

PRIORITIZING SUSTAINABILITY STRATEGIES IN RAIL TRANSPORT IN Q-ROF FUZZY ENVIRONMENT

ÖMER FARUK GÖRÇÜN, NÜKET İŞİKOĞLU, ÖZHAN GÖRÇÜN

ABSTRACT

Determining and prioritizing sustainability strategies in railway transportation is a multi-criteria decision-making problem with environmental, economic, and social dimensions. Uncertain or inadequate execution of this process: Waste of resources can lead to significant issues such as increased greenhouse gas emissions, declining competitiveness, and stakeholder dissatisfaction. In addition, failure to comply with sustainability goals is a serious obstacle to long-term development and transformation in the sector. Strategic decisions should be handled with scientific and systematic approaches in this context. In this study, a hybrid model consisting of the integration of SPC (Symmetry Point of Criterion) and MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) methods based on q-rung orthopair fuzzy sets is proposed to determine and prioritize sustainability strategies in rail transportation. According to the findings, the most critical criteria are contribution to employment, public-private partnership potential, and community and user acceptance. In addition to increasing railway competitiveness in international trade, investing in projects that increase speed, and capacity has been the prominent strategy. These findings reveal that the social dimension is decisive in sustainable railway strategies. In particular, the prominence of criteria such as contribution to employment, public-private sector cooperation, and public acceptance shows that technical and social impact dimensions should shape strategic investments.

Keywords: Railway industry, Sustainability, SPC, MABAC, q-rung Orthopair Fuzzy Set

Kadir Has Üniversitesi İşletme Bölümü

Mail: omer.gorcun@khas.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3850-6755>

Mail: nukhet@dtd.org.tr

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5213-7250>

Mail: oozhangorcun@beykoz.edu.tr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4912-4149>

Makale Atıf Bilgisi:	GÖRÇÜN, Ö., F., İŞİKOĞLU, N., GÖRÇÜN Ö. (2025). "Demiryolu Taşımacılığında Sürdürülebilirlik Stratejilerinin Q-Rof Bulanık Ortamda Önceliklendirilmesi". <i>Ulaştırma ve Altyapı</i> , Yıl: 2, Sayı: 2, s. (194-234)
Makale Türü:	Araştırma
Geliş Tarihi:	28.04.2025
Kabul Tarihi:	04.06.2025
Yayın Tarihi:	25.06.2025
Yayın Sezonu:	Ocak-Haziran 2025

DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞINDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK STRATEJİLERİNİN Q-ROF BULANIK ORTAMDA ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

ÖMER FARUK GÖRÇÜN, NÜKET IŞIKOĞLU, ÖZHAN GÖRÇÜN

ÖZ

Demiryolu taşımacılığında sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla çok kriterli bir karar verme problemi olarak öne çıkmaktadır. Bu sürecin belirsiz veya yetersiz yürütülmesi; kaynak israfı, artan sera gazı emisyonları, düşen rekabet gücü ve paydaş memnuniyetsizliği gibi önemli sorunlara yol açabilmektedir. Ayrıca, sürdürülebilirlik hedeflerine uyum sağlanamaması sektörde uzun vadeli gelişim ve dönüşümün önünde ciddi bir engel oluşturmaktadır. Bu bağlamda, stratejik kararların bilimsel ve sistematik yaklaşımlarla ele alınması gereklidir. Bu çalışmada, demiryolu taşımacılığında sürdürülebilirlik stratejilerini belirlemek ve önceliklendirmek amacıyla q-rung orthopair fuzzy setlere dayalı SPC (Symmetry Point of Criterion) ve MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yöntemlerinin entegrasyonundan oluşan hibrit bir model önerilmektedir. Bulgulara göre en kritik kriterler sırasıyla istihdama katkı, kamu-özel sektör iş birliği potansiyeli ve toplum ile kullanıcı kabulüdür. Ayrıca, uluslararası ticarete demiryolu rekabetçiliğini artırmak amacıyla hız ve kapasite artırıcı projelere yatırım yapılması gerektiği öne çıkan strateji olmuştur. Elde edilen bu bulgular, sürdürülebilir demiryolu stratejilerinde sosyal boyutun belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Özellikle istihdama katkı, kamu-özel sektör iş birliği ve toplumun kabulü gibi kriterlerin öne çıkması, stratejik yatırımların sadece teknik değil, aynı zamanda sosyal etki boyutuyla da şekillendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu Endüstrisi, Sürdürülebilirlik, SPC, MABAC, q-rung Orthopair Bulanık Kümeler

1. Giriş

Demiryolu taşımacılığında sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi, sektörün uzun vadeli başarısı açısından son derece kritik bir karar verme problemidir. Bu problem yalnızca çevresel etkilerin azaltılmasıyla sınırlı kalmayıp ekonomik verimlilik, toplumsal fayda, teknolojik uyum ve yasal yükümlülüklerin bütüncül bir biçimde ele alınmasını gerektirmektedir. Sürdürülebilirlik stratejilerinin yanlış ya da eksik belirlenmesi, demiryolu sektöründe kaynakların verimsiz kullanımı, operasyonel yetersizlikler ve rekabet gücünün azalması gibi önemli sorunlara yol açabilmektedir. Özellikle Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi uluslararası politika çerçeveleri, demiryolu taşımacılığının sürdürülebilirlik hedeflerine katkısını zorunlu kılmakta; bu da stratejik kararların zamanında ve doğru biçimde alınmasını daha da önemli hale getirmektedir.

Bu bağlamda sürdürülebilirlik stratejilerinin doğru biçimde tanımlanması ve önceliklendirilmesi, kamu otoriteleri, özel sektör yatırımcıları, taşımacılık firmaları, altyapı sağlayıcıları ve nihai kullanıcılar dahil tüm paydaşlar açısından doğrudan etkiler yaratmaktadır. Kamu kurumları açısından bu süreç, çevresel yükümlülüklerin yerine getirilmesi ve toplumsal faydanın artırılmasıyla ilgilidir. Özel sektör ise yatırım geri dönüş süresi, maliyet etkinliği ve rekabet avantajı açısından sürdürülebilirlik stratejilerinin doğru yönetilmesine ihtiyaç duymaktadır. Kullanıcılar içinse zamanında, güvenli ve çevreye duyarlı bir ulaşım sistemine erişim, bu stratejilerin başarısıyla doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla sürdürülebilirlik odaklı karar verme sürecinin bilimsel ve katılımcı bir yaklaşımla yürütülmesi, demiryolu taşımacılığının tüm paydaşları için ortak değer yaratmanın anahtarıdır.

Demiryolu taşımacılığında sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesine ilişkin karar verme problemi, çok boyutlu, belirsizlik içeren ve dinamik yapısı nedeniyle literatürde hâlâ tam anlamıyla çözülebilmemiş değildir. Bu durumun temel nedenlerinden biri, mevcut çalışmaların çoğunlukla çevresel ya da ekonomik boyuta odaklanarak sosyal sürdürülebilirliği ihmal etmesidir. Oysa sürdürülebilirlik bu üç boyutun dengeli bir şekilde ele alınmasını gerektiren bütüncül bir yaklaşımdır.

Ayrıca literatürde kullanılan çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin büyük bir kısmı, karar vericilerin belirsizlik, güvensizlik ve dilsel belirsizlik içeren yargılarını yeterince temsil edememektedir. Klasik sayısal veya bulanık yaklaşımlar, özellikle sosyal etki, kamu kabulü ya da iş birliği gibi sübjektif kriterlerin ağırlıklandırılmasında yetersiz kalabilmektedir. Bu durum önerilen stratejilerin uygulanabilirliği ve geçerliliği üzerinde ciddi sınırlamalara yol açmaktadır.

Buna ek olarak birçok çalışma tekil yöntemlerle yürütülmüş olup farklı yöntemlerin güçlü yönlerini birleştiren entegre yaklaşımlara literatürde yeterince yer verilmemiştir. Stratejilerin önceliklendirilmesinde genellikle nitel analizlere dayalı sübjektif değerlendirmeler yapılmakta, sistematik ve hesaplamalı modellere dayalı nesnel karar destek sistemleri sınırlı kalmaktadır.

Dolayısıyla literatürde hâlen sürdürülebilirlik stratejilerinin çok kriterli, belirsizlik temelli ve katılımcı modellerle bütüncül biçimde değerlendirilmesine yönelik ciddi bir araştırma boşluğu bulunmaktadır. Bu boşluk, daha kapsayıcı, esnek ve karar verici yargılarını daha doğru temsil eden metodolojik yaklaşımlar geliştirilerek giderilmelidir.

Bu çalışmada önerilen q-rung orthopair fuzzy setlere dayalı SPC (Symmetry Point of Criterion) ve MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yöntemlerinin entegrasyonu ile oluşturulan hibrit model, demiryolu taşımacılığında sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesine yönelik mevcut teorik yetersizlikleri ve araştırma boşluklarını gidermek amacıyla geliştirilmiştir. Q-rung orthopair fuzzy setler, klasik bulanık ve sezgisel bulanık kümelerin ötesinde, karar vericilerin belirsizlik, tereddüt ve çelişkili yargılarını daha esnek ve hassas bir biçimde ifade edebilmesini sağlar. Bu özellik, özellikle sosyal sürdürülebilirlik gibi sübjektif ve ölçülmesi zor kriterlerin değerlendirilmesinde büyük avantaj sunmaktadır.

Modelin SPC bileşeni, kriterler arası göreceli önemi nesnel olarak hesaplayarak, uzman yargısına dayalı öznellikten kaynaklanan sapmaları azaltır. Böylece, kriter ağırlıkları daha sağlam ve yapısal bir temele oturtulur. MABAC yöntemi ise alternatif stratejilerin değerlendirilmesinde, her stratejinin ideal çözüme olan uzaklığını dikkate alarak dengeli ve yorumlanabilir sonuçlar sunar. Bu sayede, karar vericiler stratejilerin güçlü ve zayıf yönlerini açık şekilde analiz edebilir.

Modelin tercih edilme gerekçesi; çok kriterli, belirsizlik içeren ve sosyal, çevresel, ekonomik boyutları aynı anda değerlendirmeyi gerektiren karmaşık karar problemlerine uygun yapısıdır. Ayrıca model hem nitel hem nicel verileri entegre edebilme kapasitesi ve karar sürecinde sistematik, şeffaf ve uygulanabilir sonuçlar üretme potansiyeliyle literatürdeki yöntemlerin ötesinde bütüncül bir çözüm yaklaşımı sunmaktadır.

