19
- Mahdevari, S., Shahriar, K. and Esfahanipour, A. (2014). Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment*, 488-489, 85-99. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.04.076

- Mandic, D., Jovanovic, P. and Bugarinovic, M. (2014). Two-phase model for multi-criteria project ranking: Serbian Railways case study. *Transport Policy*, 36, 88-104. doi: 10.1016/j.tranpol.2014.08.002
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Khalifah, Z. and Jusoh, A (2016). Multiple criteria decision-making techniques in transportation systems: A systematic review of the state of the art literature. *Transport*, 31(3), 359-385 doi: 10.3846/16484142.2015.1121517
- Marhavilas, P. K., Koulouriotis, D. and Gemeni, V. (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(5), 477-523, doi: 10.1016/j.jlp.2011.03.004
- Mavi, R. K., Zarbakhshnia, N. and Khazraei, A. (2018). Bus rapid transit (BRT): A simulation and multi criteria decision making (MCDM) approach. *Transport Policy*, 72, 187-197. doi: 10.1016/j.tranpol.2018.03.010
- Min A., Wanchang L. and Sheng H. (2013). An Intelligent Railway Safety Risk Assessment Support System for Railway Operation and Maintenance Analysis. *The Open Transportation Journal*, 7, 27-42. doi: 10.2174/1874447801307010027
- Mohajeri, N. and Amin, G. R. (2010). Railway station site selection using analytical hierarchy process and data envelopment analysis. *Computers & Industrial Engineering*, 59(1), 107-114. doi: 10.1016/j.cie.2010.03.006
- Nassereddine, M. and Eskandari, H. (2017). An Integrated MCDM approach to evaluate public transportation systems in Tehran. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 106, 427-439. doi: 10.1016/j.tra.2017.10.013
- Orman, A., Duzkaya, H., Ulvi, H. and Akdemir, F. (2018). Multi-Criteria Evaluation by Means of Using the Analytic Hierarchy Process in Transportation Master Plans: Scenario Selection in the Transportation Master Plan of Ankara. *Gazi University Journal of Science*, 31(2), 381-397.

- Oturakci M, Dagsuyu C, and Kokangul A. (2015). A New Approach to Fine Kinney Method and an Implementation Study, *Alphanumeric Journal*, 3(2), 83 - 92. doi: 10.17093/aj.2015.3.2.5000139953
- Oturakçı, M. ve Dağsuyu, C. (2017). Risk Değerlendirmesinde Bulanık Fine-Kinney Yöntemi ve Uygulaması. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 1(1), 17-25
- Ozgur, O. (2011). Performance analysis of rail transit investments in Turkey: Istanbul, Ankara, Izmir and Bursa. *Transport Policy*, 18, 147-155. doi: 10.1016/j.tranpol.2010.07.004
- Ozturk, F. (2021). A Hybrid Type-2 Fuzzy Performance Evaluation Model for Public Transport Services. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46-10, 10261-10279. doi: 10.1007/s13369-021-05687-4
- Önder, G. ve Akdemir, F. (2019). Türkiye'deki Kentiçi Raylı Toplu Taşıma Sistemlerinin Ulaşım Ana Planları Bağlamında Değerlendirilmesi. *Demiryolu Mühendisliği*, (10), 23-37
- Pedroso, G., Bermann, C. and Sanches-Pereira, A. (2018). 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. doi: 10.1016/j.cstp.2018.09.002
- Peng, Z., Lu, Y., Miller, A., Johnson, C. and Zhao, T. (2014). Risk Assessment of Railway Transportation Systems using Timed Fault Trees. *Quality and Reliability Engineering International*, 32(1), 181-194. doi: 10.1002/qre.1738
- Petrovic, D. V., Tanasijevic, M., Milic, V., Lilic, N., Stojadinovic, S. and Svrkota, I. (2014). Risk assessment model of mining equipment failure based on fuzzy logic. *Expert Systems with Applications*, 41(18), 8157-8164. doi: 10.1016/j.eswa.2014.06.042
- Poorzahedy, H. and Rezaei, A. (2013). Peer evaluation of multi-attribute analysis techniques: Case of a light rail transit network choice. *Scientia Iranica*, 20(3), 371-386. doi: 10.1016/j.scient.2012.12.031

- Saatçioğlu, C. ve Yaşarlar, Y. (2012). Kentiçi Ulaşımında Toplu Taşımacılık Sistemleri İstanbul Örneği. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 3(3), 117-144
- Samanlioglu, F. (2019). Evaluation of Influenza Intervention Strategies in Turkey with Fuzzy AHP-VIKOR. *Journal of Healthcare Engineering*. 1(9). doi: 10.1155/2019/9486070.
- Sennaroglu, B. and Celebi, GV. (2018). A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 160-173. doi: 10.1016/j.trd.2017.12.022
- Serin, H., Sahin, Y., Şimşek, Ali. Ve Durgun, M. (2015). Kahramanmaraş İmalat Sanayiindeki İş Kazazedelerinin Durumu. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, (3). 553-557
- Shang, J., Tjader, Y. and Ding, Y. (2004). A Unified Framework for Multicriteria Evaluation of Transportation Projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 51(3), 300-313. doi: 10.1109/TEM.2004.830848
- Shen, W., Xiao, W. and Wang, X. (2016). Passenger satisfaction evaluation model for Urban rail transit: A structural equation modeling based on partial least squares. *Transport Policy*, 46, 20-31. doi: 10.1016/j.tranpol.2015.10.006
- Sivilevicius, H. and Maskeliunaite, L. (2010). The Criteria for Identifying the Quality of Passengers' Transportation by Railway and Their Ranking Using AHP Method. *The Journal of Transport*, 25-4, 368-381. doi: 10.3846/transport.2010.46
- Soruşbay, C. (2007). Karayolu ulaşımından kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının çevreye etkisi ve kontrolü. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 48(564), 22-26.
- Srivastava, A., Gaur, S. K., Swami, S. and Banwet, D. K. (2019). Analysis of interpretive structural model of Indian railway security system by analytic hierarchy process (AHP). *Journal of Advances in Management Research*, 16(3), 378-397. doi: 10.1108/JAMR-11-2018-0100

- Stoilova, S. (2018). An Integrated Approach for Selection of Intercity Transport Schemes on Railway Networks. *Promet-Traffic and Transportation* 30(4), 367-377. doi: 10.7307/ptt.v30i4.2673
- Stoilova, S. (2020). An Integrated Multi-Criteria Approach for Planning Railway Passenger Transport in the Case of Uncertainty. *Symmetry*, 12(6), Article Number 949. doi: 10.3390/sym12060949
- Stoilova, S., Munier, N., Kendra, M. and Skrucany, T. (2020). Multi-criteria evaluation of railway network performance in countries of the TEN-T Orient–East Med corridor. *Sustainability*, 12(4), Article Number 1482. doi: 10.3390/su12041482
- Sun, D, Jia, Y., Yang, Y., Li, H. and Zhao, L. (2018). Fuzzy-Bayesian-network-based Safety Risk Analysis in Railway Passenger Transport. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 46(3), 135-141 doi: 10.3311/PPtr.11489.
- Şengül, Ü., Eren, M. ve Shiraz, S. E. (2012). Bulanık AHP ile belediyelerin toplu taşıma araç seçimi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (40), 143 - 165
- Şenlik, İ. (2013). Kentiçi raylı ulaşım sistemlerinin değerlendirilmesi. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 920, 24-26
- Şenlik, İ. (2016). Kent içi raylı ulaşım sistemleri. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 458, 37-39
- Taş, M., Özlemiş, Ş., Hamurcu, M. ve Eren, T. (2017). Ankara’da AHP ve PROMETHEE Yaklaşımıyla Monoray Hat Tipinin Belirlenmesi. *Ekonomi, İşletme, Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 3, 64-89.
- Tričković, G., Milosavljević, M., Bundalo, Z. and Bursac, M. (2018). Application of fuzzy fault tree analysis for determination of railway crossing reliability. *The school of railway applied studies*. Doi: 10.20544/HORIZONS.B.05.1.18.P05
- Yaghoobpour, Z., Givehchi, S., Tabrizi, M. A., Masoudi, F. and Nourian, L. (2016). Public transport risk assessment through fault tree analysis. *International Journal*

- J. Hum. Capital Urban Manage, 1(2), 93-102. doi: 10.22034/ijhcum.2016.01.02.003
- Yannis, G., Kopsacheili, A., Dragomanovits, A. and Petraki, V. (2020). State of the Art review on multi-criteria decision-making in the transport sector. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(4), 413-431. doi: 10.1016/j.jtte.2020.05.005
- Yıldız, A. ve Deveci, M. (2013). Bulanık VIKOR Yöntemine Dayalı Personel Seçim Süreci. *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 13(4), 427-436.
- Yucel, N. and Tasabat, S. (2019). The Selection of Railway System Projects with Multi Criteria Decision Making Methods: A Case Study for Istanbul. *Procedia Computer Science*. 158, 382-393. doi: 10.1016/j.procs.2019.09.066.
- Zak, J. (2011). The Methodology of multiple criteria decision making aiding in public transportation. *Journal of Advanced Transportation*, 45, 1-20. doi: 10.1002/atr.108
- Zak, J. and Kruszynski, M. (2015). Application of AHP and ELECTRE III-IV methods to multiple level, multiple criteria evaluation of urban transportation projects. *Transportation Research Procedia*, 10, 820-830. doi: 10.1016/j.trpro.2015.09.035
- Zhang, H. and Sun, Q. (2020). An Integrated MCDM Approach to Train Derailment Risk Response Strategy Selection. *Symmetry*, 12(1), Article Number 47. doi: 10.3390/sym12010047
- Zhang, H. F. and Sun, Q. (2018). An Integrated Approach to Risk Assessment for Special Line Shunting Via Fuzzy Theory. *Symmetry*, 10(11), Article Number 599. doi: 10.3390/sym10110599
- Zhang, Q., Zhuang, Y., Wei, Y., Jiang, H. and Yang, H. (2020). Railway Safety Risk Assessment and Control Optimization Method Based on FTA-FPN: A Case Study of Chinese High-Speed Railway Station. *Journal of Advanced Transportation*. 1(11). doi: 10.1155/2020/3158468.

