



LİSANSÜSTÜ PROGRAMLAR ENSTİTÜSÜ

**DEMİRYOLU TAŞIMACILIK ENDÜSTRİSİNDE YEŞİL
MUTABAKAT VE YEŞİL STRATEJİ SEÇİMİNİN TİP-2
NÖTROSOFİK BULANIK ORTAMDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

ÖMER FARUK GÖKDAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İstanbul, Mayıs 2025

ÖMER FARUK GÖKDAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ULUSLARARASI TİCARET VE LOJİSTİK ANABİLİM DALI
ULUSLARARASI TİCARET VE LOJİSTİK TEZLİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI

YÜKSEK LİSANS TEZ DANIŞMANI
Doç.Dr. Mehmet YEŞİLYAPRAK

YÜKSEK LİSANS TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ
Unvan Doç.Dr. Ömer Faruk GÖRÇÜN
Unvan Dr. Burak Nedim AKTAŞ

ÖNSÖZ

Bu çalışma, yüksek lisans eğitimimin bir parçası olarak Beykoz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır. “Demiryolu Taşımacılık Endüstrisinde Yeşil Mutabakat ve Yeşil Strateji Seçiminin Tip-2 Nötrosofik Bulanık Ortamda Değerlendirilmesi” başlıklı bu tez, hem Sürdürülebilir taşımacılık politikaları hem de çok kriterli karar verme yaklaşımlarının kesişiminde yer alarak, demiryolu taşımacılığı alanına çevresel ve analitik bir perspektif kazandırmayı amaçlamaktadır.

Tez süreci boyunca akademik rehberliği, bilgi birikimi ve yönlendirmeleriyle bana yol gösteren danışmanım Sayın Doç.Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Yeşil Yaprak'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bilgi ve tecrübeleriyle çalışmama değerli katkılarda bulunan kıymetli hocalarım Sayın Doç. Dr. Ömer Faruk Görçün ve Dr. Öğr. Üyesi Sayın Burak Nedim Aktaş'a verdikleri akademik destek için teşekkür ederim.

Araştırma sürecinde görüşme ve veri sağlama konularında desteklerini esirgemeyen Sayın Uğur Ta, Mustafa Kıyılıoğlu, Mehmet Kavurgacı, Abdullah Bozkaya ve Serkan Yavaş'a katkılarından dolayı içtenlikle teşekkür ederim. Bu süreçte verdikleri zaman, paylaştıkları deneyimler ve gösterdikleri anlayış, çalışmamın saha boyutuna önemli katkılar sağlamıştır.

Akademik hayatımın bu önemli aşamasında beni her zaman destekleyen aileme ve arkadaşlarıma da sonsuz teşekkür ederim. Bu tezin ortaya çıkmasında emeği geçen herkese minnettarlığımı sunar, çalışmanın alana katkı sağlamasını temenni ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
SEMBOLLER.....	viii
KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xi
1 GİRİŞ	1
2 AVRUPA YEŞİL MUTABAKATI	8
2.1 SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMANIN DOĞUŞU	8
2.2 KÜRESEL ZİRVELER VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK.....	9
2.3 AVRUPA YEŞİL MUTABAKATI (AYM).....	11
2.3.1 AYM Finansmanı	13
2.3.2 AYM'nin Uluslararası Etkisi.....	15
2.4 YEŞİL TAŞIMACILIK KAVRAMI.....	16
2.5 YEŞİL DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞI	20
3 ÖNERİLEN KARAR VERME MODELİ	41
3.1 PESTEL ANALİZİ.....	41
3.2 TİP-2 NÖTROSOFİK BULANIK KÜMELER.....	43
3.2.1 Uzmanların Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	46
3.2.2 Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	49
3.2.3 Alternatiflerin Performanslarının Belirlenmesi.....	52
3.2 YEŞİL MUTABAKAT BAĞLAMINDA DEMİRYOLU	

TAŞIMACILIĞINDA YEŞİL STRATEJİLERİN BELİRLENMESİ.....	56
3.3 UZMANLARIN BELİRLENMESİ	1
3.4 TÜRK DEMİRYOLU SEKTÖRÜ VE PESTEL ANALİZİ	3
3.5 UZMAN AĞIRLIKLARININ HESAPLANMASI.....	7
3.6 KRİTER AĞIRLIKLARININ HESAPLANMASI	9
3.7 STRATEJİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	4
4 SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	8
4.1 BULGU VE ÇIKARIMLAR.....	11
4.2 ÇALIŞMANIN SINIRLILIKLARI.....	15
4.3 GELECEK ARAŞTIRMA TRENDLERİ	17
5 KAYNAKÇA	19
EK A.....	22
ÖZGEÇMİŞ	23

ÖZET

DEMİRYOLU TAŞIMACILIK ENDÜSTRİSİNDE YEŞİL MUTABAKAT VE YEŞİL STRATEJİ SEÇİMİNİN TİP-2 NÖTROSOFİK BULANIK ORTAMDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, Avrupa Yeşil Mutabakatının Türkiye demiryolu taşımacılığı sektörü üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma, öncelikle Yeşil Mutabakatın tanımı, tarihsel gelişimi ve temel bileşenlerine değinerek başlamaktadır. Daha sonra Türkiye'nin demiryolu taşımacılığı sektörünün mevcut durumu ve yapısal özellikleri analiz edilmiştir. Çalışmanın temel odağı, Yeşil Mutabakat kapsamında ortaya çıkan regülasyonların, sürdürülebilirlik hedeflerinin, finansman mekanizmalarının, teknolojik ve operasyonel yeniliklerin demiryolu sektörüne olan etkileridir. Özellikle karbon salınımının azaltılması ve çevresel performansın iyileştirilmesi süreçleri ayrıntılı şekilde ele alınmıştır. Bu doğrultuda, çok kriterli karar verme süreçlerindeki belirsizliklerin yönetilmesi amacıyla Tip 2 Nötrosofik Bulanık Sayılar temelinde SPC ve CRADIS yöntemlerinin entegre edildiği yeni bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Bu model, sektörün stratejik karar alma süreçlerinde etkinlik ve güvenilirlik sağlamaktadır. Son olarak, Türkiye'nin demiryolu taşımacılığında sürdürülebilir bir geleceğe ulaşması için enerji tüketiminin azaltılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesine yönelik stratejik öneriler sunulmuştur. Çalışma, Yeşil Mutabakat'a uyumun, Türkiye demiryolu sektörünün uluslararası çevresel standartlara erişmesi için kritik öneme sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Avrupa Yeşil Mutabakatı; Demiryolu Taşımacılığı, Tip 2 Nötrosofik Bulanık Sayılar; SPC Yöntemi; CRADIS Karar Verme Modeli

Tarih: 26.05.2025

ABSTRACT

EVALUATION OF GREEN DEAL AND GREEN STRATEGY SELECTION IN THE RAILWAY TRANSPORTATION INDUSTRY IN TYPE-2 NEUTROSOPHIC FUZZY ENVIRONMENT

In this study, the effects of the European Green Deal on the Turkish railway transport sector are examined in detail. The study mentions the Green Deal's definition, historical development, and basic components. Then, Turkey's railway transport sector's current situation and structural characteristics were analyzed.

The focus of the study is the effects of the regulations, sustainability targets, financing mechanisms, and technological and operational innovations that emerged within the scope of the Green Deal on the railway sector. In particular, the processes of reducing carbon emissions and improving environmental performance are discussed in detail. Accordingly, a new decision support model has been developed to integrate SPC and CRADIS methods based on Type 2 Neutrosophic Fuzzy Numbers to manage uncertainties in multi-criteria decision-making processes. This model provides efficiency and reliability in the sector's strategic decision-making processes. Finally, strategic suggestions were presented for reducing energy consumption, using renewable energy sources, and minimizing environmental impacts so that Turkey could reach a sustainable future in rail transport. The study emphasizes that compliance with the Green Deal is critical for the Turkish railway sector to reach international environmental standards.

Keywords: European Green Deal; Railway Transport; Type 2 neutrosophic fuzzy numbers; SPC Method; CRADIS Decision Making Model

Date: 26.05.2025

SEMBOLLER

A_i	: Trenin bulunduğu ya da varacağı buluşma noktası
c	: Nitelik indeksi
C	: Nitelik seti
CR	: Kritik oran
$fc(.)$	: c niteliğine ilişkin kısmi yarar fonksiyonu
H_s	: Zaman aralığının başlangıcı
H_c	: Zaman aralığının sonu
I	: Giden trenlerin seti



KISALTMALAR

AYM: Avrupa Yeşil Mutabakatı

BM: Birleşmiş Milletler

COP: Conference of the Parties (Taraflar Konferansı)

CRADIS: Compromise ranking of alternatives from distance to ideal solution

ÇŞİDB: Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı

DPT: Devlet Planlama Teşkilatı

ETS: Emisyon Ticareti Sistemi

INDC: Intended Nationally Determined Contribution (Niyet Edilen Ulusal Katkı)

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)

NDC: Nationally Determined Contribution (Ulusal Katkı Beyanı)

PYS : Performans Yönetim Sistemi

OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü)

SKA : Sürdürülebilir Kalkınma

SPC : Symmetry Point of Criterion

T2NFN : Type-2 Neutrosophic Fuzzy Number

TKY : Toplam Kalite Yönetimi

TÜFE : Tüketici Fiyat Endeksi

T.C. UAB: T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı

T.C. ÇŞİDB: T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı

T.C. K. B.: T.C. Kalkınma Bakanlığı

TCDD: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları

TKM: Temiz Kalkınma Mekanizması

TUSİAD: Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği

WWF: World Wide Fund for Nature (Dünya Doğayı Koruma Vakfı)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Avrupa Yeşil Mutabakatının Unsurları .. **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

Şekil 2.2 AYM'nin Finansmanı **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Türkiye Demiryolu Ağı ve Performans Verileri (2023)

Tablo 2.2 Demiryolu Teknolojileri ve Çevresel Etkileri

Tablo 2.3 Avrupa Yeşil Mutabakatı Kapsamında Türkiye’ de Uygulanan Politika Değişiklikleri

Tablo 2.4 Avrupa Yeşil Mutabakatı Finansman Araçları ve Destek Programları

Tablo 2.5 Türkiye’de sürdürülebilir demiryolu projelerine yapılan yatırımları

Tablo 4.1 Tablo 6. DM’lerin deneyim ve uzmanlık düzeyleri için T2NFN tabanlı ölçek.....

Tablo 4.2 Uzmanlar Kurulu Üyeleri ve Profilleri

Tablo 4.3 Belirlenen Yeşil Taşımacılık Stratejileri ve Tanımları

Tablo 4.4 Belirlenen Yeşil Taşımacılık ile ilgili Kriterler

Tablo 4.5 Türk Demiryolu Endüstrisine İlişkin PESTEL Faktörleri

Tablo 4.6 Uzmanların ağırlıklarına ilişkin değerlendirmeler

Tablo 4.7 Uzmanların göreceli ağırlıkları ve skor değerleri

Tablo 4.8 Uzmanların kriterlere ilişkin değerlendirmeleri

Tablo 4.9 Skor değerler ve kriterlerin nihai ağırlık değerleri

Tablo 4.10 İlk Karar Matrisi

Tablo 4.11 Mutlak mesafe matrisi (ADM)

Tablo 4.12 Oluşturulan Simetri Modülü

Tablo 4.13 Simetri kriterinin modülü ve objektif kriter ağırlıkları

Tablo 4.14 Normalize Karar Matrisi

Tablo 4.15 Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

Tablo 4.16 İdeal değerlerden sapmalar ve toplam sapma

Tablo 4.17 Anti- İdeal değerlerden sapmalar ve toplam sapma

Tablo 4.18 Anti- İdeal değerlerden sapmalar ve toplam sapma

1 GİRİŞ

Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM), Avrupa Birliği (AB) tarafından 2019 yılında açıklanan ve 2050 yılına kadar karbon nötr kıta olma hedefini taşıyan kapsamlı bir stratejidir (European Commission, 2019). Bu mutabakat, iklim değişikliğiyle mücadele ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması için tüm sektörlerde radikal dönüşümü amaçlamaktadır. AYM, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması, enerji verimliliğinin artırılması, döngüsel ekonomi ilkelerinin uygulanması ve adil geçiş politikalarının geliştirilmesi gibi çok boyutlu hedefler içerir (Lopes et al., 2021). Mutabakat, aynı zamanda sosyal ve ekonomik açıdan dengeli bir dönüşüm süreci hedefleyerek, çevresel ve iktisadi sürdürülebilirliği birlikte ele alır (European Environment Agency, 2020).

Ulaştırma sektörü, AB'nin toplam karbon emisyonlarının yaklaşık %30'unu oluşturması nedeniyle, Yeşil Mutabakat'ın öncelikli alanlarından biridir (IEA, 2020). Bu bağlamda, demiryolu taşımacılığı, karbon yoğunluğunun kara taşımacılığı modları içinde en düşük olması ve enerji verimliliği yüksek bir ulaşım alternatifi olması sebebiyle kritik bir rol oynamaktadır (UIC, 2020). AYM, demiryolu altyapısının yenilenmesi, elektrikli ve hidrojenle çalışan tren teknolojilerinin geliştirilmesi ve demiryolu taşımacılığının toplam ulaşım içindeki payının artırılması yönünde somut hedefler koymaktadır (European Commission, 2020).

Örneğin, AB'nin "Shift2Rail" programı, demiryolu teknolojilerinin inovasyonunu hızlandırmak için önemli bir finansman kaynağı sağlamakta ve böylece demiryolunun rekabet gücünü artırmayı amaçlamaktadır (Shift2Rail Joint Undertaking, 2018).

Demiryolu sektörü sadece karbon salınımının azaltılması açısından değil, aynı zamanda sürdürülebilir lojistik zincirlerinin oluşturulmasında da kilit bir role sahiptir. Ulaştırma yoğun kentlerde trafik sıkışıklığını ve hava kirliliğini azaltarak, toplumsal sağlık üzerinde olumlu etkiler yaratır (Banister, 2021). Ayrıca, Avrupa Komisyonu'nun raporlarına göre, demiryolu taşımacılığı, yük taşımacılığında modlar arası geçişlerin teşvik edilmesiyle kara taşımacılığının çevresel etkilerinin azaltılmasında anahtar sektörlerden biridir (European Commission, 2021).

Türkiye açısından da demiryolu taşımacılığının Yeşil Mutabakat kapsamındaki önemi büyüktür. Türkiye'nin jeostratejik konumu, Avrupa-Asya arasında önemli bir lojistik köprü olması, demiryolu altyapısının sürdürülebilir ve çevreci şekilde geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (TCDD, 2022). AYM kapsamında getirilen karbon sınır vergisi uygulamaları ve döngüsel ekonomi düzenlemeleri, Türk demiryolu sektörünü daha çevreci ve yenilikçi yatırımlara yönlendirmekte; bu da hem bölgesel entegrasyon hem de uluslararası rekabet gücünün artırılması açısından fırsatlar yaratmaktadır (OECD, 2020).

Demiryolu endüstrisi, dijitalleşme, otomasyon, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve enerji verimliliği teknolojilerinin yaygınlaştırılması gibi alanlarda önemli dönüşümlere sahne olmaktadır (UIC, 2021). Bu kapsamda, sektör paydaşlarının sürdürülebilirlik kriterlerine uygun stratejiler geliştirmesi ve uygulaması beklenmektedir. Avrupa Yeşil Mutabakatı, bu dönüşümü destekleyerek, yeşil yatırımların artırılması, altyapının karbon nötr hale getirilmesi ve yeni finansman mekanizmalarının devreye sokulması yoluyla demiryolu taşımacılığının sürdürülebilir büyümesine rehberlik etmektedir (European Investment Bank, 2020).

Özetle, Avrupa Yeşil Mutabakatı, demiryolu taşımacılığının çevresel etkilerini minimize ederken, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliği de gözeten kapsamlı bir dönüşüm programıdır. Bu bağlamda demiryolu sektörü, AB'nin iklim hedeflerine ulaşmasında öncelikli aktörlerden biri olarak görülmekte ve Türkiye gibi stratejik konumdaki ülkeler için de büyük önem taşımaktadır. Sektörün, bu hedeflere ulaşabilmesi için yenilikçi teknolojilerle desteklenen, kapsamlı ve entegre politikalar geliştirmesi ve uygulaması gerekmektedir.

Günümüzde iklim değişikliği ve çevresel sürdürülebilirlik, ulusal ve uluslararası politika yapıcılarının en öncelikli gündem maddeleri arasında yer almaktadır. Ulaştırma sektörü, küresel sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağı olarak görülmekte ve bu bağlamda sektörel dönüşüm ihtiyacı giderek artmaktadır (IEA, 2020). Demiryolu taşımacılığı, karayolu ve havayoluna kıyasla daha düşük karbon ayak izine sahip olması sebebiyle sürdürülebilir ulaşımın temel taşlarından biri olarak kabul edilmektedir (UIC, 2020). Ancak, demiryolu sektörünün çevresel performansını iyileştirmek ve AB gibi bölgesel politikalarla uyumlu hale getirmek için stratejik ve entegre yeşil yaklaşımların geliştirilmesi zorunludur.

Yeşil stratejilerin geliştirilmesinin temel önemi çevresel etkilerin minimize edilmesi ile sınırlı kalmayıp, ekonomik verimlilik, teknolojik yeniliklerin teşviki ve sosyal kabul açısından da kritik bir role sahiptir (Banister, 2021). Örneğin, enerji tüketiminin azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, sadece karbon emisyonlarını düşürmekle kalmaz, aynı zamanda işletme maliyetlerinde azalma ve enerji güvenliğinde artış sağlar (European Commission, 2020). Bu durum, demiryolu işletmelerinin rekabet gücünü ve sürdürülebilirliğini artırır.

Alternatif yeşil stratejilerin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi ise karar alma süreçlerinde etkin kaynak kullanımı ve stratejik odaklanmayı mümkün kılar. Sınırlı finansal ve teknik kaynaklar ışığında, stratejilerin etkilerinin, maliyetlerinin, uygulanabilirliklerinin ve uzun vadeli sürdürülebilirlik katkılarının karşılaştırılması

gerekir (Mardani et al., 2017). Örneğin, elektrikli trenlerin yaygınlaştırılması enerji verimliliğini artırabilirken, altyapı yenileme maliyetleri ve teknik adaptasyon gereksinimleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, çok kriterli karar verme (MCDM) yöntemleri gibi sistematik ve sayısal analiz araçları, stratejilerin önceliklendirilmesinde kilit rol oynar (Zavadskas et al., 2016).

Stratejik önceliklendirme, risk yönetimi ve politika uyumu açısından da kritik önem taşır. Yeşil stratejiler arasında doğru seçim yapılmadığında, uygulamalar kaynak israfına yol açabilir veya çevresel hedeflere ulaşmada yetersiz kalabilir. Ayrıca, uluslararası düzenlemeler ve piyasa mekanizmalarındaki hızlı değişimler göz önüne alındığında, esnek ve güncellenebilir stratejiler geliştirmek gereklidir (European Environment Agency, 2020). Örneğin, Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında getirilen sınırdan karbon vergisi gibi mekanizmalar, demiryolu taşımacılığının uluslararası rekabet gücünü doğrudan etkileyebilir ve bu etkilerin stratejik planlamaya dahil edilmesi gerekir (OECD, 2020).

Son olarak, yeşil stratejilerin geliştirilmesi, sadece çevresel fayda sağlamakla kalmaz; aynı zamanda toplumsal faydayı da artırır. Daha temiz ve sessiz demiryolu taşımacılığı, kent içi hava kalitesini iyileştirir, sağlık risklerini azaltır ve sürdürülebilir şehirleşmeye katkı sağlar (Banister, 2021). Bu nedenle, sürdürülebilir demiryolu taşımacılığına yönelik stratejiler, çok boyutlu fayda yaratmakta ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkı sağlamaktadır.

Özetle, demiryolu taşımacılığında yeşil stratejilerin geliştirilmesi ve alternatiflerin sistematik olarak değerlendirilip önceliklendirilmesi, çevresel, ekonomik, sosyal ve teknolojik sürdürülebilirliği sağlamak için vazgeçilmezdir. Bu yaklaşım hem kaynakların etkin kullanımını destekler hem de sektörel ve ulusal düzeyde uyumlu, başarılı ve sürdürülebilir politika ve uygulamaların geliştirilmesini sağlar.

Demiryolu taşımacılığında yeşil stratejilerin geliştirilmesi ve bu stratejiler arasından en uygun olanlarının seçilmesi, çok boyutlu ve karmaşık bir karar verme

problemidir. Çünkü, çevresel, ekonomik, teknik ve sosyal faktörler gibi çok sayıda ve birbirleriyle ilişkili kriter göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kriterlerin her biri belirsizlik, eksik bilgi ve subjektif değerlendirmeler içerebilir. Ayrıca, farklı stratejilerin kısa ve uzun vadeli etkileri, uygulanabilirlikleri ve maliyetleri arasında dengeli bir karar verilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, yeşil stratejilerin değerlendirilmesi sadece basit bir sıralama veya seçimden öte, kapsamlı, esnek ve doğru birçok kriterli karar destek sistemine ihtiyaç duyar.

Literatürde, AYM ve demiryolu sektörü bağlamında yeşil strateji seçiminde bu tür entegre ve nötr- bulanık karar verme modellerinin kullanılmasına yönelik çalışmalar sınırlıdır. Bu karar verme probleminin halen tam olarak çözülememesinin temel nedenlerinden biri, çevresel ve sürdürülebilirlik kriterlerinin doğası gereği yüksek düzeyde belirsizlik ve çelişkili bilgiler içermesidir. Geleneksel karar verme yöntemleri, bu tür belirsizlikleri ve karar vericilerin duyarlılıklarını yeterince modelleyememekte, bu da karar kalitesini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, yeşil stratejilerin teknik ve ekonomik parametreleri dinamik ve değişken olduğundan, statik ve deterministik modeller yetersiz kalmaktadır. Literatürde, sürdürülebilir ulaşım kararlarında kullanılan pek çok yöntem bulunmakla birlikte, bunların çoğu belirsizlikleri, karar vericilerin öznelliklerini ve stratejilerin çoklu etkilerini kapsamlı bir şekilde entegre edememektedir.

Bu çalışma, bahsi geçen araştırma boşluğunu doldurarak teorik katkı sağlamanın yanı sıra, demiryolu sektöründe sürdürülebilir uygulamaların önceliklendirilmesine yönelik pratik bir karar destek aracı sunmaktadır. Ayrıca, elde edilen sonuçlar, politika yapıcılar ve sektör yöneticileri için somut yönetimsel çıkarımlar ve stratejik yol haritaları geliştirmede önemli içgörüler sağlamaktadır.

Bu bağlamda, Tip-2 Nötrosofik Bulanık Küme tabanlı SPC (Subjective Performance Criteria) ve CRADIS (Criteria Ranking by Distance to Ideal Solution) yöntemlerinin entegrasyonu, bu karmaşık karar problemi için önemli avantajlar

sunmaktadır. Tip-2 Nötrosofik kümeler, belirsizliği daha gerçekçi ve esnek biçimde modelleyebilme kabiliyeti ile Tip-1 bulanık kümelerin sınırlamalarını aşmaktadır. Böylece, karar vericilerin hem pozitif, negatif hem de belirsiz kanaatleri nüanslı şekilde ifade edilebilmektedir. SPC yöntemi, karar vericilerin stratejilere ilişkin subjektif performans değerlendirmelerini sistematik olarak toplarken, CRADIS yöntemi ise bu değerlendirmeleri ideal çözüme olan mesafeye göre sıralayarak net ve güvenilir önceliklendirme sağlar.

Entegre model, belirsizlik ve öznellik faktörlerini kapsamlı biçimde ele aldığı için daha sağlam, esnek ve uygulanabilir karar destek sonuçları üretir. Literatürde yeşil strateji seçimlerinde bu tür bütünleşik ve nötrosofik tabanlı modeller oldukça sınırlıdır; dolayısıyla bu model hem teorik boşlukları doldurmakta hem de pratikte sektörün ihtiyaç duyduğu stratejik karar mekanizmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, model sayesinde karar vericiler, farklı kriterler ve belirsizlik koşulları altında stratejilerin etkilerini daha iyi analiz edebilmekte, politika ve yatırım kararlarını daha güvenli temellere oturtabilmektedir.

Sonuç olarak, Tip-2 Nötrosofik SPC & CRADIS entegre modeli, demiryolu taşımacılığında sürdürülebilir yeşil stratejilerin önceliklendirilmesi problemini çok kriterli, belirsizlik odaklı ve karar verici merkezli bir yaklaşımla ele alarak, karar süreçlerine yenilikçi, etkili ve güvenilir bir çözüm sunmaktadır.

Çalışmanın devamı şu şekilde yapılandırılmıştır: İkinci bölümde Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın tarihsel gelişimi ve temel unsurları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Üçüncü bölümde Araştırmanın geçmişi incelenmiş ve kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Dördüncü bölümde, önerilen Tip-2 Nötrosofik Bulanık SPC ve CRADIS yöntemlerinin teorik temelleri ile entegre karar destek modeli detaylandırılmıştır. Beşinci bölümde model uygulaması ve analiz sonuçları paylaşılmış, son bölümde ise çalışma kapsamında elde edilen bulguların yönetsel ve politika önerileri ışığında değerlendirilmesi yapılmıştır.

2 AVRUPA YEŞİL MUTABAKATI

2.1 SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMANIN DOĞUŞU

Yeşil Mutabakat düşüncesinin temelini oluşturan çevresel duyarlılık ve sürdürülebilir kalkınma kavramları, 20. yüzyılın son çeyreğinde dünya gündeminde hızla yer edinmeye başlamıştır. Ekonomik kalkınma süreçlerinin çevre üzerinde yarattığı baskılar, doğal kaynakların hızlı tükenişi, sanayileşmenin doğaya verdiği zararlar ve artan sosyal eşitsizlikler, çevreyi merkeze alan politikaların ve uluslararası iş birliklerinin doğmasına zemin hazırlamıştır. Bu gelişmelerin en önemli erken işaretlerinden biri, 1972 yılında yayımlanan ve ekonomik büyümenin sınırlarına dikkat çeken “Limits to Growth” (Büyümenin Sınırları) raporu olmuştur. Raporda, doğal kaynakların sınırsız olmadığı ve mevcut büyüme anlayışıyla kalkınmanın sürdürülemez olduğu açıkça ortaya konmuştur. Bu belge, sürdürülebilirlik kavramının uluslararası literatürde şekillenmesinde ve tartışılmasında önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir.

Aynı yıl, çevre sorunlarının küresel düzeyde ciddi biçimde tartışıldığı ilk büyük uluslararası zirve olan Stockholm Konferansı düzenlenmiştir. Bu konferans, çevre sorunlarına ilişkin uluslararası iş birliği çağrısını somutlaştırmış ve İnsan Çevresi Bildirgesi’nin kabul edilmesini sağlamıştır. Bildirge, çevrenin korunmasının sadece bir ülkenin değil, tüm dünyanın ortak sorumluluğu olduğunu vurgulamış ve ekonomik gelişmenin çevre ile uyum içinde gerçekleştirilmesi gerektiğini ön plana çıkarmıştır. Stockholm Konferansı ayrıca Birleşmiş Milletler Çevre Programı’nın (UNEP) kurulmasına öncülük etmiş, böylece küresel çevresel farkındalığın artırılması ve ülkelerin çevre politikalarının şekillendirilmesinde önemli bir kurumsal altyapı oluşturulmuştur.

1987 yılında yayımlanan Brundtland Raporu, sürdürülebilir kalkınma kavramını net bir şekilde tanımlayarak hem akademik hem de politik çevrelerde bu alandaki

tartışmalara yön vermiştir. Raporda sürdürülebilir kalkınma, “bugünün ihtiyaçlarının, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını tehlikeye atmadan karşılanması” olarak tanımlanmıştır. Bu anlayış, çevresel koruma ile ekonomik ve sosyal gelişme arasında dengeli ve entegre bir ilişki kurulmasını hedeflemektedir. Brundtland Raporu, sadece çevresel sorunların etkilerine değil, aynı zamanda bu sorunların temel nedenlerine odaklanarak kapsamlı bir strateji ortaya koymuştur. Ayrıca sürdürülebilir kalkınmanın yalnızca devlet politikaları ile sınırlı kalmayıp, bireylerden özel sektöre kadar tüm paydaşların ortak sorumluluğunu gerektirdiğini de açıkça belirtmiştir.

2.2 KÜRESEL ZİRVELER VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

1992 yılında gerçekleştirilen Rio Konferansı, sürdürülebilir kalkınma düşüncesinin uluslararası toplumda daha geniş kitleler tarafından benimsenmesini sağlamış ve çevresel sürdürülebilirliğin küresel gündem içindeki önemini pekiştirmiştir. Konferansta kabul edilen Rio Bildirgesi, çevre ve kalkınma arasındaki dengeyi yeniden tanımlamış, ekosistemin korunması ve yoksulluğun azaltılması gibi temel hedefleri küresel bir sorumluluk olarak ortaya koymuştur. Aynı zamanda, 21. Yüzyıl Gündemi (Agenda 21) ve İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi gibi önemli belgeler kabul edilerek çevre alanında hukuki ve kurumsal altyapının güçlendirilmesine katkıda bulunulmuştur. Bu belgeler, çevreye zarar vermeden ekonomik gelişmeyi mümkün kılacak politikaların oluşturulmasının uluslararası iş birliğiyle gerçekleştirilebileceğini göstermiştir.

