

Demiryolu Araç Bakım Planlamasında Etkili Olan Faktörlerin Çok Kriterli Karar
Verme Yöntemleriyle İncelenmesi

Bilge Akcaalan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Raylı Sistemler Anabilim Dalı

Mart 2023

Analysis of Effective Factors in Railway Vehicle Maintenance Planning with Multi-
Criteria Decision Making Methods

Bilge Akcaalan

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Railway Systems

March 2023

Demiryolu Araç Bakım Planlamasında Etkili Olan Faktörlerin Çok Kriterli Karar
Verme Yöntemleriyle İncelenmesi

Bilge Akcaalan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Raylı Sistemler Anabilim Dalı

Raylı Sistemler Kontrol ve Sinyalizasyon Mühendisliği Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Hasan Hüseyin Erkaya

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cevat Özarpa

Mart 2023

ONAY

Raylı Sistemler Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi **Bilge Akcaalan**'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Demiryolu Araç Bakım Planlamasında Etkili Olan Faktörlerin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Hasan Hüseyin Erkaya

İkinci Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Cevat Özarpa

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Hasan Hüseyin Erkaya

Üye: Prof. Dr. Aydın Sipahioğlu

Üye: Doç. Dr. Selami Sağıroğlu

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Hasan Hüseyin ERKAYA'nın danışmanlığında ve Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA'nın 2. danışmanlığında hazırlamış olduğum "Demiryolu Araç Bakım Planlamasında Etkili Olan Faktörlerin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle İncelenmesi" başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.

Bu tez çalışmasında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri İnsan Araştırmaları Etik Kurulu'nun 02/03/2023 tarih ve 2023-05 sayılı kararıyla veri toplama uygulaması yapılmıştır. 20/03/2023

Bilge Akcaalan

İmza

ÖZET

Raylı sistemlerin kesintisiz ve sürdürülebilir hizmet sağlamasında raylı sistem araçlarının bakım faaliyetleri önemli bir role sahiptir. Bu bakım faaliyetlerinin olabildiğince etkili ve verimli bir biçimde yapılması gerekir. Bu çalışmada demiryolu araç bakım planlamasını en verimli şekilde yapabilmek için, bakım planlamasına etki eden parametreler belirlenmiş ve bu parametrelerin farklı bakım türlerince etkileri Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ile incelenmiştir. Çalışma kapsamında demiryolu araç bakım planlamasında etkili olan faktörler 13 kriter olarak, araç bakımında sıklıkla kullanılan bakım türleri ise 6 seçenek olarak belirlenmiştir. Kriterlerin önem ağırlıklarını hesaplamak için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi bir hesap tablosu programı ile kullanılmıştır. AHP yöntemiyle elde edilen sonuçlara göre Personel Tecrübesi kriteri 0,131 ağırlığına sahip olarak (%13,069) en yüksek öneme sahip kriter olarak bulunmuştur. Çalışmada, seçeneklerin değerlendirilmesi için kullanılan çok kriterli karar verme yöntemi PROMETHEE'dir. Elde edilen verilere göre en yüksek genel üstünlük değerine sahip olan seçenek 0,1359 ile İzleme Yöntemiyle Bakım olarak bulunmuştur. Uygulama sonucunda; bakım planlamasında en önemli parametrenin personel tecrübesi olduğuna, bakım türleri arasında en yüksek verime sahip olan yöntemin de izleme yöntemiyle bakım olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bakım planlaması, Çok kriterli karar verme, AHP, PROMETHEE

SUMMARY

The maintenance activities of rail system vehicles have an important role in providing uninterrupted and sustainable service of rail systems. Such activities need to be carried out as effectively and efficiently as possible. In this study, in order to make railway vehicle maintenance planning the most efficient way, the parameters affecting the maintenance planning were determined, and the effects of these parameters on various maintenance types were examined with Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods. Within the scope of the study, 13 factors that are effective in railway vehicle maintenance planning were determined as criteria, and 6 types of maintenance approaches frequently used in vehicle maintenance were determined as options. The Analytical Hierarchy Process (AHP) method was used with a spreadsheet program to calculate the importance weights of the criteria. According to the AHP method, the Personnel Experience criterion was found to be the most important criterion with a weight of 0.131 (13.069%). In the study, the multi-criteria decision-making method PROMETHEE is used to evaluate the options. The option with the highest overall superiority value was found to be Maintenance by Monitoring Method with a weight of 0.1359. It has been concluded that the most important parameter in maintenance planning is the staff experience, and the method with the highest efficiency among the maintenance types is maintenance by monitoring method.

Keywords: Maintenance planning, Multi-criteria decision making, AHP, PROMETHEE

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. RAYLI SİSTEMLERDE BAKIM	9
3.1. Demiryollarında Bakım Kavramı	9
3.2. Bakımın Amacı ve Demiryollarındaki Önemi	12
3.3. Bakımın Kalitesini Etkileyen Faktörler	14
3.4. Bakım Yöntemleri	15
3.4.1. Planlı bakım	17
3.4.1.1. <u>Koruyucu bakım</u>	18
3.4.1.2. <u>Önleyici bakım</u>	20
3.4.1.3. <u>İzleme yöntemiyle bakım</u>	22
3.4.1.4. <u>Öngörücü bakım</u>	23
3.4.1.5. <u>Kestirimci bakım</u>	24
3.4.1.6. <u>Revizyon bakımı</u>	25
3.4.2. Plansız bakım	27
3.5. Bakım Planlaması	28
4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME	31
4.1. Karar Verme	31
4.2. Karar Verme Süreci	32
4.3. Çok Kriterli Karar Verme	34
4.3.1. AHP (<i>Analitik hiyerarşi prosesi</i>)	35
4.3.1.1. <u>AHP yönteminin uygulanması</u>	36
4.3.1.2. <u>AHP yönteminin avantajları</u>	44
4.3.1.3. <u>AHP yönteminin dezavantajları</u>	45
4.3.2. PROMETHEE (<i>Zenginleştirme değerlendirme yönteminin tercih sıralamalı organizasyonu</i>)	46

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.3.3. TOPSIS (<i>İdeal çözüme benzerliğe göre sıralama tercihi tekniği</i>)	50
4.3.4. COPRAS (<i>Karmaşık oransal değerlendirme</i>)	52
4.3.5. VIKOR (<i>Çok kriterli optimizasyon ve uzlaşık çözüm</i>)	54
4.3.6. ANP (<i>Analitik ağ süreci</i>)	55
4.3.7. ELECTRE (<i>Gerçek boyutlu eleme ve seçim</i>)	57
4.3.8. MOORA (<i>Oran analizine dayalı çok hedefli optimizasyon</i>)	58
4.3.9. SMART (<i>Basit çok ölçütlü derecelendirme</i>)	58
5. MATERYAL VE YÖNTEM	60
5.1. Karar Probleminin Tanımlanması	60
5.2. Karar Problemine İlişkin Kriterlerin ve Seçeneklerin Belirlenmesi	60
5.3. AHP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	66
5.4. Tutarlılık Oranının Belirlenmesi.....	70
5.5. Seçeneklerin PROMETHEE ile Değerlendirilmesi	70
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	73
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR DİZİNİ	84
EK AÇIKLAMALAR	88
Ek Açıklama-A: Etik Kurul İzni.....	88
Ek Açıklama –B.1: Uzman 1 Tarafından Değerlendirilen İkili Karşılaştırma Matrisi.....	89
Ek Açıklama –B.2: Uzman 2 Tarafından Değerlendirilen İkili Karşılaştırma Matrisi.....	90
Ek Açıklama –B.3: Uzman 3 Tarafından Değerlendirilen İkili Karşılaştırma Matrisi.....	91
Ek Açıklama –B.4: Uzman 4 Tarafından Değerlendirilen İkili Karşılaştırma Matrisi.....	92
Ek Açıklama –B.5: Uzman 5 Tarafından Değerlendirilen İkili Karşılaştırma Matrisi.....	93

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Yük vagonu bakım onarım faaliyetleri	10
3.2. Etimesgut YHT Ana Bakım Atölyesi	12
3.3. Mühendislik gelişimine göre bakım türleri	13
3.4. Bakımın kalitesine etki eden faktörler	14
3.5. Bakım yöntemlerinin şematik gösterimi	16
4.1. Karar verme sürecinin aşamaları	32
4.2. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin amaçlarına göre sınıflandırılması	34
4.3. Karar problemini oluşturan etmenler	36
4.4. AHP yönteminin uygulama aşamaları	36
4.5. Karar problemini oluşturan hiyerarşik yapı	38
4.6. PROMETHEE uygulama aşamaları	47
4.7. ANP yönteminin uygulama aşamaları	56
5.1. Hiyerarşik yapı modellemesi	65
5.2. Visual PROMETHEE için veri tanımlamaları	71
5.3. Seçeneklerin pozitif ve negatif üstünlük değerleri	72
6.1. Kriter ağırlıklarının daire grafiği olarak gösterilmesi	75
6.2. Genel üstünlük değerlerinin sütun grafiği ile gösterilmesi	77
6.3. PROMETHEE 1 kısmi değerlendirme sonuçları	78
6.4. İzleme yöntemiyle bakımın kriterlere göre üstünlük değerlendirmesi	79
6.5. Reaktif bakımın kriterlere göre üstünlük değerlendirmesi	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Saaty ölçeği	39
4.2. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması	40
4.3. Rassal indeks değerleri	44
4.4. Tercih fonksiyonları türleri	48
5.1. Belirlenen kriterler	61
5.2. Belirlenen seçenekler	64
5.3. İkili karşılaştırma matrislerinden elde edilen geometrik ortalama değerleri	68
5.4. Normalize matris	69
5.5. Kriterlerin önem ağırlıkları	67
6.1. Önem ağırlıklarına göre sıralanmış kriterler	74
6.2. Demiryolu araç bakım planlamasına etki eden faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması	76
6.3. Seçeneklerin genel üstünlük değerleri (Phi)	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

λ	temel değer
$\Phi^+(a), \text{Phi}^+$	pozitif üstünlük değeri
$\Phi^-(a), \text{Phi}^-$	negatif üstünlük değeri

Kısaltmalar

Açıklama

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	Analitik Ağ Süreci
CI	Tutarlılık İndeksi (<i>Consistency Index</i>)
COPRAS	Karmaşık Oransal Değerlendirme
CR	Tutarlılık Oranı (<i>Consistency Ratio</i>)
DEMATEL	Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı (<i>Decision Making Trial and Evaluation Laboratory</i>)
ELECTRE	Gerçek Boyutlu Eleme ve Seçim
ECM	Bakımdan Sorumlu Kuruluş
GAIA	Geometrical Analysis for Interactive Aid
MOORA	Oran Analizine Dayalı Çok Hedefli Optimizasyon
ÖSY	Öngörü Sağlık Yönetimi
PROMETHEE	Zenginleştirme Değerlendirme için Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi
RI	Rassal İndeks

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
SMART	Basit Çok Ölçütlü Derecelendirme
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tercih Tekniği
TÜRASAŞ	Türkiye Raylı Sistem Araçları Sanayi A.Ş.
UIC	Uluslararası Demiryolları Birliği
VIKOR	Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm
YHT	Yüksek Hızlı Tren

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Güvenli, güvenilir, konforlu, ekonomik ve çevreci olması nedeniyle, şehir içi ve şehirlerarası yolcu taşımacılığında ve şehirlerarası yük taşımacılığında raylı sistemler tercih edilmektedir. Raylı sistemlerde kullanılan çeken ve çekilen araçlar 40 – 50 yıl gibi uzun süreler hizmet vermek üzere tasarlanır ve imal edilirler. Bu araçların beklenen hizmeti sağlaması ve raylı sistemin sürdürülebilir ve sürekli olması için, raylı sistem bileşenleri ve araçlarının düzenli veya gerektiğinde bakımlarının yapılması gerekir. Raylı sistemlerde bakım hususu sistemin ilk tasarlanmasına ele alınır. Sistemin gelişmesi, araç hızlarının artması, daha büyük dingil yüklerinin taşınabilmesi, diğer kara taşıtlarıyla etkileşimin artması ve ortaya çıkan yeni riskler, bakım hususunun sürekli olarak gündemde kalmasını gerektirir.

Raylı sistemlerde bakım hususunun öneminin farkına varılarak, bakım konusunda pek çok yaklaşımlar geliştirilmiş ve gelişen teknolojinin bu yönde kullanılmasıyla birçok bakım yöntemi uygulanmaya başlamıştır. Uygulanan bakım türleri günün koşullarıyla evrilerek her geçen gün geliştirilmektedir. Bu gelişim için raylı sistemlerde uygulanan bakım yöntemlerinin incelenip gelişime açık noktalarının saptanması ve bu doğrultuda çalışmalara yön vermek gelecek için iyi bir yatırım sayılır.

Raylı sistemler bakım yöntemlerini verimli bir şekilde uygulayabilmek için gerekli bakım planlamalarının doğru bir şekilde yapılması gerekir. Doğru bir planlama ile minimum zarar maksimum kazanç elde edilebilmekte ve raylı sistemler ağının daha güvenli bir hizmet sunması sağlanabilmektedir. Fakat iyi bir bakım planlaması yapabilmek için öncelikli olarak bakım planlamasına etki eden parametrelerin tespit edilmesi ve bu parametrelerin bakım planlamasına olan etkilerinin gözlemlenmesi gerekir.

Literatürde raylı sistemler bakım planlamasına etki eden parametrelerin incelenmesine yönelik bir çalışma bulunmamıştır. Raylı sistemler bakım planlamasına birden çok parametre etki ettiği ve bu parametrelerin etkisi sonucu bir karar problemi oluşturduğu fark edilerek, bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmanın raylı sistemler bakım planlaması alanında yapılması tercih edilmiş ve

literatürde benzer bir çalışmanın bulunmaması ile özgün bir çalışma ortaya çıkmıştır. Çalışmada raylı sistemler bakım planlamasına etki eden parametreler incelenerek tespit edilmiş ve planlamanın maksimum verim sağlayabilecek düzeyde yapılabilmesi için, planlamaya etki eden parametreler çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak, raylı sistemler bakım planlamasına etki eden faktörlerin bakım planlaması üzerindeki etkisi değerlendirilerek çalışmanın sonunda elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Bu tez çalışmasında literatürde bulunan raylı sistemler bakım alanında yapılan, çok kriterli karar verme yöntemleri ile benzer sektörlerde uygulamada bulunulan çalışmalara Bölüm 2’de Literatür Araştırması başlığı altında yer verilmektedir. Raylı sistemlerde bakım kavramı, bakımın raylı sistemler üzerindeki önemi, uygulanan bakım türleri Bölüm 3’de Raylı Sistemlerde Bakım başlığı altında detaylı olarak anlatılmaktadır. Çalışmada kullanılan çok kriterli karar vermenin temeline inen karar verme konusu ve literatürde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerine Bölüm 4’de Çok Kriterli Karar Verme başlığı altında yer verilmiştir. Tespit edilen raylı sistemler bakım faaliyetlerine etki eden faktörlerin çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP yöntemi ile ağırlıklandırılması ve elde edilen verilerin önem derecesine göre sıralanıp değerlendirilmesi Bölüm 5’de Materyal ve Yöntem başlığında verilmiştir. Aynı zamanda, belirlenen seçeneklerin çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan PROMETHEE ile değerlendirilerek ağırlıklandırılması da Bölüm 5’de bulunmaktadır. Uygulanan çalışma sonucu elde edilen veriler Bölüm 6’da Bulgular ve Tartışma başlığında, elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve çıkarılan sonuçlar Bölüm 7’de Sonuç ve Öneriler başlığında sunulmuştur. Bölüm 7’de aynı zamanda çalışma sonucunda elde edilen önerilere de yer verilerek bu alandaki gelecek çalışmalara fikir olması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Raylı sistemlerde hizmetin emniyetli, güvenilir ve sürdürülebilir bir şekilde sağlanması ve sürdürülmesi için gerekli bakımların olabildiğince verimli bir şekilde yapılması gereklidir. Çünkü bakım faaliyetleri işletme açısından oldukça maliyetli bir süreç olmaktadır. Bu yüzden bakımın verimli bir şekilde yapılabilmesi için, bakım sürecine etki eden parametreler incelenerek hangi bakım türünün hangi bölgede uygulanması gerektiğinin belirlenmesi gerekir. Bakım planlaması yapılarak, minimum maliyetle en yüksek verimi sağlayabilecek bakım sürecinin belirlenmesi sağlanabilir.

Yapılacak olan bakım faaliyetlerinin standartlaşması sonucunda raylı sistemlerde bakım konusundaki çalışmalar hız kazanmıştır. Bu kısımda raylı sistemlerdeki bakım kavramını daha iyi anlayabilmek ve bu konudaki eksiklikleri tespit edebilmek için yapılan bazı çalışmalardan bahsedilmiştir.

Çak vd. (2002), çalışmasında yolcu taşımacılığındaki bakım ve onarım konusunda bir modernizasyonun olması gerektiğini vurgulamış ve bu konuda özel sektörden destek alınabileceği önerisinde bulunmuştur.

Oktar (2014), çalışmasında Maslow'un ihtiyaçlar hiyerarşisindeki en temel ihtiyacı karşılama yolundaki ulaşım türlerinden biri olan raylı sistemlerin en büyük problemlerinden biri haline gelen arızalardan bahsederek, raylı sistemlerdeki bakım anlayışının temeline inilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Raylı sistemlerde bakım kavramının gelişmesi için katkıda bulunabilecek etkenleri sıralamış ve insanın yaşam standartlarının bu etkenlere bağlı olduğundan bahsederek çalışmasını tamamlamıştır.

Nappi (2014), raylı sistemlerde bakım faaliyetlerinin yüksek maliyetlere sebep olduğuna ve artan maliyetlerin işletmeyi zora soktuğuna vurgu yaparak bakım faaliyetlerindeki harcamaların kontrollü olması gerektiğinden bahsetmiştir. Bunun için bakım planlamasının önemli olduğunu ve planlamanın mümkün olduğunca en verimli şekilde yapılabilmesi için teknolojiye yararlanılması gerektiğini vurgulamıştır. Entegre bakım kavramını ortaya koyarak aracı izleyip belirlenen parametreler ışığında duruma

dayalı bakım stratejisi oluşturarak uygun zamana ve oluşan arızaya göre aracı iyileştirmeyi ve böylece verimlilik sağlanması gerektiğini çalışmada anlatmıştır.

Elden (2020), tez çalışmasında ÖSY (Öngörü ve Sağlık Yönetimi) yaklaşımı ile demiryollarında izleme sistemlerini kullanarak bakım çalışmalarının zamanından önce tahmin edilebileceğinden, bu sayede gelişen teknoloji ile daha verimli ve ekonomik bir bakım süreci gerçekleştirilebileceğinden bahsetmiştir.

Budai vd. (2006), çalışmalarında raylı sistemlerde gerçekleştirilen önleyici bakım faaliyetlerini azaltmadan, bakıma ayrılan maliyetlerin azaltılabilmesi gerektiğini vurgulayarak, bir hat üzerinde yapılacak bakım faaliyetlerinin mümkün olduğunca birleştirilmesinin gerekliliğini dile getirmiştir. Bu sayede bakım yapılacak olan hattaki demiryolu trafiği mümkün olduğunca az engellenmiş olmakla beraber hattın hizmet dışı kalma süresi de azaltılarak, bakım faaliyetleri esnasında meydana gelebilecek kayıpların en aza indirilebileceğini anlatmıştır. Yapılacak olan bakımın periyotları en uygun şekilde belirlenerek, hat sahiplik maliyetinin en aza indirilmesini sağlamak amaçlanmıştır.

Demiryolunda bakım faaliyetleri ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde araç bakım konusundaki kaynakların yetersiz olması sebebiyle bu konuda yeterince çalışma yapılmadığı düşünülmektedir. Bakım planlaması konusunda birçok parametre etkili olduğundan, çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılması bu alandaki çalışmaların daha uygulanabilir sonuçlar ortaya çıkarmasını sağlamaktadır. Bu bölümde raylı sistemler ve demiryollarında bakım özelinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalardan bahsedilmektedir.

Özdemir ve Özcan (2020), bakım süreçlerinin işletme için oldukça yüksek maliyetlere yol açtığından bahsetmiş, özellikle revizyon faaliyetlerinin işletmeyi yetersiz konuma getirebilmekte olduğuna değinmiştir. Çalışmalarında daha verimli bir revizyon planlaması uygulanması için çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bakım ve revizyona ihtiyaç duyan araçların öncelikleri belirlenerek firma için en faydalı olabilecek şekilde tespit edilen kriterler AHP ile ağırlıklandırılmış ve COPRAS yöntemi ile önem sırasına konulmuştur.

Sülüoğlu (2021), yapmış olduğu tez çalışmasında kent içi hafif raylı sistemlerden biri olan tramvay kazalarının sebeplerini araştırarak ortaya çıkan sonuçları incelemiştir. Tramvay kazalarına sebep olabilecek ölçütleri belirleyerek bu ölçütlerin ortaya çıkan kazaların sonuçlarıyla olan ilişkilerini AHP yöntemi ile ağırlıklandırmış, TOPSIS yöntemiyle sıralamış ve elde edilen verileri Minitab programıyla analiz etmiştir. Çalışma sonucunda, meydana gelen kazaların sebepleri arasında en büyük ağırlığa sahip olan ölçütün taşıt kusurları olduğu ortaya çıkmış, kazadan sonra ortaya çıkan seçenekler arasında en fazla maddi hasara yol açıldığı belirlenmiştir.

Uray (2021), çalışmasında demiryolu yol bakım faaliyetlerinde ortaya çıkan kazaları inceleyerek bir risk değerlendirmesi uygulamış, sonucunda elde edilen verileri L matris yöntemi ile sayısallaştırmıştır. Çalışmada aynı zamanda uygulanan yol bakım faaliyetlerindeki “çok yüksek risk” belirten durumlara odaklanılmış, dikkat edilmesi gereken aşamalardan ve bakım esnasında alınması gereken önlemlerden bahsedilmiştir.

Gençer vd. (2021), yapmış olduğu çalışmada son zamanlarda oldukça gündemde olan raylı sistem araçlarının yerleştirilmesi konusuna değinmiş ve araçların yerleştirilmesi gereken en önemli parçalarını belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanmıştır. Belirlenen araç ekipmanları ANP yöntemi ile ağırlıklandırılarak, TOPSIS yöntemi ile sıralanmış ve elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Bu çalışma sonucunda, raylı sistem araçlarının yerleştirilme konusunda en verimli sonuca ulaşabilmek için en maliyetli ve en temel ekipmanın tahrik motor sistemi olduğu belirlenmiştir.

Özarpa vd. (2021), kent içi akıllı ulaşım sistemleri için yeni bir hat kurulumu yapılırken hattın planlanmasında etkili olan parametreleri belirleyerek, kurulacak olan hat üzerinde en fazla tercih edilebilecek ulaşım türlerini belirlemek için yaptıkları çalışmada, çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve PROMETHEE’i kullanmıştır. Çalışma sonucunda hat kurulumu yapılırken öncelikli olan kriterlerin güvenlik ve ilk kurulum maliyeti olduğu tespit edilmiştir.

Taş vd. (2017), Ankara’da inşa edilmesi beklenen monoray için hat tipinin belirlenmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve PROMETHEE’i

kullanmıştır. Çalışmalarında monoray sistemi için belirlenen hat tiplerine yer verilmiş ve çalışma sonucunda monoray projesi için belirlenecek hat tipi için en iyi seçimin tek yön asma tipi modeli olduğu anlaşılmıştır. Başka bir çalışmada ise monoray projesi için belirlenen 3 farklı senaryonun içinden en uygun projenin seçimi için AHP yöntemini kullanmışlardır (Taş vd., 2017b). Hamurcu ve Eren (2016), farklı bir çalışmada ise kullanılacak monoray teknolojisi için teknik ve fiziksel özellikleri bakımından en uygun monoray tipinin seçilmesinde AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır.

Kaya (2019), tez çalışmasında demiryolu istasyon seçiminde en uygun bölgeyi belirlemek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP'den faydalanmıştır. İnşa edilecek bir istasyonun hizmet performansını en iyi şekilde belirleyecek kriterler saptanarak hangi bölgede daha verimli olabileceği AHP yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda Ankara istasyonu, belirlenen kriterlere göre en iyi hizmet verecek şekilde geliştirilmiş ve yatırım yapılmış olan istasyon olarak belirlenmiştir.

Kara (2016), raylı sistemlerde enerji tüketimine etki eden parametrelerden bahsettiği bir tez çalışmasında bulunmuştur. Çalışmasında raylı sistem araçlarının enerji tüketiminin güzergâhın belirlenmesindeki etkisini inceleyerek, işletme maliyetini düşüren enerji sarfiyatı sağlayan bir güzergâh planlamasını çok kriterli karar verme yöntemleri ile belirlemiştir.

Dinç vd. (2018), çalışmasında yerli ve ithal olarak belirlenen tramvaylar arasından kentsel ulaşım için en uygun olan tramvayı belirlenen kriterlerce AHP ve bulanık AHP yöntemlerini kullanarak analiz etmiş, elde ettiği sonuçları karşılaştırarak çalışmasını tamamlamıştır.

Abdulgader (2019), tez çalışmasında genel bakım planlaması üzerinde durarak çok kriterli karar verme yöntemlerini bulanık yaklaşımla kullanmıştır. Kenya'da bir çimento fabrikasında bulanık AHP, DEMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak en uygun bakım planını ve stratejisini belirlemek için bir uygulama yapmıştır. Uygulamada bakım planına etki eden 6 kriter, 20 alt kriter ve 5 seçenek belirlenmiştir. Değerlendirme sonucunda en yüksek puana sahip olan seçenek proaktif bakım olarak bulunurken, bakım stratejisinde en yüksek öneme sahip

kriterin AHP yöntemine göre güvenlik, DEMATEL yaklaşımına göre ise güvenilirlik olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bahsedilen çalışmaların dışında, raylı sistemler bazında çok kriterli karar verme yönteminin kullanıldığı farklı çalışmalar da bulunmaktadır. SağlAMYÜREK (2018), TCDD'nin yolcu taşıma hizmeti için kullanılan anketleri değerlendirerek verileri AHP ile analiz etmiş, ÖZARPA vd. (2021), akıllı raylı sistemlerde kullanılan sistemleri belirleyerek bu sistemleri AHP yöntemi ile önceliklendirmiş ve risk analizleri yapmıştır. CANBULUT (2019), şehir içi toplu taşıma araçlarının seçiminde AHP ve VIKOR yöntemini kullanmış, HAMURCU ve EREN (2017); benzer bir çalışma ile toplu taşıma araçları seçiminde AHP ve ANP yöntemlerini kullanarak elde edilen sonuçları karşılaştırarak önerilerde bulunmuştur.

Çok kriterli karar verme yöntemleri sadece demiryolu ile sınırlı kalmamakla birlikte birçok çalışmada kullanılarak alanında önemli sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. İNAÇ (2012), İstanbul özelinde ulaşım sorunlarını ele almış ve bu sorunlara karşın üretilen çözüm yöntemlerini AHP metodu ile incelemiştir. AKÇAY (2019), güneş enerji panelleri ile daha yüksek verim almayı etkileyen faktörleri belirleyerek, panellerin kurulumu için en uygun yerin seçiminde AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmıştır. AKSOY (2021), işletmeler tarafından satın alınan mali müşavirlik hizmetinin seçimini etkileyen faktörlere değinmiş ve Giresun içi için mali müşavir seçiminde etkili olan en önemli kriterleri AHP ve bulanık AHP yöntemleri ile incelemiştir. ÖZKAN (2007), çalışmasında personel seçiminde etkili olan kriterleri belirleyerek en uygun adayın seçiminin yapılması için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP, ELECTRE ve TOPSIS'i kullanmıştır. KAVKALCI (2014), inşa edilecek bir liman için en uygun bölgeyi seçmek adına çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanmış ve liman yerini etkileyen seçenekleri saptayarak AHP ve TOPSIS yöntemlerinden faydalanmıştır. GÖRÇÜN (2019), İstanbul içi Silivri ve Sabiha Gökçen Havalimanı arasındaki en uygun ulaşım yöntemlerini AHP ve TOPSIS ile belirlemiştir.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde raylı sistemler özelinde çalışmaların mevcut olduğu görülmüştür. Özellikle inşa edilecek hat güzergahı veya tercih edilecek araç tipinin seçilmesi gibi önemli kararlar verilmesi gereken durumlarda çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Raylı sistemlerin dışında ulaşım, toplu taşıma araç seçimi, belirlenen durum için yer seçimi, personel seçimi gibi

birçok farklı alanda çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı görülmüştür. Bu yöntemler arasında istenilen sonuca daha kolay ulaşmak ve sözel verileri sayısal verilere daha kolay aktarabilmek için genellikle AHP ve TOPSIS yöntemlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir.



3. RAYLI SİSTEMLERDE BAKIM

3.1. Demiryollarında Bakım Kavramı

Raylı sistem araçlarına olan ihtiyacın artmasıyla birlikte araçların daha verimli ve sorunsuz olması yolunda geliştirilen çalışmalar ön plana çıkmış, bu durum demiryollarında bakım kavramını son yıllarda daha da önemli kılmıştır. Özellikle raylı sistem araçlarında müşteri beklentilerini karşılamak ve araçların kullanılabilir durumda olmasını sağlamak, demiryolu sektörünün devamlılığı için elzem konulardan biridir.