Bu doğrultuda çalışmanın geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır: İkinci bölümde demiryolu taşımacılığında sürdürülebilirlik kavramı ve ilgili literatür detaylı şekilde incelenerek mevcut yöntemler ve araştırma boşlukları ortaya konulmuştur. Üçüncü bölümde q-rung orthopair fuzzy SPC ve MABAC yöntemlerinin teorik temelleri ile önerilen hibrit modelin yapısı açıklanmıştır. Dördüncü bölümde geliştirilen model Türkiye demiryolu taşımacılığı sektörü bağlamında bir vaka çalışması ile uygulanmış; kriter ağırlıkları, strateji öncelikleri ve elde edilen bulgular sunulmuştur. Son bölümde ise bulgular tartışılarak çalışmanın teorik ve pratik katkıları değerlendirilmiş, sınırlılıklar belirtilmiş ve gelecekteki araştırmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. Literatür Taraması

Bu çalışmada ilgili literatür kapsamlı ve detaylı şekilde taranmış, bunun için çalışmada kullanılan anahtar sözcükler ile kombinasyonları kullanılarak mende-

ley, Web of Science ve Google Scholar gibi atıf veri tabanları incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıdaki alt bölümlerde tartışılmaktadır.

2.1. Literatürde Eğilimler, Gelişmeler ve Literatürün Evrimi

Demiryolu taşımacılığı sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle enerji verimliliği, emisyonların azaltılması ve toplu taşımaya geçişin teşviki gibi hedefler bağlamında demiryolları, çevresel ve sosyal faydalar sunma potansiyeli taşımaktadır. Son yıllarda literatürde bu potansiyelin nasıl daha etkin bir şekilde ortaya konulabileceği, hangi göstergelerle ölçülmesi gerektiği ve politika yapıcıların hangi stratejileri benimseyebileceği gibi konular artan şekilde ele alınmaktadır.

Krmac & Djordjević (2018), demiryollarının azalan pazar payının arkasında yatan nedenleri analiz ederek, sürdürülebilir demiryolu sistemleri için organizasyonel yeniden yapılandırma ihtiyacına dikkat çekmişlerdir. Yazarlar, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri ile yeniden yapılandırma modellerinin sürdürülebilirlik bağlamında nasıl değerlendirilebileceğini tartışarak sektörde stratejik planlamaya katkı sağlamayı amaçlamışlardır.

Benzer şekilde Stoilova et al. (2020), Trans-Avrupa Ulaşım Ağı kapsamındaki Orient–East Med koridorundaki demiryolu sistemlerinin performansını ölçmek için altyapı, ekonomik ve teknolojik göstergeleri içeren çok kriterli bir değerlendirme yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntem hem ülkeler arası performans farklılıklarını hem de sürdürülebilir kalkınma için potansiyel iyileştirme alanlarını ortaya koymaktadır.

Sürdürülebilirliğin üçlü bilanço yaklaşımı (ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlar) çerçevesinde ele alındığı literatürde, ekonomik boyutun çoğunlukla baskın bir öncelik olarak öne çıktığı görülmektedir. Örneğin Garg & Kashav (2020) ile Rao (2021), demiryolu sistemlerinin sürdürülebilirliğini değerlendiren çalışmalarda, ekonomik kriterlerin genellikle çevresel ve sosyal göstergelerin önünde yer aldığını vurgulamışlardır. Rao'nun Tayvan örneği üzerinden yürüttüğü çalışma, yüksek hızlı tren (HSR) ile konvansiyonel tren sistemlerinin entegrasyonunun sürdürülebilirlik performansını artırdığını göstermiştir.

Liu & Zhang (2022), Çin'deki farklı bölgesel demiryolu projelerini analiz ederek, ekonomik gelişmişlik düzeyinin sürdürülebilirlik performansı üzerindeki etkisini ortaya koymuş; gelişmekte olan ülkelerde çevresel sürdürülebilirliğin görece ikincil öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Gandhi & Kant (2023) ise demiryolu yük taşımacılığına özel sürdürülebilirlik göstergeleri geliştirmiş ve Hint Demiryolları'na uyguladıkları değerlendirme modeli ile alandaki metodolojik eksikliklere katkı sunmuştur.

Batı Afrika örneğinde Bouraima vd., (2023), zayıf altyapı ve kurumsal yetersizliklerin demiryolu sistemlerinin sürdürülebilir gelişimini engellediğini tespit etmiş ve IRN tabanlı çok kriterli karar verme modeli önererek bölgesel farklılıkların sürdürülebilirlik analizine dahil edilmesini önermiştir. Diğer yandan Noruzi vd., (2023), belirsizlik ve maliyet varyasyonlarının demiryolu projeleri üzerindeki

etkisini stokastik VIKOR yöntemi ile değerlendirerek sürdürülebilirlik analizine yeni bir belirsizlik yönetimi perspektifi kazandırmıştır.

Türkiye bağlamında yapılan çalışmalar ise sürdürülebilirlik kriterleri çerçevesinde performans ölçümüne odaklanmaktadır. Yüksel & Uncu (2024), Türkiye'deki demiryolu yük taşımacılığı şirketlerini anahtar performans göstergeleri (APG) doğrultusunda analiz ederek, emniyet, dakiklık ve seyir süresi gibi faktörlerin öne çıktığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde Görçün vd., (2024), taşıma türleri ve güzergâhların sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini modelleyerek, karar vericilere yol gösterici sonuçlar sunmuştur.

Genel olarak literatürde sürdürülebilir demiryolu taşımacılığına ilişkin değerlendirmelerin büyük ölçüde göstergelere dayalı olduğu, bu göstergeler arasında ekonomik boyutun ağırlık kazandığı görülmektedir. Bununla birlikte, birçok çalışmada sosyal boyutun yeterince detaylandırılmadığı, çevresel sürdürülebilirliğin ise genellikle ikincil düzeyde ele alındığı tespit edilmektedir. Ayrıca kullanıcı davranışları, kamu-özel ortaklıkları, yönetim mekanizmaları ve bölgesel bağlamlar gibi sosyo-politik faktörlerin sürdürülebilirlik analizlerine entegre edilmediği gözlemlenmektedir. Gelişmekte olan ülkelerdeki veri sınırlılıkları, uzman görüşlerinin yeterince temsili olmaması ve bazı yöntemlerin uygulama zorlukları da literatürde dikkat çeken araştırma boşlukları arasında yer almaktadır.

Bu bağlamda, demiryolu taşımacılığında sürdürülebilirliğe ilişkin literatür, gösterge temelli değerlendirmelerden daha geniş kapsamlı teorik ve ampirik çerçevelere doğru evirilmekte; buna karşın çok boyutlu, bağlamsal ve davranışsal bileşenlerin daha sistematik biçimde çalışılması gerekliliğini sürdürmektedir.

2.2. Yazarların Ortak Görüşleri ve Ayrışmalar

Demiryolu taşımacılığı alanında sürdürülebilirliğe ilişkin yapılan çalışmalarda, farklı coğrafi bağlamlar, yöntemsel tercihler ve araştırma önceliklerine rağmen bazı ortak eğilimler dikkat çekmektedir. Öncelikle, sürdürülebilirlik kavramı artık yalnızca çevresel boyutla sınırlı tutulmamakta, bunun yerine çok boyutlu bir yapı içinde, ekonomik, sosyal ve çevresel unsurların birlikte değerlendirilmesi gerektiği genel kabul görmektedir. Bu yaklaşım, demiryolu taşımacılığı gibi karmaşık sistemlerde sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmanın sadece karbon emisyonlarının azaltılmasıyla sınırlı kalmayıp, ekonomik verimlilik, toplumsal fayda ve sosyal kapsayıcılık gibi farklı boyutları da içermesi gerektiğini göstermektedir.

Bu çerçevede çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri, sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesinde vazgeçilmez araçlar olarak öne çıkmaktadır. Özellikle AHP, TOPSIS, VIKOR, DEMATEL gibi yöntemler, karmaşık sistemlerin çok sayıda göstergesi arasında denge kurmak, bu göstergeleri önceliklendirmek ve karar vericilere yön göstermek adına etkili biçimde kullanılmaktadır. Literatürde bu yöntemlerin yaygınlaşması, sürdürülebilirlik analizlerinde daha sistematik ve objektif bir yaklaşımın benimsendiğini ortaya koymaktadır.

Ayrıca sürdürülebilir demiryolu sistemlerinin gelişiminde kamusal planlama ve ulusal ulaşım stratejilerinin doğrudan etkili olduğu vurgulanmaktadır. Ulaşım politikalarının bütünsel ve entegrasyon odaklı biçimde tasarlanması, demiryolu altyapısının geliştirilmesi, teşvik mekanizmalarının oluşturulması ve kamu-özel sektör iş birliklerinin desteklenmesi, sürdürülebilirlik hedeflerinin gerçekleştirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

Bununla birlikte özellikle yük taşımacılığı bağlamında verimlilik sorunları ve sistemler arası entegrasyon eksiklikleri, sürdürülebilirliğin önündeki temel engeller arasında yer almaktadır. Konteyner taşımacılığının yetersizliği, intermodalite düzeyinin düşüklüğü, limanlara erişimde yaşanan zorluklar gibi faktörler, yük taşımacılığında demiryollarının etkinliğini sınırlamakta ve bu durum sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile çelişmektedir.

Ancak literatürde yazarlar ve çalışmalar arasında bazı önemli farklılıklar da gözlemlenmektedir. Öncelik sıralamaları açısından örneğin Garg ve Kashav (2020) ile Liu ve Zhang (2022), sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde ekonomik kriterleri en öncelikli faktörler olarak ele alırken, Rao (2021) çalışmasında sosyal boyutun çevresel boyuttan daha önemli olduğunu öne sürmektedir. Bu durum, ülkelerin gelişmişlik düzeyleri, politika öncelikleri ve toplumsal ihtiyaçlarına göre kriterlerin ağırlıklandırılmasında değişkenlik olabileceğini ortaya koymaktadır.

Çalışmaların kapsamı da önemli farklılıklar göstermektedir. Örneğin Batı Afrika gibi bölgelerde gerçekleştirilen araştırmalar (Bouraima vd., 2023), daha çok altyapı eksiklikleri, kurumsal kapasite yetersizlikleri ve finansal sınırlamalar üzerinde dururken; Avrupa kıtasındaki çalışmalar, genellikle demiryolu ağlarının performans ölçümü, sistemler arası entegrasyon ve politik düzenlemelerin etkileri gibi daha gelişmiş altyapı düzeylerinde karşılaşılan sorunlara odaklanmaktadır.

Son olarak yöntemsel tercihler bakımından da literatürde çeşitlilik bulunmaktadır. Bazı çalışmalar klasik ÇKKV yöntemleri olan AHP ve TOPSIS gibi yapıları kullanmayı tercih ederken (örneğin Krmac & Djordjević, 2018; Kumar & Kumari, 2012), bazıları ise daha karmaşık ve sofistike yöntemlere yönelmiştir. Bu çerçevede Gandhi ve Kant (2023) ile Liu ve Zhang (2022), bulanık mantık, DEMATEL-ANP, IRN gibi gelişmiş yöntemleri benimseyerek, özellikle belirsizliklerin ve göstergeler arası ilişkilerin daha derinlemesine analizini mümkün kılmaya çalışmışlardır. Bu metodolojik çeşitlilik, sürdürülebilirlik analizlerinin dinamik doğasını ve her bağlamda farklı gereksinimlere göre esneklik gösterme ihtiyacını da yansıtmaktadır.