Zhu, J. H. and Li, Y. L. (2018). Pythagorean Fuzzy Muirhead Mean Operators and Their Application in Multiple-Criteria Group Decision-Making. *Information*, 9(6), Article Number142. doi: 10.3390/info9060142

Kurum, Kuruluş ve Şirket Raporu Kaynakları

Antalya Büyükşehir Belediyesi. (2017). *Antalya 1-25.000 ölçekli İlave ve Revizyon Nazım İmar Planı Açıklama Raporu*

Antalya Büyükşehir Belediyesi. (2018). *Antalya 3. Aşama Raylı Sistem Hatları Yapım İş Raporları*,

Antalya Büyükşehir Belediyesi. (2020). *Antalya Sürdürülebilir Enerji ve İklim Değişikliği Eylem Planı (SECAP). Sera Gazı Envanterinin Hesaplanması Veri Kaynakları ve Yol Haritası Çalıştay Raporu*

Antalya Büyükşehir Belediyesi. (2020). *Faaliyet Raporu*

Boğaziçi Proje. (2015). *Antalya Büyükşehir Belediyesi, Antalya Ulaşım Ana Planı Hazırlanması, Danışmanlık Hizmet Raporları*,

Gayrimenkul ve Gayrimenkul Yatırım Ortaklığı Derneği (GYODER). (2017). *Antalya ili yatırım alanları vizyon raporu*

Kinney, G. F. (1976). *Practical Risk Analysis for Safety Management*. The NPS Institutional Archive, NWC Technical Publication 5865

Optim Obermeyer Proje. (2006). *Antalya Büyükşehir Belediyesi. Antalya Hafif Raylı Sistem 2. aşama proje raporu*

Park, C., Wang, J., Kwak, S. and Choi, D. (2010). *Modeling and Assessing of Train-Person Collision Accidents on the National Railway of South Korea*, The International Railway Safety Council's (IRSC)

T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2009). *Kentsel Teknik Altyapı ve Ulaşım Komisyon Raporu*. Ankara

Türkiye Belediyeler Birliği. (2014). *Ulaşım planlama çalışmaları ve ulaşım ana planı hazırlama kılavuzu*.

Yüksel Proje Uluslararası A.Ş. (2006). Antalya Büyükşehir Belediyesi. *Antalya Hafif Raylı Sistem 1. aşama proje raporu*

Yüksel Proje Uluslararası A.Ş. (2006). *Raylı Sistem 1. Aşama Uygulama Projeleri Proje Tanıtımı Raporu*

Web sayfaları

Hürriyet Gazetesi (2022).

<https://www.hurriyet.com.tr/seyahat/bu-tramvay-akdeniz-nostaljisine-gider-41987412> (Erişim tarihi 01/09/2022 – 14:00)

Wikipedia.. (2022).

https://tr.wikipedia.org/wiki/İstanbul_nostaljik_tramvayı
(Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

Antalya Ulaşım A.Ş. (2022)

<https://www.antalyaulasim.com.tr/Haberler/Habericerik?Sayfa=1>
(Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

Antalya Ulaşım A.Ş. (2022)

<https://www.antalyaulasim.com.tr/Haberler/Habericerik?Sayfa=1>
(Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

Wikipedia.. (2022).

https://en.wikipedia.org/wiki/Istanbul_Metro
(Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

Wikipedia.. (2022). https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:IZBAN_E22107.jpg
(Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

Wikipedia.. (2022).

https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Istanbul_Tunel_Karaköy_Beyoğlu.jpg

(Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

Wikipedia.. (2022).

https://tr.wikipedia.org/wiki/Monoray#/media/Dosya:Monorail_Moskau_-_Einfahrt_in_Station_Telezentrum.jpg

(Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

<https://www.antalya-ulasim.com/antalya-hafif-rayl305-sistemi-antray-guumlzergah-haritas305.html> (Erişim tarihi 08/08/2022 – 14:00)

Tez Kaynakları

Baştuğ, G. (2014). *Kentiçi Raylı Toplu Taşıma Sistemleri İncelemesi ve Dünya Örnekleri ile Karşılaştırılması*. Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara

Bayram, M. (2016). *İş kazası maliyetlerine etki eden faktörler üzerine bir ampirik araştırma*. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya

Birol, B. (2014). *Kentiçi Raylı Sistemler ve Metrobüs İşletme Maliyeti Değerlendirmesi: İstanbul Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Cirit, F. (2014). *Sürdürülebilir Kentiçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması*. Uzmanlık Tezi, Kalkınma Bakanlığı, Ankara

Çağlayan, T. A. (1995). *Tramvay Sistemlerinin Yapılabilirliği*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Çakır, M. (2010). *Entegre Olmuş Ulaşım Sistemlerinin Yolculuk Talebindeki Değişiminin İncelenmesi: Şişhane-Atatürk Oto Sanayi Raylı Sistem Hattı Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul

Çevik E. (2009). *Yatırım projelerinin belirsizlik altında bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

- Çitli, N., (2006). *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Demirel H. (2016). *Demir Yolu Makas Üretiminde Risk Değerlendirmesi. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi*, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara
- Koçak. D. (2014). *Demiryolu Çalışmalarında İş Sağlığı ve Güvenliği Vagon Bakım Onarım Atölyesi Risk Değerlendirmesi Örneği*. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim Uzmanlığı Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi, Ankara
- Kulu, M. (2019). *Raylı Sistemlerin Oluşturduğu Çevresel Gürültü (İstanbul Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı Örneği)*. Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Konya
- Murteza, M. (2010). *Raylı Sistem Yatırımları Fizibilite Etütleri ve Yapım Yöntemleri*. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul
- Ramadan Ö. (2018). *Raylı Sistem Projelerinin Önceliklendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Arel Üniversitesi, İstanbul
- Ünlü, T. E., (2019). *Risk Değerlendirmesinde FMEA Yöntemine Bulanık Mantık Yaklaşımı*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara
- Yılmaz S. (2006). *Uçak Seçimi Kriterlerinin Değerlendirilmesinde AHP ve Bulanık AHP Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Konferans Kaynakları

- Cheng, H., Huang, Z. and Hu, X. (2015). A MCDM-MADM model for evaluating efficiency of rail-bus transfer. *5th International Conference on Civil Engineering and Transportation (ICCET 2015)*, 30, 1522-1527.
- Ekbatani, M. and Cats, O. (2015). *Multi-Criteria Appraisal of Multi-Modal Urban Public Transport Systems*. 18th Euro Working Group on Transportation, Delft University of Technology.

- Erzurumluoğlu, K., Köksal, K. ve Gerek, İ. (2015). *İnşaat Sektöründe Fine-Kinney Metodu Kullanılarak Risk Analizi Yapılması*. 5. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu
- Hadj-Mabrouk, H. (2019) *Contribution of Artificial Intelligence to Risk Assessment of Railway Accidents*. Urban Rail Transit 5, 104–122 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40864-019-0102-3>
- Hamurcu, E. ve Eren T. (2017). *Toplu Taşıma Türünün Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması*. International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017)
- Hamurcu, M. ve Eren, T. (2017). Sürdürülebilir Kent İçi Ulaşım İçin Bulanık AHP Tabanlı VIKOR Yöntemi ile Proje Seçimi. *International Conference on Advanced Engineering Technologies* (ICADET 2017), Bayburt
- Karacasu, M. (2007) . Kentiçi Toplu Taşıma Yatırımlarının Değerlendirilmesinde Karar Destek Modeli Electre Yöntemi Kullanımı. 7. *Ulaştırma Kongresi*, İstanbul,
- Li, J., Xu, X., Yao, Z. and Lu, Y. (2019). Improving Service Quality With the Fuzzy TOPSIS Method: A Case Study of the Beijing Rail Transit System. *IEEE Access*, 7, 114271-114284. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932779
- Öğüt, K.S.ve Evren, G. (2006). Türkiye'de Kentsel Raylı Sistemlerin Gerekliği ve Uygulamada Dikkat Edilecek Konular. *Uluslararası Demiryolu Sempozyumu*. Ankara
- Singh, P., Dulebenets, M. A., Pasha, J., Gonzalez, E. D. R. S., Lau, Y. Y. and Kampmann, R. (2021). Deployment of Autonomous Trains in Rail Transportation: *Current Trends and Existing Challenges*. *IEEE Access*, 9, 91427-91461. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3091550
- Tanış, M. ve Öğüt, K. (2007). Orta Ölçekli Kentler İçin Toplu Taşıma Seçeneklerinin Teknik ve Mali Karşılaştırılması. 5. *Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu*, Ankara
- Tezcan, S. S. ve Ergün, G. (2005). Antalya İçin Ulaşım Altyapısı Önerileri. *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi* (II. Cilt, ss. 439-453). Antalya

11. EKLER

EK 1. Uzmanlar Tarafından Tespiti Yapılan Tehlike Kaynağı ve Riskler

TEHLİKE NO	FAALİYET / FAALİYET ALANI	TEHLİKE KAYNAĞI	TEHLİKELİ HAREKET YA DA DURUMLAR	RİSKLER ve SONUÇLARI	ETKİLENEN KİŞİ/KİŞİLER VEYA ORTAM
TN 1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı	Trenin bir demiryolu aracıyla çarpışması	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 2	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı	Trenin gabarideki bulunan engele çarpması	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular
TN 3	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı	Hemzemin geçit kazası	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 4	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı	Sürücülerin hız limitlerine uymaması	Kaza/hasar	Çalışanlar, yolcular
TN 5	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Sinyalizasyon ekipmanları	Tüm Sinyalizasyon arızaları,	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 6	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Sinyalizasyon ekipmanları	Trafik kontrol merkezinden hatalı operasyon yapılması,	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 7	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Sinyalizasyon ekipmanları	Tramvay sürücülerinin sinyal ihlali yapmaları	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 8	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı	Fren Arızası (Tren İşletmede İken)	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular
TN 9	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı	İletişim ekipmanlarının arızalanması	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular
TN 10	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı	Sürücü kabini cam sileceklerin çalışmaması, camların buğu yapması vb. durumda görüşün azalması vb. durumlar	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular
TN 11	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı	Aracın aydınlatma ekipmanlarının çalışmaması sonucu görüşün azalması vb. durumlar	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular
TN 12	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı Bakım/Temizlik araçları	Hizmette olan bir demiryolu aracında teker kırılması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 13	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı Bakım/Temizlik araçları	Hizmette olan bir demiryolu aracında dingil kırılması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular

TN 14	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı	Demiryolu aracında çıkan yangın	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 15	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Demiryolu ray ve hatları	Ray kırılması, çatlaması, yol geometrik bozulması	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular
TN 16	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı	Tramvay/Metro aracı Raydan Çıkma- Deray	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular
TN 17	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı	Tramvay/Metro aracı- İnsan Teması	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 18	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı	Tren- Karayolu Aracı Teması	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 19	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Rayda giden Bakım Araçları	Gabari Alanındaki Engellere Çarpmaları	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 20	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/ Metro aracı	Trene sabotaj	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 21	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Şüpheli Paket vb.	Patlama (Tren/İstasyon/Hat/Tünel)	Kaza, hasar ve yaralanma, ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 22	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Aracın pantografının kırılması, kataner hattına takılması vb.	Kaza, hasar ve yaralanma, ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 23	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Genel	İstasyon içi yangın	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 24	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Yangın	Teknik Mahalde Yangın	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 25	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Doğal afet / Sel / Su Baskını	Su Baskını, su drenaj sistemleri, mazgalların tıkanması, pompaların çalışmaması vs.	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 26	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Doğal Afet / Deprem	Enerji sistemleri hasarı, yapıların yıkılması	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 27	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Yolcular	Ray Hattı, Tünel İzinsiz Giriş/Geçişler	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Yolcular
TN 28	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Yolcular	Teknik Mahal İzinsiz Giriş	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Yolcular
TN 29	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Asma tavan bileşenleri	Asma Tavan, Yüksekte Bulunan vb. Ekipmanların, kapakların vb. düşmesi	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 30	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Havasızlık, Oksijen azlığı	Zehirlenme (havaya karışan zehirli madde-su veya gıdaya karışan madde ile)	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 31	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tehlikeli gaz/maddeler	Patlama (kaza/gaz sızıntısı/patlayıcı madde kullanımı)	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular

TN 32	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	İntihar teşebbüsleri	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 33	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Sabit Merdiven	Düşme (Sabit Merdiven vb.)	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 34	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Demiryolu raylarında hatalı yağlama işleminin yapılması sonucunda araçlarda frenleme mesafesinin uzaması, çarpma, duramama gibi durumların oluşması	Yaralanma/ölüm	Yaralanma/ölüm
TN 35	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Ray Hattına Düşme	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 36	Genel işletim sırasında	Uygun olmayan zemin,	İstasyon/Durak vb. Kaygan zeminde düşme, hatalı yer yönlendirme işaret ve kaplamaları	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 37	Genel işletim, istasyonlar	Yürüyen Merdiven/bant	Yürüyen merdivenden/banttan düşmeler	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 38	Genel işletim, istasyonlar	Yürüyen Merdiven/bant	Yürüyen Merdivende/bantta uzuv, elbise vb. sıkışması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 39	Genel işletim, istasyonlar	Asansör	Asansör Kapı/Boşluğuna Sıkışma, Asansörün düşmesi	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 40	Genel işletim sırasında	Asansör	Asansörde Mahsur Kalma	Yaralanma	Çalışanlar, yolcular
TN 41	Genel işletim, istasyonlar	Havalandırma sistemi arızası	Boğulma (Yetersiz oksijen-havalandırma sisteminden kaynaklı)	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 42	Genel işletim, istasyonlar	Tramvay/Metro aracı	Tren- Peron Arası Ayak Sıkışması	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 43	Genel işletim, istasyonlar	Tramvay/Metro aracı	Tren Kapısına Sıkışma	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 44	Genel işletim, istasyonlar	Otomatik PSD kapıları	Platform Kapılarına (PSD) Sıkışma	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 45	Genel işletim, istasyonlar	Tramvay/Metro aracı	Sıkışma Nedeniyle Sürüklenme	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 46	Genel işletim, istasyonlar	Yangın algılama sistem arızası	Yangın algılama sistemlerinin olmaması/arızalı olması	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 47	Genel işletim, istasyonlar	Scada sistem arızası	Yangın söndürme/havalandırma sistemlerinin olmaması/arızalı olması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 48	Genel işletim, istasyonlar	Açık manholler, mazgallar, çukurlar	Önlem alınmamış boşluklar, shaftlar vs. düşme, takılma vb. durumlar	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 49	Genel işletim sırasında	Hat sonlarında durdurucu tamponların vb. önlemler	Tramvay/Metro vb. rayda giden araçların hat sonunda hattın çıkması	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 50	Genel işletim sırasında	3. Şahıslar	Saldırı, yaralama, taciz	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 51	Genel işletim sırasında	Genel	Kesme, Çarpma, Ezilme vb. Durumlar	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular

TN 52	Genel işletim sırasında	Çalışan personel	Yetkisiz Ray Hattı, Tünel İzinsiz Giriş/Geçişler	Kaza, hasar ve yaralanma, ölüm	Çalışanlar
TN 53	Genel işletim sırasında	Çalışan personel	Yetkisiz Teknik Mahal İzinsiz Giriş	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar,
TN 54	Genel işletim sırasında	Çalışan personel	Diğer Kesici, delici cisim kaynaklı yaralanma	Yaralanma	Çalışanlar, yolcular
TN 55	Elektrik panoları	Elektrik	Elektrik panolarının önünde yalıtkan paspas olmaması	Elektrik çarpması	Çalışanlar
TN 56	Elektrik panoları	Elektrik	Panolarla kaçak akım rölesi olmaması	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
TN 57	Elektrik panoları	Elektrik	Elektrik pano kapaklarının kilitlenmemesi	Elektrik çarpması	Çalışanlar, yolcular
TN 58	Elektrik panoları	Elektrik	Elektrik panolarının önlerinde malzeme bulunması	Yangın riski artması	Çalışanlar, yolcular
TN 59	Elektrik panoları	Elektrik	Elektrik panolarının topraklama eksikliği/bulunmaması	Elektrik çarpması	Çalışanlar
TN 60	Elektrik panoları	Elektrik	Elektrik panolarının sabitlenmemesi	Elektrik çarpması	Çalışanlar
TN 61	Elektrik panoları	Elektrik	Elektrik panolarında uygun uyarı ve işaret tabelalarının bulunmaması	Elektrik çarpması	Çalışanlar, yolcular
TN 62	Elektrik panoları	Elektrik	Yanıcı/parlayıcı malzeme bulunan yerlerde uygun olmayan (exproof) pano/elektrik tesisatı kullanılması	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
TN 63	Genel çalışma	Elektrik	Elektrik kablolarının yer üstünden geçmesi, ıslak zemin vb.	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
TN 64	Genel çalışma	Elektrik	Elektrik panolarında, tesislerinde uygun olmayan söndürücü ile müdahale edilmesi	Yangının artması	Çalışanlar
TN 65	Genel çalışma	Elektrik	Islak, nemli ortam/zeminlerde çalışma yapılması	Elektrik çarpması	Çalışanlar
TN 66	Genel çalışma	Elektrik	Uygun olmayan seyyar uzatma kablolarının kullanılması/yanlış kullanma	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
TN 67	Genel çalışma	Elektrik	Eksik/Uygun olmayan KKD kullanımı	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
TN 68	Genel çalışma	Elektrik	Topraklama olmayan, hasarlı el aletlerinin kullanılması	Elektrik çarpması	Çalışanlar
TN 69	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden demiryolu hat bakım Unimog aracı	Operatör belgesi olmayan, yetkisiz kişilerin kullanımı	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 70	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden demiryolu hat bakım Unimog aracı	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması, (frenlerin arızalı olmaması, hidrolik kaçakları vb.)	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar

TN 71	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden demiryolu hat bakım Unimog aracı	İşletim merkezi ile koordineli çalışmama, başka araçlarla çarpışma	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 72	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden Unimog demiryolu Kataner bakım aracı	Operatör belgesi olmayan, yetkisiz kişilerin kullanımı	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 73	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden Unimog demiryolu Kataner bakım aracı	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması, (frenlerin arızalı olmaması, hidrolik kaçakları vb.)	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 74	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden Unimog demiryolu Kataner bakım aracı	İşletim merkezi ile koordineli çalışmama, başka araçlarla çarpışma	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 75	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu üstünde giden ray taşıma iş kamyonu	Operatör belgesi olmayan, yetkisiz kişilerin kullanımı	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 76	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu üstünde giden ray taşıma iş kamyonu	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması, (frenlerin arızalı olmaması, hidrolik kaçakları vb.)	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 77	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu üstünde giden ray taşıma iş kamyonu	Güvenlik ekipmanlarının takılmadan taşıma operasyonu yapılması	İş kazası/ yaralanma	Çalışanlar/3. şahıslar
TN 78	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Rayda giden Hat Bakım/Kataner Bakım ve Taşıma Kamyonu	Uygun olmayan yerde (kabin dışı, kasa, araç üstü vb.) yolculuk yapma, düşme	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 79	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu üstünde giden ray taşıma iş kamyonu	İşletim merkezi ile koordineli çalışmama, başka araçlarla çarpışma	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 80	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden demiryolu Kataner bakım aracı	Araç üstü platform sisteminin arızalı (hidrolik, mekanik, elektronik) olması ve bu şekilde kullanılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 81	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Çalışanın bilgi/tecrübesi	Uygun nitelikte olmayan personelin işe yönlendirilmesi	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 82	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat Buraj makinesi kullanımı	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması	İş kazası/yaralanma	Çalışanlar
TN 83	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat Buraj makinesi kullanımı	Yanlış şekilde kullanım ve/veya taşıma	Yaralanma	Çalışanlar