Rio Konferansı'nı takiben, bu zirvenin uygulama ve etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla 1997'de Rio+5, 2002'de Rio+10 ve 2012'de Rio+20 zirveleri düzenlenmiştir. Bu toplantılar, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada somut adımlar atılması gerekliliğini tekrar gündeme taşımış ve özellikle 2012'de kabul edilen “İstedığımız Gelecek” başlıklı sonuç belgesiyle yeşil ekonominin sürdürülebilir kalkınma stratejileri

içerisindeki önemi resmiyet kazanmıştır.

1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü ise, sera gazı emisyonlarının azaltılmasını zorunlu kılan ilk uluslararası anlaşma olma özelliği taşımaktadır. Protokol, gelişmiş ülkelerin emisyon azaltımı yükümlülüklerini belirleyerek iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir dönüm noktası olmuştur. Ancak protokolün uygulanmasında yaşanan zorluklar, özellikle gelişmekte olan ülkelerin desteklenmesi konusunda yeterli somut adımların atılamaması, iklim değişikliğiyle mücadelede daha kapsayıcı ve etkili mekanizmalara ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir.

2000 yılında Birleşmiş Milletler tarafından açıklanan Binyıl Kalkınma Hedefleri (Millennium Development Goals - MDGs) ile birlikte çevresel sürdürülebilirlik, yoksulluğun azaltılması ve küresel ortaklıkların güçlendirilmesi konuları, daha geniş bir kalkınma vizyonu içerisinde ele alınmaya başlanmıştır. Bu hedefler, 2015 yılına kadar dünya genelinde bir yol haritası oluşturmuş ve sürdürülebilir kalkınmanın sosyal ve ekonomik boyutlarının ön plana çıkmasını sağlamıştır. 2015 yılında ise Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (Sustainable Development Goals - SDGs) kabul edilerek kapsam daha da genişletilmiştir. Bu yeni hedefler, iklim eylemi, enerji verimliliği, temiz su kaynaklarına erişim gibi birçok çevresel konuyu, sosyal adalet ve ekonomik gelişme ile birlikte ele alarak sürdürülebilirlik mücadelesini daha kapsayıcı hale getirmiştir. SDG'ler, sadece devletlerin değil, aynı zamanda özel sektör, sivil toplum ve bireylerin de sorumluluk üstlendiği küresel bir dönüşüm sürecinin çerçevesini çizmiştir.

2015 yılında kabul edilen Paris İklim Anlaşması ise sürdürülebilir kalkınma ve iklim değişikliği mücadele sürecinin en kapsamlı ve güncel uluslararası rejimi olarak ön plana çıkmaktadır. Anlaşma, küresel sıcaklık artışını 2°C'nin altında tutmayı ve mümkünse 1,5°C ile sınırlandırmayı hedeflemektedir. Bu hedef doğrultusunda ülkelerin kendi belirledikleri Ulusal Katkı Beyanları (NDC) ile emisyon azaltım hedeflerini ortaya koymaları teşvik edilmektedir. Paris Anlaşması, ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre farklılaştırılmış sorumluluklar üstlenmesini öngörmekte ve böylece esnek ama kararlı bir

uygulama çerçevesi sunmaktadır.

2.3 AVRUPA YEŞİL MUTABAKATI (AYM)

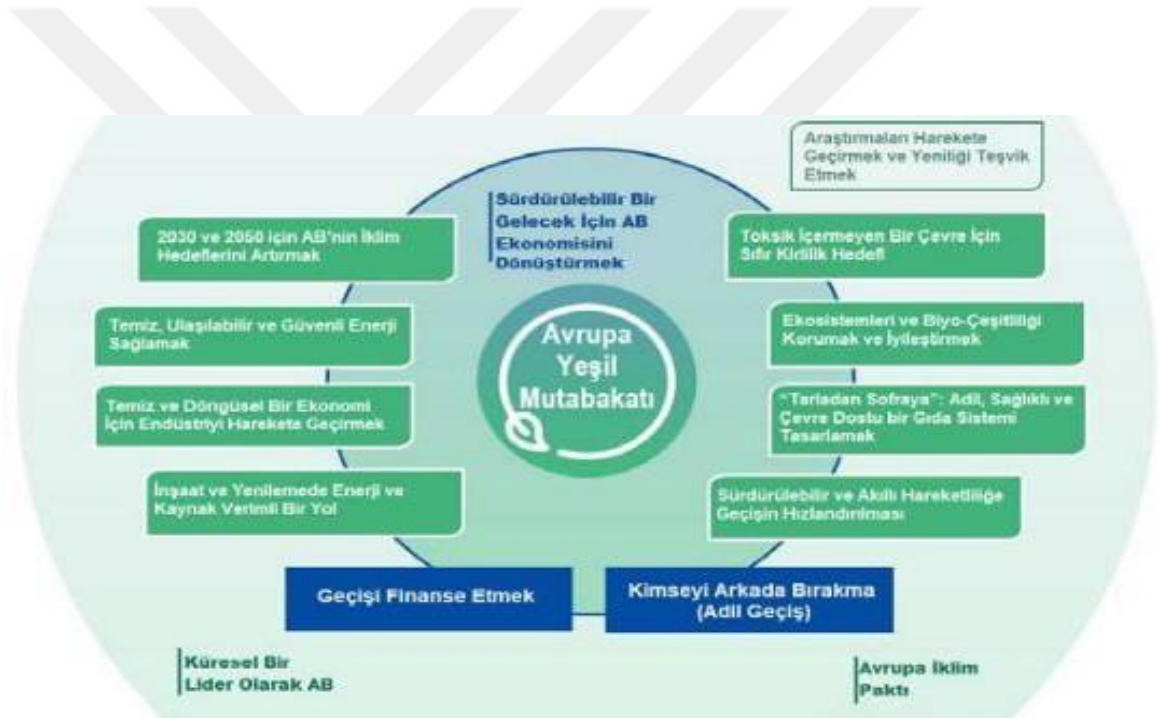
İnsan faaliyetlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, özellikle küresel iklim değişikliği, canlı hayatının devamı açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu tehdit, uluslararası alanda sürdürülebilir kalkınma hedefleri ve iklim anlaşmaları gibi birçok girişimin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ve Paris İklim Anlaşması gibi küresel anlaşmalar, iklim değişikliğine karşı ortak mücadeleyi hedeflemektedir. Avrupa Birliği (AB) bu çerçevede 2019 yılında Avrupa Komisyonu Başkanı Ursula Von Der Leyen tarafından açıklanan Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) ile kendi iklim politikalarını daha iddialı bir şekilde ele almıştır.

AYM'nin tarihsel arka planı, yeşil düşüncenin 20. yüzyılda sanayileşmeye karşı gelişen çevreci hareketler ve özellikle gelişmiş Batı toplumlarında ortaya çıkan çevre kirliliğine tepki olarak siyasi bir hareket haline gelmesiyle şekillenmiştir. Bu hareket, zamanla uluslararası düzeyde genişleyerek BM ve AB öncülüğünde çevrenin korunması için somut politika ve sözleşmelerin geliştirilmesini sağlamıştır. AYM, bu gelişmelerin güncel bir ifadesi olarak çevre koruma ve sürdürülebilir büyüme arasındaki dengeyi kurmayı amaçlayan kapsamlı bir strateji olarak ortaya çıkmıştır.

AYM, AB'nin 1990-2018 dönemi arasında %61 ekonomik büyüme sağlarken sera gazı emisyonlarında yalnızca %23 azalma kaydettiği mevcut duruma bir yanıt olarak geliştirilmiştir. AB, mevcut politikalarla 2050 yılına kadar %60 azalma hedefliyordu; ancak AYM ile bu hedefler daha iddialı hale getirilmiş, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarının 1990 seviyelerine göre %55 azaltılması ve 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşılması planlanmıştır. AYM'nin temel hedeflerinden biri, sera gazı

emisyollarının azaltılması sürecinde istihdam ve inovasyonun desteklenmesiyle sürdürülebilir ekonomik büyümenin sağlanmasıdır.

AYM, yalnızca çevreyi koruma amaçlı bir politika seti olmayıp, aynı zamanda uluslararası ticaret ve karbon yoğun sektörlerde yeşil dönüşümü hızlandırmayı hedefleyen bir yaptırım aracı olarak da işlev görmektedir. Kyoto Protokolü ve Paris Anlaşması'nda belirlenen hedeflerin yetersiz kalması üzerine, bu mutabakat yeşil ekonomik dönüşümün hızlanması için AB'nin kapsamlı stratejisini oluşturmaktadır. Mutabakat, IPCC ve Avrupa Çevre Ajansı gibi önemli kurumların raporlarıyla ortaya konan iklim krizi ve çevresel tahribat risklerine karşı kapsamlı önlemler içermektedir.



Şekil 2.1 Kaynak: AYM Türkçe Çeviri, Yeşil Düşünce Derneği

Mutabakatın ana hedefleri arasında, AB'nin 2050 yılında karbon-nötr bir kıta haline gelmesi, kaynak kullanımıyla ekonomik büyümenin ayrıştırılması, doğal sermayenin korunması, vatandaşların sağlık ve refahının çevresel risklerden korunması ve adil bir toplum oluşturulması yer almaktadır. Bu hedeflere ulaşmak için yeşil dönüşümün adil,

kapsayıcı ve toplumsal katılıma açık olması gerekmektedir. Bu nedenle AYM politikalarının hazırlanması sürecinde AB kurumları, üye devletler, yerel yönetimler, sivil toplum kuruluşları, sanayi ve halkın katılımı teşvik edilmektedir.

AYM'nin uygulanması için enerji, sanayi, altyapı, ulaşım, tarım, inşaat, vergi ve sosyal politikalar başta olmak üzere pek çok alanda kapsamlı reformlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, dijital dönüşüm ve yenilikçi teknolojiler, bu sürecin temel araçları olarak öne çıkmaktadır. Politika araçları arasında düzenlemeler, standartlar, yatırım ve inovasyon destekleri, ulusal reformlar, sosyal paydaşlarla diyalog ve uluslararası iş birliği bulunmaktadır.

AYM kapsamındaki politika alanları, 2030 ve 2050 iklim hedeflerinin geliştirilmesi, fosil yakıtlardan arındırılmış temiz enerji üretimi, döngüsel ekonomi modeli, enerji ve kaynak verimliliği, sıfır kirlilik hedefi, ekosistemlerin korunması, sürdürülebilir gıda sistemleri ve akıllı hareketlilik gibi kritik başlıkları içermektedir.

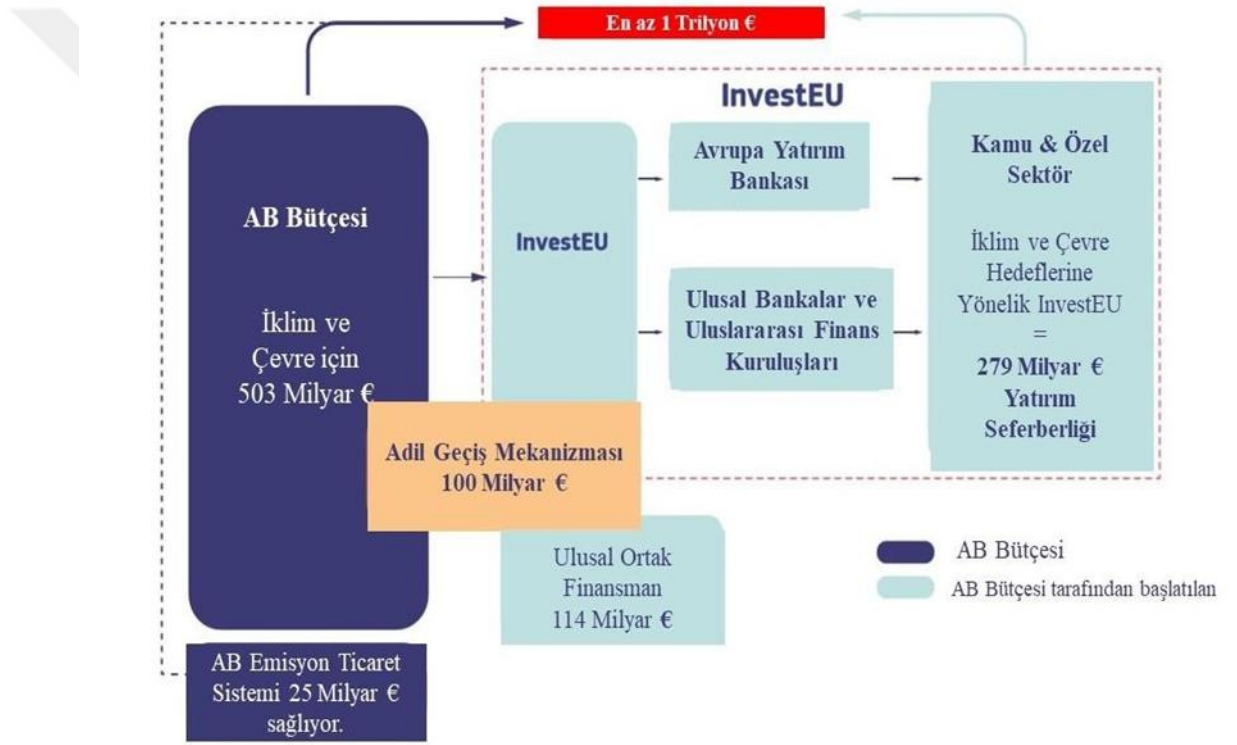
AYM'nin bir diğer önemli amacı ise AB'nin küresel rekabet gücünü korumaktır. Çevresel standartlara uyum göstermeyen ülkelerden gelen düşük maliyetli ürünler, AB içindeki üreticilerin dezavantajına yol açabilmektedir. Bu durumu engellemek için sınırda karbon vergisi gibi mekanizmalar geliştirilmiştir.

2.3.1 AYM Finansmanı

AYM'nin hedeflerine ulaşabilmesi için 2020-2030 döneminde 1 trilyon Euro tutarında kamu ve özel yatırımların gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Avrupa Yatırım Bankası öncülüğünde oluşturulan finansman planları, çevreci teknolojiler, sürdürülebilir enerji, yenilenebilir kaynaklar, enerji verimli binalar gibi alanlarda yatırımları desteklemeyi amaçlamaktadır. Finansman stratejisi üç ana başlıktan oluşmaktadır: finansman kaynağı yaratılması, özel sektör yatırımlarının teşvik edilmesi ve

sürdürülebilir projelerde yatırımcılara destek sağlanması.

Sürdürülebilir finansman için oluşturulan taksonomi sistemi, yeşil yatırımların standartlaştırılması ve raporlanması için bir çerçeve sunmakta, bu sayede yatırımcıların çevreci projelere yönelmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, AYM kapsamındaki dönüşümün sosyal boyutuna önem verilmekte, fosil yakıt bağımlı bölgeler ve iş kolları için “Adil Geçiş Mekanizması” ile 2021-2027 döneminde 100 milyar Euro’luk destek paketi planlanmıştır. Bu süreçte AB bütçesi, üye devletler ve özel yatırımcılar birlikte rol oynamaktadır.



Şekil: 2.2 Avrupa Yeşil Mutabakat Finansman Tablosu

Türkiye açısından bakıldığında, AYM finansman mekanizmalarına uyum sağlamayan şirketlerin AB kaynaklı kredilere erişiminde zorluk yaşayabileceği belirtilmektedir. Bu durum, Türkiye’nin AB ile olan ticari ilişkileri ve sürdürülebilir kalkınma projelerinin finansmanı açısından önemli bir risk oluşturmaktadır.

2.3.2 AYM'nin Uluslararası Etkisi

İklim değışikliğı gibi küresel sorunların sınır tanımaması nedeniyle AB, AYM yoluyla sadece kendi sınırları içinde değil, ilişkide bulunduğu tüm ülkelerde yeşil dönüşümü teşvik etmeyi hedeflemektedir. Ancak, tüm ülkelerin aynı ölçüde iklim hedeflerine bağlı kalmaması ve çevreci standartları uygulamaması durumunda üretimin düşük maliyetli, karbon yoğun ülkelere kayması riski ortaya çıkmaktadır. Bu durum “karbon kaçağı” olarak adlandırılmakta ve AB'nin iklim mücadelesinin etkinliğini zayıflatmaktadır.

Bu riski azaltmak amacıyla AB, “Sınırdaki Karbon Vergisi” (SKV) mekanizmasını uygulamaya koymuştur. 2023'te geçiş sürecine başlayan SKV, karbon yoğun sektörlerden ithal edilen ürünlerin emisyon bedelini dengeleyerek AB içi ve dışı üreticilerin rekabet koşullarını eşitlemektedir. İlk aşamada çimento, demir-çelik, alüminyum gibi sektörlerde uygulanacak mekanizmanın ilerleyen yıllarda kapsamı genişletilmesi planlanmaktadır. SKV'nin küresel ticarete önemli etkileri olması beklenmektedir.

Bunun yanı sıra AB, döngüsel ekonomi prensipleri doğrultusunda ürünlerin geri dönüştürülebilirliği, kaynak etkinliği ve üretici sorumluluğunu artıran yeni düzenlemeler getirmiştir. Bu düzenlemeler, AB'ye ihraç edilen ürünlerin tasarımından başlayarak üretim süreçlerinin yeniden yapılandırılmasını gerektirmektedir. Türkiye gibi AB ile yoğun ticaret yapan ülkeler için bu düzenlemelere uyum zorunludur. Aksi takdirde ticarete kısıtlamalar, artan maliyetler ve rekabet gücünde azalma kaçınılmazdır. Türkiye'nin AB ile olan ticaret hacmi dikkate alındığında, AYM kapsamındaki yeşil

dönüşümün Türkiye ekonomisi üzerinde doğrudan etkileri olacaktır. Türkiye, AB standartlarına uyum sağlamakta gecikirse ihracatında zorluklar yaşayabilir, sürdürülebilir projelere erişimi kısıtlanabilir ve iklim değişikliğinin olumsuz etkileriyle daha yoğun karşılaşabilir. Bu nedenle Türkiye'nin AYM ile uyumlu politikalar geliştirmesi kritik önem taşımaktadır.

2.4 YEŞİL TAŞIMACILIK KAVRAMI

Yeşil taşımacılık kavramı, 21. yüzyılın son çeyreğinde sürdürülebilirlik paradigmasının yükselişiyle birlikte önem kazanmaya başlamıştır. Bu dönemde ekonomik büyüme ile sosyal sorunlar, çevresel sürdürülebilirlik ve doğal kaynakların korunması arasındaki ilişki yoğun biçimde tartışılmaya başlanmış; çevresel sorunlar küresel gündemin öncelikli maddeleri haline gelmiştir. Bu bağlamda, 1972 yılında Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen Birinci İnsan ve Çevre Konferansı, farklı gelişmişlik düzeylerine sahip ülkelerin çevre konusundaki ortak bilinçlenmesini sağlamak üzere bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir (Jedlinski, 2014).

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, 1987 yılında yayımlanan Brundtland Raporu'nda “şimdiki nesillerin ihtiyaçlarını karşılarken gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama imkanlarını tehlikeye atmamak” olarak tanımlanmış ve bu tanım, sürdürülebilirlik literatüründe temel referans olmuştur (T.C. Dışişleri Bakanlığı, b.t.). Sürdürülebilir kalkınmanın üç temel boyutu bulunmaktadır:

Çevresel boyut, ekolojik sistemlerin korunması ve çevresel risklerin en aza indirilmesini hedeflemekte;

Ekonomik boyut, çevresel tahribata yol açmaksızın temel insani ihtiyaçların karşılanmasını amaçlamaktadır;

Sosyal boyut ise eğitim, sağlık, barınma ve kültürel gelişim gibi temel insani haklar

doğrultusunda toplumsal refahın artırılmasını kapsamaktadır.

2007 yılında Almanya’da düzenlenen G8 Zirvesi’nde gündeme gelen “yeşil ekonomi” kavramı, biyolojik çeşitliliğin ekonomik değerini vurgulamış, ancak ekolojinin yalnızca ekonomik terimlerle tanımlanması eleştirilmiştir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı’nın (UNEP) 2011 yılında yayımladığı “Yeşil Ekonomiye Doğru” başlıklı rapor ise yeşil ekonomiyi, “çevresel risklerin ve ekolojik kıtlığın önemli ölçüde azaltılmasıyla birlikte sosyal eşitlik ve insani refahın artırılması” olarak tanımlamış, bu kavramı düşük karbon emisyonu, kaynak verimliliği ve kapsayıcılık gibi unsurlarla ilişkilendirmiştir (UNEP, 2011).

Taşımacılık sektörü, malzeme tedarik zincirinin başlangıcından sonuna kadar olan süreçte dağıtım faaliyetlerinin ana unsurunu oluşturmakta; bu faaliyetler sırasında araçlardan kaynaklanan gaz emisyonları çevresel açıdan ciddi olumsuzluklar yaratmaktadır. Yeşil taşımacılık ise taşıma sürecinde çevresel zararların en aza indirilmesini hedeflerken, aynı zamanda maliyet etkinliği sağlayarak rekabet avantajı kazanmayı da amaçlayan çok boyutlu bir yaklaşımdır.

Yeşil ekonomi kapsamında taşımacılığın yansıması olan yeşil taşımacılık, emisyon salınımı, hava kirliliği, gürültü kirliliği ve trafik kazaları gibi olumsuz dışsallıkların iklim ve çevre üzerindeki maliyetlerini dikkate alarak müşteri taleplerini optimum maliyetle karşılamayı ve taşıma sistemlerinin bütüncül bir biçimde yönetilmesini öngörür. Bu bağlamda yeşil taşımacılık, çevresel etkilerin ölçülmesi, bu etkilerin azaltılması için tasarım ve süreç iyileştirmelerinin geliştirilmesi gibi işlevler üstlenmekte ve böylece lojistik operasyonlarında optimizasyon olanakları yaratmaktadır. Bu optimizasyon süreci, ekonomi, çevre ve sosyal boyutlar arasında sürdürülebilir bir denge kurmayı hedeflemekte olup; yasal düzenlemelere uyum, doğal kaynakların etkin yönetimi, yenilenebilir enerji kullanımı ve yeşil tedarik zinciri iş birliklerini içeren entegre stratejilerle desteklenmektedir. Sonuç olarak, yeşil taşımacılık, piyasa aktörleri için uzun vadeli çevresel, ekonomik ve sosyal değer üretme potansiyeline sahiptir (Jedlinski, 2014).

Küreselleşmenin etkisiyle tedarik zincirlerinin fiziksel uzunluğu artmakta; arz ve talep noktaları dünya geneline yayılmakta ve buna bağlı olarak ulaştırma mesafeleri uzamaktadır. Uzayan mesafelerle birlikte, özellikle karayolu taşımacılığı, diğer taşıma modlarına kıyasla daha yüksek karbon emisyonu ile çevreyi olumsuz etkilemektedir. Buna karşılık, denizyolu ve demiryolu taşımacılığı daha çevreci alternatifler olarak değerlendirilmektedir. Yeşil taşımacılıkta, taşıma aracının yakıt türü, üretim yılı, taşıma mesafesi, taşınacak malın özellikleri ve taşıma sıklığı gibi faktörler çevresel etkinin minimize edilmesinde kritik öneme sahiptir (Gülmez ve Rad, 2017).

Dağıtım ağlarının rasyonel planlanması ve dağıtım merkezlerinin stratejik konumlandırılması, yeşil taşımacılığın temel unsurlarıdır. Gereksiz taşımacılık operasyonlarının elimine edilmesi ve rotaların kısaltılması, emisyonların azaltılmasına ve enerji verimliliğinin artmasına olanak tanımaktadır. Teknolojik gelişmeler de yeşil taşımacılığın gereksinimlerine paralel olarak araç filolarının yenilenmesi, temiz motor teknolojilerinin kullanımı, alternatif yakıtlar ve çevresel riskleri azaltan taşıma birimlerinin geliştirilmesi alanlarında ilerlemeleri teşvik etmektedir (Zhang vd., 2010).

Lojistik, uzun süre yalnızca maliyet düşürme ve karlılık artırma perspektifiyle değerlendirilirken, çevresel sorunlardaki artış ve toplumun çevreye yönelik bilinçlenmesi lojistik faaliyetlerinin çevresel etkilerinin de önemsenmesini zorunlu kılmıştır. Artan çevresel duyarlılık, işletmeleri faaliyetlerinin çevresel etkilerini azaltmaya yönlendirmiş, böylece yeşil lojistik uygulamalarının yaygınlaşması sağlanmıştır. Bu kapsamda işletmeler, karbon salınımını azaltma, alternatif yakıt kullanımı ve tersine lojistik gibi uygulamalarla hem çevresel performanslarını iyileştirmekte hem de toplumsal sorumluluklarını yerine getirmektedirler (Manjunath, 2014; Gülmez ve Rad, 2017).

Tedarik zincirlerinde malzeme ve sermaye akışı, ekonomik çıkarların yanı sıra çevresel ve sosyal sorunların da doğmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, ekonomik hedeflerin yanında paydaşların çıkarlarının da dikkate alınması ve çevresel-sosyal sürdürülebilirliğin sağlanması, yeşil lojistik çerçevesinde önem kazanmaktadır (Seuring

ve Müller, 2008).

McKinnon (2010), yeşil lojistik alanında akademik çalışmaları üç ana eğilim altında sınıflandırmıştır:

Kamudan Özele: Çevresel baskı gruplarının yük taşımacılığının olumsuz çevresel etkilerini gündeme getirmesiyle kamu politikalarının şekillenmesi, ardından özel sektörün kurumsal çevresel stratejiler geliştirmesi ve iki sektörün iş birliği.

Operasyonelden Stratejiğe: Yeşil lojistiğin operasyonel uygulamalardan kurumsal stratejilere evrilmesi.

Yerelden Globale: İlk dönemlerde yerel çevresel etkiler üzerinde yoğunlaşan araştırmaların, zamanla küresel ölçekte iklim değişikliği ve çevresel etkilerin incelenmesine kayması.

Lojistik disiplini, fiziksel dağıtımdan entegre tedarik zinciri yönetimine evrilirken, yeşil lojistik araştırmaları da çevresel bilincin artması, düzenleyici mevzuatlar, kurumsal sosyal sorumluluk uygulamaları ve çevresel raporlama standartlarının gelişmesiyle paralel biçimde kapsam kazanmıştır (McKinnon vd., 2010).

Uzun yıllar ekonomik fayda eksenli değerlendirilen lojistik faaliyetler, günümüzde çevresel ve toplumsal önceliklerle dengelenmek zorunda kalmaktadır. Özellikle uluslararası ölçekte geniş tedarik zincirlerine sahip firmaların taşıma faaliyetleri önemli çevresel etkiler doğurmaktadır. Bu gelişmeler ışığında yeşil taşımacılık, ekonomik, sosyal ve çevresel boyutları bir arada gözeten, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir lojistik uygulamalarını içeren çok disiplinli bir alan olarak öne çıkmaktadır.

Ancak bu yeni yaklaşımlar, artan ürün çeşitliliği ve kısalan teslim süreleri gibi müşteri taleplerinin lojistik süreçleri karmaşılaştırması sonucu işletmelerin lojistik maliyetlerinin artması sorununu da beraberinde getirmiştir. Böylece yeşil taşımacılığın rekabet avantajı sağlarken maliyet kontrolünü de garanti altına alacak sürdürülebilir stratejilere ihtiyaç duyduğu ortaya çıkmıştır (Seuring ve Müller, 2008; Manjunath, 2014).

2.5 YEŞİL DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞI

Yeşil demiryolu taşımacılığı, enerji verimliliği, düşük karbon salınımı ve çevresel sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda şekillenen, çevre dostu ulaşım modellerinden biridir. Bu kapsamda, demiryolu sistemlerinin enerji tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması temel hedefler arasında yer almaktadır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, altyapı ve operasyonel süreçlerde çevre kirliliğinin—özellikle gürültü ve hava kirliliğinin—minimize edilmesi, sürdürülebilir altyapıların tasarımı ile atık yönetim sistemlerinin optimize edilmesi gibi unsurlar önceliklidir (European Commission, 2020). Bu çok boyutlu yaklaşım, yalnızca demiryolu taşımacılığının çevresel etkilerini azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik kriterlerinin gerçekleştirilmesine de katkı sağlamaktadır.

Demiryolu taşımacılığında sürdürülebilirlik uygulamaları; enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımının artırılması, karbon ayak izinin minimize edilmesi, çevre dostu malzeme tercihleri ve altyapı geliştirme gibi stratejik alanlarda yoğunlaşmaktadır. Örneğin, Almanya'nın öncü demiryolu işletmesi Deutsche Bahn, 2030 yılına kadar enerji tüketiminin %80'inin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasını hedeflemektedir (Deutsche Bahn, 2021). İsviçre'de ise Swiss Federal Railways, modern tren setleri ve enerji geri kazanım sistemleri kullanarak enerji tüketimini ve çevresel etkilerini azaltmaya yönelik önemli adımlar atmaktadır (Swiss Federal Railways, 2021). Bu uygulamalar, yeşil demiryolu taşımacılığının teknik ve operasyonel boyutlarında sürdürülebilirliğin sağlanması açısından örnek teşkil etmektedir.