2.3. Temel Araştırma Boşlukları ve Teorik Değerlendirme Yetersizlikleri

Demiryolu taşımacılığı alanında sürdürülebilirlik konulu literatür, önemli gelişmeler kaydetmiş olsa da hâlâ hem uygulama hem de kuramsal düzeyde bazı eksiklikler barındırmaktadır.

İlk olarak demiryolu taşımacılığında sürdürülebilirlik bağlamında yürütülen çalışmalarda yük taşımacılığına özgü sürdürülebilirlik göstergelerinin hâlâ sınırlı

düzeyde geliştirildiği dikkat çekmektedir. Gandhi ve Kant (2023) bu alanda atılmış önemli bir adımı temsil etse de halen yük taşımacılığı sektörünün kendine has dinamiklerini dikkate alan kapsamlı ve yaygın kabul görmüş bir gösterge sisteminin eksikliği sürmektedir. Bu durum, özellikle karayolu-dışı taşımacılığı teşvik etmeye yönelik politikaların tasarımıyla önemli bir boşluk yaratmaktadır.

İkinci olarak literatürde bölgesel karşılaştırmalara yönelik çalışmaların yetersizliği göze çarpmaktadır. Mevcut araştırmalar çoğunlukla Çin, Hindistan, Tayvan ve Türkiye gibi ülkeler üzerinde yoğunlaşmakta; Afrika, Latin Amerika veya Orta Asya gibi bölgeler ya tamamen dışarda bırakılmakta ya da oldukça sınırlı biçimde ele alınmaktadır. Oysa demiryolu altyapısının gelişim düzeyi, ekonomik koşullar, yönetim yapıları ve toplumsal beklentiler bölgeden bölgeye ciddi farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle sürdürülebilirlik değerlendirmelerinin evrensel geçerlilik kazanabilmesi için daha kapsayıcı ve karşılaştırmalı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Üçüncü olarak birçok çalışmanın odaklandığı metrikler gerçek zamanlı operasyonel verilerden ve kullanıcı davranışlarından yeterince beslenmemektedir. Örneğin yolcu memnuniyeti, hizmet kalitesi, ulaşılabilirlik gibi kullanıcı deneyimini doğrudan etkileyen değişkenler, sürdürülebilirlik analizlerinin temel bileşenleri arasında yeterince yer bulmamaktadır. Oysa sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin başarısı yalnızca teknik göstergelere değil, kullanıcı odaklılık düzeyine de bağlıdır.

Bir diğer eksiklik ise uzun vadeli çevresel etkilerin, özellikle de karbon ayak izi hesaplamalarının çoğu çalışmada ya göz ardı edilmesi ya da yalnızca genel ifadelerle ele alınmasıdır. Oysa sürdürülebilirlik hedeflerinin en kritik bileşenlerinden biri olan çevresel performans, sadece kısa vadeli çıktı değil, uzun vadeli izleme ve değerlendirme gerektirir. Bu alanda daha derinlemesine ve zamana yayılan analizler literatüre büyük katkı sağlayacaktır.

Son olarak kamu-özel ortaklığı (PPP) modelleri, politik tasarım süreçleri ve yönetim mekanizmaları literatürde sıklıkla atlanan boyutlar arasında yer almaktadır. Demiryolu yatırımlarının ve işletmeciliğinin çok aktörlü yapısı dikkate alındığında, bu boyutların sürdürülebilirlik ile olan ilişkisini kavramak, daha etkili stratejilerin geliştirilmesini mümkün kılacaktır.

Araştırma alanında göze çarpan bir diğer temel problem ise teorik çerçevelerin eksik ya da yetersiz şekilde oluşturulmasıdır. Literatürde genellikle gösterge temelli değerlendirmeler üzerinden analizler yapılmakta ancak bu göstergeler çoğunlukla birbirinden bağımsız olarak ele alınmakta ve aralarındaki karşılıklı etkileşimler göz ardı edilmektedir. Bu açıdan DEMATEL gibi yöntemlerle göstergeler arasındaki nedensellik ilişkilerini ve etkileşim ağlarını analiz eden çalışmalar (örneğin Rao, 2021) hâlen istisna niteliğindedir.

Ayrıca bazı modellerin uygulama karmaşıklığı ve uzman görüşüne olan bağımlılığı ciddi sınırlamalar doğurmaktadır. Özellikle IRN tabanlı yöntemler gibi çok boyutlu belirsizlik analizi içeren yaklaşımlar (Bouraima vd., 2023), yönetsel olarak değerli olmakla birlikte, pratikte geniş veri kümeleri gerektirmekte ve uygulayıcıların yüksek derecede teknik bilgiye sahip olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu da yöntemin yaygınlaştırılabilirliğini sınırlayan bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son olarak, birçok çalışmada eylem planları, normatif öneriler ve uygulanabilir politika araçları, oluşturulan teorik modellerle yeterince ilişkilendirilmemektedir. Literatürde sıkça kullanılan göstergelere dayalı skorlamalar, sürdürülebilirliği değerlendirme açısından faydalı olsa da bu değerlendirmelerden çıkarılacak somut politika önerilerinin zayıf kalması, akademik bilgi ile uygulama arasındaki köprünün henüz tam olarak kurulamadığını göstermektedir.

3. Önerilen Karar Verme Modeli

Bu çalışmada q-rung orthopair bulanık setlere dayalı SPC & MABAC yöntemlerinin kombinasyonundan oluşan entegre model önerilmektedir. Aşağıda modele ilişkin detaylı bilgiler sunulmaktadır.

3.1. q-Rung Ortogonal Fuzzy Setlere (qROFS) İlişkin Ön Bilgiler

Yager (2017) tarafından geliştirilen q-Rung Ortogonal Fuzzy Set (qROFS) yaklaşımı, özellikle Sezgisel Bulanık Kümeler (IFS) (Atanassov, 1986) ve Pisagor Bulanık Kümeler (PyFS) (Yager, 2013) gibi önceki bulanık küme teorilerine kıyasla karar vericilere daha geniş esneklik imkânı sunma ihtiyacından doğmuştur. qROFS, özellikle üyelik ve üyelik dışı dereceler açısından daha geniş bir değer aralığını destekleyerek, karar verme sürecinde daha nüanslı ve esnek bir yapı sağlamaktadır. Bu yapı sayesinde, q parametresinin farklı değerlerine bağlı olarak, üyelik (μ) ve üyelik dışı (ν) değerleri belirli bir temel eşitsizlik çerçevesinde ayarlanabilmektedir $\mu^q + \nu^q \leq 1$.

Güncel akademik çalışmalar, qROFS yaklaşımının çeşitli alanlarda etkin bir biçimde kullanıldığını göstermektedir. Örneğin tedarikçi seçimi (Güneri & Deveci, 2023), çevrimiçi kullanıcı değerlendirmelerine dayalı ürün sıralaması (Yin vd., 2023) ve sürdürülebilir geri dönüşüm süreçlerinde ortak belirleme (Mishra & Rani, 2021) gibi konular bu yöntemle ele alınmıştır. Ayrıca kültürel dönüşüm bağlamında ruh sağlığı değerlendirmesi (Biswas vd., 2024), tedarik zincirlerinde yeni teknolojilerin benimsenmesine yönelik engellerin tespiti (Biswas, Sanyal, Božanić, Puška, vd., 2023), yeşil kampüslerde ulaşım modu tercihi (Deveci, Gokasar, Pamucar, Biswas, vd., 2022) ve Metaverse ortamında otonom araçlar için strateji geliştirme (Deveci, Pamucar, vd., 2022) gibi farklı uygulama alanlarında da qROFS modelinden yararlanılmıştır.

Bunun yanı sıra elektrikli araçların performansa dayalı karşılaştırılması (Biswas, Sanyal, Božanić, Kar, vd., 2023), deniz taşımacılığında sürdürülebilir uygulamaların analizi (Qahtan vd., 2023), Nesnelerin İnterneti (IoT) temelli hizmet süreçlerinde iş ortağı seçimi (Krishankumar & Ecer, 2023) ve E-Scooter tercihi (Deveci, Gokasar, Pamucar, Coffman, vd., 2022) gibi güncel ve çok disiplinli konular da qROFS yaklaşımının uygulandığı diğer örnekler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda qROFS, karar verme süreçlerinde belirsizlik ve çok kriterli yapıların hâkim olduğu problemlere yönelik esnek ve güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Aşağıda qROFS ile ilişkili birkaç temel tanım bulunmaktadır.

Tanım 1. Pisagor Bulanık Kümeleri (PyFS) (Yager, 2013): PyFS şu şekilde tanımlanır:

$$\tilde{P} = \{ \langle x, \mu_{\tilde{P}}(x), \vartheta_{\tilde{P}}(x) \rangle; x \in U \}$$

Burada bir söylem evreni olmak üzere, $\mu_{\tilde{P}}(x): U \rightarrow [0,1]$ and $\vartheta_{\tilde{P}}(x): U \rightarrow [0,1]$ sırasıyla üyelik ve üyelik dışı dereceleri tanımlar. Giderilmesi gereken eşitsizlik ise şu şekilde belirtiliyor: $0 \leq (\mu_{\tilde{P}}(x))^2 + (\vartheta_{\tilde{P}}(x))^2 \leq 1; \forall x \in U$ Belirsizlik derecesi (IG) şu şekilde bulunur:

$$\pi_{\tilde{P}}(x) = \sqrt{1 - \mu_{\tilde{P}}(x)^2 - \vartheta_{\tilde{P}}(x)^2} \forall x \in U; \pi_{\tilde{P}}(x): U \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

Tanım 2. qROFS (Yager, 2017): qROFS'un tanımı şu şekilde ifade edilir:

$$\tilde{Q} = \{ \langle x, \mu_{\tilde{Q}}(x), \vartheta_{\tilde{Q}}(x) \rangle; x \in U \}$$

Burada U bir söylem evrenidir, $\mu_{\tilde{Q}}(x): U \rightarrow [0,1]$ $\vartheta_{\tilde{Q}}(x): U \rightarrow [0,1]$ sırasıyla üyelik ve üyelik dışı dereceleri gösterir. Giderilmesi gereken eşitsizlik ise şu şekilde belirtilir: $0 \leq (\mu_{\tilde{Q}}(x))^q + (\vartheta_{\tilde{Q}}(x))^q \leq 1; \forall x \in U; q \geq 1$. Belirsizlik derecesi (IG) şu şekilde bulunur:

$$\pi_{\tilde{Q}}(x) = \sqrt[q]{1 - \mu_{\tilde{Q}}(x)^q - \vartheta_{\tilde{Q}}(x)^q} \forall x \in U; \pi_{\tilde{Q}}(x): U \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

Bulanıklığın diğer varyantlarına dönüşüm şu şekilde elde edilebilir:

- i. Eğer $q=1$: $\tilde{Q}$ Atanassov'un IFS'si olurken
- ii. Eğer $q=3$: $\tilde{Q}$ PyFS olur
- iii. Eğer $q=3$: $\tilde{Q}$ Fermatean bulanık kümeler (FFS) olur

qROFS terimlerinin tanımını ve anlamını temsil eden bir q-Rung Orthopair Bulanık Sayı (qROFN) $\mathcal{Q} = \{\mu, \vartheta\}$ düşünelim. Daha sonra, temel işlemler aşağıdaki gibi tanımlanabilir: (Yager, 2017).