Bakım kavramı, birçok kaynakta farklı şekillerde tanımlanmıştır. Geniş çerçeveden bakıldığında bakım; arızaları ve arızaların meydana getirdiği etkileri en aza indirerek mevcut sistemin yüksek verimle çalışmasını sağlayan faaliyetler olarak tanımlanabilir. Mevcut sistemdeki ekipmanların kullanılabilirlik düzeylerini minimum kayıpla sabit tutmayı sağlar (Sümer, 2018: Ayrancı'dan (1997)). Aynı zamanda bir aracın üretim faaliyetlerinin planlanan aşamadaki özelliklerini korumak ve hasar görmesi durumunda yeniden üretildiği durumdaki özelliklerinin kazandırılmasını sağlayan süreç olarak da belirtilebilir. Bakımda en temel amaç, en az kaynak kullanarak makinelerin kontrolünü yapmak ve kullanım ömürlerini mümkün olduğunca artırmaktır. Belirlenen bakım standartlarına uyulduğu takdirde işletme için sorunsuz ve planlı bir çalışma süreci gerçekleştirilmektedir (Sümer, 2018).

Başka bir tanım ile bakım, bir fabrika ya da makinenin yapılması istenilen görevlerini yerine getirmesi için uygun şartlarda kalmalarını sağlayan çalışmalar olarak belirtilebilir. Bakımın harfiyen uygulanması gereken kuralları bulunmamaktadır. Fakat standartların belirlediği olgular çerçevesinde bakım faaliyetlerini gerçekleştirmek gerekir (Kirazlılar, 2007).

Bakım kavramını tam anlamıyla anlayabilmek için öncelikli olarak arıza kavramını incelemek gerekir. Sistemin çalışır durumunda olumsuz yönde değişiklik olmasıyla arıza durumu oluşabilmektedir. Bakım kavramı, meydana gelen ya da gelebilecek olan arızaların iyileştirilmesi veya sorunun ortadan kalkması ya da hiç ortaya çıkmaması için yapılan

faaliyetler olarak görülebilir. Bakım kavramını devreye sokmak için iki durum ortaya çıkmaktadır. Bunlardan biri sistemde arıza meydana gelmesinden sonra uygulanacak bakım, diğeri ise sistemde arıza meydana gelmeden ve ilgili arızanın meydana gelmemesi ya da geciktirilmesi için uygulanacak olan bakımdır.

Bakım kavramı raylı sistemler özelinde ele alındığında altyapı, üst yapı ve araç bakımı olarak sınıflandırılabilir. Altyapı bakımında genel olarak sinyalizasyon sistemleri ele alınır. Yol ekipmanları ve üst yapıda kullanılan sinyalizasyon ekipmanları, üst yapıda yapılan bakımlar çerçevesinde kontrol edilmektedir (Elden, 2020). Araç bakım kapsamında bahsetmek gerekirse çeken, çekilen araçlar ve tren setleri bu kapsamda yer almaktadır. Çeken araçlar olarak lokomotifler, dizel ve elektrikli olarak iki gruba ayrılmaktadır. Çekilen araçlar ise genellikle yük vagonu, yolcu vagonu ve konteynır olarak sınıflandırılabilir (Sümer, 2018). Özellikle yük ve yolcu vagonları bakım kapsamında yer almaktadır. Şekil 3.1’de TÜRASAŞ Sivas Bölge Müdürlüğü’nde vagon bakım onarımı yapılan bir yük vagonu görülmektedir.



Şekil 3.1. Yük vagonu bakım onarım faaliyetleri (TÜRASAŞ, 2023)

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan tren setleri, iki uçta makinist kabini bulunan ve kabinler arasına gereken sayıda yolcu vagonlarının eklendiği raylı sistem araçları olarak bilinmektedir. Raylı sistem araçlarında bakım kavramı tüm demiryolu araçlarını

kapsadığından dolayı banliyö, tramvay ve metro gibi şehir içi araçları da bu kapsama dâhil edilmektedir. Araç bakımında demiryolu araçlarının gerekli görülen her bir parçası bu sürece dâhil olabilmektedir. Arıza oluşabilme potansiyeli olan veya mevcut durumdaki hizmeti ya da verimi düşüren parça ya da bölge, bakım faaliyetlerinde incelenebilmektedir.

2013 yılında Resmi Gazete’de yayınlanan demiryollarının serbestleşmesine yönelik olan kanunlar ile demiryolu altyapısındaki bakım ve onarım çalışmaları önem ve hız kazanmıştır. Demiryolu araçları için bakım kavramına gelecek olursak, özellikle güvenli ve emniyetli bir ulaşım için gerek yük gerekse yolcu taşımacılığında öneminin vurgulanması gerekir. Demiryolu araçları lojistik sektöründe önemli bir yer kaplamaktadır. Bu sebeple müşterilerin beklentilerinin karşılanması oldukça önem arz eder. Ortalama 70-80 yıllık bir kullanım ömrüne sahip olan demiryolu araçlarının bakım ve onarım ihtiyaçları karşılanarak bu sürenin uzatılabilmesi mümkündür. Araçlarda meydana gelebilecek herhangi bir arıza durumunda büyük hasarların oluşmasına meydan vermemek için demiryolu araçlarının bakım takibinin doğru bir şekilde yapılması gerekir (Özdemir ve Özcan, 2020).

Demiryolu araçlarında meydana gelebilecek arızalar aracın kullanıldığı bölgeye, kullanılma sıklığına veya bekledik bir zamanda yapılan hata ile oluşabilmektedir. Araçların elektrik bağlantılarında, sinyalizasyon ekipmanlarında, iklimlendirme elemanlarında, boji ve fren sisteminde ve elektrik motoru gibi pek çok farklı bölgesinde arızalar oluşabilmektedir. Sistemde verimi düşüren net bir arıza oluşmasa da araçlarda yapılması gereken temizlik ve kontrol işlemleri de bakım uygulamaları kapsamında yer alır. Bunlardan bazıları günlük olarak yapılan markiz, kapılar, tekerlekler, fren diskleri, balatalar ve kum deposu gibi elemanların kontrolleridir. Bu uygulamalar hızlı ve kayıt tutulmaya gerek duyulmayan genel kontroller olarak tanımlanabilir. Aylık olarak yapılan kontroller, günlük kontrollere göre daha detaylı ve kayıtlı yapılan kontrollerdir. Bunlar aracın yağ, kum, sızdırmazlık kontrolleri ve araçta gereken temizliğinin yapılması gibi uygulamalardır. İlgili bakım uygulamalarının kontrol edilebilmesi için bilgisayar ortamında gereken verilerin kayıtları tutulmaktadır (Öge, 2015).

Demiryolu araçlarının artması ve trafiğinin yoğunlaşması sebebiyle demiryolu bakımlarının teknolojik gelişmelerle entegre edilerek geliştirilmesi ile daha kaliteli bir bakım süreci oluşturulabilmektedir. Bu sebeple, bakım faaliyetleri esnasında belirli

kurumlarca belirlenen bakım standartlarına uyulması gerekmektedir. Araç bakım ve onarımı ile ilgili uyulması gereken uluslararası standartlar UIC (*Uluslararası Demiryolları Birliği*) tarafından belirlenmiş olup Fransızca, Almanca ve İngilizce olarak yayınlanmaktadır (Çak vd., 2002). Yapılan bakım çalışmalarının daha güvenli ve emniyetli olması için, uyulması gereken kurallar daha sonrasında denetlenerek yapılan çalışmaların standartlara uygunluğu kontrol edilmektedir (Elden, 2020).

3.2. Bakımın Amacı ve Demiryollarındaki Önemi

Bakım hangi sektörde olursa olsun kullanılan araçların ömrünü artırdığı gibi demiryolu sektöründe de oldukça dikkat edilmesi gereken bir süreçtir. Resmi Gazete’de yayınlanan Serbestleşme Kanunu’nun 9. Maddesi’nde de belirtildiği gibi, demiryolu ve karayolu kesişmelerinde anayol daima demiryoludur (Resmi Gazete, 2013). Dolayısıyla demiryolu bakımına verilen önem ile birlikte trafikte oluşabilecek kilit noktalarına çözüm üretilebilmekte ve sağlıklı bir trafik akışı sağlanabilmektedir.

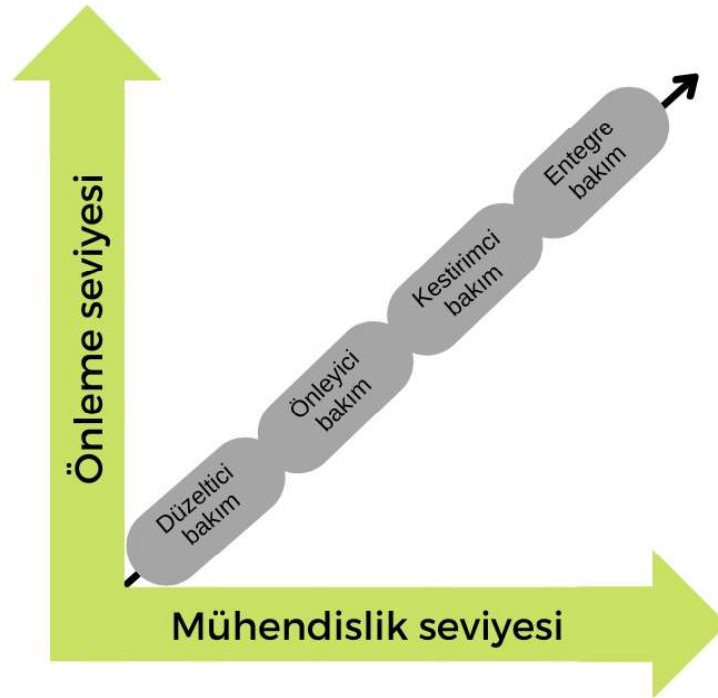
Raylı sistem araçlarına uygulanan bakımlar ülkemizde hem özel hem de kamu sektöründe yapılabilmektedir. Araç bakım depoları, bakım onarım fabrikaları ve bakım atölyeleri gibi bölgelerde raylı sistem araçlarına ilgili bakımlar uygulanabilmektedir. Şekil 3.2’de Yüksek Hızlı Tren Ana Bakım Atölyesi gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Etimesgut YHT Ana Bakım Atölyesi (TCDD Taşımacılık, 2021)

Raylı sistem araçları üretilirken harcanan maliyetler yüksek olmaktadır. Bu durumda araçlarda oluşabilecek arızaların önlenmesi veya tamir edilip düzeltilmesi, yüksek maliyetli bir aşama olabilmektedir. Fakat uzun vadede bakım kavramının güçlenmesi, demiryolu araçları için oldukça verimli bir süreç sağlamaktadır. Araç bakımı yapılarak aracın kullanım ömrünü uzatmanın yanı sıra bakım faaliyetleri ile oluşabilecek arızaların önüne geçmek de mümkündür. Bu sayede arızanın oluşturabileceği maliyeti minimuma indirerek işletme açısından kazanç sağlanabilmektedir. Shenoy ve Bhadury (2005), demiryollarında bakımın temel amacının işletme için minimum gelir kaybı ile çalışmayan ekipmanların çalışır duruma getirilmesi ve kazancın artırılması için ekipmanların ömrünün uzatılması olduğunu belirtmiştir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bakım kavramı farklılık kazanmakta ve farklı taleplere göre farklı bakım çalışmaları yapılabilmektedir. Şekil 3.3’de görüldüğü gibi bakım ve mühendislik kavramları iç içe geçtikçe daha güvenilir bakım yöntemleri ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bakım yöntemleri ile sürekli bir iyileşme sağlanabilir fakat bu noktada bakım planlamasının doğru yapılması gerekmektedir (Nappi, 2014).



Şekil 3.3. Mühendislik gelişimine göre bakım türleri (Nappi, 2014)

3.3. Bakım Kalitesini Etkileyen Faktörler

Bakımın verimli bir şekilde yapılabilmesi için, bakım sürecine etki eden her faktörün tespit edilmesi ve faaliyetler üzerindeki etkilerinin incelenmesi gerekir. Birçok farklı bakım türü olmakla birlikte, sistemin ihtiyacına yönelik geliştirilen bakım türleri kullanılabilir. Her bakım türünün amacı aynı değildir. Bu sebeple farklı amaçlara hizmet ederek sistemin verimliliği sağlanabilir. Bakımın kalitesine etki eden faktörler bakımın kalitesinde değişikliğe sebep olabilir. Bu faktörler iyi analiz edildiğinde, bakım faaliyetlerinin gelişmesi ve iyileşmesi için önemli adımlar atılabilmesine yardımcı olmaktadır. Bu sayede yapılacak olan bakım sürecine daha iyi hâkim olunarak işletme için daha güvenilir ve kazançlı bir süreç sağlanır. Şekil 3.4'de bakım uygulamalarının kalitesine etki eden temel faktörler verilmiştir.



Şekil 3.4. Bakımın kalitesine etki eden faktörler

Bakımın kalitesinde etkili olan faktörleri şekilde verildiği gibi sıralamak gerekirse öncelikli olarak işletmenin bakım politikaları ve işletmeye ayrılan bütçeden bahsetmek gerekir. İşletmenin bakıma ayırdığı bütçe, bakımın çeşidini ve gelişmişliğini belirlemede önemli etkiye sahiptir, dolayısıyla bu faktörler direkt olarak bakımın kalitesini ve verimini etkiler (Özdemir ve Özcan, 2020).

Bakım faaliyetlerinin kalitesini etkileyen başka bir etken, bakım faaliyetleri esnasında çalışan personellerin koruyucu ekipmanlarla donatılması ve oluşabilecek herhangi bir kazaya karşı hazırlıklı olması durumudur. Bakım çalışmalarının yapılacağı alanın temiz ve düzenli olması bakım sürecini kolaylaştıran etkenlerdendir (Elden, 2020). Bakımı yapacak olan işletmenin bakım politikası, teknolojik alt yapısı, faaliyetlerde kullandığı malzemelerin kalitesi, çalışan personellerin tecrübe ve eğitim düzeyi ve bakım faaliyetlerinin takip sistemlerinin gelişmişlik düzeyleri yapılacak bakımın kalitesinde önemli etkiye sahip unsurlardan sayılabilir.

Bakım faaliyetleri tüm dünyada benzer olmakla birlikte belirli bir standart altında toplanmakta, bu durum bakımın kalitesini istenilen düzeyde tutma yolunda önemli rol oynamaktadır. Bakım faaliyetlerindeki standartlaşma, aynı zamanda işletmelerin kurumsallaşmasını ve evrensel bir bakış açısı kazanmasını sağlar. Standartlaşma süreci, bakım yapan işletmelerin denetlenmesine olanak vererek bakımın istenilen kalitede olmasını sağlamaktadır (Oktar, 2014).

3.4. Bakım Yöntemleri

Demiryollarında yapılan bakım faaliyetleri birçok noktada hayati önem taşımaktadır. Meydana gelebilecek arızalar, büyük miktarda maddi ve manevi kayıpların oluşmasına sebep olarak insan sağlığını tehdit edebilecek problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu sebeple raylı sistemlerde bakım konusuna önem verilmesi gerekir. Gelişen teknoloji ile birlikte yeni yöntemler kullanılarak durum bazında ihtiyaca yönelik farklı bakım uygulamaları yapılmaktadır. Bakım süreçlerinin verimli olabilmesi için bu aşamaların sistematik ve kontrollü olması önem arz eder. Fakat bakım aşamasına geçmeden önce arızayı doğru tespit edebilmek ve sonraki aşamaları bu tespite göre geliştirmek en doğru yoldur. Dolayısıyla arıza tespiti, bakım faaliyetlerinin başlangıcını oluşturmaktadır.

Demiryollarındaki araç bakım kavramı, sadece fiziksel parça değişimi ve onarımı ile sınırlı olmamaktadır. Bir hata veya arıza meydana gelmeden önlemek için geliştirilen bakım yöntemleri de sıklıkla kullanılmaktadır. Bu durumda fiziksel parça bakımından ziyade arızanın kök nedenine inilerek bakım sürecinde iyileştirme kaydedilmiş olur. Bu

sayede ilgili arızanın veya benzer sebeplerin oluşturabileceği arızaların önüne geçilerek sistemde hata payının azaltılması sağlanır. (Sümer, 2018).

Mevcut demiryolu bakım uygulamalarında günlük, aylık, yıllık ve belirlenen periyotlarda yapılan bakım yöntemleri farklılık gösterebilmektedir. Örnek vermek gerekirse; günlük bakımlarda markiz ve vagon temizliği, araçtaki kum miktarı kontrolü, fren balatalarının kontrolü gibi görsel ve hızlı yapılabilecek uygulamalar yapılmaktadır. Aylık bakımlar, günlük kontrollere göre daha uzun vadede incelenebilecek kontrolleri içermektedir. Vagon içinde bulunan malzemelerin eksik veya bozuk olup olmadığının incelenmesi, aracın yağ kontrolleri, fren ve hava sisteminin sağlıklı çalışıp çalışmadığının incelenmesi, iklimlendirme sistemlerinin kontrol edilmesi gibi kontroller aylık bakım dâhilinde kabul edilebilir (Öge, 2015).

Bakım yöntemlerini temelde, planlı ve plansız bakım olarak iki ayrı gruba ayırmak mümkündür. Bu bakım grupları, amaçlarına ve yapılması istenen ya da yapılması gereken durumlara göre şekillenmektedir. Şekil 3.5'te bakım türlerinin sınıflandırıldığı bir şema gösterilmiştir. Teknoloji geliştikçe bakım yöntemlerinin yeni ihtiyaçlara göre şekilleneceği ve farklı yöntemler geliştirileceği aşikârdır.



Şekil 3.5. Bakım Yöntemlerinin Şematik Gösterimi (Sümer, 2018)

3.4.1. Planlı bakım

Planlı bakım, üretici firmanın ya da kullanılan standartların belirlemiş olduğu zaman aralıklarında, araçların kullanımını durdurarak veya trafik esnasında istenilen bakımların yapılabileceği bir bakım türüdür (Ayrancı, 1997). Görülebilir bir arızanın oluşması beklenmeden sistematik bir planlama doğrultusunda yapılması gereken bakımların uygulanması beklenir (Elden, 2020). Demiryolu ağı üzerinde gerçekleştirilecek olan bakım faaliyetleri genellikle daha az tren seferinin olduğu gece vakitlerinde gerçekleştirilmektedir. Bu sayede daha güvenli bir bakım süreci gerçekleştirirken, tren trafiğindeki aksamanın minimum düzeyde olması sağlanmaktadır. Bazı ülkelerde demiryolu trafiğinde bakım yapılabilen uygun zamanları tespit edebilmek için Opentrack ve Viriato gibi bazı yazılımlar kullanılmaktadır. Trafiğin bakım faaliyetleri için en uygun zamanının bulunmasıyla verimli bir bakım planlaması oluşturulmaktadır (Budai vd., 2006).

Bakımın planlı olarak yapılması işletme açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Planlı bakım yöntemleri ile meydana gelen arıza sıklığı oldukça azalmaktadır. Aracın kullanım ömrü artırılarak, yeniden ihtiyaç olabilecek araçların üretiminde oluşan israflar ortadan kaldırılabilir. Bu durum aracın yedek parça değişiminden ve işçilik maliyetlerinden büyük ölçüde tasarruf sağlamaktadır. Bu sayede gereken ve ihtiyaç olan asıl parçaların stoklanmasını sağlar ve gereksiz stoktan kaçınılmış olur. Planlı bakım ile gereksiz üretimden kaçınılarak enerji tasarrufu konusunda işletme için büyük ölçüde verim sağlanmaktadır (Elden, 2020). Plansız bakımın oluşturduğu olumsuz durumlardan kaçınabilmek ve beklenmeyen arıza durumlarını ortadan kaldırmak için planlı bakım yöntemleri, plansız bakıma göre daha çok tercih edilebilir (Sümer, 2018).

Planlı yapılan bakım işletmeye uzun vadede oldukça fayda sağlamaktadır. Fakat avantajlarının yanı sıra dezavantajların da bulunduğunu söylemek gerekir. Belirlenen zaman çizelgesine göre bakım yapıldığından ötürü, parçalarda arıza olmasa bile bakım zamanı geldiği için prosedürlere göre kontrol edilmesi istenebilir. Parçalarda hasar olmasa bile kullanım ömrünün sona erdiği durumda parçaların değiştirilmesi gerekebilmektedir. Bu durum ise arıza olduğunda yapılan bakım faaliyetlerinden daha yüksek finansal kayıplara neden olmakta, dolayısıyla işletme için bir israfa sebep olabilmektedir. Planlı

bakımın ortaya çıkardığı olumsuz durumları en aza indirmek için bakım planlamasının dikkatli bir şekilde yapılması gerekir (Elden, 2020; Dhall ve Solanki, 2017).

Planlı bakım yöntemleri ihtiyaca ve zaman çizelgelerine göre farklı alt başlıklarda incelenmektedir. Literatürde planlı bakım adı altında oldukça fazla bakım türü bulunmakta ve her geçen gün yeni yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada, literatürde en yaygın bulunan ve sektörde en çok tercih edilen ve fayda sağlayan bakım türleri yer almaktadır. Koruyucu bakım, önleyici bakım, izleme yöntemiyle bakım, öngörücü bakım, kestirimci bakım ve revizyon bakımı planlı bakım yöntemlerinin esas alındığı bakım türlerinden bazılarıdır (Sümer, 2018).

3.4.1.1. Koruyucu bakım

Demiryollarında bakım kavramının planlı olarak yapıldığı faaliyetlerden biri olan koruyucu bakım, işletmede meydana gelebilecek arızaları en alt seviyede tutmayı amaçlayan bir yöntemdir. Mevcut bir arıza ya da tamir yapılması istenen bir durum gerektirmeksizin, meydana gelebilecek arıza durumunun temel sebeplerini bir problem oluşmadan ortadan kaldırmayı hedefler. Bu durum da, işletmede kullanılan bir makine ya da aracın oluşturabileceği hatanın ana sebebini sorgulayarak hata oluşmadan onu çözebilmeyi ve bir sonraki zaman diliminde aynı problemle karşılaşılrsa bile problemin çözümündeki odak noktanın nerede olabileceğinin rahatlıkla bulunabilmesini sağlar (Sümer, 2018).

Raylı sistem araçlarında yapılan koruyucu bakım faaliyetleri genellikle kilometre bazında yapılmaktadır. Bir arıza meydana gelmeden arızayı oluşturabilecek etmenleri ortadan kaldırmayı amaçlar (Oktar, 2014). Koruyucu bakımla sistemdeki arıza oranını sıfıra indirmek mümkün değildir, rastgele ve planlanmamış arıza olasılığını yok edemez fakat arızaya sebep olabilecek durumları geciktirerek arıza oranının azaltılmasına yardımcı olur (Nappi, 2014).

Koruyucu bakım faaliyetlerinin birçok ülkede araçların tren seferleri esnasında da gerçekleştirildiği görülmüştür (Budai vd., 2006). Belirlenen zaman aralıklarında koruyucu bakım yapılacak olan araçlar durdurularak bakım süreçlerinin gerçekleştirilmesi

sağlanmaktadır. Araçların yapılacak olan koruyucu bakımlarının gerektirdiği zaman aralıkları; bakım yapılacak olan aracın çalışma süresi, aracın teknik dokümanları, bakımda yer alacak ekibin tecrübesi ve aracın bakım ve arıza geçmişi gibi parametreler dikkate alınarak belirlenmektedir. Bu parametreler ışığında aracın koruyucu bakımı için en uygun kilometre aralığı belirlenerek araçtan en yüksek verimi alabilecek hale getirilmesi sağlanır ve koruyucu bakım planlaması oluşturulur (Sümer, 2018: Ayrancı'dan (1997)). Sistematik olarak gerçekleştirilen koruyucu bakım faaliyetleri genellikle süre bazında haftada bir, 15 günde bir, ayda bir, 3 ayda bir, 6 ayda bir ve yılda gibi zaman dilimlerinde gerçekleştirilerek, belirlenen zaman dilimleri için farklı bakım uygulamaları yapılmaktadır (Taşkın, 2010). Bu sayede farklı her periyodik zaman diliminde farklı bakım uygulamalarıyla hata riskinin azaltılması sağlanmaktadır.

Koruyucu bakım faaliyetlerinde belirlenen kilometreye ulaşan aracın her bir parçasında değişim yapılmamaktadır. Arıza oluşmadan önceki durumlarda, parçanın arızalanma oranı zamanla artıyorsa parçada değişim yapılır. Arıza oluşmadan bir parçayı değiştirme durumu sadece mevcut durumdan daha verimli bir kullanımın gerçekleştirileceği durumlarda yapılabilmektedir. Bu durum, gereksiz yere parça değiştirmeyi önleyerek bakım faaliyetlerinin işletmeye olan maliyetini düşürür ve daha ekonomik bir bakım süreci sağlar (Elden, 2020).

Koruyucu bakım yöntemi planlı bakım türleri arasında en çok tercih edilen yöntemlerden biri olsa da, diğer yöntemlere kıyasla bazı zayıf yönleri de bulunmaktadır. İyi bir bakım planlaması yapılmadığı takdirde koruyucu bakım ile aşağıda belirtilen zayıflıklar (Arslan, 2011; Öge, 2015) söz konusu olabilir:

- Kullanılacak personel ve makinelerde zaman kaybı oluşabilir.
- İsrafa neden olan bir üretim süreci meydana gelebilir.
- Kullanım ömrü dolan parçalarda arıza olmaması durumuna aldanarak değiştirilmediğinde ilerleyen zamanlarda daha büyük hasarlara yol açabilir.
- Personel bilgi ve deneyim eksikliği ile bakımın standartlara uygun olmaması durumu oluşabilir.
- Sürekli ve gereksiz parça stoku yapılabilir.

3.4.1.2. Önleyici bakım

Koruyucu bakımla birçok noktada benzerlik gösteren önleyici bakım faaliyetleri temelde mevcut sorunu ortadan kaldırmaya odaklıdır. Düzeltici bakım olarak da bilinen önleyici bakım, kullanılan araç ya da makinede bir arıza oluştuğundan sonra meydana gelen problemi çözmek için geliştirilen bir bakım faaliyetidir. Sistemde beklenmeyen bir hata oluştuğunda o hataya sebep olan nedeni bulmaya ve ortaya çıkan sorunu çözmeye odaklanır (Oktar, 2014). Adından da anlaşılacağı gibi önleyici bakım, oluşan bir sorunu önlemek için planlanır. Bakımı yapılacak olan araçtaki sorunu çözebilecek olan yağ değişimi gibi temelde basit uygulamalar da planlı bir süreç dâhilinde olduğu için önleyici bakım faaliyetlerinden sayılabilmektedir (Sümer, 2018).

Literatürdeki tüm önleyici bakım çalışmaları durum bazında değişiklik göstermeye yönelik geliştirilmiştir. Dolayısıyla durum değişikliklerinden etkilenerek arızanın tespit edilmesi bazı durumlarda zorlaşabilmektedir. Bu yüzden tespit edilen arızanın gerektirdiği parça değişikliği gibi durumlar, arıza oranı zamanla artıyor ise hata önlemeye katkı sağlamaktadır. Aksi takdirde hatanın kök nedeni yanlış tespit edilmiş ve işletme açısından israfa neden olunmuş olabilir (Elden, 2020).

Önleyici bakım planlaması için alanında uzman bir ekip ile düzgün bir inceleme yapılması gereklidir. Çünkü planlanan önleyici bakım faaliyetleri parça veya tasarım değiştirme gibi yüksek maliyetlerle sonuçlanarak sorun çözülebilmekte veya ortaya çıkan problem işletme açısından zorlayıcı olabilmektedir. Bu şartlar altında önleyici bakım, büyük çaplı işletmeler için daha verimli bir bakım planlaması oluşturmaktadır. Büyük çaplı işletmelerde tasarım ve mühendislik alanının daha aktif olduğu bölümler eşliğinde, şartlara en uygun önleyici bakım planının yapılması sağlanabilir (Öge, 2015).

Önleyici bakımların yılda birkaç kez yapılması tercih edilmektedir. Çok uzun süreli olmamakla birlikte kısa ve sık olarak yapılması demiryolu araçları için daha güvenli bir ulaşım sağlar. Conta veya vida değişimi gibi ufak tamirler de önleyici bakım kapsamında yer alabilir (Budai vd., 2006). Periyodik bakım işlemleri, yol yenileme çalışmaları, balast temizliği, ray kontrolleri, makas kontrolleri gibi işlemler yılda 1 veya 2 kez yapılarak gerekli önleyici bakım faaliyetlerinden bazıları gerçekleştirilebilir. Birçok ülkede tren

seferleri esnasında da önleyici bakım çalışmaları yapılabilmektedir. Yazılımlar kullanılarak bakım faaliyetleri için demiryolu trafiğindeki en uygun zaman aralığı belirlenebilmektedir. Bu durumun sistem çalışırken arızanın kök nedeninin daha kolay fark edebilme gibi avantajı bulunsa da, trafik esnasında bakım personellerinin güvenliğinin ve trafiğin akışının etkilenmesi gibi dezavantajlı bir durum olduğu da söylenebilir (Arslan, 2011).