Avrupa Yeşil Mutabakatı, demiryolu taşımacılığının çevresel sürdürülebilirlik kapasitesini artırmaya ve karayolu taşımacılığına kıyasla daha ekolojik bir alternatif olarak konumlandırmaya yönelik stratejik bir çerçeve sunmaktadır. Bu bağlamda, Avrupa Birliği, demiryolu taşımacılığının modal payının yükseltilmesi ve karbon emisyonlarının azaltılması amacıyla finansal teşvikler, yasal düzenlemeler ve altyapı yatırımlarını

yoğunlaştırmaktadır. Örneğin, AB'nin 2021-2027 bütçe döneminde demiryolu altyapı projelerine ayrılan kaynakların artırılması ve sınır ötesi bağlantıların güçlendirilmesi planlanmaktadır (European Commission, 2019). Söz konusu mutabakat kapsamında, 2050 yılına kadar Avrupa genelinde sıfır karbon emisyonlu demiryolu taşımacılığı hedefine ulaşılması öngörülmektedir.

Türkiye'de demiryolu taşımacılığında sürdürülebilirlik ve çevresel uyumluluk ilkelerinin benimsenmesine yönelik adımlar giderek artmaktadır. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD), enerji verimliliğinin artırılması ve karbon emisyonlarının azaltılması amacıyla modern ve çevreci tren setleri ile yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını planlamaktadır. Bunun yanı sıra, enerji tasarrufu sağlamak üzere enerji yönetim sistemleri ve enerji geri kazanım teknolojileri hayata geçirilmektedir (TCDD, 2022). Bu kapsamda, Türkiye'nin yeşil taşımacılık uygulamalarını yaygınlaştırması, ulusal sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesine doğrudan katkı sağlamakta, çevresel performansın iyileştirilmesi ile birlikte ekonomik ve toplumsal faydaların artırılmasına zemin hazırlamaktadır.

2.5.1 AVRUPA YEŞİL MUTABAKATININ TÜRK DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞINA ETKİLERİ

Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın Türk demiryolu taşımacılığına etkileri, Türkiye'nin ulaşım ve lojistik sektöründe önemli bir dönüşüm sürecini başlatmıştır. Yeşil Mutabakat, sürdürülebilirlik, çevresel sorumluluk ve enerji verimliliği konularında belirlenen hedeflerle Türkiye'nin demiryolu taşımacılığını yeniden şekillendirmeyi amaçlamaktadır. Bu bölümde, Türkiye'nin mevcut demiryolu altyapısının durumu, Yeşil Mutabakat'ın getirdiği regülasyon ve politika değişiklikleri, sürdürülebilirlik ve finansman konuları, teknolojik ve operasyonel yenilikler ile karbon salınımı ve çevresel performans gibi kritik konular ele alınarak, gelecekteki perspektifler ve öneriler değerlendirilecektir. Bu kapsamda, Türkiye'nin demiryolu taşımacılığının Yeşil Mutabakat'a uyum sağlaması için atması gereken adımlar ve benimsemesi gereken stratejiler detaylı bir şekilde

incelenecektir.

2.5.1.1 Türkiye’de Demiryolu Taşımacılığı ve Mevcut Durum

Türkiye, coğrafi konumu itibariyle Avrupa, Asya ve Orta Doğu arasında stratejik bir köprü görevi görmektedir. Bu bağlamda, demiryolu taşımacılığı, Türkiye'nin ulaşım ve lojistik altyapısının önemli bir parçasıdır. Türkiye'nin demiryolu tarihi, Osmanlı İmparatorluğu dönemine kadar uzanmaktadır. Osmanlı İmparatorluğu, 19. yüzyılın sonlarına doğru demiryolu inşaatlarına başlamış ve bu süreçte çeşitli yabancı sermaye gruplarıyla işbirliği yapmıştır. İlk demiryolu hattı, 1856 yılında İzmir-Aydın arasında inşa edilmiştir ve bu hat, modern Türkiye'nin demiryolu taşımacılığına giden yolda önemli bir adım olmuştur (Belleten, 1988) .

1923 yılında Türkiye Cumhuriyeti'nin kurulmasıyla birlikte, demiryolu ağının genişletilmesi ve modernizasyonu önemli bir öncelik haline gelmiştir. Cumhuriyet'in ilk yıllarında demiryolu inşaatlarına büyük önem verilmiş, özellikle Ankara'yı ülkenin diğer bölgelerine bağlayan hatlar hızla tamamlanmıştır. 1927 yılında çıkarılan "Demiryolu Kanunu" ile birlikte, demiryolu yapımında devlet öncülüğünde büyük bir atılım gerçekleştirilmiş ve ülke genelinde demiryolu ağı genişletilmiştir. Bu dönemde, demiryollarının inşasında yerli kaynakların ve iş gücünün kullanılması teşvik edilmiştir (UTİKAD, t.y.) .

1950'li yıllara gelindiğinde, Türkiye'de karayolu taşımacılığına olan ilgi artmış ve otomobil sahipliği yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu dönemde, karayolu taşımacılığına yapılan yatırımlar artmış ve demiryolu taşımacılığına verilen önem bir miktar azalmıştır. 1960'lı yıllarda ise, Türkiye'nin ekonomik büyüme hedefleri doğrultusunda ulaşım altyapısının geliştirilmesi amacıyla büyük çaplı karayolu projeleri hayata geçirilmiştir. Bu durum, demiryolu taşımacılığının gelişimini bir süre için ikinci plana itmiştir (UTİKAD, t.y.).

1980'li yıllardan itibaren, demiryolu taşımacılığının önemi yeniden gündeme gelmiştir.

Bu dönemde, demiryolu altyapısının modernizasyonu ve yeni hatların inşası için çeşitli projeler başlatılmıştır. 1990'lı yıllarda, özellikle yük taşımacılığında demiryolunun etkinliğini artırmak amacıyla çeşitli reformlar gerçekleştirilmiştir (UTİKAD, t.y.). 2000'li yıllarda ise, yüksek hızlı tren projeleri gündeme gelmiş ve 2009 yılında Ankara-Eskişehir arasında Türkiye'nin ilk yüksek hızlı tren hattı hizmete girmiştir (Wikipedia, t.y.).

Günümüzde, Türkiye'nin demiryolu ağı, yaklaşık 13.919 kilometrelik bir uzunluğa sahiptir ve ülkenin dört bir yanına yayılmıştır. Demiryolu taşımacılığı hem yolcu hem de yük taşımacılığında önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye, demiryolu taşımacılığının modernizasyonu ve genişletilmesi için çeşitli uluslararası iş birlikleri ve projeler yürütmektedir. Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında, demiryolu taşımacılığının sürdürülebilirlik ve çevresel etkiler açısından iyileştirilmesi hedeflenmektedir (UTİKAD, t.y.).

Tablo 2.1 Türkiye Demiryolu Ağı ve Performans Verileri (2023)

Kategori	2023 Verileri
Konvansiyonel Hat Uzunluğu	11590
Hızlı Tren Hat Uzunluğu	219
Yüksek Hızlı Tren Hat Uzunluğu	1213
Toplam Hat Uzunluğu	13919
Elektrikli Hat Oranı	39%
Sinyalli Hat Oranı	49%
Tek Hat Oranı	90%
Konvansiyonel Hat Trafik Hızı	25 km/saat
Lojistik Merkez Sayısı	12
Demiryolu Bağlantılı Liman Sayısı	21
OSB Demiryolu Bağlantısı Olan Sayısı	13
İltisak Hatları Sayısı	241
İltisak Hatları Uzunluğu (km)	375

Aktif İltisak Hatları Uzunluğu (km)	241
TCDD Taşımacılık Lokomotif Sayısı	556
Özel Sektör Lokomotif Sayısı	27
TCDD Taşımacılık Vagon Sayısı	3740
Özel Sektör Vagon Sayısı	3856
Yıllık Yük Taşımacılığı (milyon ton)	33,2
Özel Sektör Yük Taşımacılığı (milyon ton)	10,8
Yıllık Konteyner Taşımacılığı (milyon ton)	17,9
Özel Sektör Konteyner Taşımacılığı	
Kurp Yarıçapı (0-200 metre)	13 km
Kurp Yarıçapı (200-500 metre)	1,957 km
Kurp Yarıçapı (501-1000 metre)	1,353 km
Kurp Yarıçapı (1001-1500 metre)	328 km
Kurp Yarıçapı (1501-2000 metre)	259 km
Kurp Yarıçapı (>2000 metre)	247 km
Düz Yol Uzunluğu	5,078 km
0 Eğimli Yol	1,177 km
1,0-5,0 Eğimli Yol	3,613 km
5,1-10,0 Eğimli Yol	1,845 km
10,1-15,0 Eğimli Yol	1,572 km

Kaynak: TCDD 2018-2022 İstatistik Yıllığı .

Tablo 1'de görüldüğü gibi, Türkiye'nin demiryolu ağı oldukça geniş ve çeşitli performans verileri ile dikkat çekmektedir. Elektrikli hat oranı %39, sinyalli hat oranı %49 ve konvansiyonel hat trafik hızı 25 km/saat olarak belirtilmiştir.

Türkiye, yaklaşık 13,919 kilometrelik bir demiryolu ağına sahiptir. Bu geniş ağ, ülkenin dört bir yanına yayılmış olup hem yolcu hem de yük taşımacılığına hizmet etmektedir.

Demiryolu ağı, Türkiye'nin stratejik coğrafi konumu nedeniyle Avrupa, Asya ve Orta Doğu arasındaki ulaşım ve ticaret koridorlarının önemli bir parçasını oluşturmaktadır (Aldonat, 2021).

Yolcu taşımacılığı açısından, Türkiye'nin demiryolu ağı, çeşitli hatlar ve seferlerle şehirlerarası ulaşımında önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle büyük şehirler arasında yüksek hızlı tren (YHT) projeleri ile yolculuk süreleri kısaltılmış ve demiryolu yolculuğunun cazibesi artırılmıştır. İlk yüksek hızlı tren hattı, 2009 yılında Ankara-Eskişehir arasında hizmete girmiştir ve bu hat, daha sonra İstanbul, Konya ve diğer büyük şehirlere genişletilmiştir. Bu yüksek hızlı tren hatları, hem zaman tasarrufu sağlamış hem de yolculara konforlu bir seyahat deneyimi sunmuştur (Aldonat, 2021).

Yük taşımacılığına gelince, demiryollarının payı, 1980'lerden itibaren kara ve deniz taşımacılığı lehine azalmış olsa da, son yıllarda yapılan yatırımlar ve projelerle demiryolu taşımacılığının yeniden canlandırılması hedeflenmektedir. Özellikle, demiryolu taşımacılığının enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından avantajları, bu taşımacılık modunun yeniden ön plana çıkmasına katkı sağlamaktadır (Nalçakan, 2003). Tablo 2, Türkiye'nin demiryolu taşımacılığında kullanılan teknolojileri ve bu teknolojilerin çevresel etkilerini göstermektedir. Elektrifikasyon, sinyalizasyon, yüksek hızlı trenler, dijitalleşme ve veri analitiği gibi teknolojiler, demiryolu taşımacılığının sürdürülebilirliğini artırmakta ve çevresel etkileri minimize etmektedir.

Tablo 2.2 Demiryolu Teknolojileri ve Çevresel Etkileri

Teknoloji	Açıklama	Çevresel Etki
Elektrifikasyon	Demiryolu hatlarının elektrikli hale getirilmesi, dizel lokomotiflerin kullanımının azaltılması	Karbon emisyonlarını azaltır, hava kalitesini iyileştirir
Sinyalizasyon	Demiryolu hatlarının	Enerji tüketimini

	güvenli ve verimli çalışmasını sağlamak için sinyal sistemlerinin modernizasyonu	optimize eder, güvenliği artırır
Yüksek Hızlı Trenler (YHT)	Yüksek hızlı tren hatları, hızlı ve güvenli yolcu taşımacılığı için kullanılır	Karayolu ve havayolu taşımacılığına alternatif sunarak karbon ayak izini azaltır
Dijitalleşme ve Veri Analitiği	Demiryolu altyapısında dijital teknolojilerin ve veri analitiğinin kullanımı, verimliliği artırır	Enerji verimliliğini artırır, kaynak kullanımını optimize eder
Otonom Trenler	Otonom teknolojilerle donatılmış trenler, insan müdahalesine ihtiyaç duymadan çalışır	Güvenliği artırır, enerji verimliliğini optimize eder
Kompozit Fren Blokları	Gürültü ve titreşimi azaltan çevre dostu fren teknolojisi	Gürültü ve titreşimi azaltır, çevresel kirliliği minimize eder
Yenilenebilir Enerji Kullanımı	Demiryolu enerjisinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması	Karbon ayak izini azaltır, sürdürülebilir enerji kullanımı sağlar
Multimodal ve Intermodal Taşımacılık	Farklı taşımacılık modlarının entegrasyonu, taşımacılığın verimliliğini artırır	Lojistik verimliliğini artırır, enerji tüketimini azaltır

Kaynak: T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü (2022). *Demiryolu Sektör Raporu*. Ankara.

Son yıllarda, Türkiye'nin demiryolu altyapısının iyileştirilmesi ve modernizasyonu için birçok önemli adım atılmıştır. Hızlı tren projeleri, Ankara-Eskişehir hattıyla başlayan hızlı tren projeleri, İstanbul, Konya, İzmir ve diğer büyük şehirleri kapsayacak şekilde

genişletilmiştir. Bu projeler, şehirlerarası ulaşımı hızlandırmakta ve demiryolu taşımacılığının cazibesini artırmaktadır. Mevcut hatların modernizasyonu, mevcut demiryolu hatlarının yenilenmesi ve modernizasyonu, taşımacılık kapasitesinin artırılması ve seyahat sürelerinin kısaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu alışmalar kapsamında, rayların yenilenmesi, sinyalizasyon sistemlerinin modernizasyonu ve köprülerin güçlendirilmesi gibi birçok iyileştirme yapılmaktadır (UTİKAD, t.y.).

Yeni hatların inşası, Türkiye'nin demiryolu ağını genişletmek amacıyla yeni hatların inşasına da büyük önem verilmektedir. Bu yeni hatlar, özellikle sanayi bölgelerini ve limanları ana demiryolu ağına bağlayarak yük taşımacılığını daha verimli hale getirmektedir. Lojistik merkezleri ve kombine taşımacılık, lojistik merkezlerinin kurulması ve demiryolu taşımacılığının diğer taşıma modlarıyla entegrasyonu, yük taşımacılığında verimliliği artırmaktadır. Kombine taşımacılık (multimodal taşımacılık) uygulamaları, demiryolu taşımacılığının karayolu ve deniz yolu taşımacılığı ile birlikte kullanılarak daha esnek ve etkin özümleer sunmasını sağlamaktadır. evre dostu uygulamalar, Avrupa Yeşil Mutabakatı ve sürdürülebilir ulaşım politikaları doğrultusunda, demiryolu taşımacılığında evre dostu uygulamaların artırılması hedeflenmektedir. Bu kapsamda, elektrikli lokomotiflerin kullanımı yaygınlaştırılmakta ve demiryolu altyapısının karbon ayak izini azaltacak projeler hayata geçirilmektedir (TCDD, 2023).

2.5.1.3 Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın Türk Demiryollarına Etkileri

Avrupa Yeşil Mutabakatı, Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar iklim nötr bir kıta olma hedefini destekleyen kapsamlı bir politika çerçevesidir. Bu mutabakat, Avrupa'nın çevresel, ekonomik ve sosyal yapısını dönüştürmeyi amaçlayan geniş kapsamlı bir stratejidir. Çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik büyüme ve sosyal refahın entegrasyonu hedeflenmektedir. AYM, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını 1990 seviyelerine göre

en az %55 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Bu hedef, uzun vadede 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşmayı amaçlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmayı ve fosil yakıtlardan uzaklaşmayı teşvik etmektedir. Güneş, rüzgar, hidroelektrik ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların artırılması öngörülmektedir. Enerji verimliliğinin artırılması, AYM'nin önemli hedeflerinden biridir. Bina, ulaşım ve sanayi sektörlerinde enerji verimliliği önlemleri alınarak, enerji tüketiminin azaltılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. AYM, çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasını teşvik etmektedir. Bu teknolojiler, sürdürülebilir üretim ve tüketim modellerini destekleyerek, çevresel etkilerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (TCDD, 2023). Grafik 3, Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde regülasyonların zaman çizelgesini göstermektedir. Bu grafik, AYM kapsamında hayata geçirilen başlıca düzenlemeleri ve bunların uygulanma yıllarını ortaya koymaktadır.

AYM kapsamında, AB sınırlarında karbon emisyonlarına dayalı düzenlemeler getirilerek, karbon kaçağının önlenmesi ve Avrupa'da üretilen ürünlerin rekabet gücünün korunması amaçlanmaktadır. Döngüsel ekonomi modeli teşvik edilerek, atıkların minimize edilmesi ve kaynak verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir (European Commission, 2021). Ürünlerin yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve sürdürülebilir üretim süreçleri desteklenmektedir. Biyoçeşitliliğin korunması ve ekosistemlerin iyileştirilmesi için çeşitli önlemler alınmaktadır. Doğal alanların korunması, tarım ve ormancılık uygulamalarının sürdürülebilir hale getirilmesi öngörülmektedir. AYM, enerji arzının güvenliğini sağlamak, enerji maliyetlerini düşürmek ve enerji sektörünü temiz enerji kaynaklarına yönlendirmek amacıyla çeşitli politikalar geliştirmektedir (European

Commission, 2021; European Commission, 2022).

AYM, demiryolu taşımacılığının karayolu taşımacılığına göre daha çevre dostu olmasından dolayı demiryolu taşımacılığını teşvik etmektedir. Demiryolu altyapısının iyileştirilmesi ve demiryolu taşımacılığının payının artırılması hedeflenmektedir. Sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını desteklemektedir. Elektrikli araçlar, bisiklet yolları ve yaya yolları gibi sürdürülebilir ulaşım yöntemlerinin teşviki bu kapsamda yer almaktadır. Ulaşım sektöründe karbon salınımının azaltılması için çeşitli önlemler alınmaktadır. Araçların enerji verimliliği artırılmakta ve düşük emisyonlu araçların kullanımı teşvik edilmektedir. Türkiye, Avrupa Birliği'nin önemli bir ticaret ortağıdır ve bu nedenle Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın etkilerini doğrudan hissetmektedir. AB, Türkiye'nin en büyük ihracat pazarıdır ve bu nedenle AB'nin çevre ve iklim politikalarındaki değişiklikler, Türkiye'nin ticaret ve taşımacılık sektörleri üzerinde doğrudan etkilere sahiptir. Türkiye'nin demiryolu taşımacılığı da AYM'nin hedefleri doğrultusunda önemli değişimlere uğrayacaktır. (Demiryolu Yük Taşımacılığı Sektör Değerlendirme Raporu, 2023).

Avrupa Yeşil Mutabakatı, Türkiye'nin demiryolu taşımacılığına çeşitli yeni regülasyonlar ve politika değişiklikleri getirecektir. Bu değişiklikler, AB'nin çevre ve iklim politikalarına uyum sağlamak ve Türkiye'nin demiryolu taşımacılığının sürdürülebilirliğini artırmak amacıyla gerçekleştirilecektir. AB'nin sınırda karbon düzenlemesi (CBAM), Türkiye'nin AB'ye ihraç ettiği ürünlerin karbon içeriklerine göre vergilendirilmesini öngörmektedir. Bu düzenleme, Türkiye'nin demiryolu taşımacılığında karbon ayak izini azaltacak politikalar geliştirmesini zorunlu kılacaktır. Demiryolu taşımacılığında karbon salınımının azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı teşvik edilecektir. Türkiye, demiryolu taşımacılığında düşük karbonlu ulaşım politikaları benimsemek zorunda kalacaktır. Bu politikalar, demiryolu taşımacılığının karbon ayak izini azaltmak için enerji verimliliği önlemlerini ve yenilenebilir enerji kullanımını içerecektir (Demiryolu Yük Taşımacılığı Sektör Değerlendirme Raporu,

2023).

Türkiye, demiryolu taşımacılığında enerji verimliliğini artıracak düzenlemelere ağırlık verecektir. Bu kapsamda, enerji verimliliği yüksek trenlerin kullanımı teşvik edilecek ve demiryolu altyapısında enerji tasarrufu sağlayacak teknolojiler entegre edilecektir. Türkiye, demiryolu taşımacılığında yenilenebilir enerji kullanımını teşvik edecek politikalar geliştirecektir. Bu politikalar, güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının demiryolu sistemine entegrasyonunu destekleyecektir. Elektrikli trenlerin yaygınlaştırılması ve fosil yakıt kullanımının azaltılması da bu kapsamda önemli adımlar olacaktır. Türkiye, demiryolu taşımacılığında çevresel performansı iyileştirmek için çeşitli standartlar ve düzenlemeler getirecektir. Bu standartlar, demiryolu hatlarının yeşil alanlardan geçirilmesi, gürültü kirliliğinin azaltılması ve doğal yaşam alanlarının korunması gibi çevresel önlemleri içerecektir (Demiryolu Yük Taşımacılığı Sektör Değerlendirme Raporu, 2023).

Türkiye, demiryolu taşımacılığında sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmek amacıyla çeşitli politika değişiklikleri yapacaktır. Bu teşvikler, demiryolu taşımacılığının çevre dostu ve sürdürülebilir hale getirilmesini destekleyecektir. Örneğin, sürdürülebilir taşımacılık projeleri için vergi indirimleri ve finansman destekleri sağlanabilir. Türkiye, AYM'nin gerekliliklerine uyum sağlamak amacıyla AB ile iş birliği yapacaktır. Bu iş birlikleri, demiryolu taşımacılığının modernizasyonu ve sürdürülebilirliği konusunda bilgi ve teknoloji transferini içerecektir. Türkiye, ulusal düzeyde demiryolu taşımacılığını destekleyen politikalar geliştirecektir. Bu politikalar, AYM'nin hedeflerine uyum sağlamak amacıyla ulusal mevzuatın güncellenmesini ve yeni düzenlemelerin getirilmesini kapsayacaktır (Demiryolu Yük Taşımacılığı Sektör Değerlendirme Raporu, 2023). Tablo 3, Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında Türkiye’de uygulanan politika değişikliklerini özetlemektedir. Bu değişiklikler, Türkiye'nin AYM hedeflerine uyum sağlama sürecinde gerçekleştirdiği stratejik adımları ve yıllarını göstermektedir.

Tablo 2.3 Avrupa Yeşil Mutabakatı Kapsamında Türkiye’de Uygulanan Politika Değişiklikleri

Politika Değişikliği	Açıklama	Yıl
Avrupa Yeşil Mutabakatı Uyum Stratejisi	Türkiye'nin AB Yeşil Mutabakatı hedeflerine uyum sağlama sürecinde belirlediği stratejik plan	2020
Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) Çalışmaları	Türkiye'nin SKDM çalışmalarıyla ihracat rekabetçiliğini artırmaya yönelik çabalar	2021
Yenilenebilir Enerji Kullanımının Artırılması	Yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerji miktarının artırılması	2021
Döngüsel Ekonomi Eylem Planı	Atık yönetimi ve geri dönüşüm konularında döngüsel ekonomi hedeflerinin benimsenmesi	2021
Yeşil Kamu Alımları Stratejileri	Kamu alımlarında çevresel sürdürülebilirliği destekleyen kriterlerin belirlenmesi	2022
Çok Modlu Taşımacılık Terminalleri	Çevre dostu taşımacılık terminallerinin kurulması ve teşvik edilmesi	2022
Yeşil Liman Uygulamaları	Limanlarda çevreye zararlı makine ve ekipmanların kullanımının azaltılması için teşvikler	2022
Kent İçi Düşük Karbonlu Ulaşım Projeleri	Şehir içi ulaşımında düşük karbonlu sistemlerin	2023

	yaygınlaştırılması ve teşvik edilmesi	
Enerji Verimliliği Çalışmaları	Kamu bina ve hizmetlerinde enerji verimliliği çalışmalarının sürdürülmesi	2023

Kaynak: Demiryolu Taşımacılığı Derneği. (2023). *Demiryolu Yük Taşımacılığı Sektör Değerlendirme Raporu*.

Türkiye, demiryolu taşımacılığında kullanılan araçların ve altyapının modernizasyonu yönünde önemli adımlar atmak zorundadır. AB standartları ile uyumlu hale getirilmesi gereken bu süreç, Türkiye'nin demiryolu taşımacılığının rekabet gücünü artıracak ve uluslararası taşımacılık standartlarına uygunluğunu sağlayacaktır. Türkiye, demiryolu taşımacılığında yüksek verimli ve çevre dostu lokomotiflerin kullanımını artırmalıdır. Bu bağlamda, elektrikli lokomotiflerin yaygınlaştırılması ve eski dizel lokomotiflerin kademeli olarak devreden çıkarılması gerekmektedir. Yük ve yolcu vagonlarının modernizasyonu, enerji verimliliğini artırmak ve çevresel etkileri azaltmak açısından önemlidir. Türkiye, AB standartlarına uygun, daha hafif ve enerji verimli vagonların üretimini ve kullanımını teşvik etmelidir (TCDD, 2024).

Türkiye, demiryolu taşımacılığında kullanılan araçların emisyon standartlarını sıkılaştırmalı ve AB'nin belirlediği sınır değerlere uyum sağlamalıdır. Bu, karbon salınımının azaltılmasına ve çevresel sürdürülebilirliğin artırılmasına katkıda bulunacaktır. Türkiye'nin demiryolu altyapısında elektrifikasyon oranının artırılması, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir. Elektrifikasyon projelerinin hızlandırılması ve mevcut dizel hatların elektrikli hale getirilmesi gerekmektedir. Modern sinyalizasyon ve kontrol sistemlerinin entegre edilmesi, demiryolu taşımacılığının güvenliğini ve etkinliğini artıracaktır. Türkiye, Avrupa Tren Kontrol Sistemi (ETCS) gibi AB standartlarına uygun sistemleri benimsemelidir. Demiryolu hatlarının, köprülerin ve tünellerin güçlendirilmesi ve düzenli

bakımının yapılması, altyapının uzun ömürlü ve güvenli olmasını sağlayacaktır. AB'nin altyapı standartlarına uyum sağlamak, bu süreçte önemli bir rol oynayacaktır (TCDD, 2024).

Türkiye, AB'nin çevre ve iklim politikalarına uyum sağlamak için demiryolu taşımacılığında çeşitli regülasyonlar getirmelidir. Bu regülasyonlar, enerji verimliliği, emisyon azaltımı ve yenilenebilir enerji kullanımı gibi konuları kapsamalıdır. Yeni regülasyonların etkin bir şekilde uygulanabilmesi için denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu, hem ulusal hem de uluslararası taşımacılık standartlarına uyumun sağlanmasına yardımcı olacaktır. AB standartlarına uyum sağlamak, Türkiye'nin demiryolu taşımacılığında uluslararası rekabet gücünü artıracaktır. Bu uyum, Türkiye'nin AB ve diğer uluslararası pazarlara daha kolay erişimini sağlayacak ve taşımacılık hizmetlerinin kalitesini yükseltecektir. Türkiye, demiryolu taşımacılığının modernizasyonu için finansal destek ve teşvikler sağlamalıdır. AB fonları ve yeşil finansman araçları, bu süreçte önemli bir rol oynayabilir (TCDD, 2024). Tablo 4, Avrupa Yeşil Mutabakatı finansman araçları ve destek programlarını özetlemektedir. Bu finansman araçları, Türkiye'nin yeşil dönüşüm projeleri ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşması için gerekli desteği sağlamaktadır.

Tablo 2.4 Avrupa Yeşil Mutabakatı Finansman Araçları ve Destek Programları

Finansman Araç/Destek Programı	Açıklama	Sağladığı Destek	Yıl
Avrupa Yeşil Mutabakatı Yatırım	Yeşil dönüşüm projelerine	1 trilyon Euro	2020

Planı (EGDIP)	finansman sağlamak için oluşturulan yatırım planı		
Avrupa İklim Bankası	İklim değişikliği ile mücadele için özel olarak kurulmuş bir banka	Finansman miktarı değişken	2020
Yeşil Büyüme Fonu	Yeşil büyümeyi destekleyen fon	100 milyar Euro	2021
Ufuk Avrupa Programı	Araştırma ve yenilik projelerine fon sağlamak için AB'nin amiral gemisi programı	95,5 milyar Euro	2021
Yenilenebilir Enerji Finansmanı	Yenilenebilir enerji projelerine yatırım desteği	Projeye bağlı olarak değişken	2022
Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) Finansmanı	SKDM'ye uyum sürecinde işletmelere finansal destek	Proje bazlı finansman	2023
Sürdürülebilir Kalkınma Fonu Artı (EFSD+)	Sürdürülebilir kalkınma projeleri için yatırım platformu	Proje bazlı finansman	2023
Adil Geçiş Fonu (JTF)	Yeşil dönüşüm sürecinde sosyal ve ekonomik zorlukları hafifletmek için	17,5 milyar Euro	2020

	finansman sağlar		
--	------------------	--	--

Kaynak: Avrupa Birliği Komisyonu, Türkiye Raporu, 2023

Yeşil Mutabakat’a uyum sağlamak için gerekli olan altyapı yenileme ve modernizasyon projeleri büyük maliyetler gerektirmektedir. Elektrifikasyon projeleri, sinyalizasyon sistemlerinin modernizasyonu ve yenilenebilir enerji entegrasyonu gibi projeler, yüksek yatırım maliyetleri doğurabilir. Türkiye’nin sınırlı bütçesi ve finansal kaynakları, bu projelerin hayata geçirilmesinde zorluklar yaratabilir. Özellikle mevcut ekonomik koşullarda bu tür büyük yatırımların finansmanı ciddi bir sorun teşkil edebilir. Bu durum, Türkiye’nin dış borç yükünü artırabilir ve ekonomik istikrarı olumsuz etkileyebilir. Türkiye, Avrupa Birliği’nin sunduğu finansman ve destek programlarından etkin bir şekilde yararlanmalıdır. Horizon Europe, Yeşil Anlaşma Fonu ve Avrupa Yatırım Bankası gibi kaynaklar, projelerin finansmanında kullanılabilir. Ayrıca, yeşil tahviller ve uluslararası kuruluşlardan sağlanacak fonlarla demiryolu projelerine yatırım yapılabilir. Bunun yanı sıra, kamu-özel iş birliği modelleri ile özel sektörün finansal katkısı artırılabilir. Özel sektörün finansal kaynaklarının kullanılması, kamu bütçesi üzerindeki yükü hafifletebilir.