Tanım 3. qROFN ile ilgili bazı işlemler: $\mathcal{Q} = \{\mu, \vartheta\}$, $\mathcal{Q}_1 = \{\mu_1, \vartheta_1\}$ ve $\mathcal{Q}_2 = \{\mu_2, \vartheta_2\}$ üç farklı qROFNs olsun. Bu kapsamda aşağıdaki işlem ve uygulamalar geçerlidir.

$$\mathcal{Q}^c = \{\vartheta, \mu\} \quad (\text{Tamamlayıcı}) \quad (3)$$

$$\mathcal{Q}_1 \oplus \mathcal{Q}_2 = \left\{ \sqrt[q]{\mu_1^q + \mu_2^q - \mu_1^q \mu_2^q}, \vartheta_1 \vartheta_2 \right\} \quad (4)$$

$$\mathcal{Q}_1 \otimes \mathcal{Q}_2 = \left\{ \mu_1 \mu_2, \sqrt[q]{\vartheta_1^q + \vartheta_2^q - \vartheta_1^q \vartheta_2^q} \right\} \quad (5)$$

$$(6) \quad \alpha \mathcal{Q} = \left\{ \sqrt[q]{1 - (1 - \mu^q)^\alpha}, \vartheta^\alpha \right\}; \alpha \text{ skaler sabittir}$$

$$\mathcal{Q}^\alpha = \left\{ \mu^\alpha, \sqrt[q]{1 - (1 - \vartheta^q)^\alpha} \right\} \quad (7)$$

Tanım 4. Skor ve Doğruluk Fonksiyonu: Liu ve Wang (2019) skor fonksiyonunu (SF) şu şekilde tanımlamıştır:

$$\mathcal{Sf} = \mu^q - \vartheta^q; \mathcal{Sf} \in [-1,1] \quad (8)$$

Daha sonra, uygulamanın ihtiyacına ve iyileştirme amacına bağlı olarak SF'nin çeşitli başka tanımları önerilmiştir. Bunlardan bazıları aşağıda listelenmiştir.

- i. Alternatif tanım 1 (P. Wang vd., 2019; R. Wang & Li, 2018; Wei vd., 2018)

$$Sf_1 = \frac{(1 + \mu^q - \vartheta^q)}{2} \quad (9)$$

- ii. Alternatif tanım 2 (Peng & Dai, 2018)

$$Sf_2 = (\mu^q - \vartheta^q) + \left(\frac{e^{\mu^q - \vartheta^q}}{e^{\mu^q - \vartheta^q} + 1} - \frac{1}{2} \right) \pi^q \quad (10)$$

Yukarıdaki tanımlar $\mu = \vartheta$ durumunda geçerli değildir.

- iii. Alternatif tanım 3 (Peng & Dai, 2018)

$$Sf_3 = \frac{(\mu \lambda - 2\vartheta^q - 1)}{3} + \frac{\lambda}{3}(\mu^q + \vartheta^q + 2); \lambda \in [0, 1] \quad (11)$$

Burada sabit katsayı olarak verilir.

- iv. Alternatif tanım 4 (Feng vd., 2022)

Minkowski skor fonksiyonu (MSF), beklenti değerlerinin ayrılmazlığı ile ilgili Hamming veya Öklid mesafe ölçüleri kullanılarak skor fonksiyonunun eksikliklerinin üstesinden gelmek için önerilmiştir.

λ sabit bir değer olsun ($\lambda \geq 1$). Buna göre MSF'nin tanımı aşağıda gibi verilir.

$$Sf_4 = M_{\lambda}^q(Q) = \left[\frac{\mu^{q\lambda} + (1 - \vartheta^q)^{\lambda}}{2} \right]^{\frac{1}{\lambda}} \quad (12)$$

Eşitlik (12) de, $\lambda = 1$ için Hamming skor fonksiyonu (HSF) olarak bilinen basitleştirilmiş versiyon elde edilir.

$$Sf_4' = M_{\lambda=1}^q(Q) = \left[\frac{1 + \mu^q - \vartheta^q}{2} \right] = \left[\frac{1 + Sf}{2} \right] \quad (13)$$

Doğruluk fonksiyonu (AF) şu şekilde elde edilir: (P. Liu & Wang, 2019)

$$Af = \mu^q + \vartheta^q; Af \in [0, 1] \quad (14)$$

qROFN'leri karşılaştırmak için aşağıdaki kurallar kullanılır.

Eğer, $SF_{Q_1} > SF_{Q_2} \Rightarrow Q_1 \succ Q_2$ Aksi takdirde $SF_{Q_1} < SF_{Q_2} \Rightarrow Q_1 \prec Q_2$, Aksi takdirde, $SF_{Q_1} = SF_{Q_2}$ buradan, eğer $AF_{Q_1} > AF_{Q_2} \Rightarrow Q_1 \succ Q_2$ aksi takdirde $AF_{Q_1} < AF_{Q_2} \Rightarrow Q_1 \prec Q_2$ olur.

Tanım 5. qROF- Ağırlıklı Ortalama Alma Operatörü (qROFWA): Bir dizi qROFN için qROFWA $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_r$ aşağıdaki gibi tanımlanır (P. Liu & Wang, 2019)

$$qROFWA(Q_1, Q_2, \dots, Q_r) = \left\langle \left(1 - \prod_{k=1}^r (1 - \mu_k^q)^{w_k}\right)^{\frac{1}{q}}, \prod_{k=1}^r \vartheta_k^{w_k} \right\rangle \quad (15)$$

Burada, w_k k^{th} OFN için Q_k 'nin ağırlık değerini gösterir.

Tanım 6. qROFN'lere ilişkin bazı matematiksel işlemler: Hem üyelik hem de üye-lik dışı dereceler için adil veya tarafsız sonuçları elde etmek için Saha ve ark. (Saha ve diğerleri, 2021), qROFN'ler için adil veya tarafsız operasyonel kuralları (orantılı dağılım kavramını kullanarak) tanıttı. Aşağıda iki temel tanım yer almaktadır.

Tanım 6.1.

$$Q_1 \tilde{\otimes} Q_2 = \left\{ \left(\left(\frac{\mu_1^q \mu_2^q}{\mu_1^q \mu_2^q + \vartheta_1^q \vartheta_2^q} \right) \times \left(1 - (1 - \mu_1^q - \vartheta_1^q)(1 - \mu_2^q - \vartheta_2^q) \right) \right)^{\frac{1}{q}}, \left(\left(\frac{\vartheta_1^q \vartheta_2^q}{\mu_1^q \mu_2^q + \vartheta_1^q \vartheta_2^q} \right) \times \left(1 - (1 - \mu_1^q - \vartheta_1^q)(1 - \mu_2^q - \vartheta_2^q) \right) \right)^{\frac{1}{q}} \right\} \quad (16)$$

Tanım 6.2.

$$\alpha * Q = \left\{ \left(\left(\frac{\mu^{q\alpha}}{\mu^{q\alpha} + \vartheta^{q\alpha}} \right) \times \left(1 - (1 - \mu^q - \vartheta^q)^\alpha \right) \right)^{\frac{1}{q}}, \left(\left(\frac{\vartheta^{q\alpha}}{\mu^{q\alpha} + \vartheta^{q\alpha}} \right) \times \left(1 - (1 - \mu^q - \vartheta^q)^\alpha \right) \right)^{\frac{1}{q}} \right\}; \alpha > 0 \quad (17)$$

Tanım 7. qROF- Ağırlıklı Adil Toplama Operatörü (qROFWFA): Bir dizi qROFN için, $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ qROFWFA'nın tanımı şu şekilde verilmiştir (Saha vd., 2021).

$$(Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n) = \left\{ \left(\frac{\prod_{j=1}^n (\mu_j^q)^{w_j}}{\prod_{j=1}^n (\mu_j^q)^{w_j} + \prod_{j=1}^n (\vartheta_j^q)^{w_j}} \times \left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_j^q - \vartheta_j^q)^{w_j} \right) \right)^{\frac{1}{q}}, \left(\frac{\prod_{j=1}^n (\vartheta_j^q)^{w_j}}{\prod_{j=1}^n (\mu_j^q)^{w_j} + \prod_{j=1}^n (\vartheta_j^q)^{w_j}} \times \left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_j^q - \vartheta_j^q)^{w_j} \right) \right)^{\frac{1}{q}} \right\} \quad (18)$$

Burada w_j j^{th} qROFN $Q_j = (\mu_j, \vartheta_j)$ için ağırlık değerini gösterir.

Tanım 8. Einstein toplamı ve çarpımı $a, b \in [0,1]$ olsun. Daha sonra Einstein normuna göre toplam ve çarpım şu şekilde tanımlanır: (Weber, 1983).

$$a \oplus_{\varepsilon} b = \frac{a+b}{1+ab} \quad (19)$$

$$a \otimes_{\varepsilon} b = \frac{ab}{1+(1-a)(1-b)} \quad (20)$$

Tanım 9. qROF Einstein ağırlıklı ortalama (qROFEWA): Einstein toplama (EA) operatörleri cebirsel çarpımları ve birleşimleri daha iyi tahmin eder. Bir dizi qROFN için qROFEWA, $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ aşağıdaki gibi tanımlanır (Du, 2021).

$$qROFEWA(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) = \left\langle \left(\frac{\prod_{j=1}^n (1 + \mu_j^q)^{w_j} - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_j^q)^{w_j}}{\prod_{j=1}^n (1 + \mu_j^q)^{w_j} + \prod_{j=1}^n (1 - \mu_j^q)^{w_j}} \right)^{\frac{1}{q}}, \left(\frac{2 \prod_{j=1}^n \vartheta_j^{w_j, q}}{\prod_{j=1}^n (2 - \vartheta_j^q)^{w_j} + \prod_{j=1}^n \vartheta_j^{w_j, q}} \right)^{\frac{1}{q}} \right\rangle \quad (21)$$

Tanım 10. Lance mesafesi: Herhangi iki A ve B gerçel sayı kümesi arasındaki LD'nin tanımı şu şekilde verilir: (Lance & Williams, 1966)

$$d_L(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|u_A(y_i) - u_B(y_i)|}{u_A(y_i) + u_B(y_i)} \quad (22)$$

Burada $u_A(y_i)$ ve $u_B(y_i)$ A and B nin elemanlarını gösterir ve $u_A(y_i) + u_B(y_i) \neq 0$