Demiryolu sektöründe işletmeler çok yüksek maliyetlerle çalışmaktadır. Aynı zamanda demiryolunun taşımacılık için oldukça tercih edilebilir bir ulaşım modu olması, bir problem oluştuğunda tehlikeli durumlarla sonuçlanabilir. Bu yüzden araçlarda oluşan arızanın daha büyük sorunlara yol açmaması için önleyici bakım faaliyetlerinin planlı ve periyodik olarak yapılması daha az maliyete yol açarak işletmeyi büyük tehlikelerden korumaktadır. Bu yöntem, bir arızanın uzun vadede oluşturabileceği daha büyük bir hasarı önlemede oldukça fayda sağlarken beklenmedik durumda oluşan arızaların giderilmesi için yeterli bir bakım sağlamayabilir (Nappi, 2014).

Koruyucu bakımdan farklı olarak önleyici bakımda bir arıza meydana geldiğinde müdahalede bulunulur. Oluşan arıza planlanan önleyici bakımda incelenerek arızanın kök nedenini tespit edici çalışmalarda bulunulması gereklidir. Meydana gelen arıza sıklığını azaltarak sistemde harcanacak iş gücü ve kayıpların israf edilmesini önlemeyi amaçlar. Aynı zamanda oluşan arıza tamir, parça değişimi veya tasarımdaki değişiklikler gibi sorunu çözmeye yönelik çalışmalarla desteklenir. Koruyucu bakımda ise bir arızanın oluşabileceği durumu göz önüne alınarak planlama ve inceleme yapılmaktadır. Koruyucu bakıma göre olan avantajı ise, bir arıza oluştuğunda direkt olarak arızanın olduğu bölgeye odaklanarak mevcut bir sorun üzerinde çözüm senaryosu oluşturulabilir. Sistem çalışır durumda bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi ile meydana gelen arızanın tespit edilmesi daha kolay bir hal almaktadır. Fiziksel olarak bir oluşum gerçekleştiği için koruyucu bakımda olduğu gibi varsayımlar üzerinde çalışılmadığından dolayı daha efektif bir bakım süreci gerçekleştirilmektedir.

Diğer planlı bakım türlerinde olduğu gibi, önleyici bakım faaliyetlerinin planlanması aşamasında etki eden parametreler benzerlik göstermektedir. Bakım yaparken kullanılan ekipmanların çalışma süresi, bakımı yapacak olan personelin tecrübe düzeyi,

bakımı yapacak olan işletmenin mevcut iş planı veya bakımın yapılma süresi gibi etkenler doğrultusunda bakım planlaması yapılarak uygulanmaktadır (Elden, 2020).

3.4.1.3. İzleme yöntemiyle bakım

Planlı bakım yöntemlerinden biri olan izleme yöntemiyle bakım, özellikle son yıllarda daha çok tercih edilmeye başlanmıştır. İşletmedeki makine veya araçların çalıştıkları süre boyunca izlenmesi mantığına dayanarak geliştirilmiş bir bakım yöntemidir. Çalışma esnasında aracın çalışma performansını fiziksel olarak ölçerek, anlık olarak performansında bir farklılık olup olmadığını kontrol eder (Tan ve Raghavan, 2008).

Geleneksel bakım yöntemlerinin meydana getirdiği olumsuz ve eksik sonuç doğuran durumları en aza indirmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Sağladığı avantajlar göz önünde bulundurulduğunda, geleneksel yöntemlere göre daha çok tercih edilmektedir. Km/zaman oranına bakılmaksızın uygulanan aracın çalışma performansına göre bakım planlaması yapılmaktadır. İzleme yöntemiyle bakım yapılırken birden farklı yöntem kullanılabilir. Raylar veya tekerleğin performansı takip edilerek mevcut kusurlar ya da arızalar tespit edilebilir. Telekomünikasyon sistemleri veya elektrik sistemleri görüntülenerek veya izlenerek istenen kontroller sağlanabilir. Raya veya bakım yapılması istenen araca yerleştirilen sensörlü cihazlar ile sistemin denetimi yapılabilir. İzleme yöntemiyle yapılan bakım yöntemlerinin diğer bakım yöntemlerine göre tercih edilebilirliğini artıran bazı güçlü yönleri bulunmaktadır. Yerleştirilen sensörler ile sistemde incelemenin yapılması, araçların daha detaylı ve güvenli bir bakım süreci geçirmesini sağlar. Gereksiz sayıda personel kullanılmasını engelleyerek israfa yol açan etmenleri azaltır. Bakım faaliyetlerinde görev alan personellerin daha güvenli bir ortamda çalışabilmesini sağlar. Bir arıza oluşmadan sistemin belirli aralıklara göre izlenmesi, demiryolunun ve araçların kullanım ömrünü artırmaktadır (Uray, 2021).

Farklı yöntemler kullanılarak araç veya makine, çalışma esnasında izlenerek belirlenen parametrelerin etkileri incelenmektedir. İzleme işleminde elde edilen veriler, daha sonra konusunda deneyimli bir ekip tarafından incelenmelidir. Belirlenen parametrelerde araçta arıza oluşabileceğine dair bir çıkarım yapılabiliyorsa veya izleme esnasında bir arıza oluşuyorsa aracın mevcut çalışmasına müdahale edilerek oluşan veya

oluşacak arızaya uygun bir bakım planlaması yapılmaktadır. Bu yöntem ile nerede, ne zaman ve ne sıklıkla hangi parçada veya sistemde arıza oluşabileceğine dair veriler elde edilebildiği için en kısa yoldan en verimli olabilecek bakım planlaması yapılması sağlanır. Bu sayede işletme açısından iş gücünden, maliyetten ve zamandan tasarruf edilerek daha verimli bir çalışma ortamı sağlanmış olur (Arslan, 2011).

Duruma dayalı olarak da adlandırılabilen izleme yöntemiyle, elde edilen veriler sonucunda oluşan ihtiyaca göre şekillenen bir bakım planı oluşturmaktadır. Oluşturulması istenen planın amacı ise arızaları daha kolay tespit ederek birçok noktada israfi önlemek ve önleyici bakım faaliyetleri için belirlenen zaman aralığını uzatmaktır (Oktar, 2014). İzlenen aracın oluşturabileceği arızadaki hata oranını belirleyerek değiştirilecek ya da tamiri sağlanacak parçanın kullanım ömrünü belirlemede yardımcı olur (Nappi, 2014).

3.4.1.4. Öngörücü bakım

Planlı bakım adı altında sınıflandırılan başka bir bakım türü olan öngörücü bakım; fiziksel olarak yapılan izleme yönteminden farklı olarak, bakım yapılması istenen parçaların uzun vadede çalışma performansını teknolojik sistemlerle ölçerek, uzmanlar tarafından yapılan analiz ile bakım sürecinin daha verimli olmasını sağlayan bir yöntemdir. Oluşan arızanın temel nedenini fark ederek, problemin önüne geçmek için oluşturulan faaliyetlerin geliştirilmesinde katkıda bulunur. Arızanın sebepleri tespit edilerek sistem üzerindeki akıbeti tahmin edilir ve bu doğrultuda bir bakım planlaması oluşturulur. Öngörücü bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi için işletmedeki teknolojik altyapının yeterli bir seviyede olması gerekmektedir çünkü izleme aşamasında teknolojik sistemlerden büyük oranda faydalanılmaktadır.

Öngörücü bakımda sistemdeki hatanın durumunu izleyerek sistemde meydana gelen hasarı tahmin edebilmek mümkündür. Benzer şekilde meydana gelen hatayı oluşturan sebeplerin tespiti de yapılabilmektedir. Sistemdeki hatayı oluşturan veya oluşturabilecek parametrelerin değerlendirilmesi yapılarak öngörü kabiliyeti sağlayan teknolojik sistemler ile uygun bir bakım planlaması yapılabilir. Bu sayede sistemdeki hataların olası kötü sonuçlarını kurgulayarak bakım faaliyetlerindeki belirsizlik durumunun en aza indirilmesi sağlanır (Nappi, 2014).

3.4.1.5. Kestirimci bakım

Araç veya makinedeki bakımı yapılacak parçaya, arıza durumu oluşmasa bile belirlenen periyodik zaman aralıklarında, oluşacak arızayı düzeltme odaklı çalışan bir bakım türü olarak kestirimci bakım; izleme yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Belirlenen parçanın çalışma performansını izleyerek meydana gelebilecek arızanın ne zaman oluşabileceğine dair çalışmaların yapılması sağlanır (Mobley, 2002). Kestirimci bakımda farklı ölçme aletleri kullanılabilir ve gerektiğinde gözlem yöntemiyle de sistemdeki arıza kontrolü yapılabilir. Titreşim analizleri, yağ ve sıcaklık kontrolleri gibi basit kontroller kolayca uygulanabilir, gerektiğinde tahribatsız muayene yöntemleri de bakım faaliyetlerine dâhil edilebilir (Akçay, 2019).

Doksanlı yıllarda uygulanmaya başlayan kestirimci bakımda arızayı tespit etmenin dışında, oluşabilecek arızayı tahmin edebilmek de amaç edinilmiştir. Sistemdeki arızanın önlenmesi için farklı yöntemler kullanılsa dahi yüksek bir güvenlik sağlamamaktadır. Dolayısıyla diğer bakım yöntemleriyle birlikte planlanarak uygulanması, sistemin daha verimli çalışmasını sağlar. Kestirimci bakımın sağladığı avantajlar sadece arızayı detaylı analiz edebilmekle sınırlı değildir. Meydana gelebilecek arızayı izleyerek onarımda kullanılacak ekipmanların çalışma süresini kısaltır, dolayısıyla bakımı yapılacak parçanın kullanım ömrü uzamış olur. Parçanın çalışması periyodik olarak takip edildiği için, daha büyük ve daha maliyetli bir arıza oluşmadan arızayı görerek daha ekonomik bir bakım planlaması fırsatı sunmaktadır. Belirlenen sürelerde periyodik olarak yapıldığından, bakım süresini standartlaştırma yönünde katkı sağlar. Aynı zamanda daha sık ve periyodik olmayan bakım süreçlerinin aksine iş gücünden, maliyetten ve enerjiden kazanç sağlayabilir. Parçanın çalışma süreci izlenirken aynı zamanda izlenen parçanın kalitesini artırmaya yönelik çalışmaların yapılmasında da teşvik sağlamış olur.

Kestirimci bakımı önleyici bakımdan ayıran temel özellik, kestirimci bakımın oluşan veya oluşacak arızayı ölçerek, gözlemleyerek ve kontrol ederek fark edebilmesidir. Yani problemin veya arızanın oluşma sürecini daha detaylı analiz etme ve dolayısıyla daha uygun çözümler üretebilme imkânı sağlar (Elden, 2020). Kestirimci bakım, önleyici bakım ile birlikte uygulandığında daha verimli bir planlama oluşturulur. Önleyici bakım ile sistemdeki hatanın ortaya çıkmaması için gerekli önlemler alınarak, kestirimci bakım ile

alınmış olan önlemlerin kontrolü sağlanır. Bu sayede sistemin devamlı çalışır şekilde kalması sağlanır (Kirazlılar, 2007).

Kestirimci bakım yönteminin sağladığı katkıların dışında işletmeye verdiği olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Kestirimci bakım yönteminde en büyük dezavantajlardan biri ilk yatırım maliyetindeki yükseklik payıdır. Bunun dışında izleyerek elde edilen veriler alanında uzman bir ekip tarafından inceleyip analiz edildiği için, deneyim veya eğitim eksikliği gibi nedenlerle verilerin yanlış analiz edilip yanlış bakım planlaması yapılabilmesi de olası bir durumdur. Fakat bu problem, gerekli eğitimler sağlanıp deneyim kazandıkça çözülebilir cinstendir (Yaman, 2014; Sethiya, 2006).

Kestirimci, öngörücü ve izleme yöntemiyle bakım genel olarak birbiri ile benzerlik gösterse de teknolojik uygulamaları konusunda ayrımları bulunmaktadır. Temel olarak aracın izlenmesi ve kontrol edilmesine dayalı olan bu bakım türleri yer, zaman ve mevcut teknolojik altyapıya göre birbirinin yerine veya birbirleri ile tamamlayıcı olarak uygulanabilmektedir.

3.4.1.6. Revizyon bakımı

Revizyon bakımı, demiryolu araçlarının belirlenmiş olan kilometre aralıklarında revizyon bakımı yapılacak işletmeye gönderilip aracın tüm ekipman ve parçalarının sökülerek incelenmesi suretiyle yapılan bakım türüdür. Yük trenleri için gereken revizyon süresi 5 yılda bir olarak bilinmektedir. Planlanan revizyon bakım faaliyetleri gerçekleştirilmediği takdirde araçların uluslararası demiryolunda kullanılmasına izin verilmemektedir. Dolayısıyla revizyon bakımı zorunlu bir bakım süreci olmaktadır (Özdemir ve Özcan, 2020). Revizyon bakımında, aracın sökülen parçaları fabrikadaki gerekli bölümlere gönderilerek hasar analizlerinin yapılması, tamir işlemlerine olan ihtiyaçların giderilmesi ve arıza kontrollerinin yapılması amaçlanır. Kullanım ömrü dolan veya bir sonraki revizyona kadar arıza oranı artacak olan parçalar değiştirilip yenilenir. Diğer bakım türlerine göre revizyon bakımı oldukça geniş kapsamlı bir bakımdır. Aracın tüm aksamaları incelenerek sistemin çalışır durumdaki hali kadar verim sağlaması için bir bakım süreci sağlanır. Revizyona gelen aracın üretiminden sonra şartnamelerde aracın

teknik özelliklerinde değişiklik yapıldıysa, bakım aşamasındaki araca da o değişikliği uygulamak revizyon bakımının kapsamında yer almaktadır.

Revizyon bakımı sağlanan araçların sökülen parçaları yeniden yerlerine takılarak gerekli bakım ve tamir işlemleri sağlandıktan sonra araca dinamik ve statik ölçümler yapılarak mevcut durumdan daha verimli olup olmadığına bakılmakta ya da revizyon bakımının gösterdiği iyileşme aşamaları incelenmektedir (Oktar, 2014).

Revizyon bakımı diğer tüm bakım türlerine kıyasla daha maliyetli bir bakım süreci meydana getirir. Aynı zamanda olmazsa olmaz bir bakım türü olduğu ve revizyon bakımının zamanı gelip bakıma alınmayan araçların trafiğe çıkamaması durumu olduğu için işletme açısından maliyeti zorlayıcı bir sürece dönüşebilmektedir. Bu sebeple revizyon bakım planlaması, işletmenin ihtiyaçları göz önünde bulundurularak en fazla fayda sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Revizyon tarihi gelen araçların bakımı yapılmadığı takdirde araçların trafiğe çıkmak yerine uygun bir depoda revizyon yapılana kadar bekletilmesi doğru olmaktadır (Özdemir ve Özcan, 2020). Ülkemizde yolcu vagonlarında yapılan revizyon bakımları vagonların durumlarına ve yapılacak olan revizyon çalışmalarına göre farklılık gösterebilmektedir. Bu revizyon gruplarından şu şekilde bahsedilebilir (Çak vd., 2002):

- **V1 revizyonu (birinci tamir grubu):** Yolcu vagonları için belirlenen, 2 yılda bir olmak kaydıyla periyodik olarak yapılan hafif revizyon bakımı.
- **V2 revizyonu (ikinci tamir grubu):** Yolcu vagonları için belirlenen, 2 yılda bir yapılan V1 periyodik bakımının dördüncüsü, yani 8 yılda bir yapılan revizyon bakımı. V2 revizyon grubunda yapılan çalışmalar aracın pencere, su tesisatları, elektrik tesisatları, basamakları, aracın iskeleti, boji grubu gibi tüm ekipmanları sökülerek yenileme ihtiyacı incelenir. Gerekli temizlikleri ve bakımları yapılarak parçanın en kullanışlı haline getirilir ve sökülen yere yeniden montajlanmaktadır.
- **V3 revizyonu (üçüncü tamir grubu):** Yolcu vagonları için belirlenen, V2 periyodik bakımının üçüncüsü, yani 24 yılda bir ağır onarım için yapılan revizyon bakımı.
- **V0 revizyonu:** Ara ara yapılan hafif bakım ve onarımı içeren revizyon bakımlarıdır. Araçtaki cam, vida gibi ufak parça ve yağ değişikliklerini içerir.

- **V5 revizyonu:** Aracın kaza sonucunda aldığı hasarlar için gereken onarımı sağlayan revizyon bakımıdır.

3.4.2. Plansız bakım

Aracın veya ekipmanların planlanan zaman aralıklarının dışında, beklenmeyen bir zamanda meydana gelebilecek arıza veya hasarlar için yapılan bakım türleri mevcuttur. Bunlara plansız bakım faaliyetleri denilmektedir. Mevcut durumda verimli çalışan bir makine veya araç, birçok faktörün etkisiyle beklenmeyen ve tahmin edilemeyen zamanda çalışmayı durdurabilir veya mevcut durumdaki kadar verimli çalışmayabilir. Bu durumlarda anlık gelişen bakım faaliyetlerinin yapılması aracın ömrünü uzatmakla birlikte, kesinti durumunda oluşabilecek hizmet kayıplarının da azaltılmasını sağlar. Aniden oluşan bir arızanın başka arızalara meydan vermemesi için sorunu hızlı bir şekilde çözmek, işletme için kazançlı bir ortam oluşturur. Bu da kesintisiz hizmet için gereken altyapıyı sağlamaktadır. Planlı bakım faaliyetleri yapılsa dahi, beklenmedik durumlarda arıza oluşabileceğinden bu arızaları önlemek için aynı zamanda plansız bakımlar da yapılabilmektedir. Dolayısıyla planlı ve plansız bakım faaliyetlerinin birlikte planlanması kesintisiz ve verimli bir hizmet sağlamak için gerekli en önemli adımlardan biri olmaktadır (Sümer, 2018: Gücin'den (1999)).

• Arıza olduğunda bakım (Reaktif bakım)

Planlı bakımların yapıldığı bir araçta dahi, hiç beklenmeyen bir zamanda gelişen arızalar oluşabilmektedir. Bu arızalardan doğan kayıpları minimumda tutmak için en hızlı biçimde arızanın giderilmesi ve sistemin tekrar çalışır duruma gelmesi gerekir. Dolayısıyla en hızlı şekilde sistemi çalışır hale getiren arıza durumunda bakım faaliyetleri gerçekleştirilmelidir. Oluşan arızadan dolayı üretimde veya hizmette meydana gelecek aksaklıkları önlemek ve sistemi yeniden en kısa sürede verimli hale getirmek, arıza olduğunda yapılan bakım faaliyetlerinin temel amaçlardandır. Reaktif bakım olarak da adlandırılan arıza olduğunda yapılan bakımlar parça değişimi ya da anlık onarım gibi nispeten daha kolay işlerle gerçekleştirilebilir. Bakım esnasında parça değişimi yapılacak ise, hasarlı durumdan daha verimli bir sistem sağlanması durumunda uygulanmalıdır. Aksi

takdirde sistemde iş gücü, yedek parça ve zaman kayıpları meydana gelir (Elden, 2020: Gilbert ve Finch'den (1985)).

Hangi sektörde olursa olsun, geleneksel bakım yöntemlerinden biri olarak akla ilk gelen yöntem arıza durumunda geliştirilen bakım süreci olsa da, işletme tarafından büyük bir hazırlık gerektirmektedir. Sabit veya periyodik bir zaman diliminin dışında her an bir arıza meydana gelebilir. Bu yüzden olası arıza durumlarına karşın personel, yedek parça veya ekipmanların her an hazırda ve kolayca ulaşılabilir şartlarda olması gerekir. Bu yüzden oldukça titiz bir bakım planlaması yapılmalıdır. Amaç arızanın kök nedenini ortadan kaldırmak değil, en hızlı şekilde sistemi çalışır duruma getirmektir. Bu yüzden sistemde kalıcı bir düzelme sağlamaz (Sümer, 2018).

Arıza olduğunda yapılan bakımda yedek parça veya kullanılan makinede stok istenen durumlar oluşabilir bu yüzden gerekli bir depo alanı ve oluşan arızayı gidermek için ikinci bir çözüm planı ihtiyacı oluşmaktadır. Bunun sonucunda işletmeye yüksek maliyetler yansiyabilir fakat arızanın giderilmediği takdirde oluşabilecek ürün veya hizmet kayıpları daha yüksek zarara neden olabilir. Arızayı o an çözebilmek, ileride oluşabilecek kayıplardan daha az maliyetli olmakla birlikte işletmenin çalışmaya devam edebilmesini sağlar (Nappi, 2014; Sümer, 2018: Ayrancı'dan (1997)).

3.5. Bakım Planlaması

Bakım faaliyetleri işletme için oldukça yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Özellikle raylı sistemler özelinde bakım faaliyetleri yüksek finansal kayıplara sebep olabilir. Bu yüzden gelişen teknolojik gelişmeler ile birlikte doğru bakım planlaması yapılması, bakım faaliyetleri için en iyi iyileştirmeyi sağlayabilir (Nappi, 2014). Uygun bakım planlaması yapılarak öncelikli olarak bakıma ayrılan yüksek bütçeleri azaltmak mümkündür. Dolayısıyla işletmeler için en kazançlı bakım planlaması yapılmalı ve en az düzeyde kayıp maliyet sağlanmalıdır. Müşteri taleplerine yönelik planlama ile diğer ulaşım türlerinin tercih edilmesiyle meydana gelen kayıplar önlenerek tercih edilebilirliğin artırılması mümkün olabilmektedir. Bakım faaliyetlerinin planlı bir şekilde yapılmasıyla araçlarda meydana gelen ya da gelebilecek hataların önüne geçilerek olası bir durumdaki kazalar önlenebilir, dolayısıyla gereksiz yere ortaya çıkacak can ve mal kaybı engellenmiş

olur. Bakımın yetersiz veya sıklıkla yapılması, mevcut sistemi olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Ayrancı, 1997). Budai vd. (2006), önleyici bakımın planlanmasında bakım sıklığını ve faaliyetlerini azaltmadan bakım maliyetlerini düşürebilecek bir yöntem geliştirilmesi konusunda çalışmalar yaparak, bakım faaliyetlerinin mümkün olduğunca aynı ağ üzerinde gerçekleştirilmesini ve bu şekilde trafiğin aksayarak hizmet kayıpları oluşturmayacak bir planlama yapılmasını öne sürmüştür.

Bakım sürecinin planlanması aşamasında dikkat edilen çok fazla parametre bulunur. Yapılacak bakımda tercih edilecek olan personel sayısı, eğitim ve tecrübe seviyesi dikkate alınmaktadır. Planlı bir bakım ile yanlış ve eksik yedek parça kullanımı, bakım talimatlarının eksik veya yanlış uygulanması, makine veya araçların uygun olmayan şekilde kullanılması, uygun olmayan zamanda ve koşulda bakımın gerçekleştirilmesi ve gerekenden fazla bütçe israf edilmesi gibi durumlar önlenmektedir. Bu noktada bakımı yapacak olan firmanın en uygun planlamayı yapabilecek potansiyele ve kaynağa sahip olması istenmektedir. Uygun bakım planlamalarının yapılması ile işletmeye uzun vadede büyük oranda maddi ve manevi katkı sağlamaktadır (Kirazlılar, 2007).

Doğru bir bakım planlaması yapmak uzun vadede yüksek verim sağlamaktadır. Dolayısıyla iyi bir bakım planlaması yapmak için, bu süreçte etkili olabilecek faktörlere hâkim olmak ve bu faktörlerin planlamaya katkısını artırabilecek çalışmalar yapmak gereklidir. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında demiryolu bakım planlamasında etkili olan faktörleri (Kirazlılar, 2007; Kınacı vd., 2022) şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Bakım maliyeti/işletmenin bütçesi
- Hattın hizmet dışı kalma süresi/hat sahiplik maliyeti
- Bakım personellerinin sayısı, eğitim durumu, tecrübe düzeyi
- Teknolojik altyapı
- Şartnameye göre belirtilen bakım sıklığı
- Bakım standartlarına uyulabilirlik düzeyi
- Bakım yapacak işletmenin tecrübesi ve altyapısı
- Meydana gelen/gelebilecek arızanın büyüklüğü/zararı
- Aracın arıza geçmişi
- Aracın kullanım ömrü

- Verimlilik durumu
- Ekipman, malzeme ya da yedek parça için stok durumu
- Bakımın süresi
- Arızanın anlık ya da uzun vadeli olarak ortadan kaldırılması
- Planlamayı yapan kişilerin eğitim ve tecrübe düzeyi

Demiryolu araçlarında veya rayda uygulanması gereken bakım faaliyetlerinin planlı ve plansız olarak birlikte sürdürülmesi bakım planlamasının doğru yapılabilmesi için gereklidir. Günümüze kadar geliştirilip uygulanan bakım türlerinin tümü, birbirlerinin eksikliklerini tamamlamak veya daha hızlı ve verimli sonuç almak için geliştirilmiş olup tüm bakım yöntemlerinin duruma uygunluğa göre değerlendirilip işletmenin sağladığı imkânlarla göre uygulanması gerekir. Bakım planlamasına etki eden parametreler incelenip durum özelinde en verimli bakım planlamasının yapılması ve uygulanması birçok noktada firmaya ve hizmet veren kuruluşa fayda sağlamaktadır. İyi bir bakım planlaması sonucu gerçekleştirilen bakım faaliyetleri ile sistemin en az zararla çalışması sağlanabilir. Kesintisiz çalışmada en büyük engellerden biri olan bakım maliyetleri minimuma indirilerek daha verimli bir sistem oluşturulabilir. Bakım konusunda kalite kavramı gelişerek bir rekabet ortamı oluşmakla birlikte teknoloji geliştikçe daha verimli bakım yöntemlerinin gelişmesine katkı sağlayabilir. Genel bakım faaliyetlerinde veya demiryolu özelinde bakımın önemi kavranarak ön plana çıkarılması konusunda çalışmalar yapılabilir ve daha etkili bakım planlama politikaları uygulanabilir (Uray, 2021).

4. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

4.1. Karar Verme

Seçilen bir amaç doğrultusunda belirlenebilecek birden fazla seçeneğin arasından amaca göre en uygun olan seçeneğin değerlendirilmesi durumuna karar verme denilmektedir. Özellikle personel seçimi, malzeme tedarik edilmesi, güzergâh seçimi gibi hızlı ve finansal olarak etki yaratabilecek süreçlerde stratejik olarak kararlar verilmektedir. Dolayısıyla bu ve benzer durumlarda karar verilirken amaç doğrultusunda en çok fayda sağlayacak kararın verilmesi hayati önem taşır. Karar verme aşamasına belirlenen amaca en fazla fayda sağlarken, en az zarar verme mantığı amaçlanır. Karar verme aşamasında birden çok seçeneğin var olduğu durumlarda her seçenek için olası farklı sonuçları tahmin etmek ve bir senaryo geliştirmek her zaman kısa süreli olmamaktadır. Geçmişte deneme yanılma yöntemi kullanılarak sezgisel olarak belirlenebilen seçenekler günümüzde sayıca daha fazla olmakla birlikte birçok ölçütle farklı sonuçlar doğurarak karar verme aşamasını daha karmaşık hale getirmektedir. Bu sebeplerden dolayı karar verme aşamasında kullanılmak üzere bilimsel yöntemlerden yararlanılarak farklı uygulamalar geliştirilmiştir.

Karar verme süreci uzun veya kısa bir zaman dilimini kapsayabilmekle birlikte, bir konuda karar verebilmek için öncelikli olarak tespit edilen bir problemin olması gerekmektedir. Belirlenen bu problemin karar verme sürecine ulaşabilmesi için ise, problemin çözümüne yönelik birden fazla seçeneğin belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü bir problemin yalnızca bir çözümü olduğunda, herhangi bir karar verilemez ve belirlenen tek seçenek ile sonuçlanması beklenir (Sülüsoğlu, 2021).

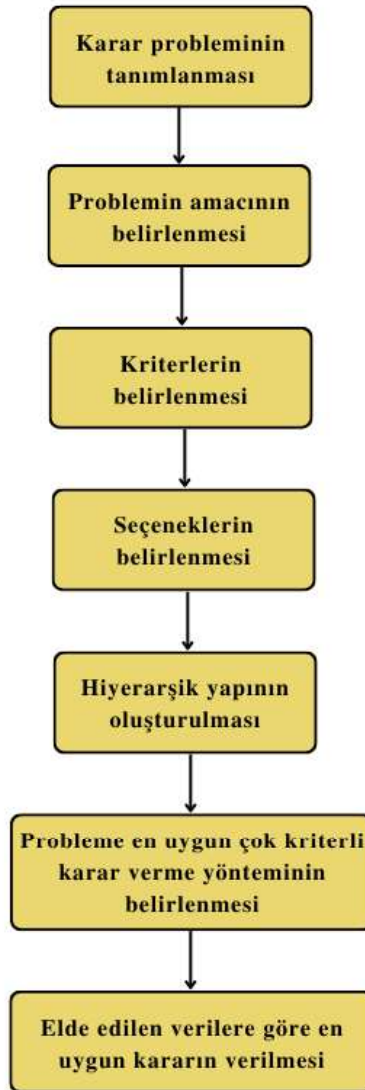
Karar verme durumunun temel olarak bazı özellikleri şu şekilde verilebilir (Sağlamyürek, 2018):

- Karar verme durumu bir problemi çözüme kavuşturup sonlandırırken, yeni bir karar verme problemi oluşturabilmektedir.
- Karar verme, uzun veya kısa zaman dilimlerinde, programlı ve sistematik olarak yapılabilmektedir.