Yeşil Mutabakat’ın gerektirdiği ileri teknolojilerin kullanımı, Türkiye’nin mevcut demiryolu altyapısının ve personelinin bu teknolojilere uyum sağlamasını gerektirir. Ancak, teknolojik bilgi ve kapasite eksiklikleri, bu uyum sürecini zorlaştırabilir. Eğitim ve kapasite geliştirme programlarının yetersizliği, personelin yeni teknolojilere adapte olmasını engelleyebilir. Ayrıca, ileri teknolojilerin gerektirdiği teknik bilgi ve beceri eksikliği, projelerin etkin bir şekilde uygulanmasını zorlaştırabilir. Demiryolu sektöründe çalışan personelin yeni teknolojilere uyum sağlaması için kapsamlı eğitim ve kapasite geliştirme programları düzenlenmelidir. Bu programlar hem teknik bilgi seviyesini artırmalı hem de çalışanların yeni teknolojilere adaptasyonunu kolaylaştırmalıdır. Ayrıca, üniversiteler ve araştırma kurumları ile iş birliği yapılarak, ileri teknolojilere yönelik

araştırma ve geliştirme faaliyetleri desteklenmelidir.

Avrupa Birliği'nin getirdiği sıkı çevre regülasyonlarına uyum sağlamak, Türkiye için önemli bir zorluk olabilir. Özellikle sınırda karbon düzenlemesi gibi politikalar, Türkiye'nin ihracat rekabetçiliğini olumsuz etkileyebilir ve maliyetleri artırabilir. Bu düzenlemelere uyum sağlamak için yerel mevzuatın güncellenmesi ve yeni düzenlemelerin hayata geçirilmesi gerekmektedir. Bu süreçte, Türkiye'nin yerel düzenlemeleri AB standartlarına uyumlu hale getirmesi zaman alabilir ve ek maliyetler doğurabilir. Türkiye, AB'nin getirdiği regülasyonlara uyum sağlamak için ulusal mevzuatını güncellemeli ve gerekli düzenlemeleri yapmalıdır. Bu süreçte, AB ile işbirliği yaparak bilgi ve teknoloji transferini hızlandırmak önemlidir. Ayrıca, Türkiye'nin ihracat rekabetçiliğini korumak için sınırda karbon düzenlemesine yönelik stratejiler geliştirilmelidir. Bu stratejiler, Türkiye'nin ihracat sektörünün olumsuz etkilenmesini önlemek amacıyla karbon emisyonlarını azaltacak teknolojilerin ve yöntemlerin uygulanmasını içermelidir.

Yeşil Mutabakat'a uyum sürecinde yapılacak olan büyük ölçekli yatırımlar ve projeler, kısa vadede bazı sosyal ve ekonomik zorluklara yol açabilir. Özellikle düşük gelirli bölgelerde yaşayan halk, altyapı projelerinin getirdiği değişimlerden olumsuz etkilenebilir. Ayrıca, bu projeler sırasında ortaya çıkabilecek istihdam değişiklikleri ve iş kayıpları, sosyal huzursuzluklara neden olabilir. Bu tür ekonomik ve sosyal etkiler, yerel toplulukların projelere olan desteğini azaltabilir ve projelerin uygulanmasını zorlaştırabilir. Yeşil Mutabakat'a uyum sürecinde ortaya çıkabilecek sosyal ve ekonomik zorlukları hafifletmek için destek programları oluşturulmalıdır. Özellikle düşük gelirli bölgelerde yaşayan halkın etkilenmemesi için sosyal yardımlar ve istihdam projeleri hayata geçirilmelidir. Ayrıca, altyapı projelerinin getirdiği değişimlerden olumsuz etkilenen çalışanlar için yeniden eğitim programları düzenlenmelidir. Bu programlar, çalışanların yeni iş alanlarına geçiş yapmasını kolaylaştırabilir ve sosyal huzursuzlukları önleyebilir.

Türkiye, sürdürülebilir demiryolu taşımacılığını teşvik etmek için politika ve regülasyonları geliştirmelidir. Bu kapsamda, enerji verimliliği standartları, emisyon sınırları ve çevre dostu uygulamaları destekleyen düzenlemeler yapılmalıdır. Sürdürülebilir demiryolu taşımacılığı için gerekli olan insan kaynağının yetiştirilmesi ve kapasite geliştirme faaliyetleri önemlidir. Bu kapsamda, eğitim programları ve teknik destek projeleri hayata geçirilmelidir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2023). Türkiye, sürdürülebilir demiryolu taşımacılığı alanında uluslararası iş birliklerini güçlendirmelidir. AB ülkeleri ve diğer uluslararası kuruluşlarla yapılan iş birlikleri, bilgi ve teknoloji transferini hızlandırabilir (Avrupa Birliği Komisyonu, 2023).

Sürdürülebilirlik, sadece çevresel değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal boyutları da kapsar. Bu bağlamda, demiryolu taşımacılığının sürdürülebilir bir şekilde geliştirilmesi, Türkiye'nin genel ekonomik büyümesine ve sosyal refahına da katkıda bulunacaktır. Bu stratejiler hem çevresel sürdürülebilirliği sağlamak hem de ekonomik ve sosyal faydalar yaratmak için entegre bir yaklaşım benimsemelidir (TCDD Genel Müdürlüğü, 2024).

Demiryolu taşımacılığında enerji verimliliğini artırmak için yüksek verimli lokomotifler ve vagonlar kullanılmalıdır. Bu araçlar, daha az enerji tüketir ve daha düşük işletme maliyetlerine sahiptir. Demiryolu altyapısında enerji verimliliğini artırmak için iyileştirmeler yapılmalıdır. Örneğin, enerji tasarrufu sağlayan sinyalizasyon sistemleri ve enerji verimli aydınlatma çözümleri entegre edilmelidir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2023).

Elektrikli lokomotiflerin yaygınlaştırılması, fosil yakıt tüketimini azaltarak karbon emisyonlarını önemli ölçüde düşürebilir. Hibrit trenler ve biyoyakıt, hidrojen veya diğer alternatif yakıtlarla çalışan trenler, çevresel etkileri minimize etmek için kullanılabilir. Demiryolu hatlarına yakın bölgelerde yenilenebilir enerji santralleri (güneş, rüzgâr) kurulması teşvik edilmelidir. Bu enerji kaynakları, demiryolu sisteminin enerji ihtiyacını

karşılayabilir. Demiryolu işletmecileri, yeşil enerji anlaşmaları yaparak enerji ihtiyaçlarını yenilenebilir kaynaklardan karşılayabilirler (TCDD Genel Müdürlüğü, 2024). Yeşil tahviller ve ulusal/uluslararası yeşil fonlar, demiryolu projelerine finansman sağlamak için kullanılabilir. Kamu ve özel sektör iş birlikleri, büyük ölçekli demiryolu projelerinin finansmanı ve yönetimi için önemli bir modeldir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2023).

Tablo 2.5 Türkiye'de sürdürülebilir demiryolu projelerine yapılan yatırımları ve bu yatırımların etkilerini göstermektedir.

Yatırım	Açıklama	Etkisi	Yıl
Hızlı Tren Hatları İnşası	Hızlı tren hatlarının inşası ve genişletilmesi	Yolcu taşıma kapasitesinde artış, seyahat sürelerinde azalma	2020-2025
Elektrifikasyon Projeleri	Demiryolu hatlarının elektrikli hale getirilmesi	Karbon emisyonlarının azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması	2020-2025
Sinyalizasyon Sistemleri	Gelişmiş sinyalizasyon sistemlerinin kurulması	Güvenlik ve operasyonel verimlilikte iyileşme	2020-2025
Lojistik Merkezler	Lojistik merkezlerin oluşturulması ve modernizasyonu	Taşımacılık verimliliğinin ve kapasitesinin artırılması	2020-2025
Yenilenebilir Enerji Kullanımı	Yenilenebilir enerji kaynaklarının demiryolu sistemlerinde	Çevresel sürdürülebilirliğin artırılması, karbon ayak izinin	2022-2025

	kullanımı	azaltılması	
Yüksek Hızlı Tren Setleri	Yeni yüksek hızlı tren setlerinin temini	Yolcu konforu ve kapasitesinde artış	2021-2025
Dijitalleşme ve Veri Yönetimi	Dijital teknolojiler ve veri yönetim sistemlerinin entegrasyonu	Veri tabanlı karar alma ve operasyonel iyileştirmeler	2021-2025
Güvenli ve Etkin Taşıma Altyapısı	Güvenli ve etkin taşımacılık için altyapı iyileştirmeleri	Daha güvenli ve sürdürülebilir taşımacılık	2021-2025

Kaynak: T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü (2022). *Demiryolu Sektör Raporu*. Ankara

Bu tabloda, sürdürülebilir demiryolu projelerine yapılan çeşitli yatırımlar ve bu yatırımların Türkiye'nin demiryolu taşımacılığına olan etkileri detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Bu yatırımlar, enerji verimliliğini artırarak ve karbon emisyonlarını azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.

Türkiye'nin sürdürülebilir demiryolu taşımacılığına yönelik stratejik yatırımları, sadece çevresel sürdürülebilirlik sağlamakla kalmaz, aynı zamanda ekonomik büyüme ve sosyal refahı artırır. Bu projeler, enerji verimliliğini artırarak işletme maliyetlerini düşürür ve yolcu konforunu artırarak demiryolu taşımacılığının cazibesini artırır. Ayrıca, dijitalleşme ve veri yönetimi, demiryolu taşımacılığının etkinliğini ve güvenliğini artırarak operasyonel iyileştirmelere olanak tanır.

Yeşil Mutabakat kapsamında gerçekleştirilecek projeler büyük maliyetler gerektirmektedir. Türkiye'nin sınırlı bütçesi ve ekonomik kaynakları, bu projelerin finansmanını zorlaştırabilir. Özellikle mevcut ekonomik koşullar ve bütçe açıkları, Yeşil

Mutabakat'a uyum sağlamak için gerekli olan yatırımların yapılmasını zorlaştırabilir. Bu durum, projelerin gecikmesine veya iptal edilmesine neden olabilir. AB'nin sunduğu finansman ve destek programlarına erişim, karmaşık ve bürokratik süreçler gerektirebilir. Türkiye'nin bu programlara başvuruda bulunması ve fonlardan yararlanması için gerekli olan bürokratik ve idari kapasitenin yetersizliği, projelerin finansmanında zorluklar yaratabilir. Ayrıca, fon başvurularının reddedilmesi veya gecikmesi, projelerin hayata geçirilmesini zorlaştırabilir. Yeşil Mutabakat'a uyum sağlamak için gerçekleştirilecek yatırımlar ve destek programlarının sürdürülebilirliği de önemlidir. Bu programların uzun vadeli etkileri ve finansman kaynaklarının sürdürülebilirliği, projelerin başarısını etkileyebilir. Kısa vadeli desteklerin ve geçici finansman kaynaklarının yetersizliği, projelerin sürdürülebilirliğini tehlikeye atabilir.

Türkiye, Avrupa Birliği'nin sunduğu finansman ve destek programlarından etkin bir şekilde yararlanmalıdır. Horizon Europe, Yeşil Anlaşma Fonu ve Avrupa Yatırım Bankası gibi kaynaklar, projelerin finansmanında kullanılabilir. Ayrıca, yeşil tahviller ve uluslararası kuruluşlardan sağlanacak fonlarla demiryolu projelerine yatırım yapılabilir. Kamu-özel iş birliği modelleri ile özel sektörün finansal katkısı artırılabilir. Özel sektörün finansal kaynaklarının kullanılması, kamu bütçesi üzerindeki yükü hafifletebilir. AB'nin sunduğu finansman ve destek programlarına erişim için gerekli olan bürokratik ve idari kapasitenin güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, ilgili kamu kurumları ve yerel yönetimlerin kapasite geliştirme programlarına dahil edilmesi önemlidir. Ayrıca, AB fonlarına başvuru süreçlerinin kolaylaştırılması ve hızlandırılması için gerekli olan bürokratik düzenlemeler yapılmalıdır. Yeşil Mutabakat'a uyum sağlamak için gerçekleştirilecek yatırımların sürdürülebilirliği önemlidir. Bu kapsamda, uzun vadeli ve sürdürülebilir finansman modelleri geliştirilmelidir. Özellikle yeşil tahviller ve sürdürülebilir kalkınma fonları gibi finansman araçları kullanılarak, projelerin uzun vadeli finansmanı sağlanabilir. Ayrıca, uluslararası kuruluşlarla iş birliği yaparak, sürdürülebilir finansman kaynaklarına erişim artırılabilir.

3 ÖNERİLEN KARAR VERME MODELİ

Bu çalışma demiryolu taşımacılığında yeşil stratejilerin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi bağlamında Tip-2 Nötrosofik bulanık küme tabanlı Symetry Point of Criterion (SPC) ve Compromise ranking of alternatives from distance to ideal solution (CRADIS) yöntemlerinin kombinasyonundan oluşan entegre bir karar verme modeli önermektedir. Önerilen modelin temel algoritması ve uygulama adımları aşağıda verilmektedir.

3.1PESTEL ANALİZİ

PESTEL analizi, bir işletmenin veya sektörün faaliyet gösterdiği dış çevrenin sistematik bir biçimde değerlendirilmesini sağlayan stratejik analiz araçlarından biridir. Bu analiz; politik, ekonomik, sosyo-kültürel, teknolojik, çevresel ve yasal faktörlerin bir arada incelenmesi yoluyla, kurumların karşı karşıya olduğu fırsatları ve tehditleri belirlemeye yardımcı olur. Özellikle stratejik planlama, pazar analizi, risk yönetimi ve yeni pazarlara giriş kararlarında sıklıkla başvurulanan bu yöntem, dış çevre koşullarının işletme üzerindeki potansiyel etkilerini anlamak açısından büyük önem taşır.

Politik faktörler, bir ülkenin siyasi yapısı, hükümet politikaları, siyasi istikrar düzeyi, kamu destekleri, dış ticaret rejimi ve uluslararası ilişkiler gibi unsurları içerir. Devletin özel sektöre karşı tutumu, vergi politikaları, teşvik mekanizmaları ve kamu yatırımları, işletmelerin karar alma süreçlerini doğrudan etkileyebilir. Özellikle siyasi belirsizliklerin yüksek olduğu ortamlarda, yatırım riskleri artarken, istikrarlı bir yönetim anlayışı iş dünyası için güven ortamı yaratır. Bu nedenle politik faktörler, yalnızca mevcut durumu değerlendirmekle kalmaz, gelecekteki olası gelişmelerin de öngörülmesine katkı sağlar.

Ekonomik faktörler ise makroekonomik göstergeler üzerinden değerlendirilir. Bunlar arasında ekonomik büyüme oranları, enflasyon, faiz oranları, döviz kuru dalgalanmaları, işsizlik düzeyi ve gelir dağılımı gibi unsurlar yer alır. Bu göstergeler, işletmelerin maliyet yapıları, tüketici harcamaları, yatırım kararları ve genel talep seviyesi üzerinde doğrudan etkilidir. Örneğin yüksek enflasyon ortamında tüketici güveni azalabilirken, düşük faiz oranları yatırımları teşvik edebilir. Ayrıca ekonomik krizler, işletmelerin finansal sürdürülebilirliğini zorlaştırırken; ekonomik canlanma dönemleri büyüme ve genişleme stratejileri için uygun fırsatlar sunabilir.

Sosyo-kültürel faktörler, toplumun demografik yapısı, yaşam tarzları, eğitim düzeyi, değer sistemleri, gelenek-görenekler ve tüketici davranışları gibi sosyal yapı unsurlarını kapsar. Bu faktörler, özellikle pazarlama stratejilerinin belirlenmesinde büyük rol oynar. Tüketicilerin ürün ve hizmetlere yönelik algıları, sosyal eğilimler ve kültürel beklentiler doğrultusunda şekillenir. Dolayısıyla, işletmelerin hedef kitlelerinin kültürel yapısına uygun stratejiler geliştirmeleri rekabet avantajı elde etmeleri açısından kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca toplumdaki değer değişimleri, yeni ihtiyaçların ortaya çıkmasına ve dolayısıyla yeni pazarların oluşmasına neden olabilir.

Teknolojik faktörler, bilimsel gelişmeler, yenilikçi uygulamalar, dijitalleşme süreçleri, otomasyon sistemleri ve Ar-Ge yatırımları gibi unsurları içermektedir. Teknoloji hem üretim süreçlerinin verimliliğini artırmakta hem de ürün ve hizmet inovasyonunu mümkün kılmaktadır. Günümüz rekabet ortamında teknolojik gelişmeleri takip edemeyen işletmeler pazar payı kaybı yaşarken, dijital dönüşüme uyum sağlayan ve yenilikçi çözümler üreten firmalar ön plana çıkmaktadır. Ayrıca teknolojik altyapının gelişmiş olması, müşteri deneyimini iyileştirmek ve operasyonel maliyetleri düşürmek açısından da önemli avantajlar sunar.

Çevresel faktörler, işletmelerin doğal çevre ile olan ilişkisini değerlendirmeye yöneliktir. İklim değişikliği, karbon salınımı, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı,

atık yönetimi, çevre dostu üretim teknikleri ve çevre mevzuatları bu kapsamda ele alınır. Günümüzde çevre bilincinin artmasıyla birlikte, işletmelerin çevresel sorumluluklara duyarlı hareket etmesi beklenmektedir. Yeşil üretim uygulamaları, geri dönüşüm sistemleri ve çevresel sertifikasyonlar hem yasal uyumun sağlanmasına hem de marka imajının güçlendirilmesine katkıda bulunur. Çevresel faktörleri göz ardı eden işletmeler ise hem finansal hem de itibari risklerle karşı karşıya kalabilir.

Son olarak, yasal faktörler işletmelerin tabi olduğu hukuk sistemi çerçevesinde değerlendirilmektedir. İş kanunları, vergi mevzuatı, tüketici koruma yasaları, rekabet hukuku, iş sağlığı ve güvenliği düzenlemeleri ile fikri mülkiyet haklarına ilişkin kurallar bu kategoride yer alır. İşletmelerin bu yasal düzenlemelere uygun hareket etmeleri yalnızca hukuki yaptırımlardan korunmak açısından değil, aynı zamanda kurumsal güvenilirliğin ve sürdürülebilirliğin sağlanması açısından da gereklidir. Özellikle uluslararası pazarlarda faaliyet gösteren firmalar için, farklı ülkelerin mevzuatlarına uyum sağlamak stratejik bir zorunluluk haline gelmektedir.

Sonuç olarak, PESTEL analizi, işletmelerin dış çevre koşullarını çok boyutlu bir bakış açısıyla değerlendirmelerine olanak sağlayan kapsamlı bir analiz çerçevesi sunar. Bu analiz sayesinde, karar alıcılar dışsal değişkenleri sistematik bir şekilde inceleyerek stratejik kararlarını daha sağlam temellere oturtabilir ve gelecekte karşılaşılabilecekleri risklere karşı hazırlıklı olabilirler.

3.2 TİP-2 NÖTROSOFİK BULANIK KÜMELER

Bu bölüm, Tip-2 Nötrosofik Bulanık Sayılar (T2-NFN'ler) ile ilgili temel ilkeleri açıklamaktadır. 2006 yılında Smarandache tarafından tanıtilan nötrosofik kümeler, belirsizlik ve tutarsızlık gibi belirsizlikleri modelleme ve yönetmedeki yetenekleri nedeniyle akademik söylem içinde yaygın bir şekilde tanındı ve uygulandı. Bu tanıma, "gerçek", "belirsizlik" ve "yanlışlık derecesi" dahil olmak üzere çok çeşitli yönleri

tanımlama kapasitelerinden kaynaklanmaktadır. Abdel-Basset ve ark. (2019), bulanık üçgen sayıları dahil ederek nütrosifik kümelerin faydasını genişletti, böylece Tip-2 Nütrosifik Sayıları (T2NN) veya T2NFN'yi formüle etti.

Tanım 1 (Abdel-Basset et al. 2019): Ξ sınırlı bir söylem evrenidir ve $K [0,1]$ tüm üçgen nütrosifik sayıların bir koleksiyonudur. Bu yaklaşım ile sembolize edilen bir tip 2 nütrosifik sayı kümesi (T2-NFN'ler) $\tilde{L}$ Eşitlik (1) olarak Ξ ifade edilebilir (Calı vd., 2022; Simic ve diğerleri, 2024).

$$\tilde{L} = \langle (y, \tilde{T}_L(y), \tilde{I}_L(y), \tilde{F}_L(y) | y \in \Xi) \rangle \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de verildiğinde, $\tilde{T}_L(y)$ “Doğruluk derecesi”, $\tilde{I}_L(y)$ “belirsizlik derecesi” $\tilde{F}_L(y)$ “Sahtelik derecesi” ve $\tilde{T}_L(y): \Xi \rightarrow K[0,1], \tilde{I}_L(y): \Xi \rightarrow K[0,1], \tilde{F}_L(y): \Xi \rightarrow K[0,1]$ sırasıyla tanımlanmıştır. Ayrıca $\tilde{T}_L(y) = (\tilde{T}_{T_L}(y), \tilde{T}_{I_L}(y), \tilde{T}_{F_L}(y))$, $\tilde{I}_L(y) = (\tilde{I}_{T_L}(y), \tilde{I}_{I_L}(y), \tilde{I}_{F_L}(y))$, $\tilde{F}_L(y) = (\tilde{F}_{T_L}(y), \tilde{F}_{I_L}(y), \tilde{F}_{F_L}(y))$ aşağıdaki gibidir, üyelik işlevlerinin toplamı aşağıdaki Eşitlik (2)'de verilen koşulu sağlamalıdır.

$$0 \leq \tilde{T}_L(y)^3 + \tilde{I}_L(y)^3 + \tilde{F}_L(y)^3 \leq 3, \forall y \in \Xi \quad (2)$$

Açıklama 1. Tanımların geri kalanı için, bir T2-NFN şu şekilde ifade edilmiştir:

$\tilde{L} = \langle (T_{T_L}(y), T_{I_L}(y), T_{F_L}(y)), (I_{T_L}(y), I_{I_L}(y), I_{F_L}(y)), (F_{T_L}(y), F_{I_L}(y), F_{F_L}(y)) \rangle$ böylece temsiller daha hızlı ve basit bir şekilde anlaşılabilir.

Tanım 2 (Abdel-Basset ve ark. 2019): Varsayalım

$\tilde{L}_k = \langle (T_{T_k}(y), T_{I_k}(y), T_{F_k}(y)), (I_{T_k}(y), I_{I_k}(y), I_{F_k}(y)), (F_{T_k}(y), F_{I_k}(y), F_{F_k}(y)) \rangle (k=1, 2, \dots, p)$ ki T2-NFN'nin bir koleksiyonu olarak ifade edilir ve ağırlıkları şu şekilde tanımlanır $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_p)^T$: . Buna göre, $\sum_{k=1}^p \delta_k = 1$ "tip-2 nütrosifik sayı ağırlıklı ortalamasının (T2NNWA)" olduğunu düşündüğümüzde Denklem (3)'te verildiği gibi tanımlanabilir (Simic vd., 2024).

$$\begin{aligned}
T2NNWA_{\delta} (L_1, L_2, \dots, L_p) &= \delta_1 L_1 \oplus \delta_2 L_2 + \dots + \delta_p L_p \\
&= \left\langle \left(1 - \prod_{k=1}^p (1 - T_{L_k}(y))^{\delta_k}, 1 - \prod_{k=1}^p (1 - I_{L_k}(y))^{\delta_k}, 1 - \prod_{k=1}^p (1 - F_{L_k}(y))^{\delta_k} \right), \right. \\
&\quad \left(\prod_{k=1}^p (T_{L_k}(y))^{\delta_k}, \prod_{k=1}^p (I_{L_k}(y))^{\delta_k}, \prod_{k=1}^p (F_{L_k}(y))^{\delta_k} \right), \\
&\quad \left. \left(\prod_{k=1}^p (F_{L_k}(y))^{\delta_k}, \prod_{k=1}^p (F_{L_k}(y))^{\delta_k}, \prod_{k=1}^p (F_{L_k}(y))^{\delta_k} \right) \right\rangle
\end{aligned} \tag{3}$$

Tanım 3 (Abdel-Basset ve ark. 2019): Diyelim $\tilde{L}_1$ ki ve $\tilde{L}_2$ iki T2-NFN aşağıdaki gibi tanımlandı: Bu durumda, bazı cebirsel denklemler aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Simic ve diğerleri, 2024):

$$\begin{aligned}
\tilde{L}_1 &= \left\langle \left(T_{\tilde{L}_1}(y), T_{\tilde{L}_1}(y), T_{\tilde{L}_1}(y) \right), \left(I_{\tilde{L}_1}(y), I_{\tilde{L}_1}(y), I_{\tilde{L}_1}(y) \right), \left(F_{\tilde{L}_1}(y), F_{\tilde{L}_1}(y), F_{\tilde{L}_1}(y) \right) \right\rangle, \\
\tilde{L}_2 &= \left\langle \left(T_{\tilde{L}_2}(y), T_{\tilde{L}_2}(y), T_{\tilde{L}_2}(y) \right), \left(I_{\tilde{L}_2}(y), I_{\tilde{L}_2}(y), I_{\tilde{L}_2}(y) \right), \left(F_{\tilde{L}_2}(y), F_{\tilde{L}_2}(y), F_{\tilde{L}_2}(y) \right) \right\rangle
\end{aligned}$$

(1) " $\oplus$ " ilavesi

$$\tilde{L}_1 \oplus \tilde{L}_2 = \left\langle \left(\left(T_{\tilde{L}_1}(y) \oplus T_{\tilde{L}_2}(y) \right) - \left(T_{\tilde{L}_1}(y) \otimes T_{\tilde{L}_2}(y) \right), \left(T_{\tilde{L}_1}(y) \oplus T_{\tilde{L}_2}(y) \right) - \left(T_{\tilde{L}_1}(y) \otimes T_{\tilde{L}_2}(y) \right), \right. \right. \\
\left. \left(T_{\tilde{L}_1}(y) \oplus T_{\tilde{L}_2}(y) \right) - \left(T_{\tilde{L}_1}(y) \otimes T_{\tilde{L}_2}(y) \right), \right. \\
\left. \left(\left(I_{\tilde{L}_1}(y) \otimes I_{\tilde{L}_2}(y) \right), \left(I_{\tilde{L}_1}(y) \otimes I_{\tilde{L}_2}(y) \right), \left(I_{\tilde{L}_1}(y) \otimes I_{\tilde{L}_2}(y) \right) \right), \right. \\
\left. \left(\left(F_{\tilde{L}_1}(y) \otimes F_{\tilde{L}_2}(y) \right), \left(F_{\tilde{L}_1}(y) \otimes F_{\tilde{L}_2}(y) \right), \left(F_{\tilde{L}_1}(y) \otimes F_{\tilde{L}_2}(y) \right) \right) \right\rangle \tag{4}$$

(2) Çarpma " $\otimes$ "

$$\tilde{L}_1 \otimes \tilde{L}_2 = \left\langle \left(T_{\tilde{L}_1}(y) \otimes T_{\tilde{L}_2}(y), T_{\tilde{L}_1}(y) \otimes T_{\tilde{L}_2}(y), T_{\tilde{L}_1}(y) \otimes T_{\tilde{L}_2}(y), \right. \right. \\
\left(\left(I_{\tilde{L}_1}(y) \oplus I_{\tilde{L}_2}(y) \right) - \left(I_{\tilde{L}_1}(y) \otimes I_{\tilde{L}_2}(y) \right), \left(I_{\tilde{L}_1}(y) \oplus I_{\tilde{L}_2}(y) \right) - \left(I_{\tilde{L}_1}(y) \otimes I_{\tilde{L}_2}(y) \right), \right. \\
\left(I_{\tilde{L}_1}(y) \oplus I_{\tilde{L}_2}(y) \right) - \left(I_{\tilde{L}_1}(y) \otimes I_{\tilde{L}_2}(y) \right), \\
\left(\left(F_{\tilde{L}_1}(y) \oplus F_{\tilde{L}_2}(y) \right) - \left(F_{\tilde{L}_1}(y) \otimes F_{\tilde{L}_2}(y) \right), \left(\left(F_{\tilde{L}_1}(y) \oplus F_{\tilde{L}_2}(y) \right) - \left(F_{\tilde{L}_1}(y) \otimes F_{\tilde{L}_2}(y) \right) \right), \right. \\
\left. \left(F_{\tilde{L}_1}(y) \oplus F_{\tilde{L}_2}(y) \right) - \left(F_{\tilde{L}_1}(y) \otimes F_{\tilde{L}_2}(y) \right) \right\rangle \tag{5}$$

(3) Skaler çarpma, burada $\lambda > 0$

$$\lambda \tilde{L} = \left\langle \begin{pmatrix} 1 - (1 - T_{\tilde{L}}(y))^\lambda \\ (T_{\tilde{L}}(y))^\lambda \\ (F_{\tilde{L}}(y))^\lambda \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 - (1 - T_{I_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \\ (T_{I_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \\ (F_{I_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 - (1 - T_{F_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \\ (T_{F_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \\ (F_{F_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \end{pmatrix} \right\rangle \quad (6)$$

(4) Üs değeri alma $\lambda > 0$

$$\tilde{L}^\lambda = \left\langle \begin{pmatrix} (T_{\tilde{L}}(y))^\lambda \\ (T_{I_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \\ (T_{F_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 - (1 - T_{\tilde{L}}(y))^\lambda \\ 1 - (1 - T_{I_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \\ 1 - (1 - T_{F_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 - (1 - I_{\tilde{L}}(y))^\lambda \\ 1 - (1 - I_{I_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \\ 1 - (1 - I_{F_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 - (1 - F_{\tilde{L}}(y))^\lambda \\ 1 - (1 - F_{I_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \\ 1 - (1 - F_{F_{\tilde{L}}}(y))^\lambda \end{pmatrix} \right\rangle \quad (7)$$

Tanım 4 (Abdel-Basset ve ark. 2019): Skor fonksiyonu, $[Score(\tilde{L})]$ yukarıda verilen Eşitlik (2)'de ifade edilen T2-NFN $\tilde{L}$ için Eşitlik (8) yardımıyla hesaplanabilir (Simic ve diğerleri, 2024).

$$Score(\tilde{L}) = \left[\frac{8 + (T_{\tilde{L}}(y) + 2(T_{I_{\tilde{L}}}(y)) + T_{F_{\tilde{L}}}(y)) - (I_{\tilde{L}}(y) + 2(I_{I_{\tilde{L}}}(y)) + I_{F_{\tilde{L}}}(y)) - (F_{\tilde{L}}(y) + 2(F_{I_{\tilde{L}}}(y)) + F_{F_{\tilde{L}}}(y)))}{12} \right] \quad (8)$$

3.2.1 Uzmanların Ağırlıklarının Belirlenmesi

Uzman Ağırlıklarının Belirlenmesi: İşbirlikçi bir karar verme ortamında, karar vericiler arasındaki çok çeşitli mesleki geçmişler, bilgi alanları, tutumlar ve uzmanlık düzeyleri önemli bir çeşitlilik sergileyebilir. Bu nedenle, birden fazla karar verici arasındaki bu farklılıkları kabul etmek, bu bağlamda önem ağırlıklarını tanımlamak ve bunları analitik çerçeveye entegre etmek, daha anlayışlı karar verme sonuçlarını teşvik etmek için zorunludur (Krishankumar ve Ecer, 2024; Mondal ve diğerleri, 2023). Bu bakış açısıyla uyumlu olarak, bu çalışma, sürece katılan karar vericilerin (DM'ler) ağırlık atıflarını tespit etmek için Simic ve ark. (2022) tarafından savunulan tip 2 nütrosifik bulanık sayılara (T2-NFN) dayanan metodolojik yaklaşımı benimsemektedir. Bu yaklaşımın usule ilişkin yönergeleri aşağıda açıklanmıştır (Simic ve diğerleri, 2022; Kara

ve diğerleri, 2024).