Wang ve ark. (2023) LD kavramını benimsemiş ve qROFN'ler arasındaki LD'yi ölçmek için kullanım için uygun şekilde modifiye edilmiştir. İki qROFS arasındaki normleştirilmiş LD Q_1 and Q_2 aşağıdaki gibi gösterilir;

$$d_L(Q_1, Q_2) = \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|\mu_1^q - \mu_2^q|}{\mu_1^q + \mu_2^q + 1} + \frac{|\vartheta_1^q - \vartheta_2^q|}{\vartheta_1^q + \vartheta_2^q + 1} + \frac{|\pi_1^q - \pi_2^q|}{\pi_1^q + \pi_2^q + 1} \right) \quad (23)$$

3.2. Symetri Point of Criterion (SPC) Yöntemi

Bu aşamada, SPC yönteminin algoritmik prosedürleri aracılığıyla kriter ağırlıkları belirlenir (Gligorić vd., 2023). SPC yöntemi, a) referans olarak simetrik 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 (Ayan vd., 2023; Biswas, Božanić, vd., 2023; Hezam vd., 2023; Rani vd., 2023). İlk aşamada elde edilen nihai karar matrisini Eq. (24) kullanarak ağırlıkların hesaplanması için hesaplama adımları aşağıda açıklanmıştır.

$$Y = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{pmatrix}_{m \times n} \quad (24)$$

Adım 1. Her bir kriterle ilgili alternatiflerin performans değerleri için simetri noktasını belirlenmesi: Simetri noktası, eşitlik 25 yardımıyla aralık içindeki merkezi değer olarak belirlenir.

$$SP_j = \frac{Min(y_{ij}) + Max(y_{ij})}{2}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (25)$$

Adım 2. Mutlak mesafe matrisinin (ADM) oluşturulması: ADM eşitlik 26 yardımıyla oluşturulur.

$$\delta = (z_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1j} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{i1} & z_{i2} & \dots & z_{ij} \end{pmatrix}_{m \times n} \quad (26)$$

Burada matris elemanları eşitlik 27 yardımıyla şu şekilde elde edilir:

$$z_{ij} = |y_{ij} - SP_j| \quad (27)$$

Adım 3. Simetri modülünün matrisini oluşturulması (MMS): MMS'nin elemanlarının değeri eşitlik 27 kullanılarak belirlenir:

$$\psi_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^m z_{ij}}{y_{ij}}; j = 1, 2, \dots, n \quad (28)$$

Adım 4. Simetri kriterinin modülünün hesaplanması: Simetri kriterinin modülünün hesaplanması eşitlik 29 yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Upsilon = (\gamma_{1j})_{1 \times n} = \left(\frac{\sum_{i=1}^m \psi_{i1}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m \psi_{i2}}{m}, \dots, \frac{\sum_{i=1}^m \psi_{in}}{m} \right); j = 1, 2, \dots, n \quad (29)$$

Buna göre, bu işlemler yeni bir satır vektörün oluşturulması ile sonuçlanır.

Adım 5. Kriterlerin ağırlıklarını hesaplanması: Ağırlıklar aşağıda gösterilen formüle dayanarak hesaplanır.

$$\omega_j = \frac{\gamma_j}{\sum_{j=1}^n \gamma_j}; \omega_j > 0; \sum_{j=1}^n \omega_j = 1 \quad (30)$$

Kriterlerin göreceli ağırlıkları hesaplandıktan sonra, strateji alternatiflerinin sıralama performanslarının belirlenmesi için modelin sonraki aşaması olan MABAC yönteminin uygulama adımlarına geçilmiştir.

3.3. Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC) Yöntemi

m sayıda alternatifin, n sayıda kriter dikkate alınarak d sayıda uzman tarafından değerlendirildiği bir karar verme probleminde MABAC yönteminin uygulama adımları aşağıda gösterildiği şekilde takip edilir.

Adım 1. Değerlendirme matrisini oluşturulması: Bu adımda ağırlıklandırma sürecinde kullanılan ilk karar matrisi aynı şekilde kullanılmıştır.

Adım 2. İlk karar matrisinin normalize edilmesi: Karar matrisinin normalize edilmesi işlemi, aşağıda belirtilen formüller aracılığıyla gerçekleştirilir. Fayda kriterleri için 31 numaralı denklem, maliyet kriterleri için ise 32 numaralı denklem uygulanır.

$$\zeta_{ij} = \frac{y_{ij} - \min y_{ij}}{\max y_{ij} - \min y_{ij}} \quad (31)$$

$$\zeta_{ij} = \frac{y_{ij} - \max y_{ij}}{\min y_{ij} - \max y_{ij}} \quad (32)$$

Adım 3. Normalize matrisin ağırlıklandırılması: Karar matrisi elemanları normalize edildikten sonra her bir matris elemanına 1 değeri eklenerek ardından kriter ağırlığı ile çarpılır. Bunun için eşitlik 33 kullanılmaktadır.

$$\phi_{ij} = w_j (\zeta_{ij} + 1) \quad (33)$$

Adım 4. Sınır yakınlık matrisinin oluşturulması: Bu adımda eşitlik 34 kullanılarak sınır yakınlık matrisinin elemanlarının değerleri hesaplanır.

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^m \phi_{ij} \right)^{1/m} \quad (34)$$

Adım 5: Eşitlik 35 kullanılarak, her bir alternatifin sınır yakınlık alanına olan uzaklıklarını gösteren Q matrisi oluşturulur.

$$\mathfrak{S} = \begin{bmatrix} \varphi_{11} - g_1 & \varphi_{12} - g_2 & \dots & \varphi_{1n} - g_n \\ \varphi_{21} - g_1 & \varphi_{22} - g_2 & & \varphi_{2n} - g_n \\ . & . & . & . \\ \varphi_{m1} - g_1 & \varphi_{m2} - g_2 & . & \varphi_{mn} - g_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathfrak{S}_{11} & \mathfrak{S}_{12} & \dots & \mathfrak{S}_{1n} \\ \mathfrak{S}_{21} & \mathfrak{S}_{22} & & \mathfrak{S}_{2n} \\ . & . & . & . \\ \mathfrak{S}_{m1} & \mathfrak{S}_{m2} & . & \mathfrak{S}_{mn} \end{bmatrix} \quad (35)$$

Adım 6: Alternatiflerin sınır yakınlık alanı dikkate alınarak hangi konumda yer aldıkları belirlenir. Her alternatif üç farklı konumdan birinde yer alabilir. Bir alternatifin en iyi seçenek olarak değerlendirilmesi için çoğu $\mathfrak{S}_{ij}$ değerinin sıfırdan büyük olması, yani üst yakınlık alanı (G^+) içerisinde bulunması gereklidir. Bunun dışında alternatifler ya alt yakınlık alanı (G^-) ya da sınır yakınlık alanı (G) içinde yer alabilir. Alt yakınlık alanında bulunan alternatifler, olumsuz performans gösteren ve negatif ideal seçenekler olarak kabul edilen alternatiflerdir.

Adım 7: Her alternatifin sınır yakınlık alanına olan uzaklık değerleri toplanarak sonra $\mathfrak{S}_i$ değerleri hesaplanır. Bu değerler karşılaştırılarak, en yüksek değere sahip alternatif en uygun seçenek olarak seçilir.

$$\mathfrak{R}_i = \sum_{i=1}^n \mathfrak{S}_{ij} \quad (36)$$

4. Uygulama

Bu bölüm q-rung orthopair bulanık setlere dayalı SPC & MABAC yöntemlerinin kombinasyonundan oluşan hibrid modelin demiryolu endüstrisinde sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesine ilişkin karar verme problemine uygulanması ile elde edilen sonuçları göstermektedir. İlk olarak, önerilen modelin matematiksel uygulamalarına geçilmeden önce bir hazırlık süreci planlanmış ve bu süreçte yer alacak uzmanlar kurulu oluşturulurken, karar problemi tanımlanmış ardından kriterler ve strateji alternatifleri belirlenmiştir.

4.1. Hazırlık Süreci

Bu süreçte ilk olarak araştırma problemleri tanımlanmış, ardından uzmanlar kurulu oluşturularak, ele alınacak strateji alternatifleri ve kriterler belirlenmiştir.

4.1.1. Araştırma Problemlerinin Tanımlanması

Demiryolu taşımacılığında sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi, çok boyutlu, belirsizlik temelli ve stratejik düzeyde ele alınması gereken karmaşık bir karar verme problemidir. Bu karar problemi, yalnızca

çevresel etkilerin azaltılmasını değil; aynı zamanda ekonomik etkinlik, toplumsal refah, teknolojik gelişmelere uyum ve yasal düzenlemelere uygunluk gibi çeşitli boyutların bütüncül biçimde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Literatürde sürdürülebilirlik stratejilerine ilişkin yapılan çalışmalarda, genellikle yalnızca çevresel ya da ekonomik boyutlara odaklanıldığı; sosyal sürdürülebilirlik boyutunun ise yeterince temsil edilmediği görülmektedir. Oysa sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda demiryolu taşımacılığı gibi toplumsal etkisi yüksek sektörlerde, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutların dengeli biçimde göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Mevcut çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin önemli bir bölümü, karar vericilerin belirsizlik, çelişki ve dilsel yargılar içeren değerlendirmelerini etkili bir biçimde modelleme konusunda yetersiz kalmaktadır. Özellikle sosyal etki, paydaş memnuniyeti, kamuoyu algısı ve kurumlar arası iş birliği gibi ölçülmesi güç ve öznel kriterlerin değerlendirilmesinde klasik sayısal veya geleneksel bulanık yaklaşımlar sınırlı bir temsil gücüne sahiptir. Bu durum, geliştirilen stratejilerin uygulanabilirliği ve karar destek süreçlerinin güvenilirliği üzerinde önemli sınırlamalara yol açmaktadır. Ayrıca, literatürde sürdürülebilirlik stratejilerinin değerlendirilmesinde çoğunlukla tekil yöntemlerin kullanıldığı; entegre modellere, çok yönlü analizlere ve katılımcı yaklaşımlara yeterince yer verilmediği tespit edilmektedir. Nitel analizlerin ağırlıklı olduğu bu çalışmalar, sayısal dayanaklardan yoksun kalmakta; sistematik, hesaplama dayalı ve tekrarlanabilir sonuçlar sunmakta yetersiz kalmaktadır.