- Karar verme işlemi belirlenen sorunlara en uygun çözümü sağlayabilir.
- Karar vermede bilimsel yöntemlerden yararlanılarak mantıksal ve matematiksel işlemler kullanılmaktadır.
- Karar vermede, geçmişte yapılan benzer sonuçlar incelemekte ve benzer konularda deneyimli ve bilgili insanlardan faydalanılabilmektedir.

4.2. Karar Verme Süreci

Karar verme süreci, farklı kaynaklarda farklı biçimlerde gruplandırılmaktadır. Bu kaynaklar incelendiğinde karar verme süreci temel olarak aşağıda liste halinde verilen ve Şekil 4.1’de gösterildiği gibidir (Sülüsoğlu, 2021; Gelashvili, 2019):



Şekil 4.1. Karar verme sürecinin aşamaları (Akçay, 2019)

1. Karar verilecek problemin tespit edilmesi ve karar verme işleminin gerekliliğinin saptanması
2. Problemin neden çözülmesi gerektiğinin belirlenmesi
3. Karar verme aşaması için gerekli bilgilerin elde edilmesi, karar vermede tercih edilebilecek seçeneklerin ve kriterlerin tespit edilmesi
4. Problem ve amaç doğrultusunda en uygun olan bilimsel karar verme metodunun belirlenmesi
5. Belirlenen bilimsel metoda göre seçeneklerin değerlendirilmesi
6. Değerlendirme sonucunda amaca yönelik en uygun seçeneğin karar verilmesi
7. Verilen kararın uygulanması ve elde edilen sonuçları değerlendirerek kararın uygun olup olmadığının incelenmesi

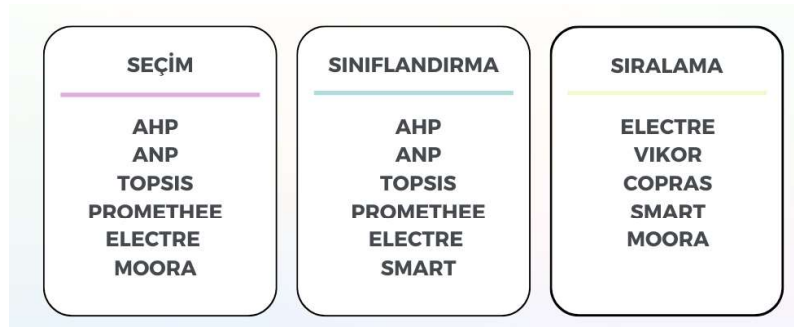
Karar verme sürecinde tespit edilmesi gereken en önemli konu, karar verilecek problemin saptanmasıdır. Ortada bir problem olmadan bir amaç belirlenemez ve bu doğrultuda karar verme alternatifleri oluşturulamaz. Karar verme probleminin tespiti ile birlikte karar verici, belirlenen problemin çözümüne yönelik bir amaç belirlemelidir. Karar verici, karar vermeyi gerçekleştiren bir veya birden fazla kişiden oluşabilmektedir. Problemin çözülme amacı, belirlenen değişken seçenekler arasında en doğru olana karar vermek için önemli bir etkidir. Bu sebeple temel amacın ne olduğuna karar vermek gerekir. Problemin çözümünde karar verme aşamasına geçebilmek için birden fazla seçeneğin belirlenmesi gerekir. Karar verici kişi veya kişilerin, problem çözümünü en uygun şekilde sonuçlandırabileceği seçenekler oluşturulmalıdır. Problem, amaç ve seçenekler göz önünde bulundurulduğunda karar verildikten sonra elde edilmesi istenen verilere göre, bilimsel karar verme yöntemlerinden en uygun olanı karar verici tarafından belirlenmelidir. Her bilimsel yöntemin farklı avantaj ve dezavantajı olmakla birlikte, karar verilmesi gereken duruma göre en uygun yöntem tespit edilerek uygulanır. Uygulanan karar verme yöntemi sonucu elde edilen seçenekler, kendi aralarında da kıyaslanarak belirlenen probleme yönelik en uygun çözümün seçilip seçilmediği kontrol edilmeli ve elde edilen farklı sonuçlar yorumlanmalıdır (Sülüoğlu, 2021).

4.3. Çok Kriterli Karar Verme

Karar verme aşamasında belirlenen seçeneklerin ve ölçütlerin sayısı arttıkça seçenekleri ve ölçütleri kendi içinde karşılaştırmak ve en doğru çözüme ulaşabilmek zorlaşmaktadır. Seçeneklerin birbirini etkilediği durumları ve belirlenen her seçeneğin kendine göre problem için iyi bir çözüm olabileceği gerçeği karar vericiyi yavaşlatır. Bu zorluklara karşı bilimsel yöntemlerin kullanılmasıyla geliştirilen çok kriterli karar verme yöntemleri uygulanmaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemleri, 1960'ı takip eden yıllarda karar vericinin işini kolaylaştırmak ve hızlandırmak için geliştirilmiştir (Subaşı, 2011).

Çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak belirlenen seçenekler arasında karşılaştırma, sıralama, önceliklendirme, seçme gibi işlemler yapılabilmektedir. Seçeneklerin iyi veya kötü yönlerini, öznel ya da nesnel, nicel veya nitel etkilerini sayısal verilere dönüştürerek karar vericinin işini büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır (Sülüoğlu, 2021). Belirlenen seçenekler matematiksel işlemler kullanılarak önem derecesine göre sıralanmakta, dolayısıyla belirlenen problem için en uygun seçeneğin en yüksek puana sahip olması amaçlanmaktadır. Öncelikli olarak yapılması gereken, belirlenen problemin türüne göre en uygun çok kriterli karar verme yönteminin seçilmesidir (Sümer, 2018).

Şekil 4.2'de farklı amaçlar için kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri gruplandırılmıştır. Günümüze kadar geliştirilen çok kriterli karar verme yöntemleri AHP, ELECTRE, PROMETHEE, ANP, VIKOR, MOORA, SMART, TOPSIS ve COPRAS olarak bilinmektedir (Sağlamyürek, 2018).



Şekil 4.2. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin amaçlarına göre sınıflandırılması (Sülüoğlu, 2021; Aksoy, 2021)

4.3.1. AHP (*Analitik hiyerarşi prosesi*)

Açılımı Analitik Hiyerarşi Prosesi olarak bilinen AHP yöntemi, 1977 senesinde Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş ve kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. AHP; belirlenen alanında uzman kişilerden fikirlerinin alınmasıyla, değişken olan seçenek ve ölçütlerin yüzdelik dağılımlarının belirlenerek problemin hiyerarşik bir şekilde çözülebildiği çok kriterli bir karar verme yöntemidir (Özarpa vd. 2021a).

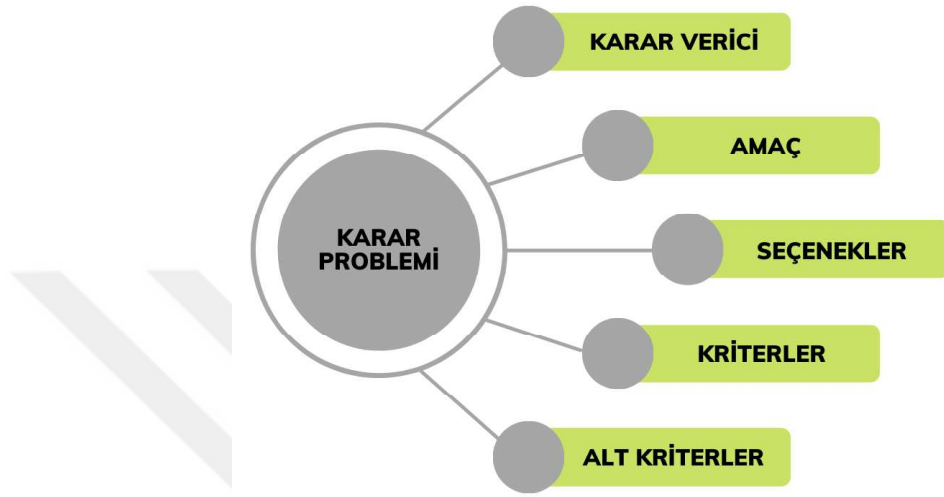
AHP'yi kavramlar ile şu şekilde açıklamak mümkündür (Aksoy, 2021):

- **Analitik:** Problemlerin matematiksel ve mantıksal yöntemlerle çözümlenmesine analitik denilmektedir.
- **Hiyerarşi:** Bu yöntemde kullanılan amaç, seçenek, ölçüt ve alt ölçütler arasında bir bağlantı kurularak elde edilen hiyerarşik yapı sayesinde çözüme sistematik bir şekilde ulaşılmaktadır.
- **Proses:** Problemin belirlenmesinden kararın verilme aşamasına kadar olan zaman dilimine karar verme süreci denilmektedir. AHP yönteminde farklı aşamalar altına gerçekleştirilen farklı işlemler bulunduğu için, bir süreç gerçekleşmektedir.

AHP yöntemine kavramsal olarak bakıldığında; problemin belirlenmesinden başlayarak, kararın verilmesi aşamasına kadar olan bir süreçte, belirlenen amaç, seçenekler ve ölçütler arasında bir ilişki kurarak sistematik bir şekilde, mantıksal ve matematiksel olarak problemin çözülebileceği ve karar vermenin gerçekleşebileceği görülmektedir. Karar problemini oluşturan etmenler Şekil 4.3'de verilmektedir.

Literatürde Analitik Hiyerarşik Süreç gibi benzer ifadelerle de bilinmektedir. AHP yönteminde karar vericinin öncelikleri ve geçmişte yer alan benzer senaryolar dikkate alınarak sayısal ve sözel verilerin beraber incelenmesi sağlanır. Yöntemde, uzman kişilerden anket yoluyla fikirler alınabilmektedir. Karar probleminden etkilenen kişi sayısı arttıkça kararın grup şeklinde alınması şeklinde bir yol izlenmesi gerekir. Karar verici grubun ortak bir karar alması için farklı uygulamalar yapılmaktadır. Çoğunlukla karar vericiler arasında oylama yapılmakta veya karar verici gruptaki kişilerin tercihlerinin geometrik ortalamaları alınıp değerlendirilerek bir karar verilmektedir. AHP yönteminde

birbirinden bağımsız olarak belirlenen farklı seçenekler arasında ilişki kurmadan, hiyerarşik bir şekilde karar verebilmeyi amaçlar. Bu sayede nasıl karar verileceğinden ziyade karar vericinin kendi karar verme içgüdüsünü geliştirebilmeyi sağlar (Sülüşoğlu, 2021).



Şekil 4.3. Karar problemini oluşturan etmenler (Sülüşoğlu, 2021)

4.3.1.1. AHP yönteminin uygulanması

Çok kriterli karar verme yöntemleri arasında en sık kullanılan yöntemlerden biri olan AHP yöntemini uygulayabilmek için belirlenen temel aşamalar Şekil 4.4'de gösterilmektedir. Şemada belirtildiği gibi, yöntemi uygulamak için gerekli adımlar sırası ile uygulanarak sistematik bir şekilde karar verme probleminin çözümü sağlanmaktadır.



Şekil 4.4. AHP yöntemini uygulama aşamaları (Özarpa vd., 2021b; Kara, 2016)

- **Problemin tespit edilmesi ve amacın belirlenmesi**

Belirlenen karar vericilerin en uygun kararı verebilmeleri için öncelikli olarak bir karar probleminin belirlenmesi gerekmektedir. Çözüme ulaşabilecek ve birden fazla seçeneği belirlenebilecek bir karar probleminde çok kriterli karar verme yöntemleri uygulanabilmektedir (Özarpa vd., 2021a).

Belirlenen karar problemi doğrultusunda, seçenekler ve ölçütlerle bağlantılı olacak şekilde karar probleminin unsurlarından biri olan amacın belirlenmesi gerekir. Amacı belirlenmesi, kriterlerin ve seçeneklerin belirlenmesinde önemli bir adım olmakla birlikte, hiyerarşik yapının oluşturulabilmesi için önemli bir aşamadır (Özdemir ve Özcan, 2020).

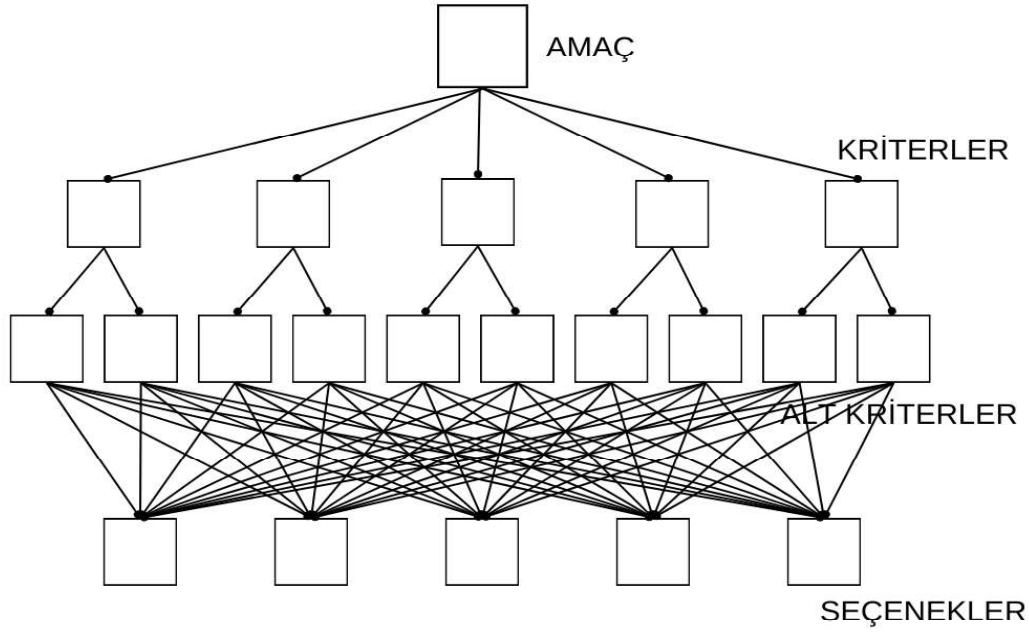
- **Seçenek ve ölçütlerin belirlenerek hiyerarşik yapının oluşturulması**

Hiyerarşik yapıyı oluşturan en temel unsur olan amacın belirlenmesiyle birlikte, amaca uygun olarak karar verme sürecinde etkili olan seçenekler ve kriterler belirlenir. Gerekli durumda kriterler, alt kriterler olarak da ayrılabilir. Seçenek ve kriterleri belirlerken daha önce yapılan benzer çalışmalar incelenmeli ve alanından uzman kişilerden faydalanılmalıdır. Bu sayede benzer geçmiş senaryolardan elde edilen deneyimler ile en doğru karar verilebilir. Uzman kişilerden anket yoluyla fikirleri alınabilir. Kişilerin objektif ya da subjektif görüşleri eşliğinde seçenekler, kriterler ve varsa alt kriterler belirlenir (Özdemir ve Özcan, 2020).

Belirlenen amaç, seçenek, kriter ve alt kriterler kullanılarak en az 3 seviye olmak kaydıyla bir hiyerarşik yapının oluşturulması amaçlanır. Karar problemini oluşturan tüm etmenler şema ile gösterilerek daha etkili bir sonuç elde edilebilir. Şekil 4.5’de hiyerarşik yapının oluşturulması gösterilmektedir.

Hiyerarşik yapının en üst seviyesinde amaç belirtilmelidir. Sonraki seviyelerde kriterler ve varsa alt kriterler gösterilir. En alt seviyede ise seçenekler bulunmalıdır. Hiyerarşik yapıda görüldüğü gibi, seçeneklerin her bir kriterle olan etkisi farklı sonuçlanmakta dolayısıyla yeni bir sonuç ortaya çıkarmaktadır. Hiyerarşik yapı

oluşturulmasının amacı ise, farklı seviyelerde bulunan elemanların diğer seviyelerdeki elemanlara olan etkisini incelemeye katkı sağlamaktır (Aksoy, 2021).



Şekil 4.5. Karar problemini oluşturan hiyerarşik yapı (Kaya, 2019; Aksoy, 2021)

Hiyerarşik yapının sağladığı avantajları şu şekilde sıralamak mümkündür (Aksoy, 2021; Kaya, 2019):

- Hiyerarşik yapıda oluşturulan alt ve üst seviyelerin birbirine olan etkileri kolaylıkla gözlemlenebilmektedir.
- Problemin çözümünde meydana gelebilecek olan den ufak değişimler bile hiyerarşik yapıda kolaylıkla fark edilebilmekte, düzenlenebilmesi ve kontrol altına alınabilmesi kolaydır.
- Hiyerarşik yapı sayesinde karar problemi için oluşturulan şema hakkında detaylı bilgi alınabilmektedir. Sistemik bir yapı kurulduğu için karar problemi daha anlaşılır olmaktadır.
- Hiyerarşik yapıdaki seviye ve eleman sayısı arttıkça problemin karmaşıklaştığı anlaşılmaktadır.

- **İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması**

Kriterler ve seçenekler belirlendikten sonraki adım ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasıdır. İkili karşılaştırma matrisi, oluşturulan hiyerarşik yapıdaki kriterlerin birbiri ile kıyaslanarak elde edilen sayısal verilerle oluşturulan bir matristir (Kaya, 2019). Hiyerarşik yapı sayesinde elde edilen veriler, ikili karşılaştırma matrisi ile kıyaslanmaktadır (Özdemir ve Özcan, 2020). Karar vericiler, seçenek ve kriterlerin önem derecelerini belirlerken Çizelge 4.1'deki Saaty ölçeğini kullanmaktadır. Saaty tablosu kullanılarak sözel veriler olan kriter ve seçenekler, sayısal verilere dönüştürülmektedir. Matriste, tabloda verilen 1-9 arasındaki sayılar kullanılmaktadır. Verilecek olan karar birden fazla kişiyi etkilediğinde, ikili karşılaştırma matrisinden dengeli bir sonuç alabilmek için matristen elde edilen sonuçların geometrik ortalaması alınarak tek bir matris oluşturulması tercih edilmektedir (Sülüoğlu, 2021).

Çizelge 4.1. Saaty ölçeği (Sülüoğlu, 2021; Özarpa vd., 2021b)

Önem Derecesi	Açıklama
1	İki parametrenin de eşit öneme sahip olması
3	İlk parametrenin ikinci parametreden daha önemli olması (orta derecede önem)
5	İlk parametrenin ikinci parametreden çok daha fazla önemli olması (kuvvetli derecede önemli)
7	İlk parametrenin ikinci parametreye göre önceki önem derecesinden daha güçlü öneme sahip olması (çok kuvvetli derecede önem)
9	İlk parametrenin ikinci parametreye göre mutlak olarak öneme sahip olması
2,4,6,8	Parametreler arasında taviz verilmesi gereken durumlar (ara değerler)

Karar probleminde belirlenen seçenek sayısı m , seçenekleri etkileyen kriter sayısı n olarak kabul edilirse, kriterlerin kendi arasında kıyaslanmaları için oluşturulan matris $n \times n$ boyutunda olmaktadır. Toplam karşılaştırma sayısı ise $n*(n-1)/2$ olarak bulunmaktadır (Canbulut, 2019). Elde edilen matrisin köşegen elemanları 1 olmalıdır çünkü her kriter kendisiyle eşit öneme sahiptir. Bu da kriterlerin birbiri ile çakıştığı noktadaki elemanın 1 olması anlamına gelmektedir.

Eşitlik 4.1’de belirtilen A matrisindeki satır i , sütun j ile ifade edilmektedir. Matristeki satır ve sütunlarda, kıyaslama yapılacak olan kriter veya seçeneklerin sayısal değerleri yer almaktadır.

$$A = a_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & \cdots & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Verilen a_{11} değeri, 1 numaralı kriterin yine 1 numaralı kriterle karşılaştırılması sonucunda elde edilen sayısal değeri vermektedir. Matriste birinci satır ikinci sütunda bulunan a_{12} değeri ise, 1 numaralı kriterin 2 numaralı kriterle karşılaştırılması sonucu elde edilen değer bulunur. Görüldüğü gibi köşegen elemanları 1 olmaktadır. Köşegenin altında kalan elemanlarda tam tersi durum geçerlidir. Örneğin a_{12} değerinin karşılığında e sonucu elde ediliyorsa, köşegenin altında kalan 2.satır 1. Sütundaki a_{21} elemanının değeri $1/e$ olarak bulunmaktadır (Aksoy, 2021).

Karşılaştırma sonucu elde edilen sayısal veriler Çizelge 4.2’de verilmektedir. Bu veriler tablodan matrise dönüştürülerek de ikili karşılaştırma matrisi elde edilebilir (Canbulut, 2019).

Çizelge 4.2. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

i (kriter)	j (kriter)			
	1	2	...	n
1	C_{11}	C_{12}	...	C_{1n}
2	C_{21}	C_{22}	...	C_{2n}
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
n	C_{n1}	C_{n2}	...	C_{nn}

Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinde olması gereken özellikleri şu şekilde sıralamak mümkündür (Sülüšoğlu, 2021; Aksoy, 2021):

- **Karşılık olma:** Matriste yer alan elemanlardan i numaralı kriter veya seçenek j numaralı kriter veya seçenektan a_{ij} kadar önemlidir. Tam tersi şeklinde bakıldığında

ise, j numaralı kriter veya seçenek, i numaralı kriter veya seçenektan a_{ji} kadar önem arz etmektedir. Dolayısıyla $a_{ij}=1/a_{ji}$ eşitliği sağlanmaktadır.

- Matriste yer alan a_{ii} , a_{jj} gibi kriter veya seçeneklerin birbiri ile kıyaslanması sonucu elde edilen elemanların sayısal değeri 1 olmalıdır. Her kriter veya seçenek, kendisi ile eşit öneme sahiptir. $a_{ii} = a_{jj} = 1$
- Saaty tablosu kullanılarak oluşturulan matriste 1-9 arası sayılar kullanılmaktadır. Dolayısıyla matristeki elemanlar daima pozitif reel sayılardan oluşmaktadır. $a_{ij} > 0$
- Elde edilen ikili karşılaştırma matrisi kare matris olmaktadır ve m seçenek, n kriter sayısı olarak kabul edildiğinde $n \times n$ veya $m \times n$ boyutlarında bir matris oluşmaktadır.
- Matriste bulunan eleman sayısı n için, $n*(n-1)/2$ kez karşılaştırılma yapılmaktadır.
- **Geçişkenlik:** Elde edilen matris tam tutarlı olduğu durumda, $a_{ij} * a_{jk} = a_{ik}$ eşitliği bulunmaktadır. ($i, j, k=1,2,3,\dots,n$)

- **Kriterlerin ve seçeneklerin önem ağırlıklarının belirlenmesi**

Kriterlerin ve seçeneklerin önem ağırlıklarının yüzde olarak dağılımını bulabilmek için, sentez adı verilen öncelik vektörünün hesaplanarak normalize edilmesi gereken aşama uygulanmalıdır (Aksoy, 2021). Normalizasyon matrisinin hesaplanmasıyla elde edilen önem ağırlıkları sıralanarak, belirlenen kriterlerin öncelik sıralaması sağlanmış olur (Özarpa vd., 2021b). Öncelik vektörünün elde edilmesi için ikili karşılaştırma matrisinin sütun vektörleri kullanılmaktadır. Matristeki ağırlık değerlerini belirlemek için her eleman değeri, bulunduğu sütundaki elemanların toplam değerine bölünerek bulunur. Bunun için aşağıda verilen Eşitlik 4.2 kullanılır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4.2)$$

Matriste bulunan her eleman için belirtilen denklem kullanıldığında, elde edilen yeni matristeki her sütunda bulunan elemanların toplam değeri 1 olarak elde edilir. Hesaplanan yeni matris, ikili karşılaştırma matrisinin normalleştirilmesiyle oluşturulmuş olur. Normalleştirilen C matrisi $n \times n$ boyutunda bir normalizasyon matrisi olarak Eşitlik 4.3'de gösterilmektedir.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Normalizasyon matrisinin satır elemanları toplanıp aritmetik ortalaması alınarak oluşturulan yeni bir W vektörü elde edilmektedir. Bu vektör ile belirlenen kriterlerin yüzde olarak önem ağırlıklarına ulaşılabilir. W vektörü aşağıda gösterilen Eşitlik 4.4 ile bulunmaktadır. Elde edilen W vektörü, matrisi oluşturulan kriter veya seçeneklerin yüzde olarak önem ağırlıklarını gösteren öncelik vektörü olarak bilinir (Sülüoğlu, 2021; Aksoy, 2021).

$$W = \begin{bmatrix} w_1 = \frac{c_{11}+c_{12}+\cdots+c_{1n}}{n} \\ w_2 = \frac{c_{21}+c_{22}+\cdots+c_{2n}}{n} \\ \vdots \\ w_n = \frac{c_{n1}+c_{n2}+\cdots+c_{nn}}{n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

- **Tutarlılık oranının hesaplanarak tutarlılığın incelenmesi**

Karar probleminde oluşturulan kriterler AHP yönteminde objektif ve subjektif olarak belirlenebilmektedir. Bu durum yöntem açısından avantaj sağlasa da elde edilen sonuçların tutarlılığını kontrol etme ihtiyacı doğurur. Dolayısıyla AHP yönteminde elde edilen kriter ağırlıklarının tutarlı olup olmadığını incelemek gerekmektedir. Tutarlılığın kontrol edilmesi, tutarlılık oranının bulunmasıyla sağlanır. Bulunan tutarlılık oranı %10'un altında olduğunda, karşılaştırma tutarlı sayılır. Fakat oranın %10'un üzerinde olduğu durumlarda karşılaştırmanın tutarsız olduğu anlaşılmakta ve karşılaştırma işlemlerinin tekrar incelenmesi gerekmektedir (Aksoy, 2021).

Tutarlılık oranı, karar vericinin son kararı vermesinde etkili olan en önemli etmenler arasında yer almaktadır. Sıralanan seçenekler arasında en doğru kararın verilmesinde etkili olur. Elde edilen tutarlılık oranının sıfıra yaklaşması, yapılan karşılaştırmanın tutarlılığının artması anlamına gelmektedir (Özdemir ve Özcan, 2020).

Tutarlılık analizi, kendi içinde tutarlı olmalıdır. Örneğin, 1 numaralı kriter 2 numaralı kriterden daha yüksek ağırlıklı bir öneme, 2 numaralı kriter de 3 numaralı

kriterden daha yüksek ağırlıklı bir öneme sahipse, 1 numaralı kriterin 3 numaralı kriterden daha yüksek bir önem derecesine sahip olması gerekir. Sayısal olarak örneklendirirsek, 1 numaralı kriter 2 numaralı kriterden 2 kat daha fazla önemli, 2 numaralı kriter 3 numaralı kriterden 3 kat önemli ise, 1 numaralı kriterin 3 numaralı kriterden 6 kat daha önemli olması gerekir (Canbulut, 2019).

Tutarlılık oranını hesaplamak için yapılması gereken ilk işlem, elde edilen A ikili karşılaştırma matrisi ile yüzde önem ağırlıkları bulunan W vektörü çarpılarak aşağıdaki Eşitlik 4.5’de verilen ağırlıklı değerler vektörü adını alan D vektörü hesaplanır.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Temel değer vektörü adı verilen E vektörünün bulunması için Eşitlik 4.6’da verilen D vektörünün elemanları, W vektöründe karşılık gelen satırdaki elemanlara bölünmelidir. Böylece E temel değer vektörü bulunarak tutarlılık oranına ulaşılmak amaçlanır (Sülüşoğlu, 2021).

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Hesaplanan E temel değer sütun vektöründeki elemanların aritmetik ortalaması alınarak temel değer adı verilen λ değeri Eşitlik 4.7’deki gibi hesaplanmaktadır (Aksoy, 2021).

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (4.7)$$

Bulunan λ temel değerini kullanarak aşağıda verilen Eşitlik 4.8’de olduğu gibi Tutarlılık İndeksi (CI , *Consistency Index*) bulunur.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4.8)$$

Son aşama olarak, Çizelge 4.3’de verilen Rassal İndeks kullanılarak Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanmaktadır. Rassal İndeks (RI), Karşılaştırma matrislerinin rassallaştırılarak genişletilmesiyle oluşturulmuştur. Farklı değerler için farklı RI değerleri gösterilen Rassallık İndeksiyle Tutarlılık Oranı Eşitlik 4.9’deki gibi bulunur.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.9)$$

Çizelge 4.3. Rassal İndeks Değerleri (Sülüoğlu, 2021)

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

Yapılan işlemler sonucu elde edilen Tutarlılık Oranının 0,10’dan küçük olması istenir. Bu durumda tutarlı bir karşılaştırma yapılmış olur. ($CR < 0,10$) (Sülüoğlu, 2021).