Aşama 1. (T2-NFN)'ye dayalı olarak uzmanların ilk değerlendirme matrislerini oluşturun: Karar konumuza yönelik seçeneklerin şu şekilde ifade edildiğini ve kriterlerin olarak ifade edildiğini varsayalım. Bunun yanı sıra grup değerlendirme sürecinin yürütülmesinde görev alan uzmanlarımızı da şu şekilde sembolize edelim; Buna göre, her bir uzmanın "Mezuniyet", "Derece", "Görev" ve "Deneyim" düzeyleri göz önünde bulundurularak Tablo 2'de gösterilen ölçek yardımıyla dilsel olarak değerlendirilmektedir. $\mathcal{F} = \{\mathcal{F}_1, \mathcal{F}_2, \dots, \mathcal{F}_i, \dots, \mathcal{F}_m\}, (m \geq 2)$ $\mathcal{L} =$

$$\{\mathcal{L}_1, \mathcal{L}_2, \dots, \mathcal{L}_j, \dots, \mathcal{L}_n\}, (n \geq 2) \mathcal{H} = \{\mathcal{H}_1, \mathcal{H}_2, \dots, \mathcal{H}_d, \dots, \mathcal{H}_t\}, (t \geq 2)$$

Tablo 4.1. DM'lerin deneyim ve uzmanlık düzeyleri için T2NFN tabanlı ölçek (Simic ve ark.,2022; Kara ve ark., 2024).

Tecrübe (yıl)	Uzmanlık	T2NFN (İngilizce)
<5	Çok Zayıf	$\langle(0.20,0.20,0.10),(0.65,0.80,0.85),(0.45,0.80,0.70)\rangle$
[5,10)	Zayıf (P)	$\langle(0.35,0.35,0.10),(0.50,0.75,0.80),(0.50,0.75,0.65)\rangle$
[10,15)	Orta Zayıf (MP)	$\langle(0.40,0.30,0.35),(0.50,0.45,0.60),(0.45,0.40,0.60)\rangle$
[15,20)	Orta (M)	$\langle(0.50,0.45,0.50),(0.40,0.35,0.50),(0.35,0.30,0.45)\rangle$
[20,25)	Orta iyi (MG)	$\langle(0.60,0.45,0.50),(0.20,0.15,0.25),(0.10,0.25,0.15)\rangle$
[25,30)	İyi (G)	$\langle(0.70,0.75,0.80),(0.15,0.20,0.25),(0.10,0.15,0.20)\rangle$
≥ 30	Çok İyi (VG)	$\langle(0.95,0.90,0.95),(0.10,0.10,0.05),(0.05,0.05,0.05)\rangle$

Dilbilimsel terimleri T2-NFN formuna dönüştürerek, DM'ler için ilk T2-NFN tabanlı değerlendirme matrisi Eşitlik (9)'daki gibi oluşturulur. $\tilde{\wp} = [\tilde{\wp}_d^{(1)}]_{2 \times t}$, d = (1,2, ... t).

$$\tilde{\wp} = \begin{bmatrix} \mathcal{H}_1 & \dots & \mathcal{H}_t \\ T_{T_{\tilde{\wp}_1^{(1)}}}(y), T_{I_{\tilde{\wp}_1^{(1)}}}(y), T_{F_{\tilde{\wp}_1^{(1)}}}(y) & & T_{T_{\tilde{\wp}_t^{(1)}}}(y), T_{I_{\tilde{\wp}_t^{(1)}}}(y), T_{F_{\tilde{\wp}_t^{(1)}}}(y) \\ \langle I_{T_{\tilde{\wp}_1^{(1)}}}(y), I_{I_{\tilde{\wp}_1^{(1)}}}(y), I_{F_{\tilde{\wp}_1^{(1)}}}(y) \rangle & \dots & \langle I_{T_{\tilde{\wp}_t^{(1)}}}(y), I_{I_{\tilde{\wp}_t^{(1)}}}(y), I_{F_{\tilde{\wp}_t^{(1)}}}(y) \rangle \\ F_{T_{\tilde{\wp}_1^{(1)}}}(y), F_{I_{\tilde{\wp}_1^{(1)}}}(y), F_{F_{\tilde{\wp}_1^{(1)}}}(y) & & F_{T_{\tilde{\wp}_t^{(1)}}}(y), F_{I_{\tilde{\wp}_t^{(1)}}}(y), F_{F_{\tilde{\wp}_t^{(1)}}}(y) \\ T_{T_{\tilde{\wp}_1^{(2)}}}(y), T_{I_{\tilde{\wp}_1^{(2)}}}(y), T_{F_{\tilde{\wp}_1^{(2)}}}(y) & & T_{T_{\tilde{\wp}_t^{(2)}}}(y), T_{I_{\tilde{\wp}_t^{(2)}}}(y), T_{F_{\tilde{\wp}_t^{(2)}}}(y) \\ \langle I_{T_{\tilde{\wp}_1^{(2)}}}(y), I_{I_{\tilde{\wp}_1^{(2)}}}(y), I_{F_{\tilde{\wp}_1^{(2)}}}(y) \rangle & \dots & \langle I_{T_{\tilde{\wp}_t^{(2)}}}(y), I_{I_{\tilde{\wp}_t^{(2)}}}(y), I_{F_{\tilde{\wp}_t^{(2)}}}(y) \rangle \\ F_{T_{\tilde{\wp}_1^{(2)}}}(y), F_{I_{\tilde{\wp}_1^{(2)}}}(y), F_{F_{\tilde{\wp}_1^{(2)}}}(y) & & F_{T_{\tilde{\wp}_t^{(2)}}}(y), F_{I_{\tilde{\wp}_t^{(2)}}}(y), F_{F_{\tilde{\wp}_t^{(2)}}}(y) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Nerede ve uzmanların deneyim ve uzmanlık derecelerinin değerlendirmesini gösterin. Bu çalışmada önerilen algoritmanın bu aşamasında, DM'lerin her iki özelliğinin düzeylerini değerlendirmek için profesyonel grup görüşü alınmıştır. $\tilde{\wp}_d^{(1)} = \langle (T_{\tilde{\wp}_d^{(1)}}(y), T_{I_{\tilde{\wp}_d^{(1)}}}(y), T_{F_{\tilde{\wp}_d^{(1)}}}(y)), (I_{\tilde{\wp}_d^{(1)}}(y), I_{I_{\tilde{\wp}_d^{(1)}}}(y), I_{F_{\tilde{\wp}_d^{(1)}}}(y)), (F_{\tilde{\wp}_d^{(1)}}(y), F_{I_{\tilde{\wp}_d^{(1)}}}(y), F_{F_{\tilde{\wp}_d^{(1)}}}(y)) \rangle$ $\tilde{\wp}_d^{(2)} = \langle (T_{\tilde{\wp}_d^{(2)}}(y), T_{I_{\tilde{\wp}_d^{(2)}}}(y), T_{F_{\tilde{\wp}_d^{(2)}}}(y)), (I_{\tilde{\wp}_d^{(2)}}(y), I_{I_{\tilde{\wp}_d^{(2)}}}(y), I_{F_{\tilde{\wp}_d^{(2)}}}(y)), (F_{\tilde{\wp}_d^{(2)}}(y), F_{I_{\tilde{\wp}_d^{(2)}}}(y), F_{F_{\tilde{\wp}_d^{(2)}}}(y)) \rangle$ $\mathcal{H}_d(d = 1, 2, \dots, t)$

Adım 2. DM'lerin deneyim ve uzmanlık seviyelerine dayalı değerlendirmeleri entegre edin: Bu aşamada, modelleme aşamasına yansıtılacak olan her bir DM'nin itibar derecelendirmelerini ortaya çıkarmak için, deneyim ve uzmanlık özelliklerinin T2-NFN tabanlı değerlendirmeleri, denklem 10'daki gibi T2NNWA operatörünün yardımıyla birleştirilir ve bütünleşik değerlere dönüştürülür (Önden vd., 2024).

$$\tilde{\mathfrak{S}}_d = T2NNWA_{\wp}(\tilde{\wp}_d^{(1)}, \tilde{\wp}_d^{(2)}) = \wp_1 \tilde{\wp}_d^{(1)} \oplus \wp_2 \tilde{\wp}_d^{(2)} = \bigoplus_{l=1}^2 \wp_l \tilde{\wp}_d^{(l)}$$

$$= \left[\begin{array}{c} \left(1 - \prod_{l=1}^2 \left(1 - T_{\tilde{\wp}_d^{(l)}}(y) \right)^{\wp_l}, 1 - \prod_{l=1}^2 \left(1 - T_{I_{\tilde{\wp}_d^{(l)}}}(y) \right)^{\wp_l}, 1 - \prod_{l=1}^2 \left(1 - T_{F_{\tilde{\wp}_d^{(l)}}}(y) \right)^{\wp_l} \right), \\ \left(\prod_{l=1}^2 \left(I_{\tilde{\wp}_d^{(l)}}(y) \right)^{\wp_l}, \prod_{l=1}^2 \left(I_{I_{\tilde{\wp}_d^{(l)}}}(y) \right)^{\wp_l}, \prod_{l=1}^2 \left(I_{F_{\tilde{\wp}_d^{(l)}}}(y) \right)^{\wp_l} \right), \\ \left(\prod_{l=1}^2 \left(F_{\tilde{\wp}_d^{(l)}}(y) \right)^{\wp_l}, \prod_{l=1}^2 \left(F_{I_{\tilde{\wp}_d^{(l)}}}(y) \right)^{\wp_l}, \prod_{l=1}^2 \left(F_{F_{\tilde{\wp}_d^{(l)}}}(y) \right)^{\wp_l} \right) \end{array} \right], \quad (10)$$

$d = 1, 2, \dots, t$

Karar vericilerin T2-NFN toplu itibarı nerede? ve , $\tilde{\mathfrak{S}}_d = \langle (T_{\tilde{\mathfrak{S}}_d}(y), T_{I_{\tilde{\mathfrak{S}}_d}}(y), T_{F_{\tilde{\mathfrak{S}}_d}}(y)), (I_{\tilde{\mathfrak{S}}_d}(y), I_{I_{\tilde{\mathfrak{S}}_d}}(y), I_{F_{\tilde{\mathfrak{S}}_d}}(y)), (F_{\tilde{\mathfrak{S}}_d}(y), F_{I_{\tilde{\mathfrak{S}}_d}}(y), F_{F_{\tilde{\mathfrak{S}}_d}}(y)) \rangle \mathcal{H}_d \wp_1, \wp_2 \in [0, 1] \wp_1, + \wp_2 = 1$ (Simic et.al, 2022; Önden vd., 2024). Mevcut çalışmada, parametrelerin başlangıç katsayısı olarak alınmıştır. $\wp_1, \wp_2 = 0.5$

Daha sonra, Eşitlik (11) kullanılarak her bir uzman için uzmanın ağırlığı (itibar) belirlenir.

$$\sigma_d = \frac{Score(\tilde{\mathfrak{S}}_d)}{\sum_{l=1}^t Score(\tilde{\mathfrak{S}}_l)}, d = 1, 2, \dots, t \quad (11)$$

Burada, uzmanların ağırlıklarının sırasını belirtir, skor fonksiyonunu sembolize eder. Daha ileri ve $\sigma = [\sigma_1, \dots, \sigma_e, \dots, \sigma_t]^T Score(\tilde{\mathfrak{S}}_d) \sigma_d \in [0, 1] (d = 1, \dots, t) \sum_{d=1}^t \sigma_d = 1$.

3.2.2 Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Adım 1: Karar Vericiler (DM'ler) Tarafından Değerlendirme Kriterlerinin Göreceli Öneminin Belirlenmesi: Bu adımda, kriterler için ağırlık katsayıları hesaplanır. Başlangıçta, bir grup uzman, $\xi = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_e\}$ T2NN dil ölçeğini kullanarak $C_j = \{C1, C2, \dots, Cn\}$ kriterlerini değerlendirir. Daha sonra uzmanlar tarafından sağlanan değerlendirmeleri içeren matrisler oluşturulur.

Burada; $\mathfrak{S} = [\gamma_{jb}]_{n \times e}$, ($j=1, \dots, n$; $b=1, 2, \dots, e$); seçim kriterleri için ilk matrisi temsil eder ve γ_{jb} matrisin öğelerini belirtir; $\gamma_{jb} = \left[\left(\gamma_{jb}^{T_T}, \gamma_{jb}^{T_I}, \gamma_{jb}^{T_F} \right), \left(\gamma_{jb}^{I_T}, \gamma_{jb}^{I_I}, \gamma_{jb}^{I_F} \right), \left(\gamma_{jb}^{F_T}, \gamma_{jb}^{F_I}, \gamma_{jb}^{F_F} \right) \right]$

Adım 2. Kriterlerin puan ölçümelerini hesaplayın: Daha sonra, karar vericilerin (DM'ler) tercihlerine göre her bir kriterin önemi belirlenir. Bu anlamlılık değeri, Tip-2 Nötrosifik Sayının (T2NN) her seviyesi için belirlenir ve her kriter için bir T2NN oluşturulmasına neden olur. Anlamlılık faktörünün değeri Eşitlik (13) kullanılarak hesaplanır.

$$SF_j = \left[\left(\frac{\sum_{k=1}^e \gamma_{kj}^{T_T} - \prod_{k=1}^e \gamma_{kj}^{T_T}}{e}, \frac{\sum_{k=1}^e \gamma_{kj}^{T_I} - \prod_{k=1}^e \gamma_{kj}^{T_I}}{e}, \frac{\sum_{k=1}^e \gamma_{kj}^{T_F} - \prod_{k=1}^e \gamma_{kj}^{T_F}}{e} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{\sum_{k=1}^e \gamma_{kj}^{I_T} - \prod_{k=1}^e \gamma_{kj}^{I_T}}{e}, \frac{\sum_{k=1}^e \gamma_{kj}^{I_I} - \prod_{k=1}^e \gamma_{kj}^{I_I}}{e}, \frac{\sum_{k=1}^e \gamma_{kj}^{I_F} - \prod_{k=1}^e \gamma_{kj}^{I_F}}{e} \right), \right. \\ \left. \left(\frac{\sum_{k=1}^e \gamma_{kj}^{F_T} - \prod_{k=1}^e \gamma_{kj}^{F_T}}{e}, \frac{\sum_{k=1}^e \gamma_{kj}^{F_I} - \prod_{k=1}^e \gamma_{kj}^{F_I}}{e}, \frac{\sum_{k=1}^e \gamma_{kj}^{F_F} - \prod_{k=1}^e \gamma_{kj}^{F_F}}{e} \right) \right] \quad (13)$$

Burada e , uzman sayısını ifade ederken, $\gamma_j = \left[\left(\gamma_j^{T_T}, \gamma_j^{T_I}, \gamma_j^{T_F} \right), \left(\gamma_j^{I_T}, \gamma_j^{I_I}, \gamma_j^{I_F} \right), \left(\gamma_j^{F_T}, \gamma_j^{F_I}, \gamma_j^{F_F} \right) \right]$ uzmanlar tarafından j kriterine atanan değeri sembolize eder.

Adım 3 ve 4 Kriterlerin puan ölçümlerinin eklemeli normalizasyonu: Bunu takiben, puan ölçüsü Eşitlik (2) kullanılarak belirlenir. Daha sonra, $1 \times n$ boyutundaki bir vektör, **kriter ağırlıklarını türetmek için** Eşitlik (14) kullanılarak ek standardizasyona tabi tutulur.

$$w_j = \frac{S(SF_j)}{\sum_{j=1}^n S(SF_j)} \quad (14)$$

Bu Denklemden, $S(SF_j)$ Eşitlik (6)'ya göre hesaplanan puan ölçüsünü belirtir ve ' n ' toplam kriter sayısını ifade eder. Sonuç olarak, $w_j = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ kriterlerin ağırlık katsayılarını içeren vektör türetilir ve daha sonra ağırlıklı alternatif dizisini hesaplamak için bir sonraki adımda kullanılır.

Sonraki aşamada ise SPC yönteminin algoritmik prosedürleri aracılığıyla kriterlerin objektif ağırlıkları belirlenir. SPC yöntemi, a) referans olarak simetri noktasının seçilmesi (her iki uç noktayı dengeleyen), b) karar matrisi içinde negatif performans değerlerini barındırabilme yeteneği ve c) ham karar matrisi ile çalıştığı için normalizasyon şemalarının seçimine duyarlı olmaması gibi çok sayıda fayda sunar. SPC yöntemi, çeşitli

problemlerde araştırmacıların dikkatini çekmeye başlamıştır (örneğin,). Ařama 1'in 1.2 adımında elde edilen nihai karar matrisini kullanarak ağırlıkların hesaplanması için hesaplama adımları (bkz. ifade (27)) aşağıda açıklanmıştır.(Gligorić et al., 2023)(Ayan et al., 2023; Biswas, Božanić, et al., 2023; Hezam et al., 2023; Rani et al., 2023)

Adım 5. Her bir kriterle ilgili alternatiflerin performans değerleri için simetri noktasını bulun.

Simetri noktası, aralık içindeki merkezi değer olarak belirlenir ve şu şekilde hesaplanır:

$$SP_j = \frac{Min(y_{ij}) + Max(y_{ij})}{2}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

Adım 6. Mutlak mesafe matrisinin (ADM) yapısı: ADM şu şekilde inşa edilmiştir:

$$\delta = (z_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1j} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{i1} & z_{i2} & \dots & z_{ij} \end{pmatrix}_{m \times n} \quad (16)$$

Burada elementler şu şekilde elde edilir:

$$z_{ij} = |y_{ij} - SP_j| \quad (17)$$

Adım 7. Simetri modülünün matrisini oluşturun (MMS)

MMS'in öğeleri şu şekilde hesaplanır:

$$\psi_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^m z_{ij}}{y_{ij}}; j = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

Adım 8. Simetri kriterinin modülünü hesaplanması: Simetri kriterinin modülünün hesaplanması şu şekilde yapılır

$$Y = (\gamma_{1j})_{1 \times n}$$

$$= \left(\frac{\sum_{i=1}^m \psi_{i1}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m \psi_{i2}}{m}, \dots, \frac{\sum_{i=1}^m \psi_{in}}{m} \right); j = 1, 2 \dots n \quad (19)$$

Buna göre, yeni bir satır vektörü ile sonuçlanır.

Adım 9. Kriterlerin ağırlıklarını hesaplanması: Ağırlıklar aşağıdaki yöntem kullanılarak hesaplanır.

$$\omega_j = \frac{\gamma_j}{\sum_{j=1}^n \gamma_j}; \omega_j > 0; \sum_{j=1}^n \omega_j = 1 \quad (20)$$

Kullanıcı merkezli ve teknik kriterlerin ağırlıklarını ayrı ayrı hesaplamak için 5 ile 9 arasındaki adımları (SPC yöntemi) kullanıyoruz.

Son olarak kriterlerin hesaplanan subjektif ve objektif ağırlık değerleri birleştirilir. Bunun için α parametresi kullanılır ve subjektif ve objektif ağırlıklar için kesin bir bilginin olmadığı durumda her ikisi için eşit değer verilir. Genellikle uygulamada bu parametrenin değeri 0,5 olarak alınır.

3.2.3 Alternatiflerin Performanslarının Belirlenmesi

Kriter ağırlıklarını belirlendikten sonra, bir sonraki görev alternatifleri karşılaştırmak ve sıralamaktır. Bu amaçla, mesafe ölçüsünde bir modifikasyon ile CRADIS yöntemi kullanılır. Bu çalışma, LD (CRADIS) ile CRADIS yönteminin yeni bir uzantısını

önermektedir. CRADIS yöntemi, aşağıdakiler gibi birçok avantaj sağlar: a) hem göreceli faydayı hem de aşırı ideal çözümlerden sapmaları dikkate alır; b) makul derecede güvenilir ve istikrarlı bir çözümle sonuçlanır; c) Sıra çevirme problemine dayanıklıdır. Literatürün mevcut hacmi, CRADIS yönteminin çeşitli problemlerde artan sayıda uygulamasını göstermektedir, örneğin, CRADIS yöntemi, sürdürülebilir ulaşımdaki uygulamalarda da kullanılmaktadır. Puška ve ark. bir çok karakteristik özelliğin etkisine maruz kalan elektrikli otomobilleri karşılaştırmak için çift normalizasyona dayalı bir MEREC-CRADIS modeli kullanılmıştır. Krishankumar ve Ecer, sürdürülebilir ulaşımda IoT çözümleri için hizmet sağlayıcıları değerlendirmek için CRADIS modelini uyguladı. (Puška, Stević, et al., 2022)(Puška, Stević, et al., 2022)(Biswas, Gupta, et al., 2023; Chakraborty et al., 2023; Puška, Božanić, et al., 2022; Puška, Nedeljković, et al., 2022, 2023; Starčević et al., 2022; Yuan et al., 2023)(Puška, Božanić, et al., 2023)(Krishankumar & Ecer, 2023)

MCDM modellerinde yaygın olarak kullanılan diğer mesafe ölçülerinden farklı olarak, Lance mesafesi (LD), değişken noktaların birimlerine veya büyüklüklerine bağımsızlık nedeniyle kapsamlı, önyargılı verilerin varlığında bile adil bir muamele sağlar ve iki nokta arasındaki mesafeyi değerlendirmek için oran kavramını uygular. (Lance & Williams, 1966; Wang et al., 2023). CRADIS yöntemi için prosedür adımları aşağıdaki gibi açıklanmıştır:

Adım 10. Karar matrisinin normalleştirilmesi: İlk karar matrisi, doğrusal şema kullanılarak normalleştirilir. Kriter ζ_{ij} ile ilgili alternatifin i^{th} performans değeri olsun j^{th} , daha sonra normalleştirilmiş performans değeri şu şekilde elde edilir:

$$y_{ij} = \begin{cases} \frac{\zeta_{ij}}{\zeta_{j(\max)}}; j \in j^+ \\ \frac{\zeta_{j(\min)}}{\zeta_{ij}}; j \in j^- \end{cases} \quad (21)$$

Bu makale iki tür bilgi kullanır: qROFN tabanlı öznel derecelendirme (kullanıcı merkezli kriter tabanlı karşılaştırma için) ve net değerler (teknik özellikler için). İlk durum için, nihai karar matrisini formüle etmek için normalleştirilmiş qROFN tabanlı ilk karar matrisinin öğelerinin puan değerleri kullanıldığından, ilk adım gerekli değildir.

Adım 11. Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisini oluşturun $V = [v_{ij}]_{m \times n}$

Elementlerin değerlerinin hesaplanması şu şekilde yapılır:

$$v_{ij} = y_{ij} \omega_j \quad (22)$$

Adım 12. Çözümler için ideal ve anti-ideal değerlerin belirlenmesi: İdeal ve anti-ideal çözüm değerleri aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$T_j^+ = \max(v_{ij}) \quad (23)$$

$$T_j^- = \min(v_{ij}) \quad (24)$$

Adım 13. İdeal ve anti-ideal çözümlerden sapmaları hesaplayın

Aşağıdaki, sapmaların hesaplanmasıdır. Burada LD'yi kullanıyoruz (bkz. Eşitlik (25)).

$$S_i^+ = d_L(V, T_j^+) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{|T_j^+ - v_{ij}|}{T_j^+ + v_{ij}} \quad (25)$$

$$S_i^- = d_L(V, T_j^-) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{|v_{ij} - T_j^-|}{T_j^- + v_{ij}} \quad (26)$$

Adım 14. Optimal seçimden sapmalarla ilgili seçenekler için fayda fonksiyonu değerlerinin (UFV) belirlenmesi: En uygun seçim, mümkün olan en iyi veya ideal değere () yakınlığı korur ve S_0^+ anti-ideal çözüme () en uzak olanıdır. S_0^- UFV'ler şu şekilde çıkarılır:

$$U_i^+ = \frac{S_0^+}{S_i^+} \quad (27)$$

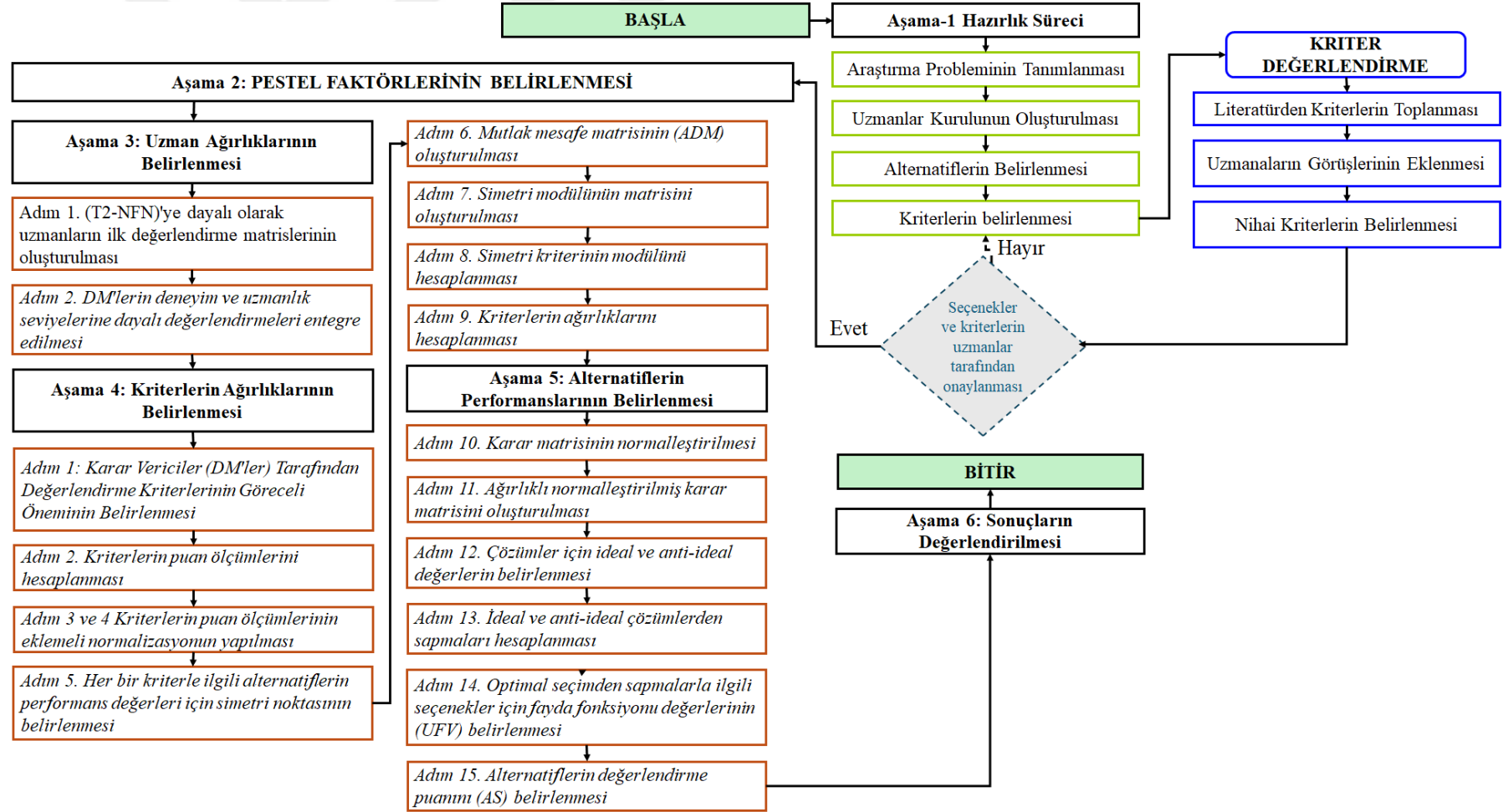
$$U_i^- = \frac{S_i^-}{S_0^-} \quad (28)$$

Adım 15. Alternatiflerin değerlendirme puanını (AS) belirlenmesi: AS şu şekilde belirlenir:

$$\Phi_i = \frac{U_i^+ + U_i^-}{2} \quad (29)$$

3.2 YEŞİL MUTABAKAT BAĞLAMINDA DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞINDA YEŞİL STRATEJİLERİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde yukarıda uygulama adımları ve temel algoritması verilen karar verme modelinin demiryolu taşımacılığında kullanılabilecek yeşil taşımacılık stratejilerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi için kullanılmıştır. Bu bağlamda önerilen modelin hesaplama adımlarına geçilmeden önce kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi ile birlikte çalışma sürecinde yer alacak uzmanlar grubu oluşturulmuştur. İlk olarak kriter ve alternatiflere temel teşkil etmek üzere PESTEL analizi yürütülmüştür.