Buna ek olarak karar verme sürecinde yer alan kamu otoriteleri, özel sektör temsilcileri, taşımacılık hizmeti sağlayıcıları, altyapı yöneticileri ve nihai kullanıcılar gibi çok paydaşlı yapının karar alma süreçlerine dâhil edilmemesi, geliştirilen stratejilerin etki düzeyini ve kabul görme olasılığını azaltmaktadır. Bu doğrultuda demiryolu taşımacılığı sektöründe sürdürülebilirlik stratejilerinin yalnızca önceliklendirilmesi değil; aynı zamanda paydaş beklentileri doğrultusunda geliştirilmesi ve uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi de kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu kapsamda sürdürülebilirlik stratejilerinin bilimsel, nesnel ve bütüncül bir çerçevede ele alınabilmesi amacıyla geliştirilen bu çalışma, q-rung orthopair bulanık kümeler temelli SPC (Symmetry Point of Criterion) ve MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison) yöntemlerinin entegrasyonuna dayalı bir hibrit karar modeli önermektedir. Q-rung orthopair bulanık kümeler, karar vericilerin belirsizlik, tereddüt ve çelişkili değerlendirmelerini daha esnek ve duyarlı biçimde ifade etmelerine olanak tanımakta; özellikle öznel ve ölçülmesi güç kriterlerin analizinde klasik ve sezgisel bulanık küme yaklaşımlarına kıyasla daha gelişmiş bir temsil gücü sunmaktadır. Modelin SPC bileşeni, kriterler arası göreceli önem derecelerini nesnel şekilde hesaplayarak karar verici öznelliğini minimize etmekte; MABAC yöntemi ise stratejilerin ideal çözüme olan yakınlıklarını dikkate alarak dengeli ve yorumlanabilir önceliklendirme sonuçları üretmektedir.

Söz konusu hibrit modelin tercih edilme gerekçesi, sürdürülebilirlik gibi çok boyutlu, belirsizlik içeren ve sübjektif unsurlarla örülü bir problem alanında hem

nitel hem de nicel verileri entegre edebilme kapasitesi ile karar destek sürecini sistematik, şeffaf ve tekrar edilebilir biçimde yapılandırılabilir. Böylelikle model, yalnızca stratejilerin akademik düzeyde değerlendirilmesini değil; aynı zamanda politika yapıcılar, kamu otoriteleri ve sektör aktörleri için uygulanabilir ve karar almayı kolaylaştırıcı bir araç seti sunmaktadır.

Bu çerçevede çalışmanın temel amacı, demiryolu taşımacılığı sektöründe sürdürülebilirlik stratejilerinin çok kriterli, belirsizlik temelli ve katılımcı bir yaklaşımla belirlenmesine ve önceliklendirilmesine katkı sunmaktır. Söz konusu modelin geliştirilmesiyle birlikte, alanyazındaki teorik boşlukların giderilmesi ve sürdürülebilirlik odaklı stratejik karar verme süreçlerine metodolojik bir zenginlik kazandırılması hedeflenmektedir.

4.1.2. Uzmanlar Kurulunun Oluşturulması

Bu çalışmada kullanılan uzmanlar kurulu, demiryolu taşımacılığı sektöründe sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi amacıyla dikkatli bir seçim süreciyle oluşturulmuştur. Kurul üyelerinin belirlenmesinde, sektör tecrübesi, görev pozisyonu, uzmanlık alanı ve akademik geçmiş gibi çeşitli kriterler esas alınmıştır. Bu doğrultuda, en az 15 yıl sektörel deneyime sahip, yönetim kademesinde görev yapan ve lojistik, taşımacılık ile ilgili alanlarda uzmanlaşmış profesyoneller tercih edilmiştir.

Uzmanlar kurulu beş üyeden oluşmaktadır. Üyeler, genel müdür, şube müdürü ve direktör gibi üst düzey yönetici pozisyonlarında görev yapmakta olup, sektörün hizmet, lojistik, denizyolu ve demiryolu taşımacılığı gibi farklı alt alanlarını temsil etmektedir. Kurul üyelerinin yaş aralığı 40 ile 52 arasında değişmekte olup, bu durum, tecrübe ve dinamik bakış açısının dengeli bir biçimde kurulmasına imkân sağlamaktadır. Mezuniyet düzeyleri incelendiğinde, üyelerin tamamının lisans veya yüksek lisans derecesine sahip olduğu görülmektedir. Mezun olunan bölümler arasında işletme, iktisat ve matematik gibi yönetim ve analiz odaklı disiplinler bulunmaktadır.

Kurulun oluşturulmasında sektör çeşitliliğine de önem verilmiştir. Lojistik, denizyolu ve demiryolu gibi taşımacılığın farklı alanlarında çalışan uzmanların bir araya getirilmesi, sürdürülebilirlik stratejilerinin değerlendirilmesinde daha bütüncül ve kapsayıcı bir perspektifin sağlanmasına olanak tanımıştır. Bu yapı sayesinde, demiryolu taşımacılığı özelinde geliştirilecek stratejiler, yalnızca sektör içi dinamikler değil, sektöre entegre diğer taşımacılık türlerinin gereklilikleri ve beklentileri doğrultusunda da değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak bu uzmanlar kurulu hem akademik hem de sektörel bilgi birikimine sahip, stratejik düzeyde karar verebilecek yetkinlikte profesyonellerden oluşmakta olup, çalışmanın güvenilirliği ve karar verme sürecinin temsil gücü açısından güçlü bir temel oluşturmuştur. Aşağıdaki tabloda uzmanlara ilişkin bilgiler gösterilmektedir.

Tablo 1: Uzmanlara ilişkin bilgiler

	Yaş	Görev	Alan	Sektör	Mezuniyet	Bölüm	Tecrübe
DM1	48	Genel Müdür	Hizmet Sektörü	Lojistik	Lisans	İşletme	22
DM2	50	Genel Müdür	Lojistik	Denizyolu & Proje Taşımacılığı	Lisans	Matematik	23
DM3	52	Şube Müdürü	Lojistik	Demiryolu	Y. Lisans	İktisat	27
DM4	47	Genel Müdür	Lojistik	Lojistik ve Ticaret	Y. Lisans	İşletme	18
DM5	40	Direktör	Demiryolu	Lojistik	Y. Lisans	İşletme	15

4.1.3. Strateji Alternatiflerinin ve Kriterlerin Belirlenmesi

Bu çalışmada kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi süreci hem literatür taramasına hem de uzman görüşlerine dayalı sistematik bir yaklaşımla gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, demiryolu taşımacılığında sürdürülebilirlik kavramına ilişkin güncel literatür kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bu süreçte, çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik boyutlarını kapsayan uluslararası çalışmalar, sektörel raporlar, politika belgeleri (özellikle Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi düzenlemeler) ve akademik makaleler analiz edilmiştir. Yapılan literatür incelemesi sonucunda, demiryolu taşımacılığı bağlamında sürdürülebilirliği etkileyen temel faktörler ve kriterler ön bir liste halinde oluşturulmuştur.

Bu ön liste, çalışmanın ikinci aşamasında oluşturulan uzmanlar kuruluna sunulmuştur. Uzmanlar kurulu üyeleri, sektörde uzun yıllara dayalı tecrübelere sahip üst düzey yöneticilerden oluştuğu için, teorik bulguların sektörel gerçeklikle uyumlu olup olmadığını değerlendirmişlerdir. Kurul üyeleri ile gerçekleştirilen birebir görüşmeler ve yapılandırılmış mülakatlar sonucunda, literatürde yer alan bazı kriterlerin sektörel uygulamada düşük öneme sahip olduğu, bazı kriterlerin ise eksik olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda kriterler güncellenmiş, sektörün güncel dinamiklerini yansıtan yeni kriterler eklenmiş ve öncelikle ele alınması gereken kriterler netleştirilmiştir.

Belirlenen kriterler; çevresel sürdürülebilirlik (örneğin karbon emisyonlarının azaltılması, enerji verimliliği), ekonomik sürdürülebilirlik (örneğin maliyet etkinliği, operasyonel verimlilik) ve sosyal sürdürülebilirlik (örneğin kullanıcı memnuniyeti, toplumsal kabul) boyutlarında toplanmış ve çok kriterli karar verme sürecine uygun bir yapıya kavuşturulmuştur.

Alternatiflerin belirlenmesi süreci de benzer bir yaklaşımla ilerlemiştir. Literatürden ve sektörel uygulamalardan hareketle, demiryolu taşımacılığında uygulanabilecek sürdürülebilirlik stratejileri önceden tanımlanmıştır. Bu alternatif stratejiler, yeşil lojistik uygulamaları, dijitalleşme ve otomasyon teknolojilerinin entegrasyonu, altyapı modernizasyonu, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve paydaşlarla iş birliğinin güçlendirilmesi gibi geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Belirlenen alternatifler de uzmanlar kurulu tarafından değerlendirilmiş ve sektörün ihtiyaçlarına, uygulanabilirlik düzeyine ve mevcut eğilimlere göre nihai liste oluşturulmuştur.

Sonuç olarak kriterler ve alternatifler hem teorik bilgi hem de pratik deneyim ışığında titizlikle seçilmiş; sektörel geçerliliği, güncelliği ve karar vericilerin gerçek koşullarda karşılaştığı belirsizlikler dikkate alınarak yapılandırılmıştır. Bu yöntem, çalışmanın bulgularının hem akademik hem de sektörel düzeyde geçerliliğini ve güvenilirliğini artırmıştır. Belirlenen kriterler ve Alternatifler Tablo 2 de gösterilmektedir.

Tablo 2: Demiryolu Taşımacılığı için Sürdürülebilirlik Stratejileri ve Kriterleri

Sürdürülebilirlik Stratejileri	
Kod	Sürdürülebilirlik Stratejisi
S01	Elektrifikasyon yatırımlarını hızlandırarak düşük karbonlu taşımacılığı teşvik etmek.
S02	Yeşil Mutabakat ve diğer çevre politikalarına uyum sağlayacak altyapı projeleri geliştirmek.
S03	Akıllı demiryolu sistemleri ve dijitalleşme yatırımları ile verimliliği artırmak.
S04	İntermodal taşımacılığı artırarak demiryolunun lojistik sistemlerdeki entegrasyonunu güçlendirmek.
S05	Orta Koridor projesi kapsamında uluslararası taşımacılık bağlantılarını güçlendirerek demiryolu rekabetçiliğini artırmak.
W01	Demiryolu altyapısının sanayi bölgelerine erişimini artırmak için özel sektör yatırımlarını teşvik etmek.
W02	Demiryolu ağının limanlar ve lojistik merkezler ile entegrasyonunu artırarak esnekliği iyileştirmek.
W03	Teşvik programlarını kullanarak özel sektörün demiryolu taşımacılığına daha fazla yatırım yapmasını sağlamak.
W04	Lojistik süreçlerdeki elleçleme ve aktarma sürelerini kısaltmak için dijitalleşme ve otomasyon yatırımları yapmak.
W05	Demiryolu taşımacılığını destekleyen kamu politikalarının geliştirilmesi için devlet-özel sektör iş birliğini artırmak.
ST1	Düşük karbon emisyon avantajını vurgulayarak demiryolunu çevresel düzenlemelerle teşvik edilen bir alternatif haline getirmek.
ST2	Enerji verimliliği ve düşük işletme maliyetleri sayesinde uzun vadede demiryolu taşımacılığını daha ekonomik hale getirmek.
ST3	Demiryolu altyapı projelerini hızlandırmak için kamu yatırımlarını artırarak bürokratik engelleri aşmak.
ST4	Demiryolu lojistiğinde insan kaynağı gelişimini desteklemek için eğitim programları ve teşvikler sağlamak.
ST5	Uluslararası ticarete demiryolunun rekabetçiliğini artırmak için hız ve kapasiteyi artıracak projelere yatırım yapmak.
WT1	Özel sektör yatırımlarını artırarak demiryolu altyapısındaki yetersizlikleri gidermek ve finansal riskleri azaltmak.
WT2	Lojistik süreçlerdeki bürokratik engelleri azaltmak için mevzuat düzenlemeleri yapmak ve süreçleri hızlandırmak.
WT3	Yük taşımacılığındaki esnekliği artırmak için intermodal taşımacılık çözümlerini teşvik etmek.
WT4	İş gücü açığını kapatmak için üniversiteler ve sanayi iş birliğinde demiryolu taşımacılığına özel eğitim programları geliştirmek.
WT5	Demiryolu projelerinin tamamlanma süresini kısaltmak için yeni finansman modelleri ve kamu-özel ortaklıkları oluşturmak.