- **Her kriter için tüm seçeneklerin yüzde önem ağırlıklarının hesaplanması ve seçeneklerin sıralanması**

AHP yönteminin sırasıyla bahsedilen uygulama adımları tek bir kriterde gösterilmektedir. Yöntem tüm kriterlerde teker teker uygulanmalıdır. Her bir kriter için bulunan seçeneklerin önem ağırlıkları büyükten küçüğe sıralanır. Karar verici, en yüksek önem derecesine sahip olan seçeneğin tercih edilmesi kararına varır (Aksoy, 2021).

4.3.1.2. AHP yönteminin avantajları

Birçok farklı disiplinde kullanılabilen AHP yöntemi, karar vericiye sağladığı avantajlardan dolayı sıklıkla tercih edilen birçok kriterli karar verme yöntemidir. AHP yönteminin sağladığı avantajları şu şekilde sıralamak mümkündür (Sülüoğlu, 2021; Canbulut, 2019):

- Sayısal ve sözel verileri bir arada kullanma imkânı sunarak tüm veriler sayısal olarak ifade edilebilmektedir.

- Uygulama için kullanılan farklı programların dışında ulaşımı kolay bir hesap tablosu programında bu yöntemi modellemek mümkündür.
- Karar vericilere karar verme sürecinde verecekleri kararları, seçenekleri ve kriterleri değiştirebilme fırsatı vermektedir.
- Kararın birden fazla kişiyi etkilemesi durumunda veya birden fazla karar verici bulunması halinde kararların sırasıyla hepsinin değerlendirilebilmesini sağlar. Karar vericilerin ortak bir karara varmasını kolaylaştırır.
- Kriterler ve seçenekler belirlenirken elde edilen sayısal verilerin tutarlı olup olmadığının kontrolü sağlanmaktadır. Bu da gerçeğe en yakın tutarlılığın elde edilmesi anlamına gelir.
- Oluşturulan hiyerarşik yapı ile farklı birçok karar problemi kolaylıkla anlaşılmaktadır.

4.3.1.3. AHP yönteminin dezavantajları

AHP yönteminin sağladığı avantajların yanı sıra farklı dezavantajları da bulunmaktadır. Karar probleminde AHP yöntemi kullanılması durumunda karar verme sürecine negatif bir etkinin oluşturduğu durumlarda, farklı çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmalıdır. AHP yönteminin sebep olduğu dezavantajlar şu şekilde sıralanmaktadır (Sülüşoğlu, 2021):

- AHP yönteminde oluşturulan ikili karşılaştırma matrisini ortalama 7×7 boyutuna sahip olmalıdır. Matris boyutunun daha fazla olması durumunda ikili karşılaştırma yaparken karar verme sürecinin oldukça uzadığı sonucuna varılmıştır.
- Çok seviyeli hiyerarşik yapılarda daha karmaşık olan bilgisayar paket programları kullanmak gerekir.
- Karar verme sürecinde en uygun kriter ve seçenekleri belirlerken alanında uzman kişilere ulaşmak gerekir. Yetersiz sayıda ve deneyime sahip uzman kişilerin belirlenmesi, istenilen sayıda ve özellikle kriter ve seçeneğin belirlenmesini zorlaştırabilmektedir.

4.3.2. PROMETHEE (*Zenginleştirme değerleri için tercih sıralaması organizasyonu*)

PROMETHEE, Türkçe bir ifadeyle “Zenginleştirme Değerlendirme için Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi” olarak belirtilen çok kriterli karar verme yöntemidir. Kriter ve seçeneklerin birbirlerine göre önem ağırlıklarının hesaplanarak değerlendirilmesi ve yapılan değerlendirmelerin GAIA aracılığıyla grafikler kullanılarak görselleştirilmesini sağlayan bir yöntemdir. PROMETHEE yöntemi kullanılarak kriter ve alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar oluşturularak kriterler arasında alternatiflere göre bir üstünlük sıralaması yapılabilmektedir (Özarpa vd., 2021b).

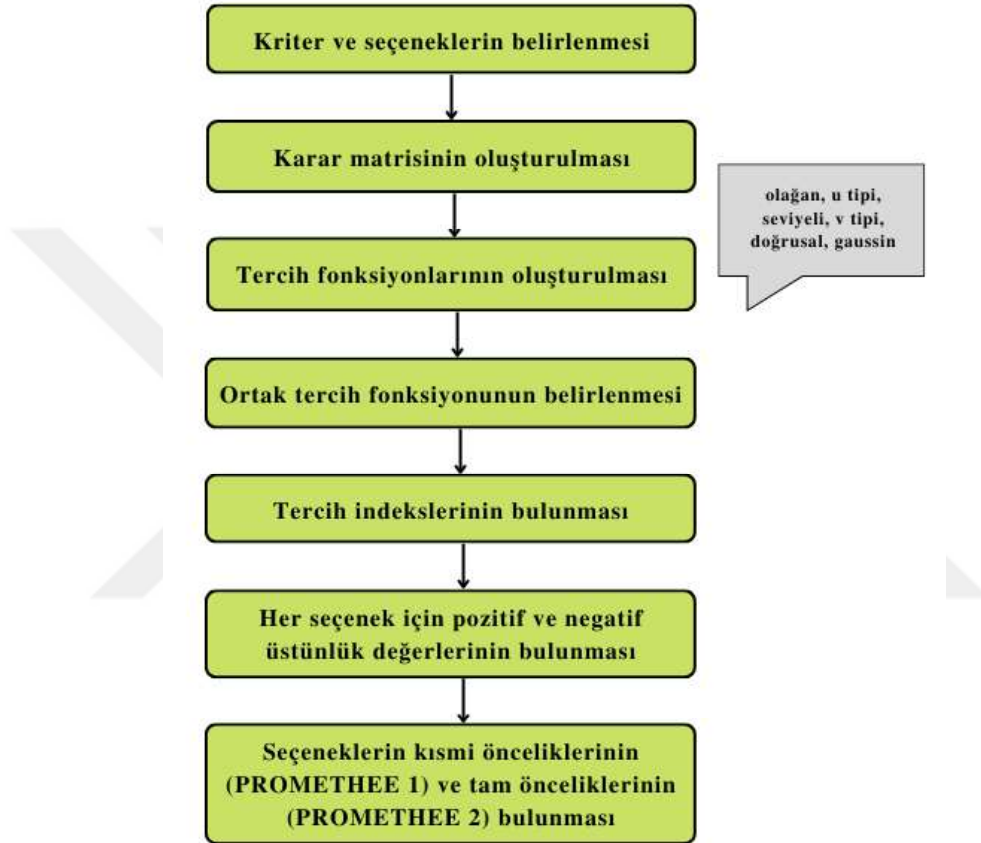
PROMETHEE yöntemi 1985 yılından beri kullanılmaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemleri arasında meydana gelen olumsuzlukları yok etmek için geliştirilen bu yöntem, seçenek ve kriterlerin incelenmesi sonucu elde edilen verileri görselleştirerek açıklayabilmektedir. GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Aid*) düzlemi kullanılarak, elde edilen analiz sonuçları grafiklerle gösterilmektedir. Bu durum karar vericinin sonuçları daha kolay analiz edebilmesini ve doğru sıralamayı daha hızlı yapabilmesini sağlar. PROMETHEE yöntemi kullanılarak elde edilen veriler bu sayede daha detaylı bir şekilde analiz edilebilir. (Kaya, 2019). Çok kriterli karar verme yöntemleri arasında en son geliştirilen yöntemlerden biri olarak yer almaktadır (Özarpa vd., 2021b).

Yöntem basit, anlaşılır ve açık olduğu için son zamanlarda oldukça tercih edilmektedir. Kriterler arasında sıralama yapılırken tercih fonksiyonları kullanılmaktadır. PROMETHEE 1 ve PROMETHEE 2 olarak farklı amaçlar için geliştirilen uygulamaları mevcuttur. PROMETHEE 1 ile sonlu sayıdaki seçenekleri kısmi olarak, PROMETHEE 2 ile tam olarak sıralama yapabilmektedir (Sağlamyürek, 2018; Taş vd., 2017b).

- **PROMETHEE yönteminin uygulanması**

PROMETHEE yöntemi uygulanırken yapılması gereken ilk adım karar matrisinin oluşturulmasıdır. Karar matrisi, AHP yönteminde bahsedildiği gibi belirlenen kriter ve seçeneklerin oluşturduğu matrisin ağırlıklandırılarak elde edildiği bir matristir. Daha sonra belirlenen kriterler için tercih fonksiyonları oluşturulmalıdır. Tercih fonksiyonlarının oluşturulmasında Olağan, U tipi, V tipi, Seviyeli, Doğrusal ve Gaussian olarak belirlenen 6

farklı tercih fonksiyonundan bir tanesi seçilmelidir. Bu tercih fonksiyonları Çizelge 4.4'de gösterilmektedir (Taş vd., 2017b). Seçenekler ikili olarak, kriterler için seçilen tercih fonksiyonuna göre kıyaslanmaktadır (Kınacı vd., 2022). Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan PROMETHEE yöntemi Şekil 4.11'deki şemada belirtildiği gibi temel olarak 7 aşamadan oluşmaktadır:



Şekil 4.6. PROMETHEE uygulama aşamaları (Taş vd., 2017b)

Belirlenen tercih fonksiyonları arasında bir ortak tercih fonksiyonu belirlenmelidir. Ortak tercih fonksiyonları Eşitlik 4.10'daki genel ifadede olduğu gibi belirlenmektedir.

$$P(a,b) = \begin{cases} 0, & f(a) < f(b) \\ P[f(a) - f(b)], & f(a) > f(b) \end{cases} \quad (4.10)$$

Elde edilen ortak tercih fonksiyonuna göre her seçenek çifti için ikili karşılaştırma yapılarak tercih indeksleri bulunmalıdır. Seçenekler için tercih indeksleri Eşitlik 4.11'de verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^n W_j \cdot P_j(a,b) \quad (4.11)$$

Çizelge 4.4. Tercih Fonksiyonları Türleri (Taş vd., 2017b)

	Fonksiyon	Parametre
Olağan (Birinci Tip)	$P(d) = \begin{cases} 0, & \forall x \leq 0 \\ 1, & \forall x \geq 0 \end{cases}$...
U tipi (İkinci Tip)	$P(d) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ 1, & x \geq l \end{cases}$	l
V tipi (Üçüncü Tip)	$P(d) = \begin{cases} \frac{x}{m}, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \\ 0, & x \leq q \end{cases}$	m
Seviyeli (Dördüncü Tip)	$P(d) = \begin{cases} \frac{1}{2}, & q < x \leq q + p \\ 1, & x > q + p \\ 0, & x \leq s \end{cases}$	q, p
Doğrusal (Beşinci Tip)	$P(d) = \begin{cases} \frac{(x-s)}{r}, & s < x \leq s+r \\ 1, & x > s+r \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$	s, r
Gaussian (Altıncı Tip)	$P(d) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, & x > 0 \end{cases}$	σ

Belirlenen her seçenek için pozitif ve negatif üstünlüklerin oluşturulması gerekir. Pozitif üstünlük, belirtilen seçeneğin diğer seçeneklerle kıyaslandığında elde edilen üstünlüklerini ifade eder. Negatif üstünlük ise diğer seçeneklerin belirtilen seçenекle kıyaslandığında elde edilen üstünlüklerini ifade eder. Başka bir deyişle, ilgili seçeneğin diğer seçeneklere göre zayıflıklarının ifade edilmesi negatif üstünlük olarak bilinir. a seçeneği için bulunması gereken pozitif üstünlükler Eşitlik 4.12'de (Φ^+ , Φ^+), negatif üstünlükler Eşitlik 4.13'de (Φ^- , Φ^-) verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b) \quad (4.12)$$

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(b, a) \quad (4.13)$$

Sonraki aşamada PROMETHEE 1 kullanılarak seçenekler için kısmi öncelikler belirlenir ve seçeneklerin birbirleriyle kıyasla tercih edilebilirliği incelenmektedir. Belirlenen iki seçenek arasında kısmi olarak önceliğin belirlenmesi aşamasında 3 farklı durum ortaya çıkmaktadır. İki alternatif a ve b olarak belirlendiğinde:

Durum 1: Aşağıda verilen eşitlikler sağlandığı durumlarda a seçeneği b seçeneğine tercih edilmektedir.

- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$
- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$
- $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$

Durum 2: Aşağıda verilen eşitlik sağlandığı durumda, a seçeneği b seçeneğiyle eşit önem derecesine sahiptir.

- $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$

Durum 3: Aşağıda verilen eşitlikler sağlandığı takdirde a seçeneği b seçeneği ile kıyaslanamaz.

- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) > \Phi^-(b)$
- $\Phi^+(a) < \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$

Yöntemin en son aşamasında PROMETHEE 2 ile, seçenekler için tam olarak önceliklerin belirlenmesi gerekir. Bunun için aşağıda verilen eşitlikten faydalanılır:

- $\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$

Elde edilen sonuçlar arasında;

- Eğer a seçeneğinin üstünlük değeri b seçeneğinin üstünlük değerinden yüksek ise a alternatifinin üstün olduğu anlaşılmaktadır. ($\Phi(a) > \Phi(b)$)
- Eğer a seçeneğinin üstünlük değeri b seçeneğinin üstünlük değerine eşit olarak bulunursa iki seçenek de eşit öneme sahiptir. ($\Phi(a) = \Phi(b)$)

Tüm aşamalar sonucu elde edilen veriler GAIA düzlemi kullanılarak grafikleştirilir ve sonuçlar görsel olarak inceleyebilir hale getirilir (Taş vd., 2017b; Kınacı vd., 2022).

4.3.3. TOPSIS (İdeal çözüme benzerliğe göre sıralama tercihi tekniği)

Karar problemlerinde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri de TOPSIS'dir. "İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Tercihi Tekniği" olarak çevrilebilen TOPSIS yöntemi, karar probleminde belirlenen kriterlerin farklı sonuçlar doğurmasından dolayı en uygun çözümün sağlanamadığı durumlarda kullanılmaktadır (Sülüşoğlu, 2021).

1981 yılında Yoon ve Hwang tarafından geliştirilen TOPSIS yöntemi, belirlenen ideal çözüme en yakın uzaklığa sahip ve negatif ideal çözüme en uzak mesafeye sahip olan seçeneğin belirlenmesini sağlar. Başka bir deyişle, seçenek ve kriterlerin en yakın ve en uzak mesafelerdeki en uygun çözümlerin incelenerek sıraya konulmasını sağlamaktadır (Uray, 2021).

TOPSIS yönteminde adı geçen ideal çözüm kavramı, karar probleminin çözümünde meydana gelebilecek tüm olumlu değerleri kapsamaktadır. Negatif ideal çözüm ise tam tersi bir kavram olarak, karar problemi çözümünde meydana gelebilecek tüm olumsuz sonuçları kapsayıcı bir anlatım sergiler. Negatif ve pozitif çözümlerin görünürlüğü ile birlikte karar vericilerin istenilen sonuçlara daha az riskle ulaşmasını sağlar. Bu yüzden karar problemi sonucunda gerçekleşecek çözümleri daha az riskle değerlendirerek doğru karara varılmasını sağlayan durumlarda kullanılabilir. TOPSIS yönteminde karmaşık matematiksel ifadeler bulunmaz, kolay bir şekilde anlaşılabilir ve uygulanabilir. Bu sebeple yönetim, sağlık, teknoloji, depolama, planlama gibi farklı disiplinlerde rahatlıkla kullanılabilir (Sülüşoğlu, 2021).

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan ELECTRE yönteminin mantığıyla benzer olarak geliştirilen TOPSIS yönteminin uygulama aşamalarının bir kısmı ELECTRE ile aynıdır. Karar matrisinin normalize edilmesinden sonraki aşamalarda farklılık gösteren iki yöntem birbiri ile karıştırılmamalıdır. İlerleyen bölümlerde bahsedilecek olan ELECTRE yöntemi, seçenekleri birbiri arasında üstün olana göre eleme gerçekleştirirken

TOPSIS yönteminde ideal çözüme en yakın fakat negatif ideal çözüme en uzak mesafedeki seçenek belirlenmektedir (Sağlamyürek, 2018).

TOPSIS yönteminde ilk uygulama adımı karar matrisi oluşturmaktır. Karar matrisinin satırlarını belirlenen seçenekler, sütunlarını ise belirlenen kriterler oluşturur (Uray, 2021). Elde edilen karar matrisi, karar probleminin değerlendirilebilmesi için normalleştirilmelidir ve ağırlıklandırılır. Ağırlıklandırılan matrisin sütun elemanlarının en yüksek değere sahip olanı belirlenir. Bu şekilde ideal çözüm setine ulaşılmaktadır. Aynı şekilde negatif ideal çözüm seti için de, matristeki sütun elemanları arasında en küçük değere sahip olanlar belirlenmelidir. Belirlenen her seçenek için ilgili kriterlerin ideal ve negatif ideal çözüm setine olan uzaklıkları bulunarak, negatif ideal noktalarına olan uzaklıklar büyükten küçüğe doğru sıralanır. Seçenekler arasında en büyük değere sahip olan yani negatif ideal noktasına en uzak olan seçenek belirlenmektedir.

Belirlenen seçeneklerin, ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları belirlenerek karar probleminde en uygun seçeneğin belirlenmesini sağlayan TOPSIS yönteminin diğer çok kriterli karar verme yöntemleri arasında tercih edilebilirliğini artıran bazı avantajları mevcuttur. Bu avantajlar sıralı olarak aşağıdaki gibi verilebilir:

- Uygulaması diğer yöntemlere kıyasla kolaydır. Bu sebeple kolay anlaşılabilen ve hızlı çözümlenebilmektedir.
- Seçeneklerin ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları belirlendiğinden dolayı her seçenek için kontrol sağlanabilmektedir. Dolayısıyla karar vericinin işini kolaylaştırmaktadır.
- Sayısal ve sözel verilerin bir arada kullanılabilmesini sağlar.
- Karar matrisindeki elemanların ağırlıklandırılmasında karar vericiye bireysel yargı fırsatı verir.
- Belirlenen her seçeneğin kendine göre değerlendirilmesini sağlar. Seçeneklerin bağımsız olması sayesinde daha net bir karar süreci gerçekleştirilebilir.
- Kolay bir uygulama sağladığı için çok farklı sektörlerde kolaylıkla kullanılabilir. Microsoft Excel gibi ulaşımı kolay programlarda uygulanabilmektedir.

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan TOPSIS'in, her yöntem gibi karar vericiye sağladığı avantaj ve dezavantajlar bulunmaktadır. Karar problemine en uygun yöntemin belirlenmesinde her yöntemin uygulanmasında karşılaşılabilecek üstün ve zayıf yönler dikkate alınmalıdır. Bu sayede karar probleminden istenilen sonuç doğrultusunda en uygun yöntem seçilebilmektedir. TOPSIS yönteminin oluşturduğu dezavantajlar ise şu şekilde sıralanmaktadır:

- Yöntemin uygulama aşamasında farklı ve yeni bir seçenek ya da kriter eklendiğinde sıralama değişiklikler meydana gelmekte ve sonuçlanma süresi uzayabilmektedir. Bu zayıf nokta AHP yönteminde de olmakla birlikte, TOPSIS yönteminde değiştirilmesi gereken aşamalar daha uzun ve zorlu olabilir.
- Karar matrisi oluşturulan seçeneklerin ve kriterlerin ağırlıklandırılması yapılırken karar vericinin bireysel yargıları kullanılmaktadır. Bu durum bazı durumlarda avantaj sağlasa da, karar problemine ilişkin çözümlerin tutarlılığını düşürebilmektedir. TOPSIS yönteminde tutarlılık analizi yapılamadığından bu durum olumsuz bir etki yaratabilmektedir.
- Seçenekler arasında ideal çözüme uzak olmak, negatif ideal çözüme yakın olmakla benzer ifadeler olabilmektedir. Bu durum seçeneklerden hangisine karar verilmesi gerektiğini zorlaştırabilir.
- Kolay bir yöntem olduğundan dolayı Microsoft Excel gibi programlar kullanılabilse de henüz hazır paket program olarak TOPSIS'i uygulayabilmek mümkün değildir (Sülüoğlu, 2021).

4.3.4. COPRAS (*Karmaşık oransal değerlendirme*)

Karmaşık Oransal Değerlendirme olarak Türkçeye çevrilen COPRAS yöntemi sıklıkla kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Nitel ve nicel parametreleri birlikte inceleyip değerlendirebilen bir yöntemdir. Zavadskas ve Kaklauskas'ın birlikte geliştirdiği bu yöntem 1996 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Belirlenen kriterler arasında faydalı olup olmadığına göre seçenekleri incelemek için ve bu seçenekleri elde edilen değerlendirmelere göre sıralamak için tercih edilmektedir. COPRAS yöntemi seçenekler arasında birbiri ile karşılaştırma yaparak, AHP yönteminde olduğu gibi karşılaştırma yapılan seçenekleri yüzde önem değerine göre sıralama

yapılabilmesinden dolayı diğer yöntemlere göre daha tercih edilebilir bir uygulama sağlamaktadır (Özdemir ve Özcan, 2020). Seçeneklerin birbirlerine göre üstünlüklerini inceleyerek elde edilen yüzdesel değerlerinin bulunması aynı zamanda diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden farklı bir uygulama olduğunun da göstergesi olmaktadır. Yüzdesel olarak değerleri bulunan seçenekler, en yüksek değer en üstte olacak şekilde sıralanarak belirlenen karar problemine ilişkin en faydalı olacak seçeneği üst sıralara yerleştirip karar vericiyi daha düşük değerlere sahip olan faydasız seçeneklerden uzaklaştırır (Sağlamyürek, 2018).

COPRAS yönteminin uygulanması temel olarak AHP yöntemiyle benzer özellikler göstermektedir. COPRAS yönteminde ilk olarak karar matrisi oluşturulur. Daha sonra oluşturulan karar matrisi normleştirilir ve elde edilen matrisin ağırlıklandırılması gerekir. Şimdiye kadar yapılan bu adımlar AHP yöntemi ile aynı şekilde ilerlemektedir. Matrisin ağırlıklandırılma işlemi COPRAS yönteminde farklı bir uygulama ile gerçekleştirilmez çünkü COPRAS yöntemine özel bir ağırlıklandırma bulunmamaktadır.

Karar matrisi üzerinde normalizasyon işlemi yapılırken AHP yönteminde olduğu gibi, matriste bulunan sütundaki değerler ilgili sütundaki elemanların toplam değerine bölünür. Bu şekilde normalizasyon matrisi bulunmuş olur. Elde edilen normalizasyon matrisinin ağırlıklandırılması için, matrisin her satırındaki elemanların aritmetik ortalaması bulunur.

Belirlenen her bir kriter için elde edilen ağırlık değerlerinin toplamı alınır. Bu değerlerin faydasız kriterler için en küçük, faydalı kriterler için ise en büyük olması beklenmektedir. Bu şekilde karar vericinin işi kolaylaşmaktadır. Daha sonra karşılaştırma yapılacak olan her seçenek için Eşitlik 4.14'de verilen görece önem değerleri hesaplanmaktadır.

$$Q_j = S_{+j} + \frac{S_{-min} \sum_{j=1}^n S_{-j}}{S_{-j} \sum_{j=1}^n \frac{S_{-min}}{S_{-j}}}, \quad j = 1, n \quad (4.14)$$

S_{+j} faydalı kriterlere göre hesaplanan ağırlıklı indeks, S_{-j} faydasız kriterlere göre hesaplanan ağırlıklı indeks, j belirlenen kriter sayısı, Q_j göreceli önem değeri olarak belirtilmektedir. Her seçenek bazında hesaplanan Q_j değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. Bu değer

büyük olması o seçeneğin daha yüksek öneme sahip olduğu anlamına gelmektedir. Son aşama olarak, her seçenek için bir fayda derecesi bulunur. İlgili seçeneğin Q_j değeri, bulunan Q_j değerleri içinde en büyük olana bölünerek 100 ile çarpılmaktadır. Bu işlem Eşitlik 4.15'de belirtilmektedir. Bu işlem sonunda en iyi seçeneğin fayda derecesi 100 olacak şekilde, yeni bir puanlama elde edilmiş olur (Özdemir ve Özcan, 2020).

$$N_j = \frac{Q_j}{Q_{max}} * 100\% \quad (4.15)$$

4.3.5. VIKOR (Çok kriterli optimizasyon ve uzlaşık çözüm)

Çok kriterli karar verme yöntemlerinin bir türü olan VIKOR, belirlenen kriterlerin birbiri ile çatışması veya çelişmesi gibi durumlarla karşı karşıya kalındığında seçenekleri bu duruma göre değerlendirerek, karar probleminde en uygun seçeneğin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu yöntem karar verme probleminde belirlenen seçenekler ve kriterler arasında sıralama, seçme ve çatışan çözümler arasında uzlaştırıcı bir sonuca ulaşabilme gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Canbulut, 2019).

VIKOR yöntemi ilk olarak 1998 yılında Serafim Opricovic tarafından dünyaya duyurulmuştur. Yöntem, kriterlerin birbiri ile çeliştiği durumlarda seçeneklerin bu duruma uygun bir şekilde sıralanması ve karar verme probleminde ilişkin en uygun çözümün belirlenmesi şeklinde uygulanmaktadır. Tespit edilen ideal çözüme en yakın seçenek belirlenerek problem uzlaşma yolu ile sonuçlanır (Sağlamyürek, 2018). Uzlaşık programlamadaki toplama fonksiyonu kullanılarak yapılan VIKOR, aşağıda verilen adımlarda belirtildiği sıra ile uygulanmaktadır. Kriter sayısı i , seçenek sayısı j ile ifade edilmektedir (Canbulut, 2019).

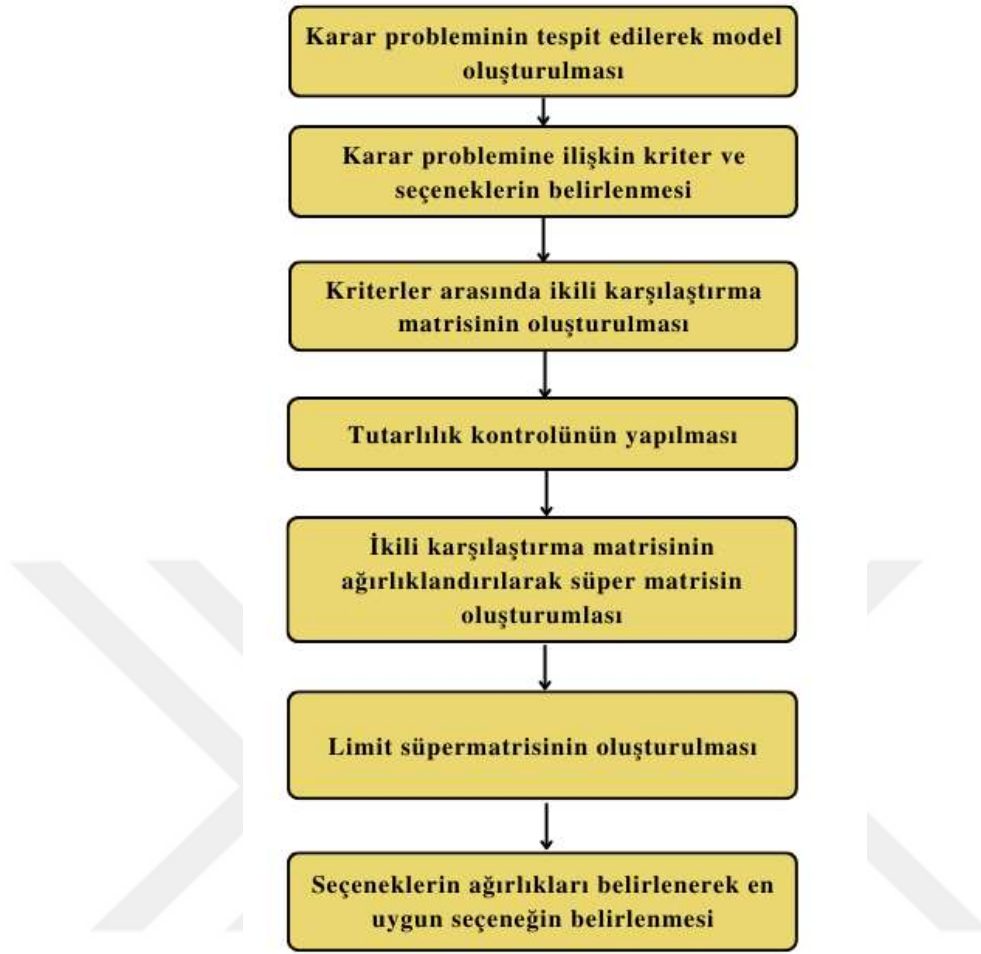
1. Belirlenen her kriter için, her seçeneğin o kritere göre olan en iyi (f_i^+) ve en kötü (f_i^-) performans değerinin belirlenmesi
2. Her seçenek için elde edilen performans değerlerinin ortalama (S_j) ve en kötü sonuç (R_j) değerlerinin bulunması
3. Seçeneklerin sıralanabilmesi için gerekli olan Q_j değerinin hesaplanması

4. İşlemler boyunca elde edilen S , R ve Q değerleri dikkate alınarak seçeneklerin en düşük değerden en yüksek değere doğru üç ayrı sıralama oluşturulması
5. Kabul edilebilirlik koşullarına uygunluğuna göre değerlendirilen seçeneğin uzlaşık çözüm olarak belirlenmesi

4.3.6. ANP (*Analitik ağ süreci*)

Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemine benzer olarak geliştirilen Analitik Ağ Süreci yöntemi, Thomas L. Saaty tarafından geliştirilip kullanılmaya başlanmıştır. AHP yöntemiyle farklı kullanım şekli olarak, ANP yöntemi belirlenen kriterler arasındaki bağıllık ve ilişki durumunu da değerlendirmeye tabi tutmaktadır. Dolayısıyla karar verme problemlerinde daha gerçekçi sonuçlara ulaşılabilir. AHP yöntemiyle benzer olarak, sayısal olmayan karmaşık ifadeleri de değerlendirmeye dahil edebilmektedir (Gençer vd., 2021). ANP yönteminde, karar verme sürecinde etkili olan tüm parametreleri ve geri besleme ilişkilerini sistemli bir şekilde inceleyip değerlendirebilmek mümkündür. ANP yönteminin AHP yöntemine kıyasla en göze çarpan farkı, sıralı bir hiyerarşik yapı oluşturmaktan ziyade daha etkileşimli bir hiyerarşik yapı elde edilmesidir (Sağlamyürek, 2018). AHP yöntemiyle benzer mantıkla uygulanan ANP yönteminin uygulama aşamaları temel olarak Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Bu yöntemin uygulanma süreci detaylı olarak aşağıda anlatılacaktır.