Şekil 3.1 Önerilen Modelin Akış Şeması ve Temel Algoritması

3.3 UZMANLARIN BELİRLENMESİ

Bu çalışmada karar verme sürecine niteliksel ve niceliksel katkı sağlayacak, ilgili alanda bilgi ve deneyim sahibi uzmanlardan oluşan bir uzmanlar kurulu oluşturulmuştur. Kurulun oluşturulması süreci çok aşamalı ve dikkatli bir değerlendirmeyi içermiştir. Öncelikle çalışmanın konusunun doğası gereği, ulaştırma, lojistik, sürdürülebilir taşımacılık ve demiryolu yönetimi alanlarında uzmanlığa sahip kişilere ihtiyaç duyulmuştur. Bu doğrultuda üniversiteler, kamu kurumları, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarında görev yapan, alanda en az 10 yıl tecrübeye sahip profesyoneller öncelikli olarak değerlendirmeye alınmıştır.

Uzmanların seçiminde çok kriterli bir yaklaşım benimsenmiştir. İlk olarak, adayların akademik ve/veya mesleki geçmişleri incelenmiş; ilgili alanda yayımlanmış bilimsel çalışmaları, yürüttükleri projeler ve görev aldıkları ulusal ya da uluslararası kuruluşlar referans alınmıştır. Özellikle demiryolu taşımacılığı, yeşil lojistik uygulamaları, Avrupa Yeşil Mutabakatı (European Green Deal) politikaları ve sürdürülebilir ulaştırma sistemleri konularında bilgi sahibi olmaları temel seçim kriterlerinden biri olmuştur.

İkinci olarak, sektörel çeşitliliğin sağlanmasına özen gösterilmiştir. Bu kapsamda uzmanlar; akademisyenler, kamu bürokrasisinde çalışan teknik uzmanlar, taşımacılık sektörü yöneticileri, demiryolu işletmeleri temsilcileri ve çevre odaklı sivil toplum kuruluşu üyeleri arasından dengeli bir dağılımla belirlenmiştir. Bu çeşitlilik, uzman görüşlerinin homojen bir perspektife sıkışmasını engellemiş, daha kapsayıcı ve bütüncül bir analiz yapılmasına katkı sağlamıştır.

Üçüncü aşamada, belirlenen uzman adaylarıyla birebir iletişime geçilerek çalışmanın amacı, kapsamı, kullanılacak yöntemler ve katkı beklentileri detaylı şekilde paylaşılmıştır. Bu sayede uzmanların süreç hakkında bilgi sahibi olmaları sağlanmış, gönüllü ve bilinçli bir katılım teşvik edilmiştir. Katılımı kabul eden uzmanlara gizlilik

ilkeleri, veri kullanımı ve etik kurallar hakkında bilgi verilmiş; çalışma kapsamında yalnızca bilimsel amaçlarla veri kullanılacağı taahhüt edilmiştir.

Sonuç olarak, uzmanlar kurulu toplamda 6 kişiden oluşmaktadır. Bu kurulda yer alan uzmanlara ilişkin bilgiler aşağıdaki tabloda verilmektedir. Kurul üyelerinin çalışmaya sağladığı katkılar, kriterlerin belirlenmesi, ağırlıklandırma süreci ve alternatiflerin değerlendirilmesi aşamalarında metodolojik sağlamlık ve karar doğruluğu açısından son derece önemli bir rol oynamıştır.

Tablo 4.2 Uzmanlar Kurulu Üyeleri ve Profilleri

	YAŞ	BÖLÜM	TECRÜBE	UZMANLIK	EN SON GÖREVİ
DM1	43	Makine müh.	26 yıl	demiryolu	1.bölge müdürü
DM2	44	Endüstri mühendisi	25 yıl	demiryolu lojistiği	yolcu servis müdürü
DM3	62	İşletme	44 yıl	demiryolu lojistiği	yük servis müdürü
DM4	41	Elektrik Mühendisliği	14 Yıl	Demiryolu Araç Bakım	Araç Bakım Servis Müd.
DM5	48	Uluslararası Ticaret ve Loj.	20+	Demiryolu Lojistiği	DTD Genel Müdürü
DM6	39	Denizcilik Fakültesi	16-20	Lojistik	MEDLOG Lojistik Bölge Md.

Ardından uzmanların katıldıkları toplantılarda çalışmada değerlendirilecek strateji alternatifleri ve kriterler belirlendi. Stratejiler Tablo 5.2 belirlenen stratejileri göstermektedir.

Tablo 4.3 Belirlenen Yeşil Taşımacılık Stratejileri ve Tanımları

Kod	Strateji
ST1	Demiryolu Altyapısının Elektrifikasyonu ve Alternatif Enerji Kullanımı
ST2	Yeşil Finansman Modelleri ile Demiryolu Sürdürülebilirlik Projelerinin Desteklenmesi
ST3	Demiryolu ve Kentsel Toplu Taşıma Sistemlerinin Entegrasyonu
ST4	Akıllı Demiryolu Teknolojileri ile İşletme Verimliliğinin Artırılması
ST5	Demiryolu Yolcu Hizmetlerinde Enerji Verimliliği ve Geri Dönüşüm Uygulamaları
ST6	Yenilikçi Biletleme ve Teşvik Programları ile Yolcu Sayısının Artırılması
ST7	Karbon Ayak İzi Azaltımı İçin Yeşil Demiryolu Sertifikasyonu
ST8	Sürdürülebilir Lojistik ve Kargo Taşımacılığının Geliştirilmesi
ST9	Demiryolu Güzergahlarında Ağaçlandırma ve Yeşil Alan Projeleri
ST10	Yolcu Deneyimini Artıran Yeşil İstasyon Konseptleri
ST11	Demiryolu İşletmeciliğinde Döngüsel Ekonomi Uygulamaları
ST12	Demiryolu Endüstrisinde İleri Eğitim ve Bilinçlendirme Programları
ST13	Emisyon Bazlı Vergilendirme ve Teşvik Sistemlerinin Uygulanması

Tablo 5.3 ise stratejileri ele almak için dikkate alınması gereken kriterleri göstermektedir.

Tablo 4.4 Belirlenen Yeşil Taşımacılık ile ilgili Kriterler

Kod	Kriter
K1	Sera Gazı Emisyonlarını Azaltma Potansiyeli
K2	Ekonomik Fizibilite ve Maliyet Etkinliği
K3	Teknolojik Uygulanabilirlik ve Yenilikçilik
K4	Çevresel Sürdürülebilirlik ve Doğal Kaynak Koruma
K5	Sektörel ve Mevzuatsal Uyum
K6	Yolcu ve Kullanıcı Deneyimine Katkı
K7	Lojistik ve Operasyonel Verimlilik
K8	Sosyal Etki ve Toplumsal Kabul Görme
K9	Uygulama Süresi ve Zorluk Seviyesi
K10	Rekabet Gücünü Artırma Potansiyeli
K11	Enerji Kullanım Verimliliği
K12	Dijitalleşme ve Akıllı Ulaşım Sistemlerine Uyumluluk
K13	Kamu ve Özel Sektör İş Birliği Potansiyeli
K14	Demiryolu Taşımacılığının Bölgesel ve Uluslararası Bağlantıları Güçlendirme Yeteneği
K15	Yasal ve Politik Riskler

3.4TÜRK DEMİRYOLU SEKTÖRÜ VE PESTEL ANALİZİ

Türk demiryolu taşımacılık sektörünün Yeşil Mutabakat hedefleri doğrultusunda sürdürülebilirliğe yönelmesi, sektörün çevresel, ekonomik ve politik açılardan yeniden yapılandırılmasını gerektirmektedir. Bu bağlamda, sektörün mevcut durumunu ve dönüşüm potansiyelini analiz edebilmek için PESTEL çerçevesinde yapılan değerlendirme, stratejik kararların şekillendirilmesinde kritik bir rol üstlenmektedir.

Politik faktörler açısından, Türkiye'nin Avrupa Birliği ile olan gümrük birliği ilişkisi ve çevre politikalarındaki yaklaşma süreci, Yeşil Mutabakat'a uyum çabalarını doğrudan etkilemektedir. Hükümetin taşımacılıkta karbon salımını azaltmayı hedefleyen politika belgeleri ve ulaştırma ana planlarında demiryolu taşımacılığının payını artırma yönündeki iradesi, sektöre yönelik stratejik bir yönelim sunmaktadır. Ayrıca Türkiye'nin Paris İklim Anlaşması'nı onaylaması, emisyon azaltımı hedeflerinin kamu politikalarına entegre edilmesini zorunlu hale getirmiştir. Ancak sektörün kamu-özel iş birliği

modelleri ve AB uyum sürecindeki destek mekanizmalarının etkinliği, bu politikaların başarıya ulaşmasında belirleyici olacaktır.

Ekonomik faktörler bağlamında, demiryolu taşımacılığı geleneksel olarak kara taşımacılığına kıyasla daha düşük karbon ayak izi sunmasına rağmen, altyapı yatırımlarının yüksek maliyetli olması ekonomik sürdürülebilirliği zora sokmaktadır. Ancak artan karbon vergileri, emisyon ticaret sistemleri ve fosil yakıta bağımlı sektörlerin gelecekte karşılaşacağı mali yükler, yeşil taşımacılığa yapılan yatırımları uzun vadede daha ekonomik hale getirebilir. Lojistik sektöründe yeşil tedarik zinciri uygulamalarına olan talebin artması da demiryolunun rekabet gücünü destekleyici bir ekonomik unsur haline gelmektedir.

Sosyo-kültürel faktörler, sektörün toplumsal kabulü ve kamuoyu desteği açısından önem taşımaktadır. Son yıllarda sürdürülebilirlik ve çevre bilincinin kamuoyunda artması hem bireysel hem kurumsal düzeyde düşük emisyonlu ulaşım türlerine olan talebi artırmaktadır. Özellikle genç nüfusun çevresel duyarlılığı, taşımacılık tercihlerine de yansımaktadır. Bu toplumsal eğilimler, demiryolu taşımacılığı gibi çevre dostu alternatiflerin daha görünür ve talep edilir hale gelmesini sağlamaktadır. Öte yandan, demiryolu sistemlerine yönelik algıların modernize edilmesi ve hizmet kalitesinin artırılması, bu sosyo-kültürel dönüşümün sektöre olumlu katkı sağlamasını pekiştirecektir.

Teknolojik faktörler ise, demiryolu taşımacılığının sürdürülebilirlik hedefleriyle entegrasyonunda belirleyici bir rol üstlenmektedir. Elektrikli lokomotiflerin yaygınlaşması, enerji verimliliği yüksek hat teknolojileri, sinyalizasyon ve dijital kontrol sistemleri, karbon salımını azaltmaya yönelik önemli teknolojik çözümler sunmaktadır. Türkiye’de TCDD’nin yürüttüğü modernizasyon projeleri ve yerli üretim girişimleri (örneğin Milli Elektrikli Tren Projesi), sektörde teknolojik kapasitenin artırılmasına

yönelik olumlu adımlar olarak değerlendirilmektedir. Ancak bu teknolojilerin ülke genelinde yaygınlaştırılması için finansman, bakım altyapısı ve nitelikli insan kaynağı gibi alanlarda da yatırımların artırılması gerekmektedir.

Çevresel faktörler, Yeşil Mutabakat çerçevesinde doğrudan değerlendirilmesi gereken bir boyuttur. Demiryolu taşımacılığı, diğer taşımacılık modlarına kıyasla çok daha düşük sera gazı emisyonu üretmektedir ve bu özelliğiyle iklim değişikliğiyle mücadelede stratejik bir araç olarak görülmektedir. Türkiye'nin ulaşım kaynaklı emisyonlarını azaltma hedefi, demiryolu ağlarının yaygınlaştırılması ve modlar arası geçişlerin teşvikiyle doğrudan ilişkilidir. Ancak çevresel etkinin azaltılabilmesi için yalnızca taşımacılık türünün değiştirilmesi değil, aynı zamanda enerji kaynağının da temiz enerjiye dayandırılması gerekmektedir. Bu bağlamda, demiryollarının enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan karşılanması ve yeşil lojistik ilkelerine uygun terminal ve yükleme altyapılarının geliştirilmesi gereklidir.

Yasal faktörler kapsamında, Türkiye'nin Avrupa Birliği standartlarına uyum süreci çerçevesinde ulaştırma mevzuatında yapılan düzenlemeler ve çevresel yükümlülükler, demiryolu taşımacılığı sektörünü doğrudan etkilemektedir. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'nın yayınladığı "Türkiye Lojistik Master Planı" ve "Demiryolu Reformu Stratejisi", sektöre yönelik hukuki ve düzenleyici çerçevenin gelişmekte olduğunu göstermektedir. Ayrıca AB Yeşil Mutabakatı'nın yasal gereklilikleri, ihrac odaklı çalışan firmaların demiryolu gibi çevre dostu taşıma modlarına yönelmesini yasal bir zorunluluk haline getirmektedir. Bununla birlikte, sektörün karşı karşıya olduğu yasal boşluklar, denetim eksiklikleri ve düzenlemelerdeki uygulama farklılıkları, sürecin yavaş ilerlemesine yol açabilmektedir.

Sonuç olarak, Türk demiryolu taşımacılık sektörü, Yeşil Mutabakat'ın sunduğu dönüşüm fırsatlarını değerlendirme potansiyeline sahip olmakla birlikte, bu sürecin

başarılı olabilmesi için politika uyumu, finansal teşvikler, teknolojik modernizasyon ve toplumsal farkındalık gibi çok boyutlu faktörlerin bir arada ele alınması gerekmektedir. PESTEL analizi, bu dönüşüm sürecinin stratejik olarak yönlendirilmesi ve sektörde sürdürülebilirlik temelli kararların alınabilmesi açısından bütüncül bir çerçeve sunmaktadır. Aşağıdaki Tabloda Türk demiryolu endüstrisine yönelik belirlenen PESTEL faktörleri gösterilmektedir.

Tablo 4.5 Türk Demiryolu Endüstrisine İlişkin PESTEL Faktörleri

Faktör	Alt Faktör	Kod	Tanım
Siyasi	AB Yeşil Mutabakatı Uyum Süreci	PO1	Türkiye'nin AB sürdürülebilir ulaşım politikalarına uyum çabaları.
	Devlet Destekleri ve Teşvikler	PO2	Demiryolu yatırımları için sağlanan kamu teşvikleri ve sübvansiyonlar.
	Ulaştırma Politikaları	PO3	Demiryolu yolcu taşımacılığının artırılmasına yönelik ulusal stratejiler.
	Kamusal ve Özel Sektör Roller	PO4	Demiryolu yatırımlarında devlet ve özel sektör iş birlikleri.
Ekonomik	Yatırım Maliyetleri	EC1	Demiryolu elektrifikasyonu, altyapı yenileme ve sürdürülebilir ulaşım projeleri için maliyetler.
	Bilet Fiyatlandırması ve Maliyet Yapısı	EC2	Sürdürülebilirlik yatırımlarının bilet fiyatlarına ve işletme maliyetlerine etkisi.
	Demiryolu ile Rekabet Eden Taşımacılık Modları	EC3	Karayolu ve havayolu taşımacılığı ile rekabet koşulları.
	Yeşil Finansman Olanakları	EC4	AB fonları ve uluslararası sürdürülebilir ulaşım kredileri.
Sosyal	Yolcu Tercihleri ve Farkındalık	SC1	Halkın çevre dostu ulaşım alternatiflerine olan ilgisi.
	Şehirlerarası ve Kentsel Ulaşım Bağlantıları	SC2	Demiryollarının kent içi ulaşım sistemleriyle entegrasyonu.
	İstihdam ve İş Gücü Dönüşümü	SC3	Dijitalleşme ve otomasyonun demiryolu sektöründeki istihdama etkisi.
Teknolojik	Elektrifikasyon ve Alternatif Enerji Kaynakları	TE1	Elektrikli ve hidrojen yakıtlı trenlerin benimsenmesi.
	Dijitalleşme ve Akıllı Ulaşım Sistemleri	TE2	Demiryolu hizmetlerinde IoT, yapay zeka ve büyük veri kullanımı.
	Demiryolu Altyapısında Modernizasyon	TE3	Hızlı tren projeleri, sinyalizasyon ve güvenlik sistemleri iyileştirmeleri.
Çevresel	Karbon Emisyonlarının Azaltılması	EN1	Demiryollarının düşük karbonlu taşımacılık modeli olarak benimsenmesi.
	Enerji Verimliliği	EN2	Trenlerde rejeneratif frenleme, yenilenebilir enerji kullanımı.

	Arazi Kullanımı ve Doğal Kaynak Yönetimi	EN3	Yeni hat projelerinin çevresel etkilerinin azaltılması.
	Hava Kirliliği ve Gürültü Azaltma Çalışmaları	EN4	Şehir içi demiryolu projelerinde çevresel kirliliğin minimize edilmesi.
Legal (Yasal)	Ulusal ve Uluslararası Mevzuatlar	LE1	Türkiye'nin demiryolu sektöründe AB Yeşil Mutabakat uyumluluk süreci.
	Karbon Vergisi ve Emisyon Ticaret Sistemi (ETS)	LE2	Demiryolu işletmecilerinin karbon vergisi yükümlülükleri ve teşvikler.
	Güvenlik Standartları ve Düzenlemeler	LE3	Demiryolu araçları ve altyapısı için sürdürülebilir güvenlik standartları.

3.5 UZMAN AĞIRLIKLARININ HESAPLANMASI

Simic ve ark. tarafından önerilen prosedür. değerlendirme sürecinde görev alan uzmanların nispi ağırlık değerlerinin hesaplanması ve acil durum lojistik merkezlerinin değerlendirilmesi için yürütülecek bir analiz sürecine dahil edilmesi takip edilmiştir. Ancak önerilen modelde sadece uzmanların uzmanlık ve deneyimleri dikkate alınırken, bu çalışmada uzmanların özelliklerine ek olarak uzmanların yaşı ve üstlendikleri görevler de modele eklenmiştir. Uzmanların her bir özelliği, profesyonel olarak tanımlanan üç meslek mensubu tarafından ayrıntılı olarak değerlendirilmiş, gaziler ise Tablo 6'da verilen dil ölçeğinde yer alan dil terimlerini kullanarak uzmanların özelliklerini değerlendirmiştir (Simic et al., 2022). [Tablo 5.2'de](#) üst düzey yönetici olarak tanımlanan uzman ve meslek mensuplarının özelliklerine ilişkin elde edilen bilgiler ve gazilere yönelik değerlendirmeler yer almaktadır.

Tablo 4.6 Uzmanların ağırlıklarına ilişkin değerlendirmeler

E1	Graduation	Degree	Duty	Experience
DM1	VG	MG	VG	G
DM2	G	G	VG	G
DM3	MG	MG	VG	VG
DM4	G	MP	VG	MG
DM5	MG	VG	VG	VG
DM6	MP	VG	VG	G
E2	Graduation	Degree	Duty	Experience
DM1	M	MG	VG	G
DM2	MG	G	M	G
DM3	P	MG	MG	VG

DM4	P	MP	MG	MG
DM5	VG	VG	VG	VG
DM6	M	VG	VG	G
E3	Graduation	Degree	Duty	Experience
DM1	G	G	VG	G
DM2	VG	G	VG	G
DM3	M	MG	VG	VG
DM4	MG	MP	VG	MG
DM5	G	VG	G	VG
DM6	MG	VG	G	G

Tablo 7'de verilen matrislerdeki dilbilimsel terimler, Tablo 6'da sunulan dilbilimsel değerlendirme ölçeğine karşılık gelen T2NFN'lere dönüştürülmüştür. Daha sonra uzmanların "Mezuniyet, Derece, Görev ve Deneyim" özellikleri eşit ağırlıklı, $g_1 = g_2 = g_3 = g_4 = 0.25$ olarak kullanılmış ve bu T2NFN'ler Eşitlik (9) yardımıyla T2NNWA operatörüne göre birleştirilmiştir. Üç profesyonel değerlendirme için elde edilen T2-NFN formundaki matris elemanları, Eşitlik (8) yardımıyla puan değerlerine dönüştürüldü ve normalize edildi. Son aşamada geometrik ortalama alınmış, her bir uzman için ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Tablo 8, bu işlem aşamasındaki hesaplamaları ve uzman ağırlıklarını sunmaktadır. Daha sonra, her uzmanın ağırlığı, her uzmanın itibarını temsil eder ve bu da Eşitlik (11) kullanılarak belirlenir.

Tablo 4.7 Uzmanların göreceli ağırlıkları ve skor değerleri

	PR1		PR2		PR3			
	SD	W	SD	W	SD	W	FD	AD
DM1	0.710	0.179	0.655	0.182	0.575	0.178	0.180	0.180
DM2	0.520	0.132	0.458	0.127	0.393	0.122	0.127	0.127
DM3	0.710	0.179	0.655	0.182	0.575	0.178	0.180	0.180
DM4	0.611	0.155	0.520	0.144	0.458	0.142	0.147	0.147
DM5	0.520	0.132	0.458	0.127	0.393	0.122	0.127	0.127
DM6	0.883	0.223	0.863	0.239	0.830	0.257	0.240	0.240

Burada AD uzmanlara ilişkin nihai ağırlık değerlerini göstermektedir.

3.6 KRİTER AĞIRLIKLARININ HESAPLANMASI

Bu bölüm, kriterlerin objektif ve subjektif ağırlık değerlerinin hesaplanması ve bu iki ağırlık setinin birleştirilmesiyle elde edilen sonuçları sunmaktadır. İlk olarak, kriterlerin öznel ağırlıkları, aşağıda özetlenen önerilen prosedür kullanılarak belirlendi.

Kriterlerin subjektif ağırlıklarını hesaplamak için T2-NFN setlerine dayalı temel prosedür izlendi. Bunun için aşağıda gösterildiği gibi dört adımdan oluşan önerilen yaklaşım izlenmiştir.

Adım 1: Uzmanlar, Tablo 7'de verilen değerlendirme ölçeğinde belirtilen dilsel terimlere dayanarak, demiryolunda en uygun yeşil taşıma stratejilerini belirlemek için dikakte alınan kriterlerini değerlendirdi. Tablo 9, üç uzman tarafından değerlendirilen kriterlerin ve alt kriterlerin dilbilimsel değerlendirmelerini özetlemektedir.

Tablo 4.8 Uzmanların kriterlere ilişkin değerlendirmeleri

KOD	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6
K1	WI	WI	WI	EI	WI	WI
K2	EI	EI	SI	WI	WI	EI
K3	WI	EI	WI	WI	EI	WI
K4	EI	WI	WI	WI	WI	WI
K5	SI	EI	WI	EI	EI	WI
K6	SI	WI	SI	EI	EI	EI
K7	EI	WI	EI	EI	EI	WI
K8	EI	EI	EI	EI	EI	EI
K9	VSI	SI	SI	SI	EI	EI
K10	EI	SI	EI	SI	WI	EI
K11	EI	WI	WI	WI	WI	WI
K12	EI	EI	WI	WI	EI	WI
K13	EI	SI	WI	WI	WI	EI
K14	WI	EI	SI	WI	WI	EI
K15	SI	EI	SI	WI	EI	EI

Adım 2: Karar vericilerin (DM'ler) ifade ettiği tercihlere dayalı olarak her bir kriter için dilbilimsel değerlendirmeler daha sonra Tip-2 Normal Bulanık Sayılara (T2NFN'ler) dönüştürüldü. Daha sonra ana kriter ve alt kriterler için ayrı ayrı puan değerleri hesaplanmıştır. Bu puanlar daha sonra normalize edilerek kriterler ve alt kriterler için

ağırlık değerlerinin belirlenmesine olanak sağlandı.

Adım 3–4: Son aşamada, Denklem 20 kullanılarak, kriterlerin nispi ağırlık değerleri, ilgili kategorilerindeki alt kriterlerin ağırlık değerleri ile çarpıldı ve alt kriterler için küresel ağırlık katsayılarının hesaplanması sağlandı. Tablo 5.5’te tüm kriterler için ağırlık değerleri ve önemlerine göre kriter sıralaması yer almaktadır.



Tablo 4.9 Skor değerler ve kriterlerin nihai ağırlık değerleri

	T			I			F				
	T	I	F	T	I	F	T	I	F	SkorV	NORM-W
C1	0.230	0.300	0.207	0.423	0.322	0.271	0.550	0.272	0.281	0.527	0.072
C2	0.396	0.348	0.295	0.515	0.424	0.473	0.568	0.396	0.434	0.480	0.066
C3	0.279	0.300	0.218	0.459	0.358	0.377	0.550	0.308	0.329	0.504	0.069
C4	0.239	0.300	0.209	0.429	0.329	0.291	0.550	0.279	0.289	0.523	0.072
C5	0.399	0.352	0.299	0.515	0.425	0.468	0.569	0.398	0.436	0.481	0.066
C6	0.474	0.396	0.361	0.546	0.464	0.499	0.586	0.456	0.501	0.471	0.065
C7	0.338	0.300	0.233	0.504	0.403	0.493	0.550	0.352	0.389	0.477	0.065
C8	0.400	0.300	0.250	0.550	0.450	0.600	0.550	0.400	0.450	0.450	0.062
C9	0.614	0.523	0.496	0.630	0.600	0.559	0.669	0.636	0.626	0.433	0.059
C10	0.462	0.388	0.350	0.541	0.458	0.497	0.583	0.447	0.492	0.472	0.065
C11	0.239	0.300	0.209	0.429	0.329	0.291	0.550	0.279	0.289	0.523	0.072
C12	0.314	0.300	0.227	0.486	0.385	0.448	0.550	0.334	0.365	0.488	0.067
C13	0.371	0.351	0.291	0.493	0.403	0.409	0.569	0.376	0.408	0.494	0.068
C14	0.365	0.348	0.287	0.490	0.400	0.406	0.568	0.372	0.403	0.495	0.068
C15	0.479	0.396	0.362	0.550	0.469	0.512	0.586	0.460	0.507	0.468	0.064

Tablonun son sütununda yer alan değerler her bir kriter için subjektif kriter ağırlıklarını göstermektedir. Subjektif ağırlık değerleri belirlendikten sonra SPC yöntemi yardımıyla kriterlerin objektif ağırlıkları belirlenmiştir. Bunun için aşağıda gösterilen ilk karar matrisi T2NFN kümelerin temel uygulama adımları sonucu elde edilir.