Kriterler	
Kod	Kriterler
C1	Maliyet Etkinliği
C2	Yatırım Geri Dönüş Süresi (ROI)
C3	Devlet Teşvikleri ile Uyum
C4	Karbon Emisyon Azaltımı
C5	Enerji Verimliliği
C6	Doğal Kaynak Kullanımı
C7	Uygulama Kolaylığı
C8	Dijitalleşme ve Otomasyon Düzeyi
C9	Sistem Kapasitesine Etkisi
C10	Lojistik Ağ Entegrasyonu
C11	Liman ve Sanayi Bölgeleri ile Bağlantılar
C12	Mevzuat Uyumu
C13	Kamu-Özel Sektör İş birliği Potansiyeli
C14	Sektörel Rekabet Gücüne Etkisi
C15	İstihdama Katkı
C16	Toplum ve Kullanıcı Kabulü

4.2. Önerilen Modelin Uygulanması

İlk olarak uzmanlar her bir alternatif için her bir kriter bağlamında dilsel değerlendirme yapmışlardır. Bunun için Tablo 3 de verilen dilsel değerlendirme skalasını kullanmışlardır.

Tablo 3: Dilsel Değerlendirme Skalası

Linguistic description	qROFNs		
	Code	μ	ϑ
Extremely High	EH	0.95	0.15
Very Very High	VVH	0.90	0.20
Very High	VH	0.80	0.30
High	H	0.70	0.40
Medium High	MH	0.60	0.50
Medium	M	0.55	0.55
Medium Bad	MB	0.50	0.60
Bad	B	0.40	0.70
Very Bad	VB	0.30	0.80
Very Very Bad	VVB	0.20	0.90
Extremely Bad	EB	0.15	0.95

Ek-1 uzmanların stratejilere ilişkin dilsel değerlendirmelerini göstermektedir. Ardından araştırmacılar dilsel değerlendirmeleri tabloda karşılık gelen qROF

sayılara dönüştürmüş ve eşitlik 15 yardımıyla bu sayılar birleştirilmiştir. Son olarak, eşitlik 8 kullanılarak her bir alternatif için kriterlere göre skor değerleri hesaplanmıştır. Skor değerleri kullanılarak elde edilen matris çalışmanın sonraki aşamalarında kullanılan ilk karar matrisini ifade etmektedir. Elde edilen karar matrisi Tablo 4 de sunulmaktadır.

Tablo 4: İlk Karar Matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
S01	0.8929	0.6970	0.8597	0.8690	0.8929	0.8212	0.8443	0.8238	0.8109	0.8893	0.8762	0.8931	0.7953	0.8238	0.7698	0.7839
S02	0.8686	0.7184	0.8576	0.8762	0.8984	0.8414	0.7983	0.8443	0.8018	0.8593	0.8762	0.8910	0.7953	0.8238	0.7698	0.7573
S03	0.8845	0.7243	0.8576	0.8438	0.8845	0.8185	0.8325	0.8690	0.8325	0.8931	0.8762	0.8931	0.7953	0.8437	0.7698	0.7538
S04	0.8929	0.7332	0.8743	0.8321	0.8585	0.7983	0.8621	0.8784	0.8441	0.9059	0.8984	0.8931	0.8018	0.8784	0.7698	0.7614
S05	0.9278	0.7092	0.8762	0.8438	0.8781	0.8212	0.8787	0.8784	0.8787	0.9176	0.9059	0.8984	0.8238	0.8932	0.7698	0.8075
W01	0.8443	0.6970	0.8414	0.8385	0.8414	0.8185	0.8762	0.8931	0.8785	0.8984	0.8984	0.8931	0.8619	0.8984	0.7731	0.8463
W02	0.8443	0.7011	0.8443	0.8385	0.8414	0.8185	0.8762	0.8984	0.8785	0.9059	0.8984	0.8931	0.8686	0.9059	0.7953	0.8040
W03	0.8623	0.7136	0.8443	0.8409	0.8597	0.8390	0.8597	0.8929	0.8690	0.8785	0.8845	0.8931	0.8619	0.8931	0.7983	0.8225
W04	0.8517	0.7011	0.8243	0.8409	0.8238	0.7953	0.8762	0.8984	0.8690	0.8984	0.8984	0.8931	0.8513	0.8931	0.7953	0.8265
W05	0.8238	0.6911	0.8443	0.8409	0.8238	0.8185	0.8762	0.8619	0.8438	0.8686	0.8781	0.8931	0.8686	0.8619	0.7698	0.8040
ST1	0.8437	0.6875	0.8018	0.8929	0.8690	0.8353	0.8576	0.8571	0.8409	0.8571	0.8593	0.8893	0.8571	0.8686	0.7615	0.8069
ST2	0.8784	0.7054	0.8353	0.8929	0.8784	0.8390	0.8543	0.8762	0.8597	0.8785	0.8984	0.8866	0.8593	0.9059	0.7878	0.8103
ST3	0.8784	0.7054	0.8517	0.8348	0.8179	0.7878	0.8385	0.8593	0.8385	0.8571	0.8571	0.8931	0.8571	0.8686	0.7648	0.7996
ST4	0.8443	0.6970	0.8212	0.8309	0.8138	0.7859	0.8348	0.8538	0.8324	0.8516	0.8516	0.8713	0.8132	0.8571	0.8238	0.8403
ST5	0.9176	0.7164	0.8845	0.8743	0.8571	0.8521	0.8597	0.8893	0.8785	0.8910	0.8931	0.8984	0.8686	0.9059	0.8201	0.8463
WT1	0.9059	0.7092	0.8845	0.8385	0.8593	0.7983	0.8414	0.8623	0.8517	0.9059	0.9059	0.9059	0.8621	0.8932	0.8179	0.7573
WT2	0.8743	0.7243	0.8845	0.8385	0.8516	0.7953	0.8018	0.8179	0.8109	0.8781	0.8593	0.9059	0.8621	0.8517	0.7908	0.7807
WT3	0.8931	0.7281	0.8845	0.8929	0.8762	0.8144	0.8325	0.8623	0.8517	0.8984	0.8931	0.8893	0.8238	0.8690	0.7648	0.8046
WT4	0.8571	0.7184	0.8385	0.8309	0.8503	0.7852	0.7878	0.8111	0.7878	0.8503	0.8516	0.8538	0.7953	0.8353	0.8621	0.7807
WT5	0.8320	0.7092	0.8845	0.8521	0.8785	0.8101	0.8212	0.8414	0.8243	0.8931	0.8984	0.9176	0.8621	0.8784	0.7908	0.7727

4.3. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu aşamada SPC yöntemi takip edilerek kriterlerin göreceli ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Aşağıda yöntemle ilişkin takip edilen temel algoritmanın izlenmesi sonucu elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. İlk olarak eşitlik 24 de gösterildiği gibi Tablo 4 de sergilenen ilk karar matrisi oluşturulmuştur.

Adım 1. Bu adımda eşitlik 25 yardımıyla her bir kriterle ilgili alternatiflerin performans değerleri için simetri noktasını belirlenmiştir. Bunun için her vektörde yer alan elemanların en yüksek ve en düşük değerleri arasındaki farklar simetri noktaları olarak tanımlanmıştır.

Adım 2. Eşitlik 27 kullanılarak Mutlak mesafe matrisinin elemanlarının değerleri hesaplanmış ve bu elemanlardan oluşan matris oluşturulmuştur.

Tablo 5: Mutlak mesafe matrisi (ADM)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
S01	0.0171	0.0133	0.0166	0.0071	0.0368	0.0025	0.0111	0.0309	0.0224	0.0053	0.0025	0.0074	0.0367	0.0410	0.0420	0.0162
S02	0.0072	0.0081	0.0144	0.0143	0.0423	0.0228	0.0350	0.0105	0.0314	0.0246	0.0025	0.0053	0.0367	0.0410	0.0420	0.0427
S03	0.0087	0.0140	0.0144	0.0181	0.0284	0.0002	0.0007	0.0142	0.0007	0.0091	0.0025	0.0074	0.0367	0.0212	0.0420	0.0462
S04	0.0171	0.0228	0.0311	0.0297	0.0024	0.0204	0.0289	0.0236	0.0109	0.0219	0.0196	0.0074	0.0302	0.0135	0.0420	0.0386
S05	0.0520	0.0011	0.0331	0.0181	0.0219	0.0025	0.0455	0.0236	0.0455	0.0337	0.0271	0.0127	0.0081	0.0283	0.0420	0.0075
W01	0.0315	0.0133	0.0017	0.0234	0.0147	0.0002	0.0430	0.0383	0.0453	0.0144	0.0196	0.0074	0.0300	0.0335	0.0387	0.0462
W02	0.0315	0.0092	0.0011	0.0234	0.0147	0.0002	0.0430	0.0436	0.0453	0.0219	0.0196	0.0074	0.0367	0.0410	0.0165	0.0039
W03	0.0135	0.0033	0.0011	0.0209	0.0036	0.0203	0.0265	0.0382	0.0357	0.0054	0.0057	0.0074	0.0300	0.0282	0.0135	0.0224
W04	0.0242	0.0092	0.0188	0.0209	0.0323	0.0233	0.0430	0.0436	0.0357	0.0144	0.0196	0.0074	0.0193	0.0282	0.0165	0.0264
W05	0.0520	0.0192	0.0011	0.0209	0.0323	0.0002	0.0430	0.0072	0.0106	0.0154	0.0007	0.0074	0.0367	0.0029	0.0420	0.0039
ST1	0.0321	0.0228	0.0414	0.0310	0.0129	0.0167	0.0243	0.0024	0.0077	0.0268	0.0194	0.0036	0.0252	0.0038	0.0503	0.0068
ST2	0.0025	0.0049	0.0078	0.0310	0.0223	0.0203	0.0210	0.0215	0.0265	0.0054	0.0196	0.0009	0.0274	0.0410	0.0240	0.0103
ST3	0.0025	0.0049	0.0085	0.0271	0.0382	0.0309	0.0053	0.0046	0.0053	0.0268	0.0216	0.0074	0.0252	0.0038	0.0470	0.0005
ST4	0.0315	0.0133	0.0220	0.0310	0.0423	0.0328	0.0016	0.0009	0.0009	0.0323	0.0271	0.0144	0.0187	0.0077	0.0120	0.0403
ST5	0.0418	0.0061	0.0414	0.0124	0.0010	0.0335	0.0265	0.0345	0.0453	0.0070	0.0143	0.0127	0.0367	0.0410	0.0083	0.0462
WT1	0.0301	0.0011	0.0414	0.0234	0.0032	0.0204	0.0082	0.0076	0.0184	0.0219	0.0271	0.0202	0.0302	0.0283	0.0061	0.0427
WT2	0.0016	0.0140	0.0414	0.0234	0.0045	0.0233	0.0314	0.0368	0.0224	0.0059	0.0194	0.0202	0.0302	0.0132	0.0210	0.0193
WT3	0.0172	0.0177	0.0414	0.0310	0.0201	0.0042	0.0007	0.0076	0.0184	0.0144	0.0143	0.0036	0.0081	0.0041	0.0470	0.0046
WT4	0.0187	0.0081	0.0046	0.0310	0.0058	0.0335	0.0455	0.0436	0.0455	0.0337	0.0271	0.0319	0.0367	0.0295	0.0503	0.0193
WT5	0.0438	0.0011	0.0414	0.0098	0.0224	0.0086	0.0121	0.0133	0.0089	0.0091	0.0196	0.0319	0.0302	0.0135	0.0210	0.0274