ANP yöntemini uygulamak için gerekli olan ilk adım karar modelinin oluşturulmasıdır. Belirlenen karar problemi tespit edilerek açık ve anlaşılır bir şekilde tanımlanmaktadır. Probleme ilişkin gerekli seçenekler ve kriterler, varsa alt kriterler belirlenerek bunların birbiri arasında oluşturduğu ilişkiler tespit edilir ve gerekli ağ yapısı oluşturulmalıdır. Elde edilen ağ yapısının ikili olarak karşılaştırılmasını sağlamak için, AHP yönteminde olduğu gibi Saaty tablosu (Bkz. Çizelge 4.1) kullanılmaktadır. 1 ile 9 arasındaki sayılar kullanılarak kriterlerin birbiri arasında önem değerlerinin belirlenmesi sağlanır ve ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş olur. Aynı kriterlerin birbirine göre önem derecesinin 1 olduğu, yani kriterlerin aynı öneme sahip olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 4.7. ANP yönteminin uygulama aşamaları

Elde edilen ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı (CR) AHP yönteminde olduğu gibi Eşitlik 4.9'da verildiği şekilde hesaplanmaktadır. Bu değer 0,1 den küçük olduğunda karar probleminin tutarlı olduğu anlaşılmaktadır. Bulunan Tutarlılık Oranı 0,1'den büyük olduğunda ikili karşılaştırma matrisinin tekrar incelenmesi gerektiği anlamına gelir.

Yine AHP yönteminde olduğu gibi, ağırlık vektörü ve elde edilen karar matrisi çarpılır ve ağırlıklı toplam vektörü bulunur. Bulunan vektörün tüm elemanlarının ağırlık vektörü elemanlarına bölünmesiyle yeni bir vektör olan E vektörü bulunmaktadır. E vektörü elemanları arasındaki en büyük değer e_{max} ve n kriter sayısı olarak ifade edilirse, bir sonraki aşamada Eşitlik 4.16'da verilen formül kullanılarak Tutarlılık İndeksi (CI) bulunmalıdır.

$$Tutarlılık\ İndeksi\ (CI) = \frac{e_{max} - n}{n - 1} \quad (4.16)$$

Sonraki aşamada AHP yönteminde bahsedilmiş olan, rassal olarak belirlenen hata oranlarının bulunduğu Rassal Tutarlılık İndeksi (RI) (Bkz. Çizelge 4.3) belirlenmektedir. Daha sonra karar problemini oluşturan unsurlardan olan seçenek ve kriterler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi ile elde edilen bir kare matris oluşturulur. Bu matrise ağırlıklandırılmamış süpermatris denilmektedir. Bu matris, her sütunun toplam değeri 1 olacak şekilde ağırlıklandırılarak yeni bir matris elde edilir. Matrisin birkaç defa üssü alınır ve bu durum her satır elemanının değerinin sabit olana kadar devam etmesi sağlanır. Bu işlem sonucunda limit süpermatrisi oluşturulmuş olur. Elde edilen limit süpermatrisi kullanılarak seçeneklerin ağırlıkları belirlenir ve en yüksek ağırlık değerine sahip olan seçenek probleme ilişkin en iyi çözüm olarak tercih edilir (Gençer vd., 2021).

4.3.7. ELECTRE (Gerçek boyutlu eleme ve seçim)

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan ELECTRE, ilk olarak 1966 yılında Benayoun, Roy ve diğer araştırmacılar tarafından geliştirilip kullanılmaya başlanan bir yöntem olarak bilinir. Bu yöntemde belirlenen seçeneklerin karar problemine olan etkileri gözlemlenerek birbirleri ile karşılaştırılıp en uygun kararın verilmesi mantığı kurulmuştur. Seçeneklerin belirlenen amaç doğrultusunda elde edilen sonuçları karşılaştırma yapılarak, seçenekler arasında bir sıralama elde edilir. Bu karşılaştırmada seçeneklerin kriterler bazında elde edilen değerlerine ve önem ağırlıklarına dikkat edilmektedir. Karşılaştırma sonucunda görece en iyi seçenek en üstte olacak şekilde bir sıralama yapılmış olur (Sağlamyürek, 2018).

Seçeneklerin kriter bazındaki değerlerinin ve önem ağırlıklarının bulunması için TOPSIS yönteminde olduğu gibi, ikili karşılaştırma matrisleri kullanılmaktadır. İkili karşılaştırma matrisi kullanılarak seçenekler arasında karşılaştırma, sıralama ve eleme işlemi yapılır. Karar vericinin karar problemine ilişkin, seçenekler arasında en iyi sonuca ulaştıracak seçeneğin belirtilerek seçeneklerde bir eleme yapabildiğini sağlar (Kaya, 2019).

ELECTRE yöntemine göre, belirlenen karar problemi ve amaç doğrultusunda ideal bir çözüm bulunmamaktadır. Seçeneklerin kıyaslanarak birbirlerine göre tercih

edilebilirliğini hesaplamayı ve karar vericiyi probleme ilişkin en uygun seçeneğe ulaştırmayı amaçlar (Sağlamyürek, 2018).

4.3.8. MOORA (*Oran analizine dayalı çok hedefli optimizasyon*)

Çok kriterli karar verme yöntemleri arasında oldukça yeni olarak bilinen MOORA yöntemi Türkçe bir ifadeyle “Oran Analizine Dayalı Çok Hedefli Optimizasyon” anlamına gelmektedir. 2006 yılında Willem Karel M. Brauers ve Edmundas Kazimieras Zavadskas’ın birlikte geliştirdiği bir yöntem olmakla beraber, “Control and Cybernetics” adında bir çalışma ile literatüre eklenmiştir. MOORA, iki ve daha fazla olacak şekilde çakışan amacı ya da özelliği, belirlenen kriterler doğrultusunda aynı zamanda optimize edebilme süreci olarak bilinmektedir. Farklı amaçlara göre farklı seçeneklerin etki ettiği durumları gösterebilmektedir.

Diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden farklı olarak MOORA; karar problemi doğrultusunda belirlenen bütün amaçları dikkate alarak, belirlenen seçeneklere göre eş zamanlı bir şekilde objektif olarak kriterlerin değerlendirilmesi için gereken değerlerin elde edilmesini sağlar. Bu sayede karar vericinin en uygun kararı verebilmesi için tarafsız bir puanlama sistemi kullanılmış olur (Sağlamyürek, 2018).

4.3.9. SMART (*Basit çok ölçütlü derecelendirme*)

Çok kriterli karar verme yöntemi olarak geliştirilen başka bir yöntem olan SMART, “Basit Çok Ölçütlü Derecelendirme” anlamına gelmektedir. 1971 ve 1977 yılları arasında Edwards tarafından geliştirilip uygulanmaya başlamıştır. Diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinden farklı olarak, belirlenen seçenekler arasında tercih ya da farklılık gibi durumlara gereksinim duymaz. Farklı özelliklere sahip seçenekleri tek bir modelde göstererek, seçeneklere ağırlıklandırma işlemi yapılmasına fırsat verir. Seçenekler, belirlenen her bir kriter için ayrı olarak değerlendirilmektedir. Bir seçeneğin kriter bazında aldığı puan ile ilgili kriterin ağırlık değeri çarpılarak ilgili seçenek için bir genel puan değeri elde edilmektedir (Sağlamyürek, 2018).

Çok kriterli karar verme yöntemleri arasında çok sık tercih edilmeyen SMART yönteminin uygulama aşamaları temel olarak şu şekilde verilebilir (Kaya, 2019):

1. Karar verici kişi/kurum ya da kişilerin/kurumların belirlenmesi
2. Karar probleminin belirlenmesi
3. Belirlenen karar problemine ilişkin gerekli seçeneklerin tespit edilmesi
4. Karar problemine uygun olarak belirlenen seçenekler doğrultusunda uygun olabilecek kriterlerin tespit edilmesi
5. Kriterlerin önem sıralamasının yapılması
6. Önem derecesine göre sıralanan kriterlerin oransal olarak değerlendirilmesi
7. Kriterlerin önem ağırlıklarının bulunması ve her kriter için bu değer toplam değere bölünmesi
8. Belirlenen her seçenek için kriterlere göre ilgili yerlerinin tespit edilmesi
9. Seçenekler için gerekli fayda değerlerinin bulunması
10. Fayda değerleri göz önüne alınarak karar verici tarafından en uygun kararın verilmesi

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Demiryolu araç bakım planlamasında etkisi olan faktörler kriter olarak belirlenerek, çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ile kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanmış ve sıralanmıştır. Seçeneklerin değerlendirilmesi ise PROMETHEE kullanılarak yapılmış ve planlamada etkisi olan faktörlerin önem dereceleri belirlenmiştir. AHP yönteminin sağladığı sözel verilerin sayısal verilere dönüştürülebilmesi, kolay ve ulaşılabilir kullanım imkânı gibi avantajlar sunması sebebi ile kriterlerin ağırlıklandırılmasında bu yöntem tercih edilmiştir. Seçeneklerin değerlendirilmesi için ise; kriterlere göre farklı ölçütlerin kullanılabilmesi, hızlı ve ulaşılabilir bir program kullanılması gibi avantajları sebebi ile en uygun yöntemin PROMETHEE olduğuna karar verilmiştir. AHP yönteminin uygulanması için Microsoft Excel programı, PROMETHEE yönteminin uygulanması için ise Visual PROMETHEE Academic programı kullanılmıştır. Belirlenen kriterlerin değerlendirilmesi amacıyla demiryolu araç bakım sektöründe yeri olan uzmanların görüşlerinden faydalanılmıştır. Literatürde demiryolu araç bakım planlamasını iyileştirmeye yönelik çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı benzer bir çalışmanın bulunmaması, bu çalışmayı özgün kılmaktadır.

5.1. Karar Probleminin Tanımlanması

Demiryolu araç bakım faaliyetlerinin verimini olabilecek en yüksek seviyeye taşımak amacıyla araç bakım planlaması konusunda yapılan bu çalışma, demiryolu araç bakım planlamasındaki zorlukları saptayabilmek ve bakım planlamasının en verimli şekilde yapılabilmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Dolayısıyla belirlenen karar probleminin amacı, demiryolu bakım planlamasının verimliliğini artırarak daha kaliteli bir hizmet sağlamaktır.

5.2. Karar Problemine İlişkin Kriterlerin ve Seçeneklerin Belirlenmesi

Demiryolu araç bakım planlamasında etkili olan faktörlerin değerlendirilebilmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerinde kullanılmak üzere, literatürde bulunan çalışmalardan ve demiryolu araç bakım sektöründe deneyimi bulunan 5 uzmanın görüşü ile

13 kriter ve 6 seçenek belirlenmiştir. Benzer çalışmalarda bu kriterler artırılabilen ve alt kriterlere ayrılabilir. Fakat bu çalışmada raylı sistemlerde araç bakım özelinde etkisi daha gözlemlenebilir kriterler belirlenmiştir. Belirlenen kriterler Çizelge 5.1’de gösterilmekte ve detaylı olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 5.1. Belirlenen bakım kriterleri

KRİTERLER	
Bakım Maliyeti	K1
Kârlılık	K2
Arızanın Meydana Gelme Sıklığı	K3
Ekipman/Atölye Yeterliliği	K4
Malzeme/Yedek Parça/Stok Durumu	K5
Personelin Tecrübesi	K6
Aracın Arıza Geçmişi	K7
Aracın Kullanılma Sıklığı	K8
Bakımın Süresi	K9
Önerilen Bakım Sıklığı	K10
İklim Koşulları	K11
Personel Sayısı	K12
Coğrafi Koşullar	K13

- **Bakım Maliyeti:** Demiryolu araç bakımı yapılırken harcanan tüm mali değerlerdir. Araca yapılması istenen bakım türüne ve bakımın kapsamına göre değişiklik göstermektedir. Demiryolu araçlarında gerçekleştirilen bakım faaliyetleri oldukça yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Dolayısıyla verimli bir bakım planlaması oluşturmak için bakıma harcanan maliyetin istenilen değerde olması önem arz eder.
- **Kârlılık:** Bakım planlamasının minimum zarar ve maksimum kâr elde edebilecek şekilde yapılması bakımın verimli olduğunu göstermektedir. Zarar olarak iş gücü, zaman, maliyet gibi faktörler tanımlanabilmektedir. Kârlılığın yüksek olması müşteri kayıplarını önleyerek işletme için daha kazançlı bir ortam oluşturmaktadır.

- **Arızanın Meydana Gelme Sıklığı:** Demiryolu araçlarında meydana gelen arızaların gerçekleşme sıklığı bakım planlamasını etkilemektedir. Araçlarda rutin olarak arıza meydana geldiğinde farklı, nadiren meydana gelen arızalarda farklı bakım uygulamaları yapılmaktadır. Verimlilik açısından arıza sıklığının en az seviyede olması tercih edilmektedir.
- **Ekipman/Atölye Yeterliliği:** Demiryolu araçlarında istenen bakımların gerçekleştirildiği atölyelerin veya bakım esnasına kullanılan ve işletmede bulunan ekipmanların yeterli olup olmadığı bakım planlamasını doğrudan etkilemektedir. Sorunsuz çalışan ekipmanlar ve gerek boyut gerekse imkân olarak yeterli bulunan bir atölye ile daha verimli bir bakım gerçekleştirilebilmektedir.
- **Malzeme/Yedek Parça/Stok Durumu:** Demiryolu araçlarında gerçekleştirilmek istenen bakım faaliyetlerinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Aracın ömrü dolan veya hasar alan parçaları gerektiği durumda değiştirilebilmektedir. Bazı parçalar işletme tarafından stokta tutulurken bazı parçaların özel olarak üretilmesi gerekir. Bu durumda oluşan ya da oluşacak arızanın ortadan kaldırılabilmesi için malzeme, yedek parça ya da parçaların stok durumları yapılacak olan bakım türünü ya da gerekli bakım uygulamalarını etkilemektedir.
- **Personelinin Tecrübesi:** Demiryolu araçlarına yapılacak olan bakımı gerçekleştiren personellerin tecrübesi, bakım planlamasında önemli rol oynamaktadır. Belirlenen bakım faaliyetlerinde daha önce yer almamış personeller, bakım esnasında istenmeyen durumlara yol açabilir. Bu da bakımın verimini düşürerek zaman, işgücü ve mali kayıplara sebep olabilir. Dolayısıyla bakım planlaması yapılırken personellerin istenilen bakım faaliyetlerine uygun seçilmesi planlamanın daha verimli olmasını sağlamaktadır.
- **Aracın Arıza Geçmişi:** Demiryolu araçlarında meydana gelen ya da gelecek olan arızaların daha kolay tespit edilebilmesi ya da gerekli bakımlarının daha kolay yapılabilmesi için araçta daha önce meydana gelen arızaların incelenmesi gereklidir. Benzer parçalarda benzer arızaların sıklıkla meydana geldiği durumlarda

parça değişimi yapılabilmekte, ya da arızanın kök nedenine inilerek farklı çözüm uygulamaları gerçekleştirilebilmektedir.

- **Aracın Kullanılma Sıklığı:** Aracın kullanım sıklığı arttıkça bakım isteği de artmaktadır. Dolayısıyla depoda bekleyen ve daha nadir kullanılan araçların bakımı sık kullanılan araçlara göre daha az önemli olabilir. Bu yüzden bakım yapılması istenen aracın ne kadar sık kullanıldığı ve kullanılmak istendiği, bakım planlamasını yaparken göz önünde bulundurulması gereken bir kriterdir.
- **Bakımın Süresi:** Demiryolu araçlarında yapılması gereken bakımların toplam süresi, bakım planlamasında etkili bir rol oynamaktadır. Bakım faaliyetleri saatler veya aylar sürebilmektedir. Dolayısıyla bakım yapılması gereken araç için en uygun planlamanın yapılması için bakımın süresi önemli bir parametre sayılmaktadır. Bakımın süresi göz önünde bulundurularak gereken personel sayısı, malzeme tedariki gibi farklı kriterler değerlendirilebilmektedir.
- **Önerilen Bakım Sıklığı:** Bakım faaliyetleri gerçekleştirilecek olan aracın veya araçtaki bakım yapılması gereken parçaların ömrüne, malzemesine vb. kriterler göz önünde bulundurularak belirlenen optimum bakım sıklığı belirlenmektedir. Aynı zamanda araçta ya da parçada bir arıza meydana gelmeden yapılan bakım faaliyetleri için tespit edilen bakım sıklıkları da bulunmaktadır. Ortalama olarak 5 yılda bir veya kilometre bazında önerilen bakım yapılma sıklıkları mevcuttur.
- **İklim Koşulları:** Demiryolu araçlarının arızalanma sıklığı mevsimsel olarak değişebilir. Örneğin yağmurlu veya karlı havalarda ray-tekerlek arası etkileşim zayıflamaktadır. Bu sebeple araçta bir arıza meydana gelebilir. Ya da sıcaklığın daha fazla olduğu yaz aylarında bazı bakım faaliyetleri için istenilen sonuçlar elde edilemeyebilir. Bu sebeple araç için en uygun bakım planlamasını yapılmasında iklim koşulları da göz önünde bulundurulabilir.
- **Personelin Sayısı:** Araçta meydana gelen arızanın büyüklüğü, bakımın yapılması istenilen süre, atölyenin altyapısı gibi parametreler, bakımı yapacak olan ekibin

sayısını belirlemektedir. Gerekli durumlarda personel sayısı artırılarak daha verimli bir bakım sağlanabilir.

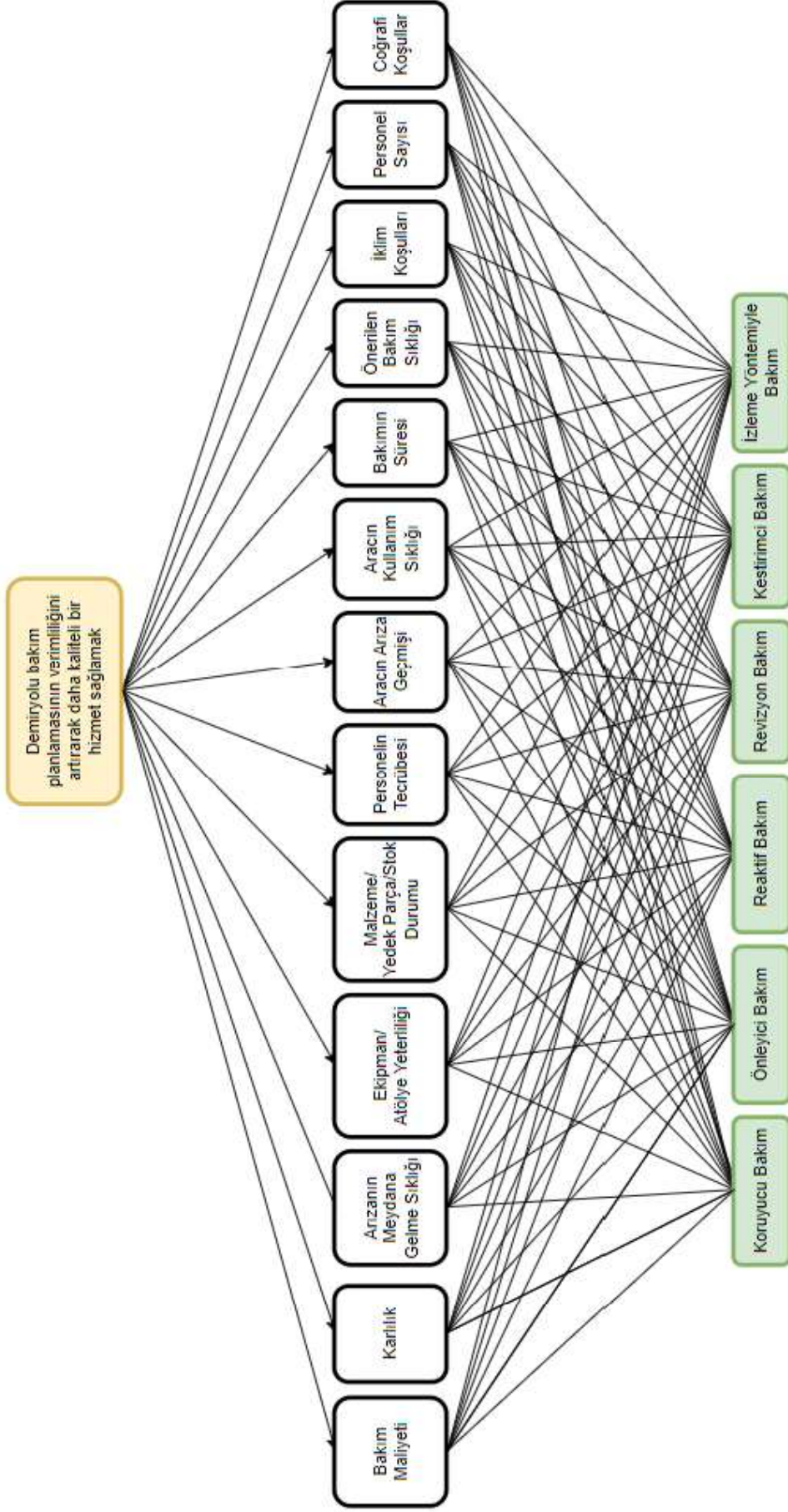
- **Coğrafi Koşullar:** Demiryolu araçlarının kullanıldığı hatların farklı coğrafi koşullara sahip olması farklı arızaların oluşmasına veya arızaların sıklıklarının değişkenlik göstermesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla meydana gelen arızaların sebebini bulmak ya da arızayı ortadan kaldırmak için gereken bakımların doğru bir şekilde planlanabilmesi için coğrafi koşulların dikkate alınması gerekmektedir.

AHP yönteminin sağladığı avantajlardan biri karar problemini oluşturan etmenleri hiyerarşik olarak görebilmek ve problemin daha anlaşılır olabilmesini sağlamaktır. Hiyerarşik yapı oluşturularak karar probleminin oluşmasında etkili olan amaç, kriterler ve seçenekler karar vericiye daha etkili bir şekilde ulaşmaktadır. Bu sayede karar problemini etkileyen parametreler anlaşılır bir şekilde görülmektedir. Bu çalışma için belirlenen karar problemine ilişkin oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Hiyerarşide karar probleminin amacı, kriterler ve seçenekler yer almaktadır.

Hiyerarşide görülen seçenekler, demiryolu araç bakımında kullanılan ve literatürde mevcut demiryolu bakım türleri olarak seçilmiştir. Belirlenen seçenekler Çizelge 5.2’de belirtildiği gibi sıralanmıştır. Seçeneklerin değerlendirilmesi PROMETHEE yöntemi ile Visual PROMETHEE Academic programında yapılacak olup, AHP yöntemi ile kriter ağırlıklandırılması yapıldıktan sonraki adımda uygulanacaktır. Çünkü PROMETHEE yöntemini uygulayabilmek için kriterlerin önem ağırlıklarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Çizelge 5.2. Belirlenen seçenekler

SEÇENEKLER	
Koruyucu Bakım	S1
Önleyici Bakım	S2
İzleme Yöntemiyle Bakım	S3
Kestirimci Bakım	S4
Revizyon Bakım	S5
Reaktif Bakım	S6



Şekil 5.1. Hiyerarşik yapı modellemesi

5.3. AHP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

AHP yöntemine uygun olarak modellenen hiyerarşik yapı, 13 kriter ve 6 seçenek ile birlikte oluşturulmuştur. Hiyerarşide bulunan kriterlerin önem ağırlıklarını belirlemek için Microsoft Excel programı kullanılarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu matriste bulunan kriterlerin değerlendirilmesi için demiryolu araç bakım sektöründe deneyimi ve bilgisi bulunan 5 uzman seçilmiştir. Seçilen uzmanlar araç bakım depo müdürlükleri, boji ve elektrik-elektronik işlemler fabrikaları gibi çeşitli konumlarda bulunmuş; üretim, bakım onarım ve sertifikasyon gibi çeşitli sektörel deneyimlere sahip kişilerdir. Dolayısıyla raylı sistemlerde araç bakım planlamasında etkili olan parametreler farklı bakış açıları ile değerlendirilebilmiştir.

Uzman 1, 35 yıl demiryolu kamu sektöründe bakım onarım biriminde işçi ve büro şefliği deneyimine sahiptir. Bu deneyim ile araç bakım süreçlerine ve planlamasına hâkimdir. Uzman 1 ile görüşme sonucu elde edilen değerlendirme ile oluşturulan matris Ek Açıklama-B.1'de verilmektedir. Uzman 2, demiryolu sektöründe özel bir firmada 3 yıldır ECM sorumlusu olarak bakım ve sertifikasyon süreçlerinde görev almaktadır. Uzman 2 ile yapılan görüşme sonucu elde edilen matris Ek Açıklama B-2'de verilmiştir. Uzman 3, 37 yıldır elektrik elektronik mühendisi ve yönetici olarak demiryolu kamu sektöründe görev almaktadır. Uzman 3 ile yapılan görüşme sonucu elde edilen matris Ek Açıklama B-3'de verilmiştir. Uzman 4, demiryolu kamu sektöründe 30 yıl baş makinist olarak görev almıştır. Araç bakım konusunda uzun yıllar deneyime sahip olan Uzman 4 ile yapılan görüşme sonucu elde edilen değerlendirme matrisi Ek Açıklama B-4'de verilmiştir. Uzman 5 ise kamu sektöründe boji biriminde yönetici ve işçi olarak görev almaktadır. Raylı sistemler araç bakım konusunda yaklaşık 37 yıldır deneyimi bulunan Uzman 5 ile görüşme sonucu elde edilen değerlendirme matrisi Ek Açıklama B-5'de verilmiştir.

Değerlendirmede (Bkz. Çizelge 4.1) 1–9 arası puanlama değerleri bulunan Saaty ölçeği kullanılmıştır. İkili karşılaştırma matrisi ile, belirlenen her kriter birbiri ile karşılaştırılarak önem derecelerine göre uzmanlardan edinilen bilgilere göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme için $n*(n-1)/2$ formülü kullanılarak toplam karşılaştırma sayısı elde edilebilir. Belirlediğimiz n kriter sayısı 13 olmakla birlikte, ikili karşılaştırma matrisi ile toplam 78 karşılaştırma yapılmıştır. Matriste karşılık gelen

kriterlerin birbirlerine göre önem dereceleri uzman görüşleri eşliğinde yorumlanarak Saaty ölçeğine 1–9 arasında bir puanlama ile değerlendirilmiştir. Satır ve sütun olarak aynı kriterin çakıştığı hücrelere, aynı kriterler eşit öneme sahip olduğundan 1 sayısı atanmıştır. Yine değerlendirme esnasında farklı kriterlerin birbirlerine göre önem derecesi eşit olarak görüldüğünde ilgili hücreye 1 değeri verilmiştir. Farklı sonuçlar elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin geometrik ortalaması alınarak tek bir ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Kriterlerin önem ağırlıklarını bulabilmek için kullanılacak olan ve uzman görüşlerinin geometrik ortalaması alınarak elde edilen değerlerin bulunduğu matris Çizelge 5.3'te verilmektedir.

Geometrik ortalaması elde edilen ikili karşılaştırma matrisi, kriterlerin önem ağırlıklarını bulmak için Eşitlik 4.2'de verilen işlemler ile normalize edilmektedir. Elde edilen normalize matris Çizelge 5.4'te gösterilmektedir.