Tablo 4.10 İlk Karar Matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Min
ST1	0.704	0.624	0.742	0.773	0.609	0.666	0.742	0.604	0.742	0.677	0.719	0.584	0.719	0.742	0.570
ST2	0.773	0.666	0.659	0.710	0.719	0.596	0.666	0.728	0.506	0.570	0.780	0.509	0.780	0.666	0.489
ST3	0.594	0.742	0.701	0.650	0.581	0.742	0.780	0.699	0.704	0.706	0.541	0.752	0.719	0.801	0.742
ST4	0.458	0.558	0.666	0.554	0.458	0.558	0.590	0.609	0.558	0.617	0.609	0.568	0.594	0.628	0.467
ST5	0.628	0.495	0.666	0.609	0.479	0.522	0.609	0.563	0.459	0.558	0.541	0.520	0.609	0.590	0.400
ST6	0.746	0.859	0.805	0.732	0.780	0.786	0.780	0.695	0.817	0.789	0.780	0.805	0.801	0.767	0.769
ST7	0.742	0.710	0.742	0.719	0.719	0.659	0.719	0.666	0.742	0.742	0.780	0.742	0.719	0.639	0.659
ST8	0.609	0.666	0.596	0.685	0.571	0.666	0.522	0.459	0.666	0.592	0.719	0.558	0.554	0.508	0.666
ST9	0.761	0.786	0.817	0.780	0.780	0.805	0.761	0.780	0.747	0.881	0.749	0.797	0.704	0.746	0.722
ST10	0.554	0.558	0.666	0.609	0.458	0.495	0.609	0.554	0.666	0.626	0.608	0.558	0.522	0.552	0.558
ST11	0.628	0.701	0.752	0.705	0.719	0.704	0.773	0.689	0.729	0.641	0.719	0.666	0.630	0.639	0.742
ST12	0.754	0.580	0.635	0.522	0.458	0.459	0.609	0.644	0.558	0.580	0.609	0.580	0.611	0.609	0.629
ST13	0.719	0.752	0.714	0.717	0.676	0.742	0.630	0.742	0.763	0.704	0.719	0.596	0.661	0.707	0.742
Max	0.773	0.859	0.817	0.780	0.780	0.805	0.780	0.780	0.817	0.881	0.780	0.805	0.801	0.801	0.769
Min	0.458	0.495	0.596	0.522	0.458	0.459	0.522	0.459	0.459	0.558	0.541	0.509	0.522	0.508	0.400
SPC	0.616	0.677	0.706	0.651	0.619	0.632	0.651	0.620	0.638	0.720	0.660	0.657	0.662	0.654	0.584

Her bir kriterle ilgili alternatiflerin performans değerleri için simetri noktası elde

edilmiştir. Bunun için eşitlik 15’den yararlanılır. Ardından eşitlik 17 kullanılarak eleman değerleri hesaplanan Mutlak mesafe matrisi (ADM) oluşturulmuştur.

Tablo 4.11 Mutlak mesafe matrisi (ADM)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Min
ST1	0.704	0.624	0.742	0.773	0.609	0.666	0.742	0.604	0.742	0.677	0.719	0.584	0.719	0.742	0.570
ST2	0.773	0.666	0.659	0.710	0.719	0.596	0.666	0.728	0.506	0.570	0.780	0.509	0.780	0.666	0.489
ST3	0.594	0.742	0.701	0.650	0.581	0.742	0.780	0.699	0.704	0.706	0.541	0.752	0.719	0.801	0.742
ST4	0.458	0.558	0.666	0.554	0.458	0.558	0.590	0.609	0.558	0.617	0.609	0.568	0.594	0.628	0.467
ST5	0.628	0.495	0.666	0.609	0.479	0.522	0.609	0.563	0.459	0.558	0.541	0.520	0.609	0.590	0.400
ST6	0.746	0.859	0.805	0.732	0.780	0.786	0.780	0.695	0.817	0.789	0.780	0.805	0.801	0.767	0.769
ST7	0.742	0.710	0.742	0.719	0.719	0.659	0.719	0.666	0.742	0.742	0.780	0.742	0.719	0.639	0.659
ST8	0.609	0.666	0.596	0.685	0.571	0.666	0.522	0.459	0.666	0.592	0.719	0.558	0.554	0.508	0.666
ST9	0.761	0.786	0.817	0.780	0.780	0.805	0.761	0.780	0.747	0.881	0.749	0.797	0.704	0.746	0.722
ST10	0.554	0.558	0.666	0.609	0.458	0.495	0.609	0.554	0.666	0.626	0.608	0.558	0.522	0.552	0.558
ST11	0.628	0.701	0.752	0.705	0.719	0.704	0.773	0.689	0.729	0.641	0.719	0.666	0.630	0.639	0.742
ST12	0.754	0.580	0.635	0.522	0.458	0.459	0.609	0.644	0.558	0.580	0.609	0.580	0.611	0.609	0.629
ST13	0.719	0.752	0.714	0.717	0.676	0.742	0.630	0.742	0.763	0.704	0.719	0.596	0.661	0.707	0.742

Bir sonraki adımda eşitlik 18 yardımıyla Simetri modülünün matrisini oluşturulmuştur.

Tablo 4.12 Oluşturulan Simetri Modülü

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Min
ST1	0.088	0.053	0.036	0.123	0.010	0.034	0.091	0.015	0.104	0.043	0.059	0.073	0.058	0.087	0.014
ST2	0.158	0.011	0.047	0.059	0.100	0.036	0.015	0.108	0.132	0.150	0.120	0.148	0.118	0.012	0.095
ST3	0.022	0.065	0.005	0.001	0.038	0.110	0.129	0.080	0.066	0.014	0.119	0.095	0.058	0.147	0.158
ST4	0.158	0.119	0.040	0.097	0.161	0.074	0.061	0.010	0.080	0.103	0.051	0.088	0.068	0.026	0.117
ST5	0.012	0.182	0.040	0.042	0.140	0.110	0.042	0.057	0.179	0.162	0.120	0.136	0.052	0.064	0.185
ST6	0.130	0.182	0.099	0.081	0.161	0.154	0.129	0.075	0.179	0.070	0.120	0.148	0.140	0.113	0.185
ST7	0.126	0.033	0.036	0.069	0.100	0.027	0.069	0.047	0.104	0.022	0.120	0.085	0.058	0.015	0.075
ST8	0.007	0.011	0.110	0.034	0.048	0.034	0.129	0.160	0.028	0.128	0.059	0.099	0.108	0.147	0.082
ST9	0.145	0.109	0.110	0.129	0.161	0.173	0.110	0.160	0.109	0.162	0.089	0.141	0.043	0.091	0.138
ST10	0.062	0.119	0.040	0.042	0.161	0.137	0.042	0.066	0.028	0.094	0.052	0.098	0.140	0.102	0.026
ST11	0.012	0.024	0.045	0.054	0.100	0.072	0.123	0.070	0.091	0.078	0.059	0.009	0.032	0.015	0.158
ST12	0.138	0.097	0.071	0.129	0.161	0.173	0.042	0.024	0.080	0.140	0.051	0.077	0.050	0.045	0.045
ST13	0.104	0.075	0.008	0.066	0.057	0.110	0.021	0.122	0.125	0.016	0.059	0.061	0.001	0.052	0.158
Sum	1.162	1.079	0.687	0.925	1.400	1.245	1.002	0.995	1.305	1.179	1.078	1.258	0.924	0.917	1.435
Sum/m	0.089	0.083	0.053	0.071	0.108	0.096	0.077	0.077	0.100	0.091	0.083	0.097	0.071	0.071	0.110

Sonraki uygulama adımları takip edilerek Adım 8 Simetri kriterinin modülünü hesaplanmıştır. Bunun için eşitlik 19’dan faydalanılmış, ardından adım 9 da kriterlerin objektif ağırlıkları hesaplanmıştır.

Tablo 4.13 Simetri kriterinin modülü ve objektif kriter ağırlıkları

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Min
ST1	0.127	0.133	0.071	0.092	0.177	0.144	0.104	0.127	0.135	0.134	0.115	0.166	0.099	0.095	0.194
ST2	0.116	0.125	0.080	0.100	0.150	0.161	0.116	0.105	0.198	0.159	0.106	0.190	0.091	0.106	0.226
ST3	0.151	0.112	0.075	0.110	0.185	0.129	0.099	0.109	0.143	0.128	0.153	0.129	0.099	0.088	0.149
ST4	0.195	0.149	0.079	0.128	0.235	0.172	0.131	0.126	0.180	0.147	0.136	0.170	0.120	0.112	0.236
ST5	0.142	0.168	0.079	0.117	0.225	0.184	0.127	0.136	0.219	0.162	0.153	0.186	0.117	0.120	0.276
ST6	0.120	0.097	0.066	0.097	0.138	0.122	0.099	0.110	0.123	0.115	0.106	0.120	0.089	0.092	0.144
ST7	0.121	0.117	0.071	0.099	0.150	0.145	0.107	0.115	0.135	0.122	0.106	0.130	0.099	0.110	0.167
ST8	0.147	0.125	0.089	0.104	0.189	0.144	0.148	0.167	0.151	0.153	0.115	0.174	0.128	0.139	0.166
ST9	0.117	0.106	0.065	0.091	0.138	0.119	0.101	0.098	0.134	0.103	0.111	0.121	0.101	0.095	0.153
ST10	0.161	0.149	0.079	0.117	0.235	0.193	0.127	0.138	0.151	0.145	0.136	0.173	0.136	0.128	0.198
ST11	0.142	0.118	0.070	0.101	0.150	0.136	0.100	0.111	0.138	0.141	0.115	0.145	0.113	0.110	0.149
ST12	0.119	0.143	0.083	0.136	0.235	0.209	0.127	0.119	0.180	0.156	0.136	0.167	0.116	0.116	0.176
ST13	0.124	0.110	0.074	0.099	0.159	0.129	0.122	0.103	0.132	0.129	0.115	0.163	0.108	0.100	0.149
Q	0.137	0.127	0.076	0.107	0.182	0.153	0.116	0.120	0.155	0.138	0.124	0.157	0.109	0.109	0.183
Wj	0.069	0.064	0.038	0.054	0.091	0.077	0.058	0.060	0.078	0.069	0.062	0.079	0.055	0.054	0.092

Matris'in en alt satırı kriterlerin objektif ağırlıklarını göstermektedir. Ardından bu değerler parametresi yardımıyla birleştirilmiş ve kriterlere ilişkin nihai ağırlıklar hesaplanmıştır.

Tablo 4.14 Kriterlerin objektif, subjektif ve Nihai ağırlıkları ile Sıralamaları

	SPC	Subj	Final Weights	Rank
C1	0.06884	0.07234	0.07059	5
C2	0.06376	0.06584	0.06480	9
C3	0.03793	0.06918	0.05356	15
C4	0.05376	0.07176	0.06276	10
C5	0.09135	0.06597	0.07866	1
C6	0.07671	0.06468	0.07069	4
C7	0.05815	0.06549	0.06182	11
C8	0.06043	0.06176	0.06110	14
C9	0.07793	0.05948	0.06870	6
C10	0.06935	0.06480	0.06707	7
C11	0.06204	0.07176	0.06690	8
C12	0.07861	0.06697	0.07279	3
C13	0.05468	0.06779	0.06123	12
C14	0.05449	0.06792	0.06120	13
C15	0.09197	0.06428	0.07812	2

Yukarıdaki tabloya göre C5 “Sektörel ve Mevzuatsal Uyum” en etkili ve önemli kriter olarak belirlenmiştir. Bunu sırasıyla C15 “Yasal ve Politik Riskler” ile C12 “Dijitalleşme

ve Akıllı Ulaşım Sistemlerine Uyumluluk” kriterleri izlemektedir. Diğer kriterler ise farklı ağırlık değerleri alarak K6 “Yolcu ve Kullanıcı Deneyimine Katkı” > “K1 “Sera Gazı Emisyonlarını Azaltma Potansiyeli” > “K9 “Uygulama Süresi ve Zorluk Seviyesi” > “K10 “Rekabet Gücünü Artırma Potansiyeli” > “ K11 “Enerji Kullanım Verimliliği” > “K2 “Ekonomik Fizibilite ve Maliyet Etkinliği” > “K4 “Çevresel Sürdürülebilirlik ve Doğal Kaynak Koruma” > “K7 “Lojistik ve Operasyonel Verimlilik” > “K13 “Kamu ve Özel Sektör İş Birliği Potansiyeli” > “K14 “Demiryolu Taşımacılığının Bölgesel ve Uluslararası Bağlantıları Güçlendirme Yeteneği” > “ K8 Sosyal Etki ve Toplumsal Kabul Görme” > “K3 Teknolojik Uygulanabilirlik ve Yenilikçilik” şeklinde sıralanmışlardır.

3.7 STRATEJİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu aşamada CRADIS yönteminin uygulama adımları takip edilerek yeşil taşımacılık stratejileri değerlendirilmiş ve önceliklendirilmiştir. İlk olarak SPC yönteminde kullanılan ilk karar matrisi kullanılmış ardından bu matris elemanları eşitlik 21 yardımıyla normalize edilmiştir. Tablo 5.10 normalize karar matrisini göstermektedir.

Tablo 4.14 Normalize Karar Matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Min
ST1	0.704	0.624	0.742	0.773	0.609	0.666	0.742	0.604	0.742	0.677	0.719	0.584	0.719	0.742	0.570
ST2	0.773	0.666	0.659	0.710	0.719	0.596	0.666	0.728	0.506	0.570	0.780	0.509	0.780	0.666	0.489
ST3	0.594	0.742	0.701	0.650	0.581	0.742	0.780	0.699	0.704	0.706	0.541	0.752	0.719	0.801	0.742
ST4	0.458	0.558	0.666	0.554	0.458	0.558	0.590	0.609	0.558	0.617	0.609	0.568	0.594	0.628	0.467
ST5	0.628	0.495	0.666	0.609	0.479	0.522	0.609	0.563	0.459	0.558	0.541	0.520	0.609	0.590	0.400
ST6	0.746	0.859	0.805	0.732	0.780	0.786	0.780	0.695	0.817	0.789	0.780	0.805	0.801	0.767	0.769
ST7	0.742	0.710	0.742	0.719	0.719	0.659	0.719	0.666	0.742	0.742	0.780	0.742	0.719	0.639	0.659
ST8	0.609	0.666	0.596	0.685	0.571	0.666	0.522	0.459	0.666	0.592	0.719	0.558	0.554	0.508	0.666
ST9	0.761	0.786	0.817	0.780	0.780	0.805	0.761	0.780	0.747	0.881	0.749	0.797	0.704	0.746	0.722
ST10	0.554	0.558	0.666	0.609	0.458	0.495	0.609	0.554	0.666	0.626	0.608	0.558	0.522	0.552	0.558
ST11	0.628	0.701	0.752	0.705	0.719	0.704	0.773	0.689	0.729	0.641	0.719	0.666	0.630	0.639	0.742
ST12	0.754	0.580	0.635	0.522	0.458	0.459	0.609	0.644	0.558	0.580	0.609	0.580	0.611	0.609	0.629
ST13	0.719	0.752	0.714	0.717	0.676	0.742	0.630	0.742	0.763	0.704	0.719	0.596	0.661	0.707	0.742

Ardından oluşturulan normalize matrisin elemanları belirlenen kriter ağırlıkları ile çarpılmış ve ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi oluşturulmuştur. Tablo 5.11 ağırlıklandırılmış normalize matrisi göstermektedir. Ardından her bir vektörde yer alan ideal ve anti-ideal değerler belirlenmiştir.

Tablo 4.15 Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Min	Max	Max	Max	Max	Max	Min
ST1	0.050	0.040	0.040	0.049	0.048	0.047	0.046	0.037	0.051	0.045	0.048	0.043	0.044	0.045	0.045
ST2	0.055	0.043	0.035	0.045	0.057	0.042	0.041	0.044	0.035	0.038	0.052	0.037	0.048	0.041	0.038
ST3	0.042	0.048	0.038	0.041	0.046	0.052	0.048	0.043	0.048	0.047	0.036	0.055	0.044	0.049	0.058
ST4	0.032	0.036	0.036	0.035	0.036	0.039	0.036	0.037	0.038	0.041	0.041	0.041	0.036	0.038	0.036
ST5	0.044	0.032	0.036	0.038	0.038	0.037	0.038	0.034	0.032	0.037	0.036	0.038	0.037	0.036	0.031
ST6	0.053	0.056	0.043	0.046	0.061	0.056	0.048	0.042	0.056	0.053	0.052	0.059	0.049	0.047	0.060
ST7	0.052	0.046	0.040	0.045	0.057	0.047	0.044	0.041	0.051	0.050	0.052	0.054	0.044	0.039	0.051
ST8	0.043	0.043	0.032	0.043	0.045	0.047	0.032	0.028	0.046	0.040	0.048	0.041	0.034	0.031	0.052
ST9	0.054	0.051	0.044	0.049	0.061	0.057	0.047	0.048	0.051	0.059	0.050	0.058	0.043	0.046	0.056
ST10	0.039	0.036	0.036	0.038	0.036	0.035	0.038	0.034	0.046	0.042	0.041	0.041	0.032	0.034	0.044
ST11	0.044	0.045	0.040	0.044	0.057	0.050	0.048	0.042	0.050	0.043	0.048	0.048	0.039	0.039	0.058
ST12	0.053	0.038	0.034	0.033	0.036	0.032	0.038	0.039	0.038	0.039	0.041	0.042	0.037	0.037	0.049
ST13	0.051	0.049	0.038	0.045	0.053	0.052	0.039	0.045	0.052	0.047	0.048	0.043	0.040	0.043	0.058
ID	0.055	0.056	0.044	0.049	0.061	0.057	0.048	0.048	0.056	0.059	0.052	0.059	0.049	0.049	0.060
AID	0.055	0.056	0.044	0.049	0.061	0.057	0.048	0.048	0.056	0.059	0.052	0.059	0.049	0.049	0.060

Ardından (Adım 13) İdeal ve anti-ideal çözümlerden sapmalar hesaplanmıştır. Tablo 5.12 ideal değerlerden sapmaları gösterirken, Tablo 5.13 anti-ideal değerlerden sapmaları

göstermektedir.

Tablo 4.16 İdeal değerlerden sapmalar ve toplam sapma

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	Si+	Ki+
ST1	0.005	0.015	0.004	0.000	0.013	0.010	0.002	0.011	0.005	0.014	0.004	0.016	0.005	0.004	0.016	0.124	0.164
ST2	0.000	0.012	0.008	0.004	0.005	0.015	0.007	0.003	0.021	0.021	0.000	0.022	0.001	0.008	0.022	0.150	0.136
ST3	0.013	0.008	0.006	0.008	0.016	0.004	0.000	0.005	0.008	0.012	0.016	0.004	0.005	0.000	0.002	0.106	0.192
ST4	0.022	0.019	0.008	0.014	0.025	0.017	0.012	0.010	0.018	0.018	0.011	0.017	0.013	0.011	0.024	0.240	0.085
ST5	0.010	0.024	0.008	0.011	0.024	0.020	0.011	0.013	0.025	0.022	0.016	0.021	0.012	0.013	0.029	0.257	0.079
ST6	0.002	0.000	0.001	0.003	0.000	0.001	0.000	0.005	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.020	1.000
ST7	0.002	0.010	0.004	0.004	0.005	0.010	0.004	0.007	0.005	0.009	0.000	0.005	0.005	0.010	0.009	0.088	0.232
ST8	0.012	0.012	0.012	0.006	0.016	0.010	0.016	0.020	0.010	0.019	0.004	0.018	0.015	0.018	0.008	0.197	0.104
ST9	0.001	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.005	0.000	0.002	0.001	0.006	0.003	0.004	0.027	0.753
ST10	0.016	0.019	0.008	0.011	0.025	0.022	0.011	0.014	0.010	0.017	0.012	0.018	0.017	0.015	0.016	0.231	0.088
ST11	0.010	0.010	0.003	0.005	0.005	0.007	0.000	0.006	0.006	0.016	0.004	0.010	0.010	0.010	0.002	0.105	0.194
ST12	0.001	0.018	0.010	0.016	0.025	0.024	0.011	0.008	0.018	0.020	0.011	0.016	0.012	0.012	0.011	0.214	0.095
ST13	0.004	0.007	0.006	0.004	0.008	0.004	0.009	0.002	0.004	0.012	0.004	0.015	0.009	0.006	0.002	0.096	0.213

Tablo 4.17 Anti- İdeal değerlerden sapmalar ve toplam sapma

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	Si-	Ki-
ST1	-0.005	-0.015	-0.004	0.000	-0.013	-0.010	-0.002	-0.011	-0.005	-0.014	-0.004	-0.016	-0.005	-0.004	-0.016	-0.124	0.164
ST2	0.000	-0.012	-0.008	-0.004	-0.005	-0.015	-0.007	-0.003	-0.021	-0.021	0.000	-0.022	-0.001	-0.008	-0.022	-0.150	0.136
ST3	-0.013	-0.008	-0.006	-0.008	-0.016	-0.004	0.000	-0.005	-0.008	-0.012	-0.016	-0.004	-0.005	0.000	-0.002	-0.106	0.192
ST4	-0.022	-0.019	-0.008	-0.014	-0.025	-0.017	-0.012	-0.010	-0.018	-0.018	-0.011	-0.017	-0.013	-0.011	-0.024	-0.240	0.085
ST5	-0.010	-0.024	-0.008	-0.011	-0.024	-0.020	-0.011	-0.013	-0.025	-0.022	-0.016	-0.021	-0.012	-0.013	-0.029	-0.257	0.079
ST6	-0.002	0.000	-0.001	-0.003	0.000	-0.001	0.000	-0.005	0.000	-0.006	0.000	0.000	0.000	-0.002	0.000	-0.020	1.000
ST7	-0.002	-0.010	-0.004	-0.004	-0.005	-0.010	-0.004	-0.007	-0.005	-0.009	0.000	-0.005	-0.005	-0.010	-0.009	-0.088	0.232
ST8	-0.012	-0.012	-0.012	-0.006	-0.016	-0.010	-0.016	-0.020	-0.010	-0.019	-0.004	-0.018	-0.015	-0.018	-0.008	-0.197	0.104
ST9	-0.001	-0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000	-0.005	0.000	-0.002	-0.001	-0.006	-0.003	-0.004	-0.027	0.753
ST10	-0.016	-0.019	-0.008	-0.011	-0.025	-0.022	-0.011	-0.014	-0.010	-0.017	-0.012	-0.018	-0.017	-0.015	-0.016	-0.231	0.088
ST11	-0.010	-0.010	-0.003	-0.005	-0.005	-0.007	0.000	-0.006	-0.006	-0.016	-0.004	-0.010	-0.010	-0.010	-0.002	-0.105	0.194
ST12	-0.001	-0.018	-0.010	-0.016	-0.025	-0.024	-0.011	-0.008	-0.018	-0.020	-0.011	-0.016	-0.012	-0.012	-0.011	-0.214	0.095
ST13	-0.004	-0.007	-0.006	-0.004	-0.008	-0.004	-0.009	-0.002	-0.004	-0.012	-0.004	-0.015	-0.009	-0.006	-0.002	-0.096	0.213

Nihai olarak alternatiflerin değerlendirme puanını (AS) eşitlik 29 yardımıyla belirlenmiştir.

Tablo 4.18 Anti- İdeal değerlerden sapmalar ve toplam sapma

	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9	ST10	ST11	ST12	ST13
Qi	0.1644	0.1357	0.1923	0.0850	0.0794	1.0000	0.2319	0.1037	0.7528	0.0882	0.1939	0.0952	0.2129
Sıra	7	8	6	12	13	1	3	9	2	11	5	10	4

Tablo 5.13'ten de anlaşılabileceği gibi en öncelikli ve etkili yeşil taşımacılık stratejisi ST6 “Yenilikçi Biletleme ve Teşvik Programları ile Yolcu Sayısının Artırılması” olarak belirlenmiştir. Bunu sırasıyla ST9 “Demiryolu Güzergahlarında Ağaçlandırma ve

Yeşil Alan Projeleri” ile ST7 “Karbon Ayak İzi Azaltımı İçin Yeşil Demiryolu Sertifikasyonu” stratejileri izlemiştir. Diğer stratejiler farklı göreceli önem skoru olarak ST13 “Emisyon Bazlı Vergilendirme ve Teşvik Sistemlerinin Uygulanması” > ST11 “Demiryolu İşletmeciliğinde Döngüsel Ekonomi Uygulamaları” > ST3 “Demiryolu ve Kentsel Toplu Taşıma Sistemlerinin Entegrasyonu” > ST1 “Demiryolu Altyapısının Elektrifikasyonu ve Alternatif Enerji Kullanımı” > ST2 “Yeşil Finansman Modelleri ile Demiryolu Sürdürülebilirlik Projelerinin Desteklenmesi” > ST8 “Sürdürülebilir Lojistik ve Kargo Taşımacılığının Geliştirilmesi” > ST12 “Demiryolu Endüstrisinde İleri Eğitim ve Bilinçlendirme Programları” > ST10 “Yolcu Deneyimini Artıran Yeşil İstasyon Konseptleri” > ST4 “Akıllı Demiryolu Teknolojileri ile İşletme Verimliliğinin Artırılması” > ST5 “Demiryolu Yolcu Hizmetlerinde Enerji Verimliliği ve Geri Dönüşüm Uygulamaları şeklinde sıralanmışlardır.

4 SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Küresel ölçekte iklim değişikliğinin etkilerinin artmasıyla birlikte, ulaşım sektörünün çevresel sürdürülebilirlik bağlamında dönüştürülmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu dönüşüm sürecinde demiryolu taşımacılığı, düşük karbon salımı, yüksek enerji verimliliği ve çevresel etkilerin azaltılması gibi avantajlarıyla öne çıkan stratejik bir ulaşım modu olarak değerlendirilmektedir. Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın ortaya koyduğu hedefler doğrultusunda, ulaşım sektöründe karbon emisyonlarının radikal biçimde azaltılması ve daha sürdürülebilir taşıma alternatiflerinin benimsenmesi zorunlu hale gelmiştir. Türkiye gibi, Avrupa pazarlarıyla yoğun ticaret ilişkileri bulunan ülkelerde, bu dönüşüme uyum sağlamak yalnızca çevresel fayda değil aynı zamanda ekonomik sürdürülebilirlik ve rekabet gücü açısından da kritik önemdedir. Bu bağlamda, Türk demiryolu taşımacılığı sektörünün çevreye duyarlı ve stratejik kararlarla yeniden yapılandırılması bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Yeşil taşımacılık stratejilerinin geliştirilmesi ve bu stratejiler arasında önceliklendirme yapılması süreci, çok boyutlu bir karar problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevresel etkilerin yanı sıra ekonomik maliyetler, teknolojik uygulanabilirlik, sosyal kabul ve operasyonel sürdürülebilirlik gibi birden fazla kriterin aynı anda dikkate alınması gerekmektedir. Bu bağlamda, yalnızca teknik analizlerle karar verilmesi yeterli olmayıp, aynı zamanda uzman görüşlerinin, sektörel dinamiklerin ve geleceğe yönelik belirsizliklerin de karar süreçlerine entegre edilmesi gerekmektedir. Özellikle yeşil stratejilerin uzun vadeli etkileri, altyapı gereksinimleri ve dönüşüm maliyetleri gibi unsurlar düşünüldüğünde, bu karar probleminin basit bir seçim süreci değil; çok kriterli, bütüncül ve esnek bir karar destek yaklaşımı gerektirdiği anlaşılmaktadır.

Bu tez çalışması, söz konusu karar problemini sistematik ve metodolojik olarak ele alarak, sektörel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için stratejik yönlendirme sağlamayı amaçlamaktadır. Tip-2 Nötrosofik Bulanık Sayılar tabanlı bir yaklaşım

benimsenerek, karar vericilerin belirsizlik ve öznelliğe dayalı değerlendirmeleri daha esnek biçimde modellenmiştir. Ayrıca SPC ve CRADIS yöntemlerinin entegrasyonu sayesinde, yeşil taşımacılık stratejilerinin etkinlik düzeyleri ideal çözüme olan uzaklıkları temelinde karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu entegre yöntem, hem akademik literatürdeki belirsizlik temelli karar modellerine katkı sunmakta hem de Türk demiryolu taşımacılığı sektörüne yönelik uygulanabilir ve gerçekçi politika önerileri sunarak sektörel dönüşüme rehberlik etmektedir. Bu çerçevede, çalışmanın sonuç bölümü, elde edilen bulguların detaylı bir değerlendirmesi ile stratejik çıkarımların ve politika önerilerinin bütüncül bir analizini içerecek şekilde yapılandırılmıştır.

Bu çalışma hem akademik literatür hem de uygulamalı demiryolu taşımacılığı sektörü açısından önemli katkılar sunmakta; sürdürülebilir ulaştırma stratejilerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi bağlamında özgün ve yenilikçi bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Literatür düzeyinde değerlendirildiğinde, Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi kapsamlı çevresel dönüşüm politikalarının ulaştırma sektörü üzerindeki etkilerini çok kriterli karar verme (ÇKKV) perspektifiyle ele alan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Özellikle belirsizlik, çelişkili veriler ve öznel uzman yargılarının yoğun olduğu karar ortamlarında, klasik karar destek yöntemlerinin yetersiz kaldığı açıktır. Bu bağlamda, çalışmada önerilen Tip-2 Nötrosofik Bulanık Sayılar (T2-NFN) temelli SPC-CRADIS entegre modeli hem kuramsal hem de metodolojik düzeyde literatürdeki bu boşluğu doldurmakta ve belirsizliğin yüksek olduğu stratejik alanlarda daha güvenilir sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır.