TN 84	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat Bura makinesi kullanımı	Makinenin yanlış yerde, tramvay/metro hattında bırakılması	İş kazası	Çalışanlar
TN 85	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat Bura makinesi kullanımı	Çok fazla çalışma yapılması titreşim ve gürültüye maruz kalınması	İş kazası / kas, iskelet hasarları	Çalışanlar
TN 86	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat trifonaj makinesi kullanımı	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması	İş kazası	Çalışanlar
TN 87	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat trifonaj makinesi kullanımı	Yanlış şekilde kullanım ve/veya taşıma	İş kazası	Çalışanlar
TN 88	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat trifonaj makinesi kullanımı	Makinenin yanlış yerde, tramvay/metro hattında bırakılması	İş kazası	Çalışanlar
TN 89	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat trifonaj makinesi kullanımı	Çok fazla çalışma yapılması titreşim ve gürültüye maruz kalınması	İş kazası / kas, iskelet hasarları	Çalışanlar
TN 90	Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Jeneratör kullanımı	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması	İş kazası	Çalışanlar
TN 91	Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Jeneratör kullanımı	Yanlış yakıt kullanılması	İş kazası	Çalışanlar
TN 92	Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu makasları	Makasların uygun olmayan/hatalı şekilde bakım ve onarımlarının yapılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 93	Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu makasları	Makaslara Trafik Kontrol Merkezinde hatalı şekilde ve zamanda komut gönderilmesi (Üzerinden araç geçerken vb.)	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 94	Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu makasları	Makaslara manuel müdahale edilmesi ve yarım şekilde açık bırakılması, makasların tam tanzim edilememesi	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 95	Güç ve Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarımı	Trafo Merkezleri	Yetkili operatör belgesi (EKAT, YG) olmayan, yetkisiz kişilerin trafo merkezine girmesi	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 96	Güç ve Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarımı	Trafo Merkezleri	Trafik kontrol merkezinden hatalı operasyon yapılması,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 97	Güç ve Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarımı	Trafo Merkezleri	Trafo Merkezinde KKD kullanılmaması, enerji maveralarında uygun operasyon yapılmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 98	Güç ve Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarımı	Trafo Merkezleri	Operasyon, manevra, elektrik ile ilgili talimatların olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar

TN 99	Güç ve Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarımı	Trafo Merkezleri	Yangın algılama ve söndürme sistemlerinin olmaması, arızalı olması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 100	Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarım Faaliyeti	Yüksekte çalışma	Uygun olmayan, eksik ekipmanla yüksek yapılan çalışmalar	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 101	Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarım Faaliyeti	Elektrik Çarpması	Kataner Telleri, Yüksek Gerilim Besleme Hatları enerjilerinin kesilmeden, topraklama yapılmadan çalışılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 102	Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarım Faaliyeti	Kataner Hatları	Eksik, yetersiz bakım nedeniyle kataner hatlarında, gevşeme, kopma vb. olması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar, yolcular
TN 103	Taşıma faaliyetleri	Forklift/ mobil vinç vb.	Operatör belgesi olmayan, yetkisiz kişilerin kullanımı	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 104	Taşıma faaliyetleri	Forklift/ mobil vinç vb.	Bakımlarının, periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması, (frenlerin arızalı olmaması, hidrolik kaçakları vb.)	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 105	Taşıma faaliyetleri	Forklift/mobil vinç vb.	Uygun olmayan/kapasite üstü şekilde yükleme yapılması, devrilme, halat/zincir kopması vb.	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 106	Taşıma faaliyetleri	Forklift/transpalet/ mobil vinç vb.	Kaldırılan yükün üstüne çıkılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 107	Taşıma faaliyetleri	Forklift/transpalet/ mobil vinç vb.	Belirlenen hız sınırlarının üstüne çıkılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 108	Taşıma faaliyetleri	Transpalet	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması, (frenlerin arızalı olmaması, hidrolik kaçakları vb.)	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 109	Taşıma faaliyetleri	Transpalet	Uygun olmayan/kapasite üstü şekilde yükleme yapılması, devrilme, vb.	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 110	Taşıma faaliyetleri	Atölye içi gezer vinç/pergel vinç	Yetkisiz kişilerin kullanımı	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 111	Taşıma faaliyetleri	Atölye içi gezer vinç/pergel vinç	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması, (frenlerin arızalı olmaması, vb.)	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 112	Taşıma faaliyetleri	Atölye içi gezer vinç/pergel vinç	Uygun olmayan/kapasite üstü şekilde yükleme yapılması, devrilme, halat/zincir kopması vb.	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 113	Taşıma faaliyetleri	Atölye içi gezer vinç/pergel vinç	Kaldırılan yükün üstüne çıkılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar

TN 114	Taşıma faaliyetleri	Genel, El ile	Uygunsuz biçimde hatalı ve kaldırma kapasitesinden fazla yük taşıma,	Yaralanma	Çalışanlar
TN 115	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Yüksekte çalışma	Aşırı rüzgârlı havada çalışma, yeterli ve gerekli koruyucuları kullanmamak	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 116	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Yüksekte çalışma	Eğitimsiz ve yetkisiz personelin çalıştırılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 117	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Genel çalışma	Çalışanların iş talimatlarına uymaması,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 118	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Genel çalışma	Çalışma bölgesinin güvenliğinin sağlanmaması, 3. şahıslar, araçlar vb. kazaya sebebiyet verme	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 119	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Elektrikli el aletleri	El aletlerinin amacı dışında kullanılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 120	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Elektrikli el aletleri	El aletlerinin bakımlarının eksik olması,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 121	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Elektrikli el aletleri	Hasarlı arızalı parçaları ile kullanılması, koruyucu vb. ekipmanlarının olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 122	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Elektrikli el aletleri	El aletlerinin geçiş bölgelerinde, duraklarda, istasyonlarda vb. bırakılması, takılıp, düşme vb. olaylar	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 123	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Elektrikli el aletleri	Hasarlı elektrik tertibatı, kaçak akım, topraklama vb. olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 124	Bakım ve Onarım Faaliyeti	İletişim eksikliği	Aynı bölgede yapılan farklı çalışmalarda çalışanlarının birbirini fark etmemesi,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 125	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Kaygan zemin,	Atölye, teknik mahal vb. kaygan olan kaygan zeminde kayma, düşme vb. durumlar	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
TN 126	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Uygun olmayan zemin,	Atölye, teknik mahal vb. hasarlı, olan zeminde takılma, düşme vb. durumlar	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
TN 127	Genel çalışma	Elektrik	Elektrik kablolarında uygun olmayan ek bağlantılarının olması, izolasyonların eksik olması	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
TN 128	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Elektrik	Ana hattaki elektriğin kesilmemesi	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
TN 129	Atölyede Basınçlı Tüp Kullanımı	Basınçlı tüpler	Tüplerin güneş altında, sahada bırakılması, gelişi güzel istiflenmesi,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 130	Atölyede Basınçlı Tüp Kullanımı	Basınçlı tüpler	Tüplerin uygun olmayan şekilde taşınması, taşıma arabası vs. olmadan	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar

TN 131	Atölyede Basınçlı Tüp Kullanımı	Basınçlı tüpler	Tüplerde bulunan göstergelerin arızalı olması, kullanılan ekipmanların hasarlı yada uygun olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 132	Atölyede Basınçlı Tüp Kullanımı	Basınçlı tüpler	Tüplerin depolama alanlarında düşmeye karşı önlem alınmadan bırakılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 133	Atölyede Basınçlı Tüp Kullanımı	Basınçlı tüpler	Yanıcı/parlayıcı malzemelerin yanında tüpler ile çalışma yapılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 134	Atölye Makine Kullanımı	Sütün matkap, torna tezgahı, pres vb. makineler	Makinelerin (Sütünlu matkap, torna tezgahı pres makinası vb.) hareketli kısımlarına temas, makinelerin koruyucu ekipmanlarının bulunmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 135	Atölye Makine Kullanımı	Tramvay/metro aracı teker tornası	Torna cihaz çukurunun kenarlarında korkuluk olmaması, iniş çıkış merdivenlerinin uygun olmaması, çukur yüksekliğinin uygun olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 136	Atölye Makine Kullanımı	Tramvay/metro aracı teker tornası	Torna cihaz çukurunun içlerinde yeterli aydınlatma olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 137	Atölye Makine Kullanımı	Tramvay/metro aracı teker tornası	Torna cihaz çukurunun içlerinde zeminde yağ, su vb. kalması, çeşitli engeller sonucu kayma, takılıp düşme	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 138	Atölye Makine Kullanımı	Tramvay/metro aracı teker tornası	Eğitimsiz ve yetkisiz personelin makineleri kullanması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 139	Atölye Makine Kullanımı	Gürültülü ortam	Fazla sesli yapılan çalışmalar, atölye ile idari ofisler arası ses yalıtımı olmaması vb. durumlar	İşitme kaybı	Çalışanlar
TN 140	Atölye Makine Kullanımı	Çalışanların kıyafetleri	Yapılan işe uygun olmayan kıyafet (bol, dar, sarkık giysiler vb.) giyilmesi sonucu yaşanan olaylar,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 141	Atölye Makine Kullanımı	Sütün matkap, torna tezgahı, pres vb. makineler	Eksik uyarı etiketleri ve kullanım talimatlarının olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 142	Atölye Makine Kullanımı	Sütün matkap, torna tezgahı, pres vb. makineler	Eğitimsiz ve yetkisiz personelin makineleri kullanması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 143	Atölye Makine Kullanımı	Sütün matkap, torna tezgahı, pres vb. makineler	Hasarlı elektrik tertibatı, kaçak akım, topraklama vb. olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 144	Atölye Makine Kullanımı	Hareketli pantograf sistemi	Platforma çıkış kapılarında enerji kesen switchlerin olmaması veya arızalı olması sonucu elektrik çarpması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 145	Atölye Makine Kullanımı	Hareketli pantograf sistemi	Uyarı alarmları, sinyal lambalarının, eksik veya arızalı olması, elektrik çarpması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar

TN 146	Atölye Makine Kullanımı	Kum Doldurma Makinesi	Uygun olmayan KKD kullanımı nedeniyle, yaralanma, toz, kum yutulması	Yaralanma, hastalık	Çalışanlar
TN 147	Atölye Makine Kullanımı	Sütün matkap, torna tezgahı, pres vb. makineler	Acil durumda durdurma butonlarının olmaması, arızalı olması,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 148	Atölye Makine Kullanımı	Kompresörle çalışmalar	Bakımlarının ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı vb. ekipmanla kullanılması,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 149	Atölye Makine Kullanımı	Kompresörle çalışmalar	Kompresörün açıkta ve çalışanlara yakın olması, patlama riski	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 150	Tramvay/Metro araçları alt bakımları	Alt bakım çukurları	Çukur kenarlarında korkuluk olmaması, iniş çıkış merdivenlerinin uygun olmaması, çukur yüksekliğinin uygun olmaması	İş kazası/yaralanma	Çalışanlar
TN 151	Tramvay/Metro araçları alt bakımları	Alt bakım çukurları	Çukur içlerinde yeterli aydınlatma olmaması	İş kazası/yaralanma	Çalışanlar
TN 152	Tramvay/Metro araçları alt bakımları	Alt bakım çukurları	Çukur içlerinde zeminde yağ, su vb. kalması, çeşitli engeller sonucu kayma, takılıp düşme	İş kazası/yaralanma	Çalışanlar
TN 153	Tramvay/Metro araçları alt bakımları	Mobil Jack Kaldırma Platformları	Hatalı yerleşim sonucu tramvay/metro araçlarının kaldırılırken, kayması, devrilmesi, düşmesi vb. durumlar	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 154	Tramvay/Metro araçları alt bakımları	Mobil Jack Kaldırma Platformları	Hasarlı elektrik tertibatı, hidrolik, pnömatik sistem, kaçak akım, topraklama vb. olmaması,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 155	Tramvay/Metro araç üstü Çalışma	Platform kullanımı	Platform korkuluklarının olmaması, yetersiz yükseklikte, sağlam olmaması	Düşme/yaralanma/ölüm	Çalışanlar
TN 156	Tramvay/Metro araç üstü Çalışma	Platform kullanımı	Platform tabanında boşluklar olması,	Düşme/yaralanma/ölüm	Çalışanlar
TN 157	Tramvay/Metro araç üstü Çalışma	Tekerlekli merdiven/iskele	Tekerlekli merdiven/iskelelerde frenlerinin olmaması	Düşme/yaralanma/ölüm	Çalışanlar
TN 158	Tramvay/Metro araç üstü Çalışma	Tekerlekli merdiven/iskele	Merdiven/iskele korkuluklarının olmaması, yetersiz yükseklikte, sağlam olmaması	Düşme/yaralanma/ölüm	Çalışanlar
TN 159	Tramvay/Metro araç üstü Çalışma	Tekerlekli merdiven/iskele	Üzerinde insan varken hareket ettirilmesi	Düşme/yaralanma/ölüm	Çalışanlar
TN 160	Atölye Çalışmaları	Yetersiz aydınlatma	Atölye vb. Teknik mahallerde aydınlatmaların yetersiz olması, arızalı ekipmanların bulunması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 161	Kişisel koruyucu	KKD	KKD' lerin yanlış şekilde muhafazası temizlik ve bakımının yapılmaması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar

	donanım kullanımı		(koruyucu özelliğini yitirmesi vb.)		
TN 162	Kişisel koruyucu donanım kullanımı	KKD	KKD' lerin yanlış şekilde kullanılması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
TN 163	Kişisel koruyucu donanım kullanımı	KKD	Yapılacak işin niteliğine göre uygun KKD kullanılmaması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
TN 164	Acil Durum Faaliyeti	İlk yardım	İlk yardım sertifikalı personelin bulundurulmaması	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 165	Acil Durum Faaliyeti	Acil durum çıkışları	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. bulunan acil çıkış kapılarının önüne eşya konulması, acil çıkış kapılarının uygun yapıda olmaması, kilitli olması	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 166	Acil Durum Faaliyeti	Acil durum toplanma bölgeleri	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. Acil durum toplanma bölgelerinin olmaması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 167	Acil Durum Faaliyeti	Acil durum eylem planları	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. Acil durum eylem planlarının olmaması, tatbikatlarının yapılmaması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 168	Acil Durum Faaliyeti	Acil durum yönlendirmeleri	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. Acil durum yönlendirme tabelalarının ve aydınlatmalarının olmaması/yetersiz olması	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 169	Acil Durum Faaliyeti	İlk yardım ekipmanları	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. İlk yardım ekipmanlarının bulunmaması	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 170	Acil Durum Faaliyeti	Yangın	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. Seyyar yangın söndürme tüplerinin bulunmaması,	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 171	Acil Durum Faaliyeti	Yangın	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. Seyyar yangın söndürme tüplerinin uygun olmayan yerlerde ve şekilde bulunması,	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 172	Acil Durum Faaliyeti	Yangın	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. Seyyar yangın söndürme tüplerinin periyodik kontrollerinin yaptırılmaması	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 173	Acil Durum Faaliyeti	Acil Durum	Kapalı mekan, istasyonlar vb. bulunan Yangın söndürme ekipmanları, pompalar, sprinklerin bakımlarının/testlerinin yapılmaması, arızalı olması	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 174	Acil Durum Faaliyeti	Acil Durum	Acil durum müdahale ekiplerinin belirlenmemiş olması	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar, yolcular
TN 175	Çalışan Personelin Temini	Mesleki yeterlilik	Tehlikeli ve çok tehlikeli işlere uygun mesleki yeterlilikte personelin seçilmemesi	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar

TN 176	Çalışan Personelin Temini	İSG eğitimi	Çalışan personele işe başlamadan önce İSG ile ilgili eğitimlerin verilmemesi,	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar
TN 177	Çalışan Personelin Temini	Mesleki veya saptanmış hastalıklar	Çalışan personelin işe giriş öncesi periyodik muayenelerin yapılmaması, önceki/mevcut hastalıklarının tespit edilmemiş olması	Hastalık	Çalışanlar
TN 178	Çalışan Personelin Temini	Yangın eğitimi	Çalışan personele işe başlamadan önce yangın ilgili eğitimlerin verilmemesi,	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar
TN 179	Temizlik faaliyeti	Ray üstünde giden temizlik kamyonu	Operatör belgesi olmayan, yetkisiz kişilerin kullanımı	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 180	Temizlik faaliyeti	Ray üstünde giden temizlik kamyonu	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 181	Temizlik faaliyeti	Ray üstünde giden temizlik kamyonu	İşletim merkezi ile koordineli çalışmama, başka araçlarla çarpışma	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 182	Tramvay/metro aracı temizliği	Kimyasal maddeler	Tehlikeli kimyasallar, sonucu zehirlenme, boğulma vb. durumlar	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 183	Tramvay/metro aracı temizliği	Elektrik Çarpması	Yıkama alanında açıkta elektrik kabloları, hasarlı elektrik tesisatı bulunması, topraklama eksikliği sonucunda oluşan elektrik çarpmaları	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 184	Tramvay/metro aracı temizliği	Kaygan zemin,	Yıkama alanında kaygan zeminden dolayı kayma, düşme vb. durumlar	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 185	Temizlik faaliyeti	Dikkatsiz davranış	Temizlik personelinin tramvay/metro hatlarına bilgi vermeden/izinsiz giriş yapması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 186	Temizlik faaliyeti	Dikkatsiz davranış	Temizlik personelinin faaliyeti sırasında telefonla konuşması, kulaklık takması vb.	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 187	Depolama faaliyeti	Kimyasal malzemeler	Farklı kimyasal malzemelerin bir arada bulunması, (Yanıcı, parlayıcı, patlayıcı vs.)	Patlama/Yaralanma/Ölüm /Yangın	Çalışanlar, yolcular
TN 188	Depolama faaliyeti	Kimyasal malzemeler	Uygun olmayan ortamda depolama yapılması, havalandırma eksikliği, eğitimsiz ve ekipmansız personelin depoya girişi	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar
TN 189	Depolama faaliyeti	Ağır malzemeler, düzensiz istifleme	Uygun olmayan rafların kullanılması, ağır malzemelerin üst raflarda tutulması, düşme vb. olaylar	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
TN 190	Depolama faaliyeti	Kaynak, taşlama vb. makine kullanımı	Kimyasal veya yanıcı maddelerin bulunduğu depolarda kaynak işlemi yapılması, spiralle taşlama, kesme vb. işlemler yapılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar

TN 191	İdari Ofis İşleri	Aydınlatma	Yetersiz aydınlatma, görme bozukluğu	Yaralanma	Çalışanlar
TN 192	İdari Ofis İşleri	Acil çıkış kapıları	Acil durumlarda kapıların çalışmaması, kilitli olması vb. durumlar	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar
TN 193	İdari Ofis İşleri	Acil çıkış yönlendirmeleri	Arızalı, eksik yönlendirmeler, acil durumda tahliye edilememe vb.	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar
TN 194	İdari Ofis İşleri	Elektrik, çeşitli kablolar	Düşme, takılma vb. durumlar	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar
TN 195	İdari Ofis İşleri	Kırık prizler, hasarlı kablolar, topraksız hatlar	Uygun olmayan elektrik tesisatı, priz vb. ile topraklama hattının olmaması nedeniyle tehlikeli durumların oluşması	Yaralanma veya ölüm	Çalışanlar
TN 196	İdari Ofis İşleri	İklimlendirme	Uygun olmayan ısıtma, soğutma, havalandırma sistemleri, bunalma, aşırı terleme, üşüme, dikkat bozukluğu vb.	Hastalanma, bayılma	Çalışanlar
TN 197	İdari Ofis İşleri	Gürültülü ortam	Fazla sesli yapılan çalışmalar, atölye ile idari ofisler arası ses yalıtımı olmaması vb. durumlar	İşitme kaybı	Çalışanlar
TN 198	İdari Ofis İşleri	Koltuk, masa vb.	Uygun olmayan çalışma koltuk, masa vb. ekipmanlar	Kas, iskelet sistemi bozulmaları	Çalışanlar
TN 199	İdari Ofis İşleri	Ekranlı çalışma	Uygun olmayan ekran vb. ekipmanlar	Göz, Kas, iskelet sistemi bozulmaları	Çalışanlar
TN 200	İdari Ofis İşleri	Zemin kaplamaları	Uygun olmayan zemin kaplamaları, ıslak bırakılan yerler vb. Sonucu, düşme, takılma vb. durumlar	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar

EK 2. Uzmanlar Tarafından Tespiti Yapılan Sıralanmış Tehlike Kaynağı ve Riskler

G1- SIRALAMA					
TEHLİKE GRUP	FAALİYET/FAALİYET ALANI	TEHLİKE KAYNAĞI	TEHLİKELİ HAREKET YA DA DURUMLAR	RİSKLER VE SONUÇLARI	ETKİLENEN KİŞİ/KİŞİLER VEYA ORTAM
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Yolcular	Ray Hattı, Tünel İzinsiz Giriş/Geçişler	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Yolcular	Teknik Mahal İzinsiz Giriş	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Sinyalizasyon ekipmanları	Tramvay sürücülerinin sinyal ihlali yapmaları	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Tramvay/Metro aracı- İnsan Teması	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Ray Hattına Düşme	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Genel	İstasyon içi yangın	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Yangın	Teknik Mahalde Yangın	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Sinyalizasyon ekipmanları	Tüm Sinyalizasyon arızaları,	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Sabit Merdiven	Düşme (Sabit Merdiven vb.)	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Sinyalizasyon ekipmanları	Trafik kontrol merkezinden hatalı operasyon yapılması,	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Sürücülerin hız limitlerine uymaması	Kaza/hasar	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Tren- Karayolu Aracı Teması	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Hemzemin geçit kazası	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Aracın pantografinin kırılması, kataner hattına takılması vb.	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Trenin bir demiryolu aracıyla çarpışması	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Fren Arızası (Tren İşletmede İken)	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular

GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Doğal Afet / Deprem	Enerji sistemleri hasarı, yapıların yıkılması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Şüpheli Paket vb.	Patlama (Tren/İstasyon/Hat/Tünel)	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tehlikeli gaz/maddeler	Patlama (kaza/gaz sızıntısı/patlayıcı madde kullanımı)	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Asma tavan bileşenleri	Asma Tavan, Yüksekte Bulunan vb. Ekipmanların, kapakların vb. düşmesi	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Tramvay/Metro aracı Raydan Çıkma-Deray	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Trene sabotaj	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Demiryolu aracında çıkan yangın	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Doğal afet / Sel / Su Baskını	Su Baskını, su drenaj sistemleri, mazgalların tıkanması, pompaların çalışmaması vs.	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Rayda giden Hat Bakım/Kataner Bakım ve Taşlama Kamyonu	Gabari Alanındaki Engellere Çarpmaları	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Trenin gabarideki bulunan engele çarpması	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Sürücü kabini cam sileceklerin çalışmaması, camların buğu yapması vb. durumda görüşün azalması vb. durumlar	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Aracın aydınlatma ekipmanlarının çalışmaması sonucu görüşün azalması vb. durumlar	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Demiryolu ray ve hatları	Ray kırılması, çatlaması, yol geometrik bozulması	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	Demiryolu raylarında hatalı yağlama işleminin yapılması sonucunda araçlarda frenleme mesafesinin uzaması, çarpma, duramama gibi durumların oluşması	Yaralanma/ölüm	Yaralanma/ölüm
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	İletişim ekipmanlarının arızalanması	Kaza/hasar/yaralanma	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro /Hat Bakım/Temizlik araçları	Hizmette olan bir demiryolu aracında teker kırılması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular

GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro /Hat Bakım/Temizlik araçları	Hizmette olan bir demiryolu aracında dingil kırılması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Tramvay/Metro aracı	İntihar teşebbüsleri	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-1	Tramvay/Metro işletimi sırasında	Havasızlık, Oksijen azlığı	Zehirlenme (havaya karışan zehirli madde-su veya gıdaya karışan madde ile)	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
G2- SIRALAMA					
GR-2	Genel işletim sırasında	Çalışan personel	Yetkisiz Ray Hattı, Tünel İzinsiz Giriş/Geçişler	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GR-2	Genel işletim sırasında	Çalışan personel	Yetkisiz Teknik Mahal İzinsiz Giriş	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar,
GR-2	Genel işletim, istasyonlar	Tramvay/Metro aracı	Sıkışma Nedeniyle Sürüklenme	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim, istasyonlar	Scada sistem arızası	Yangın söndürme/havalandırma sistemlerinin olmaması/arızalı olması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim, istasyonlar	Tramvay/Metro aracı	Tren- Peron Arası Ayak Sıkışması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim sırasında	Çalışan personel	Diğer Kesici, delici cisim kaynaklı yaralanma	Yaralanma	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim, istasyonlar	Tramvay/Metro aracı	Tren Kapısına Sıkışma	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim, istasyonlar	Otomatik PSD kapıları	Platform Kapılarına (PSD) Sıkışma	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim, istasyonlar	Yangın algılama sistem arızası	Yangın algılama sistemlerinin olmaması/arızalı olması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim sırasında	Uygun olmayan zemin,	İstasyon/Durak vb. Kaygan zeminde düşme, hatalı yer yönlendirme işaret ve kaplamaları	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim, istasyonlar	Yürüyen Merdiven/bant	Yürüyen merdivenden/banttan düşmeler	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim, istasyonlar	Yürüyen Merdiven/bant	Yürüyen Merdivende/bantta uzuv, elbise vb. sıkışması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim, istasyonlar	Açık manholler, mazgallar, çukurlar	Önlem alınmamış boşluklar, shaftlar vs. düşme, takılma vb. durumlar	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim, istasyonlar	Havalandırma sistemi arızası	Boğulma (Yetersiz oksijen-havalandırma sisteminden kaynaklı)	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim, istasyonlar	Asansör	Asansör Kapı/Boşluğuna Sıkışma, Asansörün düşmesi	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim sırasında	3. Şahıslar	Saldırı, yaralama, taciz	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim sırasında	Genel	Kesme, Çarpma, Ezilme vb. Durumlar	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim sırasında	Asansör	Asansörde Mahsur Kalma	Yaralanma	Çalışanlar, yolcular
GR-2	Genel işletim sırasında	Hat sonlarında durdurucu tamponların vb. önlemler	Tramvay/Metro vb. rayda giden araçların hat sonunda hatttan çıkması	Kaza/hasar/yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
G3- SIRALAMA					

GR-3	Genel çalışma-Elektrik	Elektrik	Islak, nemli ortam/zeminlerde çalışma yapılması	Elektrik çarpması	Çalışanlar
GR-3	Genel çalışma-Elektrik	Elektrik	Elektrik kablolarının yer üstünden geçmesi, ıslak zemin vb.	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
GR-3	Elektrik panoları	Elektrik	Elektrik panolarının önünde yalıtkan paspas olmaması	Elektrik çarpması	Çalışanlar
GR-3	Genel çalışma-Elektrik	Elektrik	Uygun olmayan seyyar uzatma kablolarının kullanılması/yanlış kullanma	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
GR-3	Elektrik panoları	Elektrik	Elektrik panolarının önlerinde malzeme bulunması	Yangın riski artması	Çalışanlar, yolcular
GR-3	Elektrik panoları	Elektrik	Panolarda kaçak akım rölesinin olmaması	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
GR-3	Elektrik panoları	Elektrik	Elektrik panolarının topraklama eksikliği/bulunmaması	Elektrik çarpması	Çalışanlar
GR-3	Genel çalışma-Elektrik	Elektrik	Topraklama olmayan, hasarlı el aletlerinin kullanılması	Elektrik çarpması	Çalışanlar
GR-3	Elektrik panoları	Elektrik	Yanıcı/parlayıcı malzeme bulunan yerlerde uygun olmayan (exproof) pano/elektrik tesisatı kullanılması	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
GR-3	Genel çalışma-Elektrik	Elektrik	Eksik/Uygun olmayan KKD kullanımı	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
GR-3	Genel çalışma-Elektrik	Elektrik	Elektrik kablolarında uygun olmayan ek bağlantılarının olması, izolasyonların eksik olması	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
GR-3	Elektrik panoları	Elektrik	Elektrik panolarında uygun uyarı ve işaret tabelalarının bulunmaması	Elektrik çarpması	Çalışanlar, yolcular
GR-3	Genel çalışma-Elektrik	Elektrik	Elektrik panolarında, tesislerinde uygun olmayan söndürücü ile müdahale edilmesi	Yangının artması	Çalışanlar
GR-3	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Elektrik	Ana hattaki elektriğin kesilmemesi	Elektrik çarpması/Yangın	Çalışanlar
GR-3	Elektrik panoları	Elektrik	Elektrik panolarının kapaklarının kilitle olmaması	Elektrik çarpması	Çalışanlar, yolcular
GR-3	Elektrik panoları	Elektrik	Elektrik panolarının sabitlenmemesi	Elektrik çarpması	Çalışanlar
G4- SIRALAMA					
GR-4	Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarım Faaliyeti	Yüksekte çalışma	Uygun olmayan, eksik ekipmanla yüksek yapılan çalışmalar	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu üstünde giden ray taşıma iş kamyonu	Güvenlik ekipmanlarının takılmadan taşıma operasyonu yapılması	İş kazası/ yaralanma	Çalışanlar/3. şahıslar
GR-4	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Elektrikli el aletleri	El aletlerinin amacı dışında kullanılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Yüksekte çalışma	Aşırı rüzgarlı havada çalışma, yeterli ve gerekli koruyucuları kullanmamak	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Güç ve Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarımı	Trafo Merkezleri	Yangın algılama ve söndürme sistemlerinin olmaması, arızalı olması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar

GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden demiryolu Kataner bakım aracı	Araç üstü platform sisteminin arızalı (hidrolik, mekanik, elektronik) olması ve bu şekilde kullanılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu makasları	Makasların uygun olmayan/hatalı şekilde bakım ve onarımlarının yapılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Kaygan zemin,	Atölye, teknik mahal vb. kaygan olan kaygan zeminde kayma, düşme vb. durumlar	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GR-4	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Uygun olmayan zemin,	Atölye, teknik mahal vb. hasarlı, olan zeminde takılma, düşme vb. durumlar	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GR-4	Güç ve Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarımı	Trafo Merkezleri	Trafo Merkezinde KKD kullanılmaması, enerji maveralarında uygun operasyon yapılmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat Buraj makinesi kullanımı	Çok fazla çalışma yapılması titreşim ve gürültüye maruz kalınması	İş kazası / kas, iskelet hasarları	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat trifonaj makinesi kullanımı	Çok fazla çalışma yapılması titreşim ve gürültüye maruz kalınması	İş kazası / kas, iskelet hasarları	Çalışanlar
GR-4	Güç ve Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarımı	Trafo Merkezleri	Trafik kontrol merkezinden hatalı operasyon yapılması,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat trifonaj makinesi kullanımı	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması	İş kazası	Çalışanlar
GR-4	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Çalışanın bilgi/tecrübesi	Uygun nitelikte olmayan personelin işe yönlendirilmesi	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Güç ve Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarımı	Trafo Merkezleri	Operasyon, manevra, elektrik ile ilgili talimatların olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat Buraj makinesi kullanımı	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması	İş kazası/yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarım Faaliyeti	Elektrik Çarpması	Kataner Telleri, Yüksek Gerilim Besleme Hatları enerjilerinin kesilmeden, topraklama yapılmadan çalışılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat Buraj makinesi kullanımı	Yanlış şekilde kullanım ve/veya taşıma	Yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat trifonaj	Yanlış şekilde kullanım ve/veya taşıma	İş kazası	Çalışanlar

		makinesi kullanımı			
GR-4	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Elektrikli el aletleri	Hasarlı elektrik tertibatı, kaçak akım, topraklama vb. olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Güç ve Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarımı	Trafo Merkezleri	Yetkili operatör belgesi (EKAT, YG) olmayan, yetkisiz kişilerin trafo merkezine girmesi	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Rayda giden Hat Bakım/Kataner Bakım ve Taşlama Kamyonu	Uygun olmayan yerde (kabin dışı, kasa, araç üstü vb.) yolculuk yapma, düşme	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden demiryolu hat bakım Unimog aracı	Operatör belgesi olmayan, yetkisiz kişilerin kullanımı	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden demiryolu hat bakım Unimog aracı	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması, (frenlerin arızalı olmaması, hidrolik kaçakları vb.)	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Tramvay/Metro araçları alt bakımları	Mobil Jack Kaldırma Platformları	Hatalı yerleşim sonucu tramvay/metro araçlarının kaldırılırken, kayması, devrilmesi, düşmesi vb. durumlar	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Tramvay/Metro araçları alt bakımları	Mobil Jack Kaldırma Platformları	Hasarlı elektrik tertibatı, hidrolik, pnömatik sistem, kaçak akım, topraklama vb. olmaması,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Genel çalışma	Çalışma bölgesinin güvenliğinin sağlanmaması, 3. şahıslar, araçlar vb. kazaya sebebiyet verme	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Jeneratör kullanımı	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması	İş kazası	Çalışanlar
GR-4	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Elektrikli el aletleri	El aletlerinin bakımlarının eksik olması,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden Unimog demiryolu Kataner bakım aracı	Operatör belgesi olmayan, yetkisiz kişilerin kullanımı	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden Unimog demiryolu Kataner bakım aracı	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması, (frenlerin arızalı olmaması, hidrolik kaçakları vb.)	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu üstünde giden ray taşlama iş kamyonu	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması, (frenlerin arızalı olmaması, hidrolik kaçakları vb.)	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar

GR-4	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Elektrikli el aletleri	Hasarlı arızalı parçaları ile kullanılması, koruyucu vb. ekipmanlarının olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Bakım ve Onarım Faaliyeti	İletişim eksikliği	Aynı bölgede yapılan farklı çalışmalarda çalışanlarının birbirini fark etmemesi,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Kataner Elektrik Hattı Bakım/Onarım Faaliyeti	Kataner Hatları	Eksik, yetersiz bakım nedeniyle kataner hatlarında, gevşeme, kopma vb. olması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar, yolcular
GR-4	Tramvay/Metro araçları alt bakımları	Alt bakım çukurları	Çukur içlerinde zeminde yağ, su vb. kalması, çeşitli engeller sonucu kayma, takılıp düşme	İş kazası/yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden demiryolu hat bakım Unimog aracı	İşletim merkezi ile koordineli çalışmama, başka araçlarla çarpışma	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Ray üstünde giden Unimog demiryolu Kataner bakım aracı	İşletim merkezi ile koordineli çalışmama, başka araçlarla çarpışma	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Yüksekte çalışma	Eğitimsiz ve yetkisiz personelin çalıştırılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Genel çalışma	Çalışanların iş talimatlarına uymaması,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu üstünde giden ray taşıma iş kamyonu	İşletim merkezi ile koordineli çalışmama, başka araçlarla çarpışma	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu üstünde giden ray taşıma iş kamyonu	Operatör belgesi olmayan, yetkisiz kişilerin kullanımı	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Tramvay/Metro araçları alt bakımları	Alt bakım çukurları	Çukur kenarlarında korkuluk olmaması, iniş çıkış merdivenlerinin uygun olmaması, çukur yüksekliğinin uygun olmaması	İş kazası/yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Tramvay/Metro araçları alt bakımları	Alt bakım çukurları	Çukur içlerinde yeterli aydınlatma olmaması	İş kazası/yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat Buraj makinesi kullanımı	Makinenin yanlış yerde, tramvay/metro hattında bırakılması	İş kazası	Çalışanlar
GR-4	Demiryolu Ray Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Benzinli Demiryolu Hat trifonaj makinesi kullanımı	Makinenin yanlış yerde, tramvay/metro hattında bırakılması	İş kazası	Çalışanlar
GR-4	Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu makasları	Makaslara Trafik Kontrol Merkezinde hatalı şekilde ve zamanda komut	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar

			gönderilmesi (Üzerinden araç geçerken vb.)		
GR-4	Bakım ve Onarım Faaliyeti	Elektrikli el aletleri	El aletlerinin geçiş bölgelerinde, duraklarda, istasyonlarda vb. bırakılması, takılıp, düşme vb. olaylar	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-4	Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Demiryolu makasları	Makaslara manuel müdahale edilmesi ve yarım şekilde açık bırakılması, makasların tam tanzim edilememesi	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-4	Hat Bakım ve Onarım Faaliyeti	Jeneratör kullanımı	Yanlış yakıt kullanılması	İş kazası	Çalışanlar
G5- SIRALAMA					
GR-5	Taşıma faaliyetleri	Forklift/transpalet/ mobil vinç vb.	Belirlenen hız sınırlarının üstüne çıkılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-5	Taşıma faaliyetleri	Forklift/ mobil vinç vb.	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması, (frenlerin arızalı olmaması, hidrolik kaçaqları vb.)	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-5	Taşıma faaliyetleri	Atölye içi gezer vinç/pergel vinç	Kaldırılan yükün üstüne çıkılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-5	Taşıma faaliyetleri	Forklift/transpalet/ mobil vinç vb.	Kaldırılan yükün üstüne çıkılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-5	Taşıma faaliyetleri	Forklift/mobil vinç vb.	Uygun olmayan/kapasite üstü şekilde yükleme yapılması, devrilme, halat/zincir kopması vb.	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-5	Taşıma faaliyetleri	Genel, El ile	Uygunsuz biçimde hatalı ve kaldırma kapasitesinden fazla yük taşıma,	Yaralanma	Çalışanlar
GR-5	Taşıma faaliyetleri	Atölye içi gezer vinç/pergel vinç	Uygun olmayan/kapasite üstü şekilde yükleme yapılması, devrilme, halat/zincir kopması vb.	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-5	Taşıma faaliyetleri	Forklift/ mobil vinç vb.	Operatör belgesi olmayan, yetkisiz kişilerin kullanımı	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-5	Taşıma faaliyetleri	Atölye içi gezer vinç/pergel vinç	Yetkisiz kişilerin kullanımı	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-5	Taşıma faaliyetleri	Atölye içi gezer vinç/pergel vinç	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması, (frenlerin arızalı olmaması, vb.)	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-5	Taşıma faaliyetleri	Transpalet	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması, (frenlerin arızalı olmaması, hidrolik kaçaqları vb.)	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-5	Taşıma faaliyetleri	Transpalet	Uygun olmayan/kapasite üstü şekilde yükleme yapılması, devrilme, vb.	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
G6- SIRALAMA					
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Sütun matkap, torna tezgahı, pres vb. makineler	Hasarlı elektrik tertibatı, kaçak akım, topraklama vb. olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar

GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Hareketli pantograf sistemi	Platforma çıkış kapılarında enerji kesen switchlerin olmaması veya arızalı olması sonucu elektrik çarpması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Hareketli pantograf sistemi	Uyarı alarmları, sinyal lambalarının, eksik veya arızalı olması, elektrik çarpması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Kum Doldurma Makinesi	Uygun olmayan KKD kullanımı nedeniyle, yaralanma, toz, kum yutulması	Yaralanma, hastalık	Çalışanlar
GR-6	Atölyede Basınçlı Tüp Kullanımı	Basınçlı tüpler	Tüplerin güneş altında, sahada bırakılması, gelişi güzel istiflenmesi,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Gürültülü ortam	Fazla sesli yapılan çalışmalar, atölye ile idari ofisler arası ses yalıtımı olmaması vb. durumlar	İşitme kaybı	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Çalışanların kıyafetleri	Yapılan işe uygun olmayan kıyafet (bol, dar, sarkık giysiler vb.) giyilmesi sonucu yaşanan olaylar,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Sütün matkap, torna tezgahı, pres vb. makineler	Makinelere (Sütünlu matkap, torna tezgahı pres makinası vb.) hareketli kısımlarına temas, makinelere koruyucu ekipmanlarının bulunmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Sütün matkap, torna tezgahı, pres vb. makineler	Eksik uyarı etiketleri ve kullanım talimatlarının olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölyede Basınçlı Tüp Kullanımı	Basınçlı tüpler	Tüplerin uygun olmayan şekilde taşınması, taşıma arabası vs. olmadan	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölyede Basınçlı Tüp Kullanımı	Basınçlı tüpler	Tüplerin depolama alanlarında düşmeye karşı önlem alınmadan bırakılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Tramvay/metro aracı teker tornası	Torna cihaz çukurunun kenarlarında korkuluk olmaması, iniş çıkış merdivenlerinin uygun olmaması, çukur yüksekliğinin uygun olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Tramvay/metro aracı teker tornası	Torna cihaz çukurunun içlerinde zeminde yağ, su vb. kalması, çeşitli engeller sonucu kayma, takılıp düşme	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Tramvay/metro aracı teker tornası	Eğitimsiz ve yetkisiz personelin makineleri kullanması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Sütün matkap, torna tezgahı, pres vb. makineler	Eğitimsiz ve yetkisiz personelin makineleri kullanması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Kompresörle çalışmalar	Bakımlarının ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı vb. ekipmanla kullanılması,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölyede Basınçlı Tüp Kullanımı	Basınçlı tüpler	Tüplerde bulunan göstergelerin arızalı olması, kullanılan ekipmanların hasarlı ya da uygun olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Tramvay/metro aracı teker tornası	Torna cihaz çukurunun içlerinde yeterli aydınlatma olmaması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar

GR-6	Atölyede Basınçlı Tüp Kullanımı	Basınçlı tüpler	Yanıcı/parlayıcı malzemelerin yanında tüpler ile çalışma yapılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Kompresörle çalışmalar	Kompresörün açıkta ve çalışanlara yakın olması, patlama riski	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GR-6	Atölye Makine Kullanımı	Sütün matkap, torna tezgahı, pres vb. makineler	Acil durumda durdurma butonlarının olmaması, arızalı olması,	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
G7- SIRALAMA					
GR-7	Tramvay/Metro araç üstü Çalışma	Tekerlekli merdiven/iskele	Tekerlekli merdiven/iskele frenlerinin olmaması	Düşme/yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GR-7	Tramvay/Metro araç üstü Çalışma	Tekerlekli merdiven/iskele	Merdiven/iskele korkuluklarının olmaması, yetersiz yükseklikte, sağlam olmaması	Düşme/yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GR-7	Tramvay/Metro araç üstü Çalışma	Tekerlekli merdiven/iskele	Üzerinde insan varken hareket ettirilmesi	Düşme/yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GR-7	Tramvay/Metro araç üstü Çalışma	Platform kullanımı	Platform korkuluklarının olmaması, yetersiz yükseklikte, sağlam olmaması	Düşme/yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GR-7	Tramvay/Metro araç üstü Çalışma	Platform kullanımı	Platform tabanında boşluklar olması,	Düşme/yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GR-7	Atölye Çalışmaları	Yetersiz aydınlatma	Atölye vb. Teknik mahallerde aydınlatmaların yetersiz olması, arızalı ekipmanların bulunması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
G8- SIRALAMA					
GR-8	Kişisel koruyucu donanım kullanımı	KKD	KKD' lerin yanlış şekilde kullanılması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GR-8	Kişisel koruyucu donanım kullanımı	KKD	Yapılacak işin niteliğine göre uygun KKD kullanılmaması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GR-8	Kişisel koruyucu donanım kullanımı	KKD	KKD' lerin doğru şekilde muhafaza edilmemesi, temizlik ve bakımının yapılmaması (koruyucu özelliğini yitirmesi vb.)	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
G9- SIRALAMA					
GR-9	Acil Durum Faaliyetleri	Yangın	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. Seyyar yangın söndürme tüplerinin bulunmaması,	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-9	Acil Durum Faaliyetleri	Yangın	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. Seyyar yangın söndürme tüplerinin uygun olmayan yerlerde ve şekilde bulunması,	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-9	Acil Durum Faaliyetleri	Yangın	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. Seyyar yangın söndürme tüplerinin periyodik kontrollerinin yaptırılmaması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-9	Acil Durum Faaliyetleri	Acil Durum	Kapalı mekan, istasyonlar vb. bulunan Yangın söndürme ekipmanları,	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular

			pompalar, sprinklerin bakımlarının/testlerinin yapılmaması, arızalı olması		
GR-9	Acil Durum Faaliyetleri	İlk yardım ekipmanları	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. İlk yardım ekipmanlarının bulunmaması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-9	Acil Durum Faaliyetleri	İlk yardım	İlk yardım sertifikalı personelin bulundurulmaması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-9	Acil Durum Faaliyetleri	Acil çıkış kapıları	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. bulunan acil çıkış kapılarının önüne eşya konulması, acil çıkış kapılarının uygun yapıda olmaması, kilitli olması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-9	Acil Durum Faaliyetleri	Acil durum toplanma bölgeleri	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. Acil durum toplanma bölgelerinin olmaması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-9	Acil Durum Faaliyetleri	Acil durum eylem planları	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. Acil durum eylem planlarının olmaması, tatbikatlarının yapılmaması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-9	Acil Durum Faaliyetleri	Acil durum yönlendirmeleri	Atölye, teknik mahal, istasyon vb. Acil durum yönlendirme tabelalarının ve aydınlatmalarının olmaması/yetersiz olması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
GR-9	Acil Durum Faaliyetleri	Acil Durum	Acil durum müdahale ekiplerinin belirlenmemiş olması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar, yolcular
G10- SIRALAMA					
GRS-10	Tramvay/metro aracı temizliği	Elektrik Çarpması	Yıkama alanında açıkta elektrik kabloları, hasarlı elektrik tesisatı bulunması, topraklama eksikliği sonucunda oluşan elektrik çarpmaları	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GRS-10	Tramvay/metro aracı temizliği	Kimyasal maddeler	Tehlikeli kimyasallar, sonucu zehirlenme, boğulma vb. durumlar	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GRS-10	Temizlik faaliyeti	Dikkatsiz davranış	Temizlik personelinin faaliyeti sırasında telefonla konuşması, kulaklık takması vb.	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GRS-10	Temizlik faaliyeti	Dikkatsiz davranış	Temizlik personelinin tramvay/metro hatlarına bilgi vermeden/izinsiz giriş yapması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GRS-10	İdari Ofis İşleri	Gürültülü ortam	Fazla sesli yapılan çalışmalar, atölye ile idari ofisler arası ses yalıtımı olmaması vb. durumlar	İşitme kaybı	Çalışanlar
GRS-10	Tramvay/metro aracı temizliği	Kaygan zemin,	Yıkama alanında kaygan zeminden dolayı kayma, düşme vb. durumlar	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GRS-10	Depolama faaliyeti	Ağır malzemeler, düzensiz istifleme	Uygun olmayan rafların kullanılması, ağır malzemelerin üst raflarda tutulması, düşme vb. olaylar	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GRS-10	İdari Ofis İşleri	Elektrik, çeşitli kablolar	Düşme, takılma vb. durumlar	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GRS-10	İdari Ofis İşleri	Zemin kaplamaları	Uygun olmayan zemin kaplamaları, ıslak bırakılan yerler vb. Sonucu, düşme, takılma vb. durumlar	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GRS-10	Depolama faaliyeti	Kimyasal malzemeler	Farklı kimyasal malzemelerin bir arada bulunması, (Yanıcı, parlayıcı, patlayıcı vs.)	Patlama/Yaralanma/Ölüm/Yangın	Çalışanlar, yolcular
GRS-10	İdari Ofis İşleri	Aydınlatma	Yetersiz aydınlatma, görme bozukluğu	Yaralanma	Çalışanlar

GRS-10	Depolama faaliyeti	Kaynak, taşlama vb. makine kullanımı	Kimyasal veya yanıcı maddelerin bulunduğu depolarda kaynak işlemi yapılması, spiralle taşlama, kesme vb. işlemler yapılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GRS-10	İdari Ofis İşleri	Kırık prizler, hasarlı kablolar, topraksız hatlar	Uygun olmayan elektrik tesisatı, priz vb. ile topraklama hattının olmaması nedeniyle tehlikeli durumların oluşması	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GRS-10	Depolama faaliyeti	Kimyasal malzemeler	Uygun olmayan ortamda depolama yapılması, havalandırma eksikliği, eğitimsiz ve ekipmansız personelin depoya girişi	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GRS-10	İdari Ofis İşleri	Koltuk, masa vb.	Uygun olmayan çalışma koltuk, masa vb. ekipmanlar	Kas, iskelet sistemi bozulmaları	Çalışanlar
GRS-10	İdari Ofis İşleri	Ekranlı çalışma	Uygun olmayan ekran vb. ekipmanlar	Göz, Kas, iskelet sistemi bozulmaları	Çalışanlar
GRS-10	Temizlik faaliyeti	Ray üstünde giden temizlik kamyonu	Operatör belgesi olmayan, yetkisiz kişilerin kullanımı	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GRS-10	Temizlik faaliyeti	Ray üstünde giden temizlik kamyonu	Bakımların ve periyodik kontrollerinin yaptırılmaması, arızalı, hasarlı durum ve ekipmanla kullanılması	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GRS-10	Temizlik faaliyeti	Ray üstünde giden temizlik kamyonu	İşletim merkezi ile koordineli çalışmama, başka araçlarla çarpışma	İş kazası/ ölüm / yaralanma	Çalışanlar
GRS-10	İdari Ofis İşleri	Acil çıkış kapıları	Acil durumlarda kapıların çalışmaması, kilitli olması vb. durumlar	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GRS-10	İdari Ofis İşleri	Acil çıkış yönlendirmeleri	Arızalı, eksik yönlendirmeler, acil durumda tahliye edilememe vb.	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GRS-10	İdari Ofis İşleri	İklimlendirme	Uygun olmayan ısıtma, soğutma, havalandırma sistemleri, bunalma, aşırı terleme, üşüme, dikkat bozukluğu vb.	Hastalanma, bayılma	Çalışanlar
GRS-10	Çalışan Personelin Temini	Mesleki yeterlilik	Tehlikeli ve çok tehlikeli işlere uygun mesleki yeterlilikte personelin seçilmemesi	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GRS-10	Çalışan Personelin Temini	İş sağlığı ve güvenliği eğitimi	Çalışan personele işe başlamadan önce iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili eğitimlerin verilmemesi,	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar
GRS-10	Çalışan Personelin Temini	Mesleki veya saptanmış hastalıklar	Çalışan personelin işe giriş öncesi periyodik muayenelerin yapılmaması, önceki/mevcut hastalıklarının tespit edilmemiş olması	Hastalık	Çalışanlar
GRS-10	Çalışan Personelin Temini	Yangın eğitimi	Çalışan personele işe başlamadan önce yangın ilgili eğitimlerin verilmemesi,	Yaralanma/ölüm	Çalışanlar

12. ÖZGEÇMİŞ