Normalize edilmiş matriste, Eşitlik 4.4 kullanılarak satırların aritmetik ortalaması alınmış ve kriterlerin önem ağırlık değerlerini belirten W ağırlık vektörü bulunmuştur. Hesaplamalar sonucu elde edilmiş W ağırlık sütun vektörü ve kriterlerin yüzde önem ağırlık değerleri Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kriterlerin önem ağırlıkları

Kriterler	Normalize Edilmiş Ağırlık Değerleri	Önem Ağırlık Değerleri (%)
K1	0,067	6,718
K2	0,047	4,734
K3	0,089	8,882
K4	0,113	11,347
K5	0,119	11,898
K6	0,131	13,069
K7	0,081	8,065
K8	0,065	6,539
K9	0,053	5,348
K10	0,101	10,116
K11	0,048	4,799
K12	0,043	4,299
K13	0,042	4,184
TOPLAM	1	100

Çizelge 5.3. İkili karşılaştırma matrislerinden elde edilen geometrik ortalama değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
K1	1	1,838	0,388	0,484	0,889	0,281	0,422	0,418	2,036	0,728	2,809	1,401	2,809
K2	0,544	1	0,467	0,415	0,281	0,316	0,394	0,467	0,803	1,246	2,29	0,803	1,265
K3	2,576	2,141	1	0,395	0,226	0,184	0,564	1,719	1,246	3,086	0,778	4,36	2,339
K4	2,068	2,408	2,532	1	1,125	1,29	1,49	2,178	1,619	1,185	2,537	1,275	2,853
K5	1,125	3,936	4,427	0,889	1	1,552	2,036	1,246	1,66	0,803	2,048	1,125	3,764
K6	3,56	2,853	5,431	0,775	0,644	1	1,719	1,246	2,954	0,582	2,187	3,936	3,758
K7	2,371	2,537	1,773	0,671	0,491	0,582	1	1,246	1,369	1,052	1,476	1,528	1,635
K8	2,395	2,141	0,582	0,459	0,803	0,803	0,803	1	0,762	0,582	0,491	2,141	1
K9	0,491	1,246	0,803	0,618	0,602	0,339	0,731	1,312	1	0,394	1,108	2,036	0,714
K10	1,374	0,803	0,324	0,844	1,246	1,719	0,951	1,719	2,537	1	2,954	3,743	1,552
K11	0,356	0,437	1,285	0,394	0,488	0,457	0,678	0,678	0,903	0,339	1	1,66	1,974
K12	0,714	1,246	0,229	0,784	0,889	0,254	0,654	0,654	0,491	0,267	0,602	1	0,453
K13	0,356	0,79	0,428	0,351	0,266	0,266	0,612	0,612	1,401	0,644	0,506	2,208	1
TOPLAM	18,929	23,376	19,669	8,079	8,951	9,043	12,054	14,493	18,78	11,907	20,786	27,217	25,117

Çizelge 5.4. Normalize matrix

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
K1	0,053	0,079	0,02	0,06	0,099	0,031	0,035	0,029	0,108	0,061	0,135	0,51	0,112
K2	0,029	0,043	0,024	0,051	0,031	0,035	0,033	0,032	0,043	0,105	0,11	0,029	0,05
K3	0,136	0,092	0,051	0,049	0,025	0,02	0,047	0,119	0,066	0,259	0,037	0,16	0,093
K4	0,109	0,103	0,129	0,124	0,126	0,143	0,124	0,15	0,086	0,099	0,122	0,047	0,114
K5	0,059	0,168	0,225	0,11	0,112	0,172	0,169	0,086	0,088	0,067	0,099	0,041	0,15
K6	0,188	0,122	0,276	0,096	0,072	0,111	0,143	0,086	0,157	0,049	0,105	0,145	0,15
K7	0,125	0,109	0,09	0,083	0,055	0,064	0,083	0,086	0,073	0,088	0,071	0,056	0,065
K8	0,127	0,092	0,03	0,057	0,09	0,089	0,067	0,069	0,041	0,049	0,024	0,079	0,04
K9	0,026	0,053	0,041	0,076	0,067	0,037	0,061	0,091	0,053	0,033	0,053	0,075	0,028
K10	0,073	0,034	0,016	0,104	0,139	0,19	0,079	0,119	0,135	0,084	0,142	0,138	0,062
K11	0,019	0,019	0,065	0,049	0,055	0,051	0,056	0,047	0,048	0,028	0,048	0,061	0,079
K12	0,038	0,053	0,012	0,097	0,099	0,028	0,054	0,045	0,026	0,022	0,029	0,037	0,018
K13	0,019	0,034	0,022	0,043	0,03	0,029	0,051	0,042	0,075	0,054	0,024	0,081	0,04
TOPLAM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

5.4. Tutarlılık Oranının Belirlenmesi

Kriterlerin önem ağırlıklarının değerlendirilmesi için kullanılan AHP yöntemini sağladığı başka bir avantaj ise, belirlenen karar probleminin tutarlılık oranının hesaplanabilmesidir. Bu sebeple demiryolu araç bakım planlamasına etki eden kriterlerin uzmanlarca tutarlı bir değerlendirme yapıp yapılmadığını incelemek için tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Tutarlılık oranının bulunması için elde edilen ikili karşılaştırma matrisi ile W ağırlık vektörü Eşitlik 4.5 kullanılarak çarpılmış ve sonraki adımda Eşitlik 4.6'da bulunan E temel değer vektörü bulunmuştur. Daha sonra Eşitlik 4.7 kullanılarak λ temel değeri 14,516 olarak bulunmuş ve Tutarlılık indeksi (CI) Eşitlik 4.8 kullanılarak elde edilmiştir. Hesaplanan CI değeri 0,126 olarak belirlenmiştir. Son aşama olarak Rassal İndeks (Çizelge 4.3), kriter sayısı 13 olması dolayısıyla 1,56 olarak belirlenmiş ve Eşitlik 4.9 kullanılarak Tutarlılık oranı (CR)'na ulaşılmıştır. Elde edilen tutarlılık oranı 0,081 olarak bulunmuştur.

5.5. Seçeneklerin PROMETHEE ile Değerlendirilmesi

Bu çalışmada seçeneklerin değerlendirilebilmesi için, sağladığı avantajlar göz önünde bulundurulduğunda PROMETHEE yöntemi ile daha verimli bir sonuç alınabileceği düşünülmüştür. Bu sebeple PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır. Yöntem Visual PROMETHEE Academic programında uygulanmıştır. Değerlendirmede AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları da kullanılmıştır. Değerlendirme birimleri kriterlere göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada 9 seviye (1,2,3,4,5,6,7,8,9), 5 seviye (Çok kötü, Kötü, Orta, İyi, Çok iyi) ve Etki (Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok Yüksek) değerlendirme birimleri kullanılmıştır. Sonraki adımda kriterler için tercih yönleri minimum ya da maksimum olarak belirlenmiştir. Yönler belirlenirken, kriterlerin bakım planlamasına en etkili şekilde katkı sağlayabilecek şekilde olması maksimum olarak kabul edilmiştir. Daha sonra kriterlere ilişkin tercih fonksiyonları, nitel değerlendirmeler yapılması dolayısıyla Seviye ve Olağan olarak belirlenmiştir. Seçeneklerin değerlendirilmesi adına Visual PROMETHEE programında gerçekleştirilen veri girişi Şekil 5.2'de gösterilmektedir.

	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Scenario1	Bakım Maliyeti	Karlılık	Anzamanın Mey...	Ekipman/Atöli...	Malzeme/Ye...	Personelin T...	Araçın Anıza ...	Araçın Kullan...	Bakımın Süresi	Önerilen Bak...	İklm Koşulları	Personel Sayısı	Coğrafi Koşu...				
Unit	9-point	impact	impact	5-point	5-point	5-point	5-point	5-point	impact	5-point	impact	9-point	impact				
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆				
Preferences																	
Min/Max	min	max	min	max	max	max	max	max	min	max	min	min	min				
Weight	7,84	5,29	7,17	9,89	11,13	11,86	9,30	7,94	6,43	11,80	3,80	4,37	3,18				
Preference Fn.	Level	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Level	Usual	Usual	Level	Usual				
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute				
- Q: Indifference	1,000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1,000	n/a	n/a	1,000	n/a				
- P: Preference	2,000	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	2,000	n/a	n/a	2,000	n/a				
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a				
Statistics																	
Minimum	3,000	2,000	1,000	2,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000				
Maximum	9,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	9,000	5,000				
Average	5,667	3,833	2,833	3,333	4,000	4,000	4,167	4,000	3,000	4,000	3,333	5,667	3,333				
Standard Dev.	1,972	0,898	1,213	0,943	0,577	0,577	0,687	0,816	1,000	1,000	0,943	2,494	0,943				
Evaluations																	
<input checked="" type="checkbox"/> Korumucu Bakım	3,000	high	moderate	average	good	good	good	average	moderate	good	moderate	6,000	moderate				
<input checked="" type="checkbox"/> Önleyici Bakım	4,000	high	moderate	average	good	good	very good	average	moderate	good	moderate	6,000	moderate				
<input checked="" type="checkbox"/> İzleme Yöntemiyi...	5,000	very high	very low	very good	average	average	average	very good	low	very good	moderate	2,000	moderate				
<input checked="" type="checkbox"/> Keşirici Bakım	6,000	high	low	average	good	good	good	very good	moderate	good	high	3,000	high				
<input checked="" type="checkbox"/> Revizyon Bakım	9,000	high	moderate	good	very good	good	good	good	very high	very good	low	9,000	low				
<input checked="" type="checkbox"/> Reaktif Bakım	7,000	low	very high	bad	good	very good	very good	good	low	bad	very high	8,000	very high				

Şekil 5.2. Visual PROMETHEE için veri tanımlamaları

Seçeneklerin değerlendirme ölçeklerine göre değerlendirilmesi, literatür araştırmaları doğrultusunda yapılmıştır. Sonraki adımda seçeneklerin her biri için Eşitlik 4.12 ve 4.13 kullanılarak pozitif ve negatif üstünlük değerleri bulunmuştur. Elde edilen pozitif ve negatif üstünlük değerleri her seçenek için Şekil 5.3’de verilmektedir. Őekildeki Phi^+ (Φ^+) değeri pozitif stnlk, Phi^- (Φ^-) değeri negatif üstünlük anlamına gelmektedir. Phi değeri ise seçeneklerin toplamda elde edilen genel üstünlük değerini ifade etmektedir.

Rank	action		Phi	Phi+	Phi-
1	İzleme Yöntemiyle	<input checked="" type="checkbox"/>	0,1359	0,4885	0,3526
2	Revizyon Bakım	<input checked="" type="checkbox"/>	0,1243	0,4537	0,3293
3	Kestirimci Bakım	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0348	0,3169	0,2821
4	nleyici Bakım	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0270	0,2940	0,2670
5	Koruyucu Bakım	<input checked="" type="checkbox"/>	-0,0503	0,2539	0,3042
6	Reaktif Bakım	<input checked="" type="checkbox"/>	-0,2718	0,2755	0,5473

Şekil 5.3. Seçeneklerin pozitif ve negatif üstünlük değerleri

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada demiryolu araç bakımlarının en verimli şekilde yapılabilmesi için gereken en önemli adım olan planlama konusunda etkili olabilecek faktörler belirlenmiş ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP ve PROMETHEE kullanılarak belirlenen kriterlerin önem dereceleri hesaplanmıştır. Aynı zamanda bakım yöntemleri olarak belirlenen seçeneklerin kriterlere göre değerlendirilmesi gerçekleştirilmiş ve bu değerlendirmelere göre en verimli olabilecek seçenek belirlenmiştir. Çalışmada, demiryolu araç bakım planlamasına etki eden faktörler 13 ana kriter olarak belirlenerek bu kriterlerin önem ağırlıklarını bulmak ve sıralamak için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP yöntemi kullanılmıştır. Literatüre bakıldığında bakım planlaması ile ilgili çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı başka bir çalışmada Abdulgader (2019), kriterleri alt kriterlere ayırarak benzer kriterlerin de yer aldığı bir uygulama gerçekleştirmiştir. Fakat bu çalışma demiryolu özelinde olmayıp genel bakım stratejileri üzerinde durmuştur. Çalışmadaki kriterlere bakıldığında benzer kriterlerin belirlendiği görülmektedir.

Çalışmada AHP yöntemi ile, belirlenen kriterler raylı sistemler araç bakım sektörünün farklı departmanlarında yıllardır görev alan/almış 5 uzmanın görüşü eşliğinde Saaty ölçeğine göre değerlendirilmiş ve ikili karşılaştırma matrisleri elde edilmiştir. Elde edilen bu matrislerin daha sonra geometrik ortalaması alınarak normalizasyon işlemi yapılmıştır. Normalizasyon işlemi sonucu elde edilen önem ağırlıkları Çizelge 5.5'te olduğu gibi belirlenmiştir. Kriterlerin belirlenen önem ağırlıkları, değerlendirme sonucu ilgili kriterin yüzde olarak önem ağırlığını ifade etmektedir. Dolayısıyla bu değerlerin büyükten küçüğe sıralanması sonucu en yüksek öneme sahip olan kriterler yukarıdan aşağıya sıralanmış olur. Kriterlerin önem ağırlığına göre büyükten küçüğe sıralanması Çizelge 6.1'de gösterilmektedir.

AHP yöntemi sonucu elde edilen kriterlerin önem ağırlıkları incelendiğinde, demiryolu araç bakım planlamasında etkili en yüksek ağırlığa sahip olan kriter %13,069 ile Personel Tecrübesi (0,131) olarak belirlenmiştir. Personel tecrübesi kriterine en yakın önem ağırlığına sahip kriter %11,898 ile Malzeme/Yedek Parça/Stok Durumu (0,119) olmuştur. Azalan önem ağırlıklarına göre sıralanmış kriterler Çizelge 6.2'de verilmiştir.

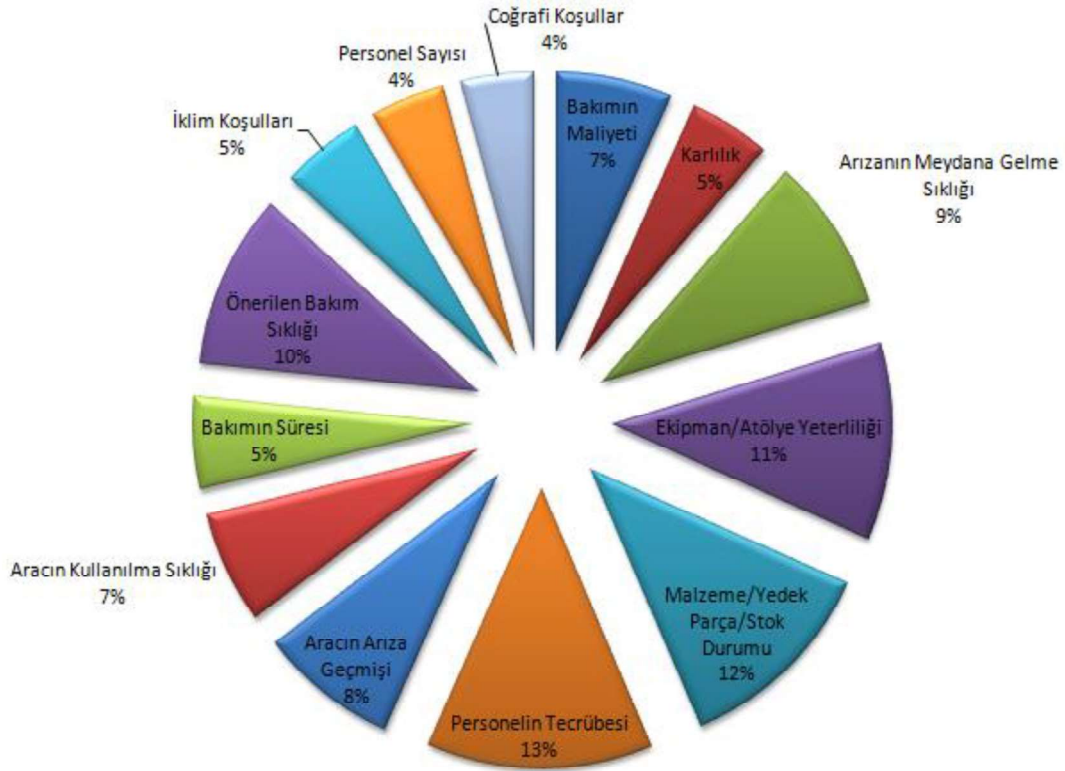
Çizelge 6.1. Önem ağırlıklarına göre sıralanmış kriterler

Kriterler	Ağırlık değerleri (%)	Önem değerleri
K6	13,069	0,131
K5	11,898	0,119
K4	11,347	0,113
K10	10,116	0,101
K3	8,882	0,089
K7	8,065	0,081
K1	6,718	0,067
K8	6,539	0,065
K9	5,348	0,053
K11	4,799	0,048
K2	4,734	0,047
K12	4,299	0,043
K13	4,184	0,042

Çizelge 6.2. Demiryolu araç bakım planlamasına etki eden faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması

Önem Sırası	Kriterler	Önem Ağırlığı	Ağırlık Değeri (%)
1.	Personel Tecrübesi	0,131	13,069
2.	Malzeme/Yedek Parça/Stok Durumu	0,119	11,898
3.	Ekipman/Atölye Yeterliliği	0,113	11,347
4.	Önerilen Bakım Sıklığı	0,101	10,116
5.	Arızanın Meydana Gelme Sıklığı	0,089	8,882
6.	Aracın Arıza Geçmişi	0,081	8,065
7.	Bakımın Maliyeti	0,067	6,718
8.	Aracın Kullanılma Sıklığı	0,065	6,539
9.	Bakımın Süresi	0,053	5,348
10.	İklim Koşulları	0,048	4,799
11.	Karlılık	0,047	4,734
12.	Personel Sayısı	0,043	4,299
13.	Coğrafi Koşullar	0,042	4,184

AHP yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre demiryolu araç bakım planlamasında en az etkili faktörlerin Coğrafi Koşullar (0,042), Personel Sayısı (0,043) ve Karlılık (0,047) olduğu belirlenmiştir. Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıklarını görselleştirmek gerekirse Şekil 6.1’de verilen daire grafiği incelenebilir.



Şekil 6.1. Kriter ağırlıklarının daire grafiği olarak gösterilmesi

Çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP'nin tercih edilmesindeki en önemli sebeplerden biri olan tutarlılık analizinin yapılabilmesidir. Elde edilen değerlendirme sonuçlarının tutarlı bir şekilde uygulanıp uygulanmadığının kontrol edilmesi, değerlendirmeye olan güveni artırmaktadır. İlgili çalışma ile ilgili AHP yöntemi sonucu elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak Materyal ve Yöntem bölümünde hesaplanan Tutarlılık Oranı (*CR*) 0,081 olarak bulunmuştur. Tutarlılık oranının 0,1'den küçük olması istenmektedir. Bu değer için 0,1'den büyük bir sonuç elde edildiği takdirde değerlendirme sonuçları tutarlı kabul edilmemektedir. Bu çalışma özelinde elde edilen tutarlılık değeri incelendiğinde $0,081 < 0,1$ olması dolayısı ile değerlendirmeler tutarlı olarak kabul edilmiştir.

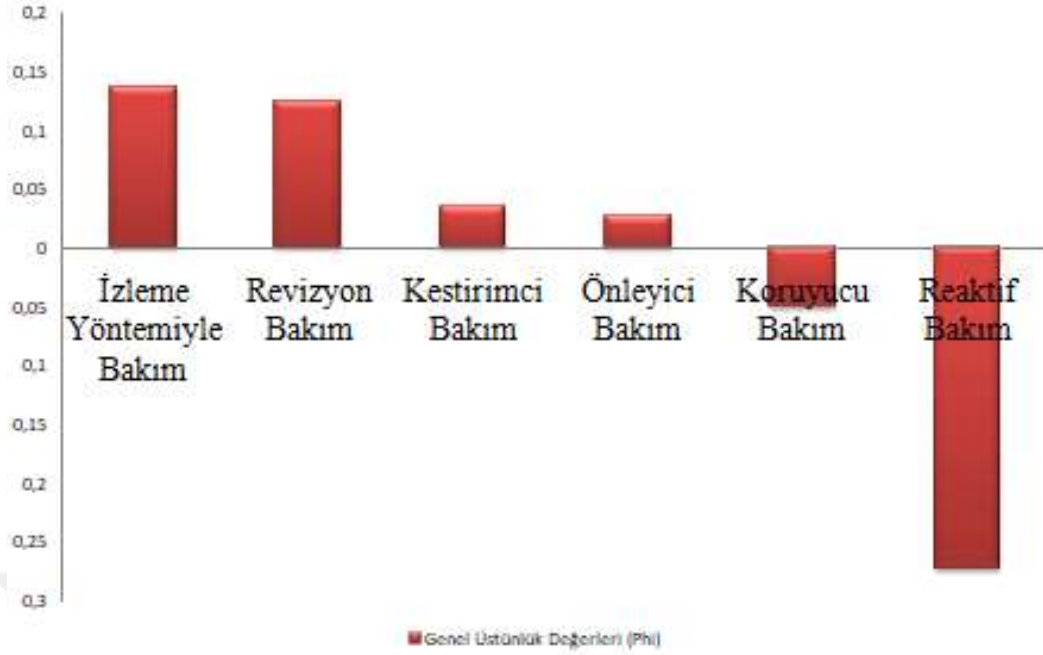
Sonraki aşamada seçeneklerin değerlendirilmesi için PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır. Visual PROMETHEE Academic programı ile gerçekleştirilen uygulamada gerekli parametreler belirlenerek Materyal ve Yöntem bölümünde anlatıldığı şekilde veri girişi sağlanmıştır. Uygulama sonunda elde edilen verilere göre seçeneklerin önem sıralaması Şekil 5.3'de verilen şekilde elde edilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda

seçeneklerin negatif, pozitif ve genel üstünlük değerleri görülmektedir. Pozitif stnlk değerinin artması ilgili seçeneğin daha tercih edilebilir bir seçenek olduğunu belirlemektedir. Genel stnlk değeri ise pozitif ve negatif üstünlük değeri arasındaki fark ile oluşmaktadırdır. Dolayısı ile bu değer, seçeneğin üstünlük değerini belirleyerek en olası seçeneğin en yüksek değere sahip olması anlamına gelmektedir. PROMETHEE yöntemi ile elde edilen genel üstünlük değerleri izelge 6.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.3. Seçeneklerin genel üstünlük değerleri (Phi)

Seçenekler	Genel stnlk Değerleri (Phi)
İzleme Yöntemiyle Bakım	0,1359
Revizyon Bakım	0,1243
Kestirimci Bakım	0,0348
Önleyici Bakım	0,0270
Koruyucu Bakım	-0,0503
Reaktif Bakım	-0,2718

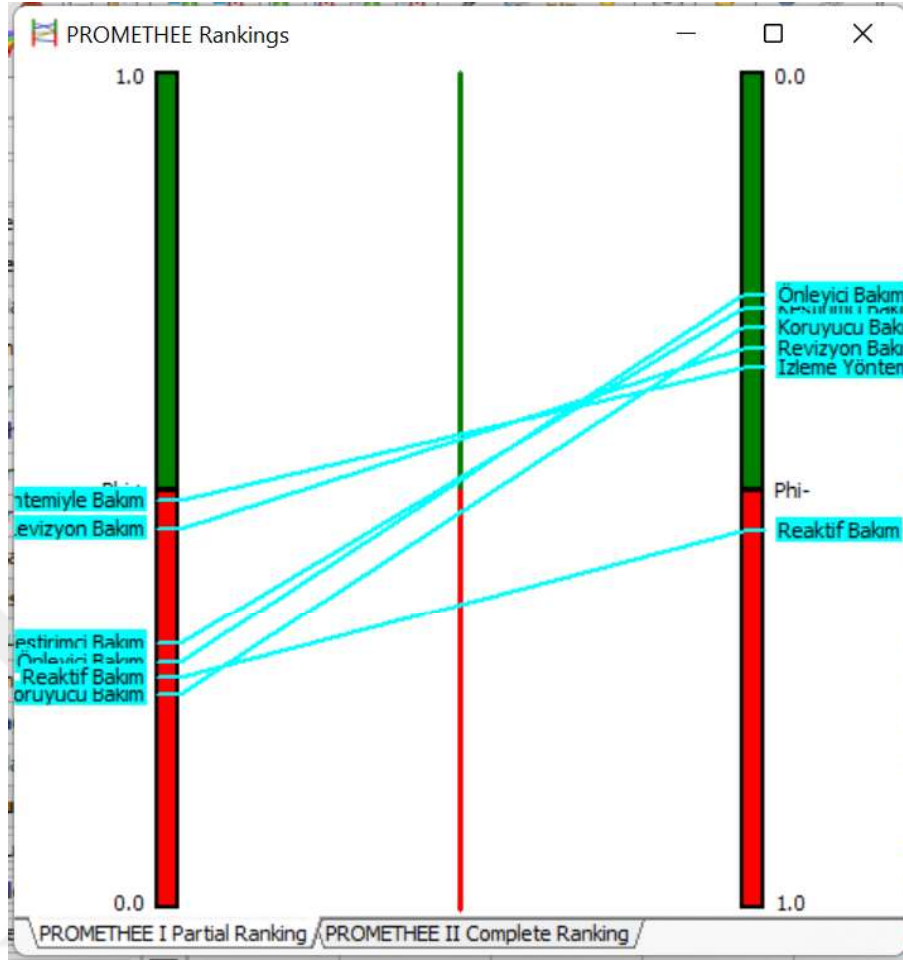
Elde edilen genel üstünlük değerleri incelendiğinde, seçenekleri arasında en yüksek üstünlük değerine sahip seçeneğin İzleme Yöntemiyle Bakım (0,1359) olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle; izleme yöntemiyle bakımın diğer seçeneklere göre daha tercih edilebilir bir seçenek olduğu, seçeneklerin kriter bazında değerlendirmesi sonucu en uygun bakım yönteminin izleme yöntemiyle bakım olduğu anlaşılmaktadır. İkinci olarak 0,1243 genel üstünlük değeri ile Revizyon Bakım olarak bulunmuştur. Seçeneklerin stnlk değerlerini daha anlaşılır kılmak adına bu değerlerin sütün grafiği ile çizilmesi şekil 6.2’de gösterilmektedir. Verilen grafik incelendiğinde seçeneklerin arasında en yüksek üstünlük değerine sahip olanın izleme yöntemi ile bakım olduğu görselde ifade edilmiştir. Ek olarak diğer seçeneklerin genel üstünlük değerlerinin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi aşağıdaki grafikte sağlanabilmektedir.



Şekil 6.2. Genel üstünlük değerlerinin sütun grafiği ile gösterilmesi

Visual PROMETHEE Academic programı ile çözümü sağlanan seçeneklerin, değerlendirme sonucuna göre elde edilen farklı grafiklerine ulaşılabilmektedir. Programda değerlendirme sonucu elde edilen grafiklerden bazıları aşağıda verilmektedir. PROMETHEE 1 kısmı sıralama sonuçları Şekil 6.3'de verilmek üzere, grafik incelendiğinde izleme yöntemiyle bakımın pozitif üstünlük değerinin diğer seçeneklere göre en yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, seçeneklerin kriter bazında değerlendirilmesi sonucu izleme yöntemiyle bakımın diğer bakım yöntemlerine göre daha pozitif etkisi olduğu sonucunu doğrulamaktadır. Genel üstünlük değerinin en az olduğu reaktif bakımın grafik sonuçları incelendiğinde, kriterlere göre değerlendirme sonucunda diğer bakım yöntemlerinin reaktif bakıma göre daha tercih edilebilir bir pozitif etkisi olduğu görülmektedir.

İzleme yöntemiyle bakım, diğer bakım yöntemlerine göre daha teknolojik birikim içeren ve daha sistematik uygulanabilen bir bakım süreci içerdiği için diğer bakım yöntemlerine göre daha tercih edilebilir olması ve genel üstünlük değerinin daha yüksek olması mantıklı bir sonuç ortaya çıktığını gösterebilir. Reaktif bakımın genel üstünlük değerinin düşük olması ve diğer bakım yöntemlerine göre daha az tercih edilebilir olması; bu bakım uygulamalarının plansız olması dolayısı ile kaynakların doğru kullanılmaması, zaman, malzeme ve maliyet kayıplarına sebep olması şeklinde açıklanabilmektedir.



Şekil 6.3. PROMETHEE I kısmı değerlendirme sonuçları

Visual PROMETHEE Academic programından elde edilen her seçenek için kriterlerin üstünlük değerlerinin gösterildiği grafikler aşağıda verilmektedir. En yüksek genel üstünlük değerine sahip olan izleme yöntemiyle bakım seçeneği için, her bir kriterin etkisi gösterilen üstünlük değerleri Şekil 6.4'de sütun grafiği olarak gösterilmektedir. Grafığe göre izleme yöntemiyle bakımda kriterlerinin çoğunun pozitif üstünlük sağladığı görülmektedir. Buna ek olarak malzeme/yedek parça/stok durumu, personel tecrübesi ve aracın arıza geçmişi kriterleri, seçeneğin pozitif üstünlük değerini düşürmektedir.