Tip-2 Nötrosofik kümelerin bu çalışmada kullanılması, belirsizlik ve tutarsızlık içeren uzman değerlendirmelerinin daha esnek ve gerçekçi biçimde modellenmesini mümkün kılmıştır. Bu durum, özellikle sürdürülebilirlik stratejilerinin değerlendirilmesinde sıklıkla karşılaşılan çok yönlü belirsizliklerin yönetimi açısından önemlidir. Geleneksel bulanık mantık sistemleri yalnızca üyelik derecelerini dikkate alırken, nötrosofik yaklaşım olumlu, olumsuz ve belirsiz kanaatleri aynı anda ele alarak karar modellerine daha geniş bir yargı alanı kazandırmaktadır. SPC yöntemi aracılığıyla

stratejilerin öznel performanslarının sistematik biçimde değerlendirilmesi, CRADIS yöntemiyle de bu performansların ideal çözüme olan yakınlığı temelinde sıralanması sağlanmıştır. Bu entegre yaklaşım, yalnızca sayısal doğruluk değil, aynı zamanda kavramsal ve uygulamalı tutarlılık açısından da güçlü bir yapı sunmaktadır. Literatürde sürdürülebilir ulaştırma, yeşil lojistik ve demiryolu taşımacılığı gibi alanlarda bu tür entegre ve gelişmiş modellerin uygulama örnekleri henüz oldukça sınırlı olduğundan, bu çalışma özgün bir teorik katkı niteliğindedir.

İlgili endüstri açısından bakıldığında ise çalışma, Türkiye'nin demiryolu taşımacılığı sektöründe Yeşil Mutabakat'a uyum sürecinde karşılaştığı zorluklara yönelik somut ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır. Sektör yöneticileri ve politika yapıcılar için geliştirilmiş olan bu karar destek modeli, stratejik planlamada daha sağlıklı ve rasyonel kararların alınmasına yardımcı olmaktadır. Model sayesinde farklı yeşil stratejiler çevresel, ekonomik, teknik ve sosyal kriterler ışığında karşılaştırılabilir hale getirilmiş; böylece hangi stratejilerin sektörel dönüşümde öncelikli olarak ele alınması gerektiği konusunda yol gösterici bir rehber oluşturulmuştur. Bu durum, kamu kaynaklarının ve özel sektör yatırımlarının daha etkin ve etkili kullanılması açısından kritik önemdedir. Ayrıca modelin çıktıları, Türkiye'nin AB ile olan ticari ilişkilerinde karbon ayak izine dayalı yeni düzenlemelere (örneğin sınırda karbon düzenlemesi) hazırlıklı olmasına da katkı sunmakta, sektörel rekabetçiliği artırıcı etki yaratmaktadır.

Bu bağlamda çalışmanın bir diğer önemli endüstriyel katkısı, karar vericilerin uzman yargılarına dayalı belirsiz ortamlarda daha esnek kararlar alabilmesine olanak tanımasıdır. Ulaştırma sektörü doğası gereği hızlı değişimlere ve çok sayıda paydaş etkileşimine açık bir alandır. Bu nedenle karar destek araçlarının yalnızca teknik doğruluk sağlaması değil, aynı zamanda çok aktörlü yapılarla uyumlu ve revize edilebilir esnekliğe sahip olması beklenir. Geliştirilen model, farklı uzmanlardan alınan değerlendirmeleri bütünleştirerek bir konsensüs yapısı oluşturmakta ve böylece karar kalitesini artırmaktadır. Ayrıca yöntem, sektöre özgü stratejiler kadar, farklı coğrafi ve sektörel bağlamlara uyarlanabilecek esneklik potansiyeli de taşımakta; bu yönüyle modelin

uluslararası uygulanabilirliği de mümkündür.

Sonuç olarak, bu tez çalışması yalnızca özgün bir çok kriterli karar destek modeli önermekle kalmamış; aynı zamanda Türkiye'nin yeşil dönüşüm sürecinde demiryolu taşımacılığına ilişkin stratejik kapasitesinin artırılmasına yönelik somut, yenilikçi ve uygulamaya dönük katkılar sunmuştur. Bu yönüyle çalışma hem literatüre hem de sektörel pratiklere çok boyutlu katkı sağlayarak gelecekteki araştırmalara ve uygulama projelerine referans oluşturabilecek nitelikte bir çerçeve ortaya koymaktadır.

4.1 BULGU VE ÇIKARIMLAR

Çalışmada elde edilen bulgular önemli çıkarımlar ve içgörüler ortaya koymaktadır. Bu bağlamda kriterlere ilişkin elde edilen sonuçlar incelendiğinde, İlk sırada yer alan C5 – “Sektörel ve Mevzuatsal Uyum” kriterinin en önemli kriter olarak belirlenmesi, Yeşil Mutabakat'ın getirdiği dışsal baskıların Türk demiryolu sektörü üzerindeki etkileriyle doğrudan ilgilidir. AYM kapsamında AB ile ticaret yapan ülkelerin sürdürülebilirlik standartlarına uyum göstermesi zorunlu hale gelmiş; bu da başta demiryolu olmak üzere tüm lojistik sektörleri için mevzuatsal reformları ve kurumsal adaptasyonu kaçınılmaz kılmıştır. Bu bağlamda, mevzuatsal uyum sağlanmadan diğer stratejilerin etkili olması mümkün değildir. Ayrıca, karbon vergileri, sınırda karbon düzenlemesi ve sürdürülebilir finansman mekanizmaları gibi unsurlar doğrudan yasal uyuma bağlıdır.

İkinci sıradaki C15 – “Yasal ve Politik Riskler”, sektörün dışsal kırılganlıklarına işaret etmektedir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, hukuki belirsizlikler, kamu politikalarının sık değişmesi ve AB ile olan çevresel düzenlemelerdeki farklar, yatırım kararlarını ve stratejik yönelimleri ciddi şekilde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, stratejilerin başarısı için yalnızca teknik geçerlilik değil, aynı zamanda politik istikrar ve yasal öngörülebilirlik gerekir. Yasal belirsizlik, yeşil dönüşüm yatırımları için caydırıcı bir faktördür.

Üçüncü sırada yer alan C12 – “Dijitalleşme ve Akıllı Ulaşım Sistemlerine

Uyumluluk”, demiryolu taşımacılığının sürdürülebilirliği ile rekabetçiliğini artırmada geleceğe dönük stratejik bir unsur olarak dikkat çeker. Dijitalleşme, enerji verimliliği, emisyon izleme, yolcu memnuniyeti ve entegrasyon açısından temel bir itici güçtür. Ayrıca yapay zekâ, büyük veri, IoT (nesnelerin interneti) gibi teknolojilerle entegre çalışan sistemler, çevresel ve operasyonel etkilerin optimize edilmesini sağlar.

Dördüncü sırada yer alan K6 – “Yolcu ve Kullanıcı Deneyimine Katkı”, çevresel dönüşümün yalnızca teknik değil, aynı zamanda sosyal ve davranışsal yönlerine işaret eder. Yolcu deneyimi gelişmedikçe sürdürülebilir taşıma tercihlerinin artması mümkün değildir. Kullanıcı memnuniyeti, uzun vadeli benimsenme ve toplumsal destek açısından kritik önemdedir.

İlk beş kriterin ardından gelen K1 – “Sera Gazı Emisyonlarını Azaltma Potansiyeli” kriterinin üst sıralarda yer alması, Yeşil Mutabakat’ın temel hedefleriyle uyumludur. Ancak bu kriterin ilk üçte değil de daha sonra yer alması, mevzuatsal, yasal ve teknolojik altyapı hazırlığı olmadan çevresel hedeflerin başarılamayacağı gerçeğini yansıtmaktadır. Stratejilerin karbon azaltımı sağlaması önemlidir fakat bu ancak uygun mevzuat ve teknolojiyle mümkündür.

Bu kriter sıralaması, sektörel dönüşüm için öncelikli müdahale alanlarının neler olduğunu açıkça göstermektedir. Örneğin:

Mevzuatsal reformlar ve politik kararlılık olmadan teknik yatırımların geri dönüşü sınırlı kalacaktır. Bu durum, stratejilerin merkezine yönetsel koordinasyonu ve hukuki altyapıyı yerleştirme gerekliliğine işaret etmektedir.

Yatırım planlamasında, önce sistemin dijitalleşmeye ve çevresel düzenlemelere uyum sağlayabilir hale getirilmesi, ardından emisyon azaltıcı altyapı yatırımlarına geçilmesi gereklidir. Bu da kaynak kullanımında kademeli ve mantıklı ilerleme prensibini desteklemektedir.

Sosyal kabule ve yolcu memnuniyetine yönelik stratejiler, kamuoyunun ve yerel halkın desteğini kazanmak için kritik önemdedir. Özellikle sürdürülebilir şehir içi taşımacılık projelerinde, toplum desteği olmadan operasyonel başarı elde edilmesi zordur.

Rekabet gücü ve ekonomik fizibilite, liste sıralamasında ortalarda yer almakla birlikte, bu durum karar alıcıların çevresel ve kurumsal faktörleri ekonomik kriterlerin önünde değerlendirdiğini göstermektedir. Bu, kısa vadeli kârlılıktan ziyade uzun vadeli sürdürülebilirlik odaklı bir yaklaşım benimsendiğini gösterir.

Kamu-özel iş birliği, teknolojik uygulanabilirlik ve sosyal etki gibi kriterlerin alt sıralarda yer alması ise, bu unsurların stratejik öncelik açısından henüz olgunlaşmamış ya da düşük etki potansiyeline sahip olduğunu düşündürmektedir. Bu, bu alanlara yönelik politika ve kapasite geliştirme ihtiyacını ortaya koyar.

Bu kriter sıralaması, stratejik planlamaya rehberlik eden önceliklendirme ilkeleri bakımından rasyonel, sahaya duyarlı ve sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumludur. Özellikle kamu otoriteleri, strateji belirleyiciler ve özel sektör paydaşları açısından bu sıralama;

- Hangi alanlara yatırım yapılması gerektiğini,
- Hangi risklerin öncelikle yönetilmesi gerektiğini,
- Uygulama sürecinde hangi faktörlerin belirleyici olacağını,
- Hangi politika araçlarının kullanılmasının öncelikli olacağını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak bu sıralama, gerçek hayat koşullarına duyarlı, sektörel gerekliliklerle uyumlu ve ***Yeşil Mutabakat çerçevesinde Türkiye'nin demiryolu taşımacılığı sistemini dönüştürmeye yönelik tutarlı ve uygulanabilir bir karar destek perspektifi sunmaktadır.*** Yönetimsel olarak, bu önceliklendirme modeli; politik reform, dijital altyapı geliştirme ve emisyon azaltımı başlıklarında eşzamanlı bir strateji uygulanmasını önermekte ve böylece bütüncül bir yeşil dönüşümün temellerini atmaktadır.

Çalışmada yeşil taşımacılık stratejilerine ilişkin elde edilen bulgular, yeşil taşımacılık stratejilerinin sıralamasının hem gerçek hayat koşullarıyla tutarlı hem de stratejik karar alma süreçlerine yön verici nitelikte olduğunu ortaya koymaktadır. En öncelikli ve etkili strateji olarak belirlenen “Yenilikçi Biletleme ve Teşvik Programları ile Yolcu Sayısının Artırılması” yaklaşımı, demiryolu taşımacılığının çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmesi için yalnızca arz yönlü değil, aynı zamanda

talep yönlü politikaların da etkili biçimde kullanılması gerektiğini göstermektedir. Gerçek yaşamda, çevre dostu ulaşım çözümleri ancak yeterli yolcu ilgisiyle anlam kazanır. Bu nedenle, kullanıcı davranışlarını doğrudan etkileyen teşvik sistemleri, indirim politikaları, sadakat programları gibi uygulamalar hem yolcu sayısını artırmakta hem de demiryolu sisteminin ekonomik olarak sürdürülebilirliğini desteklemektedir. Söz konusu stratejinin öncelikli olarak değerlendirilmesi, teknik altyapının yanı sıra yolcu odaklı hizmetlerin de dönüşüm sürecinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

İkinci sırada yer alan “Demiryolu Güzergahlarında Ağaçlandırma ve Yeşil Alan Projeleri” stratejisi, çevresel sürdürülebilirliğin görünür biçimde teşvik edilmesini amaçlamakta ve kamuoyunda olumlu algı oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Bu tür projeler doğrudan karbon emilimi sağladıkları gibi, aynı zamanda doğal yaşamın korunması, gürültü kirliliğinin azaltılması ve görsel iyileştirme gibi dolaylı faydalar da üretmektedir. Üçüncü sırada yer alan “Karbon Ayak İzi Azaltımı İçin Yeşil Demiryolu Sertifikasyonu” ise işletmelerin çevresel performansını izleme, değerlendirme ve belgelendirme esasına dayanan sistematik bir iyileştirme mekanizmasını temsil etmektedir. Gerçek hayatta çevresel sürdürülebilirlik hedeflerinin yönetilebilir olması, yalnızca beyanlara değil, aynı zamanda ölçülebilir ve denetlenebilir standartlara bağlanmasıyla mümkündür. Bu bağlamda, sertifikasyon programları hem şeffaflık hem de kurumsal itibar açısından yönetimsel olarak yüksek katma değer üretmektedir.

Yönetimsel açıdan değerlendirildiğinde, sıralamanın dikkat çeken yönlerinden biri, teknik altyapı ve ileri teknoloji stratejilerinin orta veya alt sıralarda konumlanmış olmasıdır. Örneğin, demiryolu altyapısının elektrifikasyonu, sürdürülebilir lojistik uygulamaları ve akıllı demiryolu teknolojileri gibi teknik müdahaleler, liste içerisinde daha geri planda kalmıştır. Bu durum, teknik yatırımların başarısının, öncelikle sosyal kabul, yasal düzenlemeler, teşvik mekanizmaları ve kullanıcı eğilimleri gibi çevresel unsurların doğru şekilde yönetilmesine bağlı olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, kullanıcı davranışlarının dönüştürülmediği, toplumsal destek sağlanmadığı ve uygun teşvik sistemleri kurulmadığı sürece teknik çözümler istenilen etkiyi yaratamamaktadır.

Dolayısıyla, yöneticilerin stratejik kararlarını sıralarken yalnızca mühendislik temelli değil, çok yönlü sosyal, ekonomik ve yönetişimsel faktörleri de dikkate aldıkları anlaşılmaktadır.

Bu sıralama aynı zamanda kaynak tahsisi, yatırım önceliği ve politika geliştirme açısından da önemli içgörüler sunmaktadır. En öncelikli stratejiler yolcu davranışlarını dönüştürmeyi, çevresel görünürlüğü artırmayı ve performans denetimini sağlamayı hedeflerken, daha teknik ve uzun vadeli stratejilerin aşamalı biçimde uygulamaya alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu da çok katmanlı ve kademeli bir yeşil dönüşüm stratejisinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, sosyal ve ekonomik gerçeklerle uyumlu olarak sıralanmış bu stratejiler, yöneticilere hangi alanlarda hızlı kazanımlar elde edilebileceğini ve hangi alanlarda daha kapsamlı yapısal değişimlerin gerektiğini açıkça göstermektedir. Sonuç olarak, strateji sıralaması, Türkiye'nin demiryolu taşımacılığı sistemini çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda yeniden yapılandırmasına yönelik uygulanabilir, sahaya duyarlı ve yönetişim temelli bir yol haritası sunmaktadır.

4.2 ÇALIŞMANIN SINIRLILIKLARI

Bu çalışmada kullanılan yöntemsel çerçeve ve veri kaynakları, kapsamlı bir değerlendirme sunmakla birlikte bazı sınırlılıklar da içermektedir. Öncelikle çalışmanın temel dayanağını oluşturan uzman görüşleri, yöntemin belirsizlik ve öznellik içeren karar ortamlarına uygun biçimde tasarlanmasına rağmen, kaçınılmaz olarak uzmanların bireysel deneyim, algı ve bilgi düzeylerine bağlı olarak şekillenmiştir. Bu durum, özellikle kriter ağırlıklandırması ve strateji sıralaması gibi aşamalarda uzmanlar arası farklılıkların sonuçlara etkisini artırabilir. Her ne kadar uzmanlar farklı sektörlerden ve kurumlardan seçilerek çeşitlilik sağlanmış olsa da karar sürecinin tamamen objektif olduğu iddia edilemez. Bu bağlamda, daha geniş katılımlı Delphi tipi veya istatistiksel konsensüs yöntemleriyle uzman görüşlerinin daha güçlü biçimde pekiştirilmesi, gelecekteki çalışmalar açısından önemli bir gelişim alanı oluşturmaktadır.

Bir diğ er sınırlılık, kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinin model varsayımlarından kaynaklanmaktadır. Bu  alışmada Tip-2 Nötrosofik Bulanık Sayılarla geliştirilmiş SPC ve CRADIS yöntemlerinin entegrasyonu tercih edilmiştir. Söz konusu yöntemler, belirsizlik ve karar verici yargılarındaki çelişkileri modelleme açısından önemli avantajlar sağlamakla birlikte, yöntemlerin uygulanabilirliği ve doğruluğu, kriterlerin sayısı, alternatiflerin nitelikleri ve kullanılan ölçeklerin doğasına bağlı olarak değişebilmektedir. Ayrıca bazı kriterler oldukça soyut ( rneğin “sosyal etki” ya da “toplumsal kabul”) ve ölçülmesi zor olduğundan, bunlara ilişkin değerlendirmeler doğrudan uzman yargılarına dayanmakta ve bu da analiz sonuçlarının duyarlılığını artırmaktadır. Bu noktada, yöntemlerin sağamlık analizlerinin daha ileri düzey istatistiksel testlerle desteklenmesi, karar modelinin genellenebilirliğini güçlendirebilir.

Çalışmanın bir diğ er sınırlılığı ise, önerilen stratejilerin uygulanabilirliği ve etkilerinin yalnızca teorik değerlendirmeler üzerinden ele alınmış olmasıdır. Strateji sıralaması, yöntemsel yaklaşımla en iyi alternatiflerin belirlenmesini sağlamış olsa da, bu stratejilerin fiili uygulama sürecinde karşılaşabileceği mali, kurumsal, hukuki veya toplumsal engeller çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır. Uygulamadaki sınırlayıcı faktörler, özellikle kamu yatırımlarının gecikmesi, yasal düzenlemelerin yetersizliği veya toplumsal direnç gibi unsurlar, stratejilerin etkisini doğrudan değiştirebilir. Bu nedenle gelecek çalışmalarda, önerilen stratejilerin saha temelli etki analizleri, pilot uygulama sonuçları veya senaryo tabanlı etki değerlendirme modelleri ile desteklenmesi, karar vericilere daha uygulanabilir ve somut rehberlik sağlayacaktır.

Sonuç olarak bu tez, bütüncül bir değerlendirme sunmakla birlikte, karar verme ortamının doğası gereği bazı metodolojik ve uygulamalı sınırlılıklar içermektedir. Ancak bu sınırlılıklar, aynı zamanda çalışmanın ileriki aşamalarda daha derinlemesine analizlerle zenginleştirilmesi ve genişletilmesi açısından yeni araştırma alanlarına işaret etmektedir.

4.3 GELECEK ARAŞTIRMA TRENDLERİ

Bu çalışmada elde edilen bulgular ve karşılaşılan sınırlılıklar doğrultusunda, gelecekte yapılacak araştırmalar için çeşitli geliştirme alanları bulunmaktadır. Öncelikle, bu tezde uygulanan çok kriterli karar verme yaklaşımı uzman temelli değerlendirmelere dayanmakta olup, karar verici sayısının artırılması, farklı sektör temsilcilerinin, politika yapıcılarının ve sivil toplum paydaşlarının daha yoğun katılımıyla daha katılımcı ve demokratik modellerin geliştirilmesi mümkündür. Bu bağlamda, çok paydaşlı karar ortamlarında Delphi yöntemi, Analitik Ağ Süreci (ANP) ya da Grup Karar Verme teknikleri gibi konsensüs artırıcı yöntemlerin kullanımı, uzman görüşlerinde çeşitliliği artırarak daha sağlam sonuçlara ulaşılmasına katkı sağlayabilir.

Gelecek araştırmalarda özellikle senaryo tabanlı modelleme, sistem dinamiği ve etki analizleri gibi yöntemlerle stratejilerin uzun vadeli etkilerinin simüle edilmesi önem kazanmaktadır. Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi dönüşüm süreçleri yalnızca bugünün değil, geleceğin politik ve teknolojik koşullarına göre şekilleneceğinden, statik değerlendirmeler yerine dinamik, zaman serisi odaklı karar destek sistemleri geliştirmek, sektörel dönüşümün daha doğru yönetilmesini sağlayabilir. Bu doğrultuda, entegre karar destek sistemlerinin (örneğin GIS destekli MCDM modelleri veya sürdürülebilirlik gösterge tabloları) geliştirilmesi, ulaşım planlaması ve yatırım kararlarında daha işlevsel çözümler sunacaktır.

Bir diğer önemli gelecek trendi, yapay zeka ve makine öğrenmesi temelli karar verme modellerinin sürdürülebilirlik alanına entegrasyonudur. Son yıllarda, çok kriterli karar problemlerinde veri odaklı yaklaşımların arttığı gözlemlenmektedir. Bu bağlamda hem niteliksel uzman görüşlerini hem de niceliksel sektör verilerini birlikte analiz edebilecek hibrid modeller geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Örneğin, sürdürülebilir taşımacılık stratejilerinin başarı düzeyleri geçmiş uygulama verileriyle eğitilmiş bir makine öğrenmesi algoritması üzerinden öngörülebilir ve bu bilgiler karar

modellerine entegre edilebilir. Bu yaklaşımlar özellikle büyük veri (big data) kaynaklarının kullanıldığı, izleme ve değerlendirme süreçlerinin dijitalleştirildiği ortamlarda daha fazla önem kazanmaktadır.

Gelecek araştırmalar için önerilebilecek bir diğer yaklaşım ise kullanıcı merkezli ve toplumsal etki temelli modellemelerin geliştirilmesidir. Bu çalışmada öncelikli olarak stratejik karar verici düzeyindeki değerlendirmelere odaklanılmış olsa da, gelecekteki araştırmalar bireysel kullanıcı tercihlerine, sosyal kabul düzeyine, davranışsal eğilimlere ve halk katılımına dayalı daha mikroskobik analizler içerebilir. Bu çerçevede, anket çalışmaları, toplum odaklı simülasyonlar veya discrete choice modeling (ayrık seçim modellemesi) gibi yöntemler ile stratejilerin uygulanabilirliği, kabul düzeyi ve sosyo-ekonomik etkileri daha geniş bir düzlemde test edilebilir.

Son olarak, sürdürülebilir taşımacılık stratejileri giderek artan bir şekilde küresel riskler, iklim değişikliğine adaptasyon, enerji krizi, jeopolitik kırılganlıklar ve yeşil tedarik zincirleri bağlamında ele alınmaktadır. Bu nedenle gelecekte yapılacak araştırmaların, yalnızca çevresel hedeflere değil, aynı zamanda dirençlilik (resilience), kapsayıcılık, adil dönüşüm, enerji bağımsızlığı ve iklim uyumu gibi boyutlara da odaklanması beklenmektedir. Ayrıca, Avrupa Birliği'nin “Fit for 55”, “Sürdürülebilir ve Akıllı Mobilite Stratejisi” gibi güncel politika belgeleri, gelecekte taşımacılık stratejilerinin yalnızca emisyon azaltımı değil, aynı zamanda dijitalleşme, kapsayıcı kalkınma ve yeşil istihdam gibi çok katmanlı hedeflerle birlikte ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Tüm bu yönleriyle, gelecek çalışmaların çok boyutlu, disiplinler arası ve veri temelli yaklaşımlarla zenginleştirilmesi; sadece akademik alana değil, politika yapıcılara ve uygulayıcılara da stratejik değer sağlayacak bilgi çıktılarının üretilmesine katkı sunacaktır.

5 KAYNAKÇA

- Ayan, B., Abacıoğlu, S., & Basilio, M. P. (2023). A Comprehensive Review of the Novel Weighting Methods for Multi-Criteria Decision-Making. In *Information (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/info14050285>
- Biswas, S., Božanić, D., Pamučar, D., & Marinković, D. (2023). A SPHERICAL FUZZY BASED DECISION MAKING FRAMEWORK WITH EINSTEIN AGGREGATION FOR COMPARING PREPAREDNESS OF SMEs IN QUALITY 4.0. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, 21(3), 453. <https://doi.org/10.22190/FUME230831037B>
- Biswas, S., Gupta, S., Upadhyay, A., Bandyopadhyay, G., & Shaw, R. (2023). A New Grey Correlational Compromise Ranking Approach for Portfolio Selection for Investment in ESG Stocks. *Communications in Computer and Information Science*, 1848 CCIS. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37940-6_46
- Chakraborty, S., Chatterjee, P., & Das, P. P. (2023). Compromise Ranking of Alternatives from Distance to Ideal Solution (CRADIS) Method. In *Multi-Criteria Decision-Making Methods in Manufacturing Environments* (1st ed.). Apple Academic Press.
- Gligorić, Z., Gligorić, M., Miljanović, I., Lutovac, S., & Milutinović, A. (2023). Assessing Criteria Weights by the Symmetry Point of Criterion (Novel SPC Method)—Application in the Efficiency Evaluation of the Mineral Deposit Multi-Criteria Partitioning Algorithm. *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 136(1). <https://doi.org/10.32604/cmes.2023.025021>
- Hezam, I. M., Vedala, N. R. D., Kumar, B. R., Mishra, A. R., & Cavallaro, F. (2023). Assessment of Biofuel Industry Sustainability Factors Based on the Intuitionistic Fuzzy Symmetry Point of Criterion and Rank-Sum-Based MAIRCA Method. *Sustainability (Switzerland)*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/su15086749>
- Krishankumar, R., & Ecer, F. (2023). Selection of IoT service provider for sustainable

- transport using q-rung orthopair fuzzy CRADIS and unknown weights. *Applied Soft Computing*, 132, 109870. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.109870>
- Lance, G. N., & Williams, W. T. (1966). Computer Programs for Hierarchical Polythetic Classification (“Similarity Analyses”). *The Computer Journal*, 9(1). <https://doi.org/10.1093/comjnl/9.1.60>
- Puška, A., Božanić, D., Mastilo, Z., & Pamučar, D. (2023). Extension of MEREC-CRADIS methods with double normalization-case study selection of electric cars. *Soft Computing*, 27(11), 7097–7113. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08054-7>
- Puška, A., Božanić, D., Nedeljković, M., & Janošević, M. (2022). Green supplier selection in an uncertain environment in agriculture using a hybrid MCDM model: Z-Numbers–Fuzzy LMAW–Fuzzy CRADIS model. *Axioms*, 11(9), 427. <https://doi.org/10.3390/axioms11090427>
- Puška, A., Nedeljković, M., Prodanović, R., Vladislavljević, R., & Suzić, R. (2022). Market Assessment of Pear Varieties in Serbia Using Fuzzy CRADIS and CRITIC Methods. *Agriculture (Switzerland)*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/agriculture12020139>
- Puška, A., Nedeljković, M., Stojanović, I., & Božanić, D. (2023). Application of Fuzzy TRUST CRADIS Method for Selection of Sustainable Suppliers in Agribusiness. *Sustainability (Switzerland)*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032578>
- Puška, A., Stević, Ž., & Pamučar, D. (2022). Evaluation and selection of healthcare waste incinerators using extended sustainability criteria and multi-criteria analysis methods. *Environment, Development and Sustainability*, 24(9), 2–16. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01902-2>
- Rani, P., Mishra, A. R., Pamucar, D., Ali, J., & Hezam, I. M. (2023). Interval-valued intuitionistic fuzzy symmetric point criterion-based MULTIMOORA method for sustainable recycling partner selection in SMEs. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08189-7>
- Simic, V., Gokasar, I., Deveci, M., & Svadlenka, L. (2022). Mitigating Climate Change

- Effects of Urban Transportation Using a Type-2 Neutrosophic MEREC-MARCOS Model. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1–17. <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3207375>
- Starčević, V., Petrović, V., Mirović, I., Tanasić, L., Stević, Ž., & Đurović Todorović, J. (2022). A Novel Integrated PCA-DEA-IMF SWARA-CRADIS Model for Evaluating the Impact of FDI on the Sustainability of the Economic System. *Sustainability (Switzerland)*, 14(20). <https://doi.org/10.3390/su142013587>
- Wang, H., Xu, T., Pamucar, D., Li, X., & Feng, L. (2023). A Lance Distance-Based MAIRCA Method for q-Rung Orthopair Fuzzy MCDM with Completely Unknown Weight Information. *Informatica*. <https://doi.org/10.15388/23-infor516>
- Yuan, J., Chen, Z., & Wu, M. (2023). A Novel Distance Measure and CRADIS Method in Picture Fuzzy Environment. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 16(1), 186. <https://doi.org/10.1007/s44196-023-00354-y>

EK A.



ÖZGEÇMİŞ

Ömer Faruk GÖKDAŞ

Ömer Faruk Gökdaş, 29 Ağustos 1990 tarihinde doğmuştur. İlk yükseköğrenimini Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü'nde tamamlamıştır. Ardından Anadolu Üniversitesi İktisat Fakültesi Kamu Yönetimi Bölümü'nde lisans eğitimini tamamlamıştır. Sonrasında Beykoz Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Raylı Sistemler İşletmeciliği Programı'ndan mezun olmuştur.

Halen Beykoz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine devam etmekte olup, bu tez çalışmasıyla mezuniyetini tamamlamaktadır.

2019 yılından itibaren Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) bünyesinde tren makinisti olarak görev yapmaktadır. Demiryolu taşımacılığı alanındaki mesleki tecrübesini akademik bilgiyle birleştirerek sürdürülebilir taşımacılık politikaları, yeşil lojistik ve çok kriterli karar verme sistemleri üzerine çalışmalar gerçekleştirmektedir.