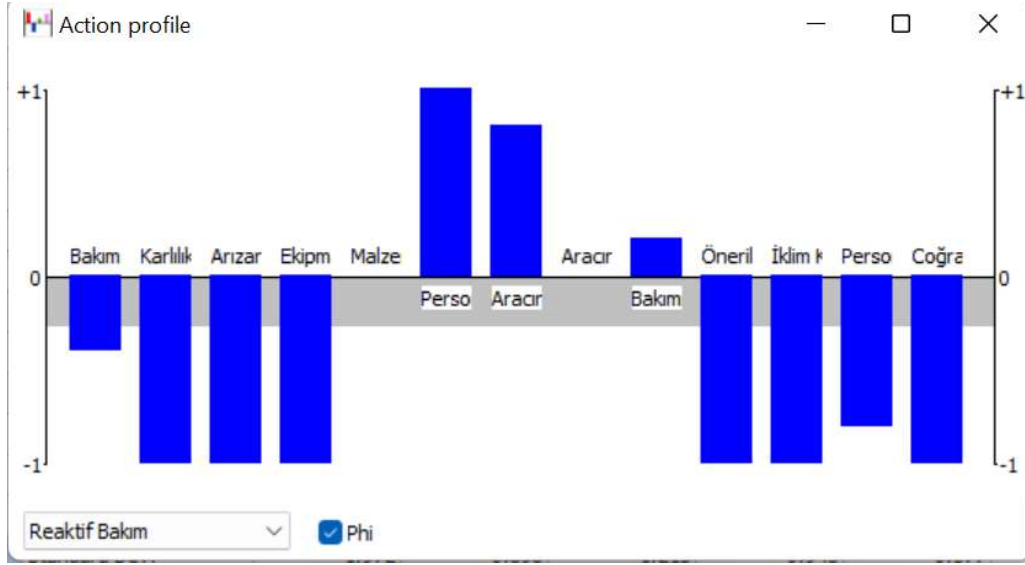
Geleneksel bakım uygulamalarının aksine izleme yöntemiye bakımda durum bazında ihtiyaca yönelik bir planlama ve uygulama gerçekleştirileceğinden dolayı malzeme ve yedek parça gereken talebe göre tedarik edilebilmektedir. Benzer şekilde sistem üzerindeki arızaların izlenerek tespit edilmesinden dolayı personele olan ihtiyaç diğer bakım yöntemlerine göre daha az olarak yorumlanabilir.



Şekil 6.4. İzleme yöntemiyle bakımın kriterlere göre üstünlük değerlendirmesi

En az genel üstünlük değerine sahip seçenek olan reaktif bakımın kriterlere göre üstünlük değerlendirmesi bulunan Şekil 6.5'deki grafik incelendiğinde malzeme/yedek parça/stok durumu, personel tecrübesi, aracın arıza geçmişi, aracın kullanılma sıklığı ve bakım süresi kriterlerinin pozitif üstünlük değerini artırdığı görülmektedir. Fakat geri kalan kriterlerin reaktif bakım adına negatif üstünlük değeri oluşturması, ilgili seçeneğin genel üstünlük değerini düşürmektedir.

Reaktif bakımın diğer bakım uygulamaları ile kıyaslandığında dezavantajları fazla olsa da gerekli ve beklenmeyen durumda müdahale yapıldığından dolayı olmazsa olmaz bir bakım uygulamasıdır. Bu uygulamada amaç sistemin en hızlı şekilde yeniden çalışır hale gelmesi olduğu için üstünlük değerleri düşük olsa dahi uygulanması gereklidir. Grafik incelendiğinde personel tecrübesi kriterinin genel üstünlük değerinin artırdığı görülmektedir. Bu durum şu şekilde yorumlanabilir; beklenmeyen bir arıza durumunda sistemin nerede ve nasıl arıza verdiğini tespit edebilmek ve ilgili arızaya en uygun çözümü uygulayabilmek bakım personelinin görevidir. Dolayısıyla tecrübe düzeyi yüksek bir personelin bu bakım uygulamasını gerçekleştirmesi daha hızlı ve faydalı bir süreç oluşturacaktır.



Şekil 6.5. Reaktif bakımın kriterlere göre üstünlük değerlendirilmesi

Benzer şekilde, aracın tesadüfi olarak arıza oluşturması durumunda aracın arıza geçmişinin bilinmesi ile ilgili arızanın tespiti ve çözümü daha kolay saptanabilmektedir. Bu durum bakım uygulamasında kaynakların daha verimli kullanılabilmesine olanak verir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda raylı sistemlere olan yatırımların artmasıyla birlikte, mevcut hat ve araçların bakımına önemli bir bütçe ayrılmaktadır. Raylı sistemler ağı bir ülkede kalkınmanın sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla raylı sistemler sektörünün sürdürülebilir ve verimli olması oldukça avantaj sağlar. Bu sürdürülebilirliğin sağlanması için meydana gelen ya da gelebilecek olumsuzlukların tespit edilebilmesi ve gerekli hamlelerin ya da planların en akıllı düzeyde gerçekleştirilmesi önemli bir adım olmaktadır. Bu durum bakım planlamasının durum bazında en verimli şekilde yapılabilme ihtiyacını doğurur. Raylı sistemlerde bakım oldukça maliyetli ve yorucu bir süreç olup, bu sürecin olabildiğince verimli olması bakım maliyetlerini düşürmekte ve kayıpları en aza indirmektedir. Raylı sistemler bakımının verimini artırmak için ise kontrollü ve ihtiyaca yönelik bir planlama yapılması gerekmektedir. Raylı sistemler bakım planlaması ile ilgili, özellikle araç bakım konusundaki çalışmaların yetersiz olduğu gözlemlenerek bu alanda bir çalışma yapılmaya karar kılınmıştır. Raylı sistemler araç bakım planlaması konusunu etkileyen birden çok faktör bulunmaktadır. Dolayısıyla planlama esnasında bir karar verme süreci gereklidir. Bu sebeple bu çalışma raylı sistemler araç bakım planlaması yapılırken çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılmasına bir örnek niteliğindedir. Aynı zamanda bu alanda çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve PROMETHEE'in hibrit olarak kullanıldığı benzer bir çalışmanın bulunmaması bu çalışmayı özgün kılmaktadır.

Çalışmada ilk olarak raylı sistemler araç bakım planlamasına etki eden 13 faktör kriter adı altında, raylı sistemler araç bakım süreçlerinde uygulanan bakım yöntemleri ise 6 seçenek adı altında belirlenmiştir. Kriterlerin değerlendirilebilmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), seçeneklerin değerlendirilmesi için ise PROMETHEE yöntemi kullanılmıştır. AHP yöntemi Microsoft Excel programında uygulanmıştır. AHP yöntemine göre, belirlenen kriterler raylı sistemler araç bakım konusunda deneyimli 5 uzman görüşü ile desteklenerek ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Bu uzmanların demiryolu sektöründe farklı konum ve görevlerde bulunması tercih edilerek çalışmada objektif ve sübjektif görüşlerin bir arada kullanılması amaçlanmıştır. Elde edilen karar matrislerin geometrik ortalaması alınıp gerekli adımlar

uygulanarak matrisin normalizasyon işlemi yapılmıştır. Bu işlemler sonucunda kriterlerin önem ağırlıkları belirlenmiştir. Değerlendirmenin tutarlılık oranı 0,081 olarak bulunmuş ve değerlendirme tutarlı olarak kabul edilmiştir. Elde edilen AHP sonuçlarına göre raylı sistemler araç bakım planlamasında etkisi en yüksek olan faktör 0,131 önem ağırlığına sahip olan Personel Tecrübesi olarak belirlenmiştir. Bu kriteri takip ederek en az önem ağırlığına doğru sıralamak gerekirse; Malzeme/Yedek Parça/Stok Durumu (0,119), Ekipman/Atölye Yeterliliği (0,113), Önerilen Bakım Sıklığı (0,101), Arızanın Meydana Gelme Sıklığı (0,089), Aracın Arıza Geçmişi (0,081), Bakım Maliyeti (0,067), Aracın Kullanılma Sıklığı (0,065), Bakımın Süresi (0,053), İklim Koşulları (0,048), Karlılık (0,047), Personel Sayısı (0,043) ve Coğrafi Koşullar (0,042) olarak bulunmuştur. Sonuçları dikkate alarak araç bakım planlamasında öncelikli olarak Personel Tecrübesi ve Malzeme/Yedek Parça/Stok Durumu konusunun dikkate alındığı görülmektedir.

Belirlenen seçeneklerin değerlendirilmesi için ise çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan PROMETHEE yöntemi Visual PROMETHEE Academic programı ile uygulanmıştır. Seçenekler kriterlere göre belirlenen tercih yönlerine, fonksiyonlara ve AHP sonucunda elde edilen ağırlıklarına göre değerlendirilmiştir. Tercih yönü, bakım planlamasının en verimli olabileceği şekilde min ve max olarak seçilmiştir. Değerlendirme birimi olarak 9 seviye, 5 Seviye ve Etki kullanılmıştır. Tercih fonksiyonları ise nitel bir değerlendirme olduğundan, Seviye ve Olağan olarak seçilmiş, uygun kriterlere uygulanmıştır. Elde edilen PROMETHEE sonuçlarına göre genel üstünlük değeri en yüksek olan seçenek İzleme Yöntemiyle Bakım (0,1359) olarak bulunmuştur. Seçenekler en yüksekte en aza sıralanmak üzere ikinci olarak Revizyon Bakım (0,1243), Kestirimci Bakım (0,0348), Önleyici Bakım (0,0270), Koruyucu Bakım (-0,0503) ve Reaktif Bakım (-0,2718) olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre bakım yöntemleri arasında en verimli olabilecek ve bakım planlamasında daha geniş perdede yer alması istenen bakım türünün İzleme Yöntemiyle Bakım olduğu söylenebilir. Fakat tercih edilecek bakım yöntemlerinin uzun ve kısa vadede ne kadar verimli olabileceği durum bazında değerlendirilmelidir. Neticede bakım planlamasında yalnızca tek bir bakım yöntemi kullanılmamakta, gerekli durumda hibrit bir planlama yapılarak daha sürdürülebilir bir süreç sağlanmaktadır.

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar doğrultusunda bakım planlamasını etkileyen faktörler incelenerek önem derecesine göre ilgili kritere yatırım yapılarak daha

verimli bir bakım süreci sağlanabilir. Kriterler arasında en önemli bulunan bakım personelinin tecrübe düzeyi geliştirilerek ilgili eğitim ve uygulamalara daha fazla yer verilebilir. Aracın ilgili bölümüne göre bakım personelleri yönlendirilebilir. Bu sayede daha kaliteli, güvenli ve sürdürülebilir bir ulaşım ile demiryollarına olan yatırımlara yön verilebilir. Planlama doğru bir şekilde yapılarak, işletme ve bireyler için can, mal ve zaman kayıplarının en aza indirilebilmesi yönünde önemli adımlar atılabilir. Bakım planlamasının yapılmasında çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılması sahada uygulanmaya uygun olmakta, sektörde kullanıldığında fayda sağlayabilecek sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

Yeni yapılacak çalışmalarda teknolojinin gelişmesi ile çok kriterli karar verme yöntemleri gibi benzer yöntemler programlaştırılarak SCADA destekli akıllı bakım sistemleri geliştirilebilir. Bu bakım türünde makine veya sisteme yerleştirilecek sensörler ve diğer veri toplama araçları aracılığıyla, demiryolu araçlarındaki değişiklikler ve belirtiler izlenip analiz edilebilir. Bu sayede, olası bir arıza önceden tespit edilerek, gereksiz maliyetler ve zaman kaybı önlenir. Verilerin toplanması ve analizi yapay zekâ ve diğer ileri teknolojilerin kullanımı, SCADA destekli akıllı bakımın daha da geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdulgader, F. S., 2019, The department of modeling and design of engineering systems (main field of study: mathematics & industrial engineering), Doctor of philosophy thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Atılım University, 138 p.
- Akçay, M., 2019, AHP-TOPSIS hibrit yöntemi ile Türkiye’de güneş enerjisi santrali için yer seçimi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 121 s.
- Aksoy, N., 2021, AHP-Bulanık AHP’nin incelenmesi ve işletmelerin muhasebe hizmeti satın alımındaki önceliklerin belirlenmesi üzerine bir uygulama, Yüksek lisans tezi, Giresun Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 94 s.
- Arslan, C., 2011, Raylı taşıtlarda bakım planlaması, deray şartları ve emniyet değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 130 s.
- Ayrancı, M., 1997, Bilgisayar destekli bakım yöntemleri ve gemilerde bakım yönetimi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 130 s.
- Budai, G., Huisman, D., Dekker, R., 2006, Scheduling preventive railway maintenance activities, Journal of the Operational Research Society, 57, 9.
- Canbulut, G., 2019, Şehir içi ulaşımda toplu taşıma araçlarının seçiminin AHP ve VIKOR teknikleri ile çok kriterli modellenmesi, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5, 2, 178-187.
- Çak, R., Aslanlar, S., Çelebi, M. Z., 2002, Demiryolları ile yolcu taşımacılığı ve yolcu vagonu onarımı, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1, 142–146.
- Dhall, R. Solanki, V., 2017, An IoT based predictive connected car maintenance approach, International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, 4, 3.
- Dinç, S., Hamurcu, M., Eren, T., 2018, Kentsel ulaşım için alternatif tramvay araçlarının çok kriterli seçimi, Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4,2, 124-135.
- Elden, B., 2020, Demiryolu bakım izleme sistemleri, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 80 s.
- Erdoğan, E., 2010, Demiryolu taşımacılığı seçimini etkileyen kriterlerin analitik hiyerarşi proses yöntemiyle belirlenmesi, Yüksek lisans tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Sosyal Bilimler Enstitüsü, 138 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gelashvili, T., 2019, Çok kriterli karar verme yöntemleri ile performans değerlendirmesi: AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 107 s.
- Gençer, M. A., Özcan, E., Eren, T., 2021, Raylı sistem tren ekipmanlarının yerleştirme problemi için çok kriterli bir karar verme modeli, Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9, 1, 36-49.
- Görçün, Ö. F., 2018, Kent içi ulaşım sistemlerine ilişkin tercihlerin ve tercihlere etki eden faktörlerin analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ile değerlendirilmesi, Kent Akademisi Kent Kültürü ve Yönetimi Hakemli Elektronik Dergi, 11, 3.
- Görçün, Ö. F., 2019, İstanbul kentinde Silivri-Sabiha Gökçen havalimanı arası ulaşım alternatiflerinin AHP TOPSIS yöntemleri ile analizi, Kent Araştırmaları Dergisi, 27, 10, 800-823.
- Hamurcu, M., Eren, T., 2016, Çok ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılarak monoray teknolojisi seçimi, 9. Uluslar arası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı, İstanbul.
- Hamurcu, M., Eren, T., 2017, Toplu taşıma türünün seçiminde çok kriterli karar verme uygulanması, International Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017), 21-31 September, Bayburt.
- İnaç, H., 2012, İstanbul'un kentsel lojistik analizi ve çözüm önerilerinin analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ile değerlendirilmesi, Yüksek lisans tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 111 s.
- Kara, H., 2016, Enerji tüketimi bazlı AHP yöntemi ile raylı sistem güzergah seçimi ve uygulaması, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 100 s.
- Kavkalcı, M., 2014, Analitik hiyerarşi prosesi ve hibrit bulanık AHP-bulanık TOPSIS yöntemleri ile liman yeri seçimi ve örnek uygulama, Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 121 s.
- Kaya, S., 2019, Türkiye'de demiryolu istasyonu seçimi ve çok kriterli karar verme yöntemi uygulaması, Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 81 s.
- Kınacı B. F., Özarpa C., Avcı İ., 2022, Raylı ulaşım sistemlerinde bakım yöntemlerinin verimlilik açısından önceliklendirilmesi, Verimlilik Dergisi, 2, 643-656.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kirazlılar, B., 2007, Endüstriyel bakım, kestirimci ve önleyici bakımın temelleri ve ustaların pratik metotları, Birsen Yayınevi, sf. 16, 635
- Mobley, R. K., 2002, An introduction to predictive maintenance, Butterworth Heinemann, 43-70.
- Nappi, R., 2014, Integrated maintenance: analysis and perspective of innovation in railway sector, 1-7.
- Oktar, Ş., 2014, Demiryollarında araç bakım ve onarımı, Demiryolu Mühendisliği, 1, 38-40.
- Öge, F., 2015, Hafif raylı sistem araçlarında bakım iyileştirmesi, Yüksek lisans tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 94 s.
- Özarpa, C., Avcı, İ., Kınacı, B. F., 2021a, Akıllı raylı sistemlerde kullanılan alt sistemlerin kritik seviye analizi, Demiryolu Mühendisliği, 14, 143-153.
- Özarpa, C., Kınacı, B. F., Avcı, İ., 2021b, Kent içi akıllı ulaşımında karma çok kriterli karar verme yöntemi ile yeni hat kurulumunun belirlenmesi, Kent Akademisi Kent Kültürü ve Yönetimi Dergisi, 14, 4, 995-1006.
- Özdemir, S., Özcan, E., 2020, AHP, COPRAS ve tamsayı programlama entegrasyonu ile demiryolu araçlarında bakım planlaması, Demiryolu Mühendisliği, 12, 1-12.
- Özkan, Ö., 2007, Personel seçiminde karar verme yöntemlerinin incelenmesi: AHP, ELECTRE ve TOPSIS örneği, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 201 s.
- Öznel, A., 2016, Çok kriterli karar verme yöntemi seçiminde yeni bir yaklaşım, 17th International Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistics, Sivas.
- Resmi Gazete, 2013, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/05/20130501.pdf>, 1-8.
- Sağlamyürek, H. N., 2018, TCDD yük ve yolcu taşımacılığının AHP yöntemi ile modellenmesi, Yüksek lisans tezi, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 149 s.
- Sethiya, S. K., 2006, Condition based maintenance (CBM), <http://irsme.nic.in/files/cbm-sethiya.pdf>, erişim tarihi: 15.02.2022.
- Shenoy, D., Bhadury, B., 2005, Maintenance resources management: adapting MRP, London: UK Taylor & Francis Inc.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Subaşı, H., 2011, Çok kriterli karar vermede kullanılan TOPSIS ve AHP yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir uygulama, Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 132 s.
- Sülüşoğlu, Ş., 2021, Tramvay kazalarının nedenleri ile sonuçları arasındaki ilişkilerin çok ölçütlü karar verme teknikleri ile belirlenmesi: Bir büyükşehir belediyesi uygulaması, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 172 s.
- Sümer, K., 2018, Avrupa’da demiryolu araçlarının bakımı, Bakımdan sorumlu kuruluş (ECM) kavramı ve Türkiye’deki mevcut durumun incelenmesi, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Demiryolu Düzenleme Genel Müdürlüğü, 267 s.
- Tan, C. M., Raghavan, N., 2008, A framework to practical predictive maintenance modeling for multi-state systems, Reliability Engineering & System Safety, 93,8, 1138-1150.
- Taş, M., Özlemiş Ş. N., Hamurcu, M., Eren, T., 2017a, Analitik hiyerarşi prosesi ve hedef programlama karma modeli kullanılarak monoray projelerinin seçimi, Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 02, 24-34.
- Taş, M., Özlemiş, Ş. N., Hamurcu, M., Eren, T., 2017b, Ankara’da AHP ve PROMETHEE yaklaşımıyla monoray hat tipinin belirlenmesi, JEBPIR, 3,1, 65-89.
- Taşkın, M., 2010, Kent içi raylı sistemlerde hat bakımı ve işletme maliyetleri, Yüksek lisans tezi, On dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 136 s.
- TCDD Taşımacılık A.Ş., 2021, "Etimesgut YHT Ana Bakım Atölyesi Kapılarını TRT Habere Açtı, <https://www.tcddtasimacilik.gov.tr/uploads/haber-etimesgut-yht-ana-bakim-atolyesi-kapilarini-trt-habere-acti.jpg>, erişim tarihi: 10.02.2023.
- TÜRASAŞ, 2023, Sivas Bölge Müdürlüğü Fotoğraf Galerisi, <https://www.turasas.gov.tr/media/gallery/457/697.jpg>, erişim tarihi: 10.03.2023.
- Uludağ, A. S., 2016, Çok kriterli karar verme yöntemlerinde karşılaştırılmasına odaklı bir hizmet kalitesi uygulaması, Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6, 2, 17-47.
- Uray, K., 2021, Demiryolu bakım işlerinde matris yöntemi kullanılarak risklerin olası etkilerinin belirlenmesi, Afet ve Risk Dergisi, 4, 2, 121-134.
- Yaman, G., 2014, Titreşim analizi ile pompalarda arıza tespiti ve kestirimci bakım için örnek bir çalışma, Tesisat Mühendisliği, 140, 36-51.

EK AÇIKLAMALAR

Ek Açıklama-A: Etik Kurul İzni

T.C.
ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ
İNSAN ARAŞTIRMALARI ETİK KURULU
ESKİŞEHİR

Toplantı Tarihi : 02.03.2023

Toplantı No : 2023-05

GÜNDEM :

3. Başvuru Sahibi : Prof.Dr. Hasan Hüseyin ERKAYA (Bilge AKÇAALAN ile birlikte).

Konu : "Demiryolu Araç Bakım Planlamasında Etkili Olan Faktörlerin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle İncelenmesi" konulu araştırmasının görüşülmesi.

KARAR :

3. Prof.Dr.Hasan Hüseyin ERKAYA'nın (Bilge AKÇAALAN ile birlikte) yapmış olduğu "Demiryolu Araç Bakım Planlamasında Etkili Olan Faktörlerin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle İncelenmesi" konulu yüksek lisans tez çalışması için yaptığı başvurusu 02.03.2023 tarihinde saat 11:30'da ESUZEM üzerinden gerçekleştirilen toplantı ile değerlendirilmiştir. Araştırmalarında kullanacakları ölçme aracının/araçlarının; fikri, hukuki ve telif hakları bakımından netot ve ölçөгüne ilişkin sorumluluk başvuru sahibine/sahiplerine ait olmak üzere veri toplamak için gerekli yerlerden yasal izinleri almak şartıyla **Üniversitemiz İnsan Araştırmaları Etik Kurulu** yönergesine uygunluğuna oy birliği ile karar verilmiştir.

(İmza)
Prof.Dr.Neşe ÖZTÜRK
Başkan

(Katılmadı)
Prof. Dr. Necmettin CANER
Üye

(İmza)
Prof. Dr. Hatice DAĞHAN
(Raportör)

(İmza)
Prof. Dr. Güneş KÜRKCÜOĞLU
Üye

(İmza)
Prof. Dr. Volkan KARABACAK
Üye

(Katılmadı)
Prof. Dr. Mesut TEKKALMAZ
Üye

(İmza)
Prof. Dr. Arzu ALTIN YAVUZ
Üye

Ek Açıklama B-1: Uzman 1 Tarafından Değerlendirilen İkili Karşılaştırma Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
K1	1	1	1/3	5	3	1/5	1/5	1/3	7	5	5	9	5
K2	1	1	5	5	1/5	1/3	3	1/3	1	1	1/5	1/3	1/5
K3	3	1/5	1	1/3	1/3	1/5	1/5	1/5	1	5	1/5	5	1/3
K4	1/5	1/5	3	1	1	5	1/4	1/5	5	1/3	5	1	9
K5	1/3	5	3	1	1	3	5	3	7	1/5	3	1	3
K6	5	3	5	1/5	1/3	1	5	1/3	3	1	1/3	9	5
K7	5	1/3	5	4	1/5	1/5	1	1	3	1	1/3	1/3	1/3
K8	3	3	5	5	1/3	3	1	1	3	1	1/3	5	1/3
K9	1/7	1	1	1/5	1/7	1/3	1/3	1/3	1	1	1/3	1	1/3
K10	1/5	1	1/5	3	5	1	1	1	1	1	3	5	3
K11	1/5	5	5	1/5	1/3	3	3	3	3	1/3	1	3	2
K12	1/9	3	1/5	1	1	1/9	3	3	1	1/5	1/3	1	2
K13	1/5	5	3	1/9	1/3	1/5	3	3	3	1/3	1/2	1/2	1
TOPLAM	19,387	28,733	36,733	26,044	13,21	17,578	25,983	16,733	39	17,4	19,567	41,167	31,533

Ek Açıklama B-2: Uzman 2 Tarafından Değerlendirilen İkili Karşılaştırma Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
K1	1	1	1/9	1/9	1/9	1/7	1/5	1/5	1	1	3	1	7
K2	1	1	1/9	1/9	1/7	1/9	1/3	1/3	1	1	3	1	3
K3	9	9	1	1/9	1/9	1/9	1/7	1	1	1	1	7	3
K4	9	9	9	1	1	1	7	5	1/3	1	1/5	1	1/5
K5	9	7	9	1	1	1	1	1	1	1	3	1	3
K6	7	9	9	1	1	1	1	1/5	1	1	3	1	3
K7	5	3	7	1/7	1	1	1	3	8	9	3	5	3
K8	5	3	1	1/5	1	5	1/3	1	1	7	3	3	3
K9	1	1	1	3	1	1	1/8	1	1	1	1	1	1
K10	1	1	1	1	1	1	1/9	1/7	1	1	1	1	1
K11	1/3	1/3	1	5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1	1
K12	1	1	1/7	1	1	1	1/5	1/5	1	1	1	1	1
K13	1/7	1/3	1/3	5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1	1
TOPLAM	49,476	45,667	39,698	18,676	9,032	13,032	12,112	13,743	19,333	27	24,2	25	30,2

Ek Açıklama B-3: Uzman 3 Tarafından Değerlendirilen İkili Karşılaştırma Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
K1	1	7	1/7	1/9	1/9	1/7	1/3	1/7	1/5	1/7	1/3	3	1/7
K2	1/7	1	1/5	1/9	1/9	1/7	1/5	1/7	5	5	7	5	1/5
K3	7	5	1	1/9	1/7	1/7	5	5	7	7	5	9	5
K4	9	9	9	1	3	5	7	7	5	7	7	9	7
K5	9	9	7	1/3	1	5	7	5	3	5	5	9	7
K6	7	7	7	1/5	1/5	1	5	3	5	1/3	5	7	5
K7	3	5	1/5	1/7	1/7	1/5	1	3	1/5	1/7	1/5	1/3	1/3
K8	7	7	1/5	1/7	1/5	1/3	1/3	1	1/7	1/7	1/5	5	1/5
K9	5	1/5	1/7	1/5	1/3	1/5	5	7	1	1/3	5	7	5
K10	7	1/5	1/7	1/7	1/5	3	7	7	3	1	5	7	3
K11	3	1/7	1/5	1/7	1/5	1/5	5	5	1/5	1/5	1	7	3
K12	1/3	1/5	1/9	1/9	1/9	1/7	3	3	1/7	1/7	1/7	1	1/7
K13	7	5	1/5	1/7	1/7	1/5	3	3	1/5	1/3	1/3	7	1
TOPLAM	65,476	55,743	25,54	2,892	5,895	15,705	48,867	49,286	30,086	26,771	41,21	76,333	37,019

Ek Açıklama B-4: Uzman 4 Tarafından Değerlendirilen İkili Karşılaştırma Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
K1	1	3	1/3	1/7	5	1/7	1/5	1/3	5	1/7	7	1/5	7
K2	1/3	1	1/5	0,2	1/3	3	1/7	1/5	1/5	1/5	5	1/5	9
K3	3	5	1	7	1/3	1/3	1/7	5	1/7	8	1/7	5	7
K4	7	5	1/7	1	1/5	1/7	1/7	7	1/3	1/3	3	1/8	3
K5	1/5	3	3	5	1	1/5	1/3	1/5	1/5	1/3	1/5	1/5	3
K6	7	1/3	3	7	5	1	1/5	5	5	1/5	5	5	5
K7	5	7	5	5	3	5	1	1/3	1/3	1/3	5	3	5
K8	3	5	1/5	1/7	5	1/5	3	1	1/5	1/3	1/7	1/5	5
K9	1/5	5	7	3	5	1/5	3	5	1	1/5	3	5	1/3
K10	7	5	1/8	3	3	5	3	3	5	1	3	7	1/5
K11	1/7	1/5	7	1/3	5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1	1/5	5
K12	5	5	1/5	8	5	1/5	1/3	1/3	1/5	1/7	5	1	1/5
K13	1/7	1/9	1/7	1/3	1/3	1/5	1/5	1/5	3	5	1/5	5	1
TOPLAM	39,019	44,644	27,344	40,152	38,2	15,819	12,01	27,8	20,943	16,552	37,686	32,125	50,733

Ek Açıklama B-5: Uzman 5 Tarafından Değerlendirilen İkili Karşılaştırma Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
K1	1	1	5	3	3	3	5	4	5	2	5	1	5
K2	1	1	1	1	1	1/3	1/3	7	1/3	3	3	1	3
K3	1/5	1	1	1/3	1/3	0,2	2	3	3	1	2	1	2
K4	1/3	1	3	1	3	1	3	1	4	3	5	3	5
K5	1/3	1	3	1/3	1	3	3	1	3	1	4	1	4
K6	1/3	3	5	1	1/3	1	3	3	3	1	2	3	2
K7	1/5	3	1/2	1/3	1/3	1/3	1	1	3	3	7	5	7
K8	1/4	1/7	1/3	1	1	1/3	1	1	3	1/5	1	3	1
K9	1/5	3	1/3	1/4	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1/7	1/3	1	1/3
K10	1/5	1/3	1	1/3	1	1	1/3	5	7	1	5	3	5
K11	1/5	1/3	1/2	1/5	1/4	1/2	1/7	1/7	3	1/5	1	3	1
K12	1	1	1	1/3	1	1/3	1/5	1/5	1	1/3	1/3	1	1/3
K13	1/5	1/3	1/2	1/5	1/4	1/2	1/7	1/7	3	1/5	1	3	1
TOPLAM	5,75	16,143	22,167	9,317	12,833	11,867	19,486	26,819	39,333	16,076	36,667	29	36,667