Adım 3-5. Bu adımda simetri modülünün matrisi (MMS) eşitlik 28 yardımıyla oluşturulmuştur. Tablo 6 oluşturulan MMS matrisini göstermektedir. Ardından eşitlikler sırasıyla kullanılarak kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Tablo 6'nın son iki satırında simetri kriterinin modülü (γ_i) ve kriterlerin nihai ağırlık değerleri (ω_i) gösterilmektedir.

Tablo 6: Simetri modülünün matrisi (MMS)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
S01	0.0267	0.0149	0.0247	0.0258	0.0225	0.0193	0.0294	0.0271	0.0298	0.0197	0.0188	0.0125	0.0358	0.0282	0.0405	0.0301
S02	0.0274	0.0145	0.0248	0.0256	0.0224	0.0188	0.0311	0.0264	0.0301	0.0203	0.0188	0.0125	0.0358	0.0282	0.0405	0.0311
S03	0.0269	0.0143	0.0248	0.0245	0.0227	0.0193	0.0298	0.0257	0.0290	0.0196	0.0188	0.0125	0.0358	0.0276	0.0405	0.0313
S04	0.0267	0.0142	0.0243	0.0269	0.0234	0.0198	0.0288	0.0254	0.0286	0.0193	0.0183	0.0125	0.0355	0.0265	0.0405	0.0310
S05	0.0257	0.0146	0.0242	0.0265	0.0229	0.0193	0.0282	0.0254	0.0275	0.0191	0.0182	0.0124	0.0346	0.0260	0.0405	0.0292
W01	0.0282	0.0149	0.0252	0.0267	0.0239	0.0193	0.0283	0.0250	0.0275	0.0195	0.0183	0.0125	0.0330	0.0259	0.0404	0.0279
W02	0.0282	0.0148	0.0252	0.0267	0.0239	0.0193	0.0283	0.0249	0.0275	0.0193	0.0183	0.0125	0.0328	0.0257	0.0392	0.0293
W03	0.0276	0.0146	0.0252	0.0266	0.0234	0.0189	0.0289	0.0250	0.0278	0.0199	0.0186	0.0125	0.0330	0.0260	0.0391	0.0287
W04	0.0280	0.0148	0.0258	0.0266	0.0244	0.0199	0.0283	0.0249	0.0278	0.0195	0.0183	0.0125	0.0334	0.0260	0.0392	0.0285
W05	0.0289	0.0150	0.0252	0.0266	0.0244	0.0193	0.0283	0.0259	0.0286	0.0201	0.0188	0.0125	0.0328	0.0270	0.0405	0.0293
ST1	0.0283	0.0151	0.0265	0.0251	0.0231	0.0190	0.0289	0.0261	0.0287	0.0204	0.0192	0.0126	0.0332	0.0268	0.0410	0.0292
ST2	0.0271	0.0147	0.0254	0.0251	0.0229	0.0189	0.0290	0.0255	0.0281	0.0199	0.0183	0.0126	0.0331	0.0257	0.0396	0.0291
ST3	0.0271	0.0147	0.0249	0.0268	0.0246	0.0201	0.0296	0.0260	0.0288	0.0204	0.0192	0.0125	0.0332	0.0268	0.0408	0.0295
ST4	0.0282	0.0149	0.0259	0.0270	0.0247	0.0201	0.0297	0.0262	0.0290	0.0205	0.0193	0.0128	0.0350	0.0271	0.0379	0.0281
ST5	0.0260	0.0145	0.0240	0.0256	0.0235	0.0186	0.0289	0.0251	0.0275	0.0196	0.0184	0.0124	0.0328	0.0257	0.0380	0.0279
WT1	0.0263	0.0146	0.0240	0.0267	0.0234	0.0198	0.0295	0.0259	0.0283	0.0193	0.0182	0.0123	0.0330	0.0260	0.0381	0.0311
WT2	0.0273	0.0143	0.0240	0.0267	0.0236	0.0199	0.0309	0.0273	0.0298	0.0199	0.0192	0.0123	0.0330	0.0273	0.0395	0.0302
WT3	0.0267	0.0143	0.0240	0.0251	0.0229	0.0194	0.0298	0.0259	0.0283	0.0195	0.0184	0.0126	0.0346	0.0268	0.0408	0.0293
WT4	0.0278	0.0145	0.0253	0.0270	0.0236	0.0202	0.0315	0.0275	0.0306	0.0206	0.0193	0.0131	0.0358	0.0278	0.0362	0.0302
WT5	0.0286	0.0146	0.0240	0.0263	0.0229	0.0195	0.0302	0.0265	0.0293	0.0196	0.0183	0.0122	0.0330	0.0265	0.0395	0.0305
(γ_j)	0.0274	0.0146	0.0249	0.0263	0.0235	0.0194	0.0294	0.0259	0.0286	0.0198	0.0187	0.0125	0.0340	0.0267	0.0396	0.0296
(ω_j)	0.0684	0.0365	0.0620	0.0656	0.0585	0.0485	0.0733	0.0646	0.0714	0.0494	0.0466	0.0312	0.0847	0.0665	0.0989	0.0738

Kriterlerin ağırlıklandırılmasına ilişkin elde edilen sonuçlar incelendiğinde; C15 İstihdama Katkı demiryolu taşımacılığı endüstrisi için sürdürülebilirlik stratejilerinin önceliklendirilmesine ilişkin en kritik ve etkili kriter olarak belirlenmiştir. Bunu C13 Kamu-Özel Sektör İş birliği Potansiyeli ve C16 Toplum ve Kullanıcı Kabulü kriterleri izlemektedir. Diğer kriterler ise farklı önem skorları ile (Tablo 6) C7 Uygulama Kolaylığı > C9 Sistem Kapasitesine Etkisi > C1 Maliyet Etkinliği > C14 Sektörel Rekabet Gücüne Etkisi > C4 Karbon Emisyon Azaltımı > C8 Dijitalleşme ve Otomasyon Düzeyi > C3 Devlet Teşvikleri ile Uyum > C5 Enerji Verimliliği > C10 Lojistik Ağ Entegrasyonu > C6 Doğal Kaynak Kullanımı > C11 Liman ve Sanayi Bölgeleri ile Bağlantılar > C2 Yatırım Geri Dönüş Süresi (ROI) > C12 Mevzuat Uyumu şeklinde sıralanmıştır. Kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra sürdürülebilirlik stratejilerinin sıralandırılmasına geçilmiştir.

4.4. Sürdürülebilirlik Stratejilerinin Önceliklendirilmesi

Bu aşamada demiryolu taşımacılığı endüstrisinde sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesi için MABAC yönteminin uygulama adımları takip edilmiş ve alternatifler önem derecelerine göre sıralandırılmıştır. Aşağıda uygulama ile elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

Adım 1. Bu adımda ilk karar matrisi oluşturulmuştur. SPC yönteminin ilk adımında kullanılan matris aynı şekilde kullanılmıştır. Tekrar etmemek adına matris bu kısma eklenmemiş doğrudan ikinci adıma geçilmiştir.

Adım 2. Eşitlikler 31 ve 32 kullanılarak ilk karar matrisinin elemanları normaliz edilmiştir. Tablo 7 normalize karar matrisini göstermektedir.

Tablo 7: Normalize karar matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
S01	0.6642	0.7915	0.7006	0.6141	0.9351	0.4626	0.6216	0.1456	0.2539	0.5789	0.4534	0.6153	0.0000	0.0000	0.0833	0.3250
S02	0.4306	0.3231	0.6743	0.7312	1.0000	0.1599	0.1155	0.3800	0.1542	0.1341	0.4534	0.5829	0.0000	0.0000	0.0833	0.0376
S03	0.5833	0.1942	0.6743	0.2091	0.8357	0.5026	0.4922	0.6629	0.4922	0.6354	0.4534	0.6153	0.0000	0.2422	0.0833	0.0000
S04	0.6642	0.0000	0.8764	0.0205	0.5285	0.8046	0.8181	0.7706	0.6198	0.8255	0.8619	0.6153	0.0885	0.6647	0.0833	0.0822
S05	1.0000	0.5249	0.9000	0.2091	0.7594	0.4626	1.0000	0.7706	1.0000	1.0000	1.0000	0.6985	0.3890	0.8452	0.0833	0.5807
W01	0.1967	0.7915	0.4790	0.1233	0.3262	0.5026	0.9730	0.9391	0.9985	0.7143	0.8619	0.6153	0.9088	0.9087	0.1159	1.0000
W02	0.1967	0.7018	0.5137	0.1233	0.3262	0.5026	0.9730	1.0000	0.9985	0.8255	0.8619	0.6153	1.0000	1.0000	0.3362	0.5426
W03	0.3701	0.4274	0.5137	0.1625	0.5429	0.1960	0.7916	0.9372	0.8932	0.4195	0.6058	0.6153	0.9088	0.8440	0.3657	0.7428
W04	0.2678	0.7018	0.2725	0.1625	0.1182	0.8489	0.9730	1.0000	0.8932	0.7143	0.8619	0.6153	0.7634	0.8440	0.3362	0.7857
W05	0.0000	0.9214	0.5137	0.1625	0.1182	0.5026	0.9730	0.5822	0.6167	0.2720	0.4869	0.6153	1.0000	0.4644	0.0833	0.5426
ST1	0.1911	1.0000	0.0000	1.0000	0.6521	0.2509	0.7677	0.5273	0.5849	0.1016	0.1419	0.5556	0.8435	0.5458	0.0000	0.5739
ST2	0.5244	0.6074	0.4054	1.0000	0.7632	0.1960	0.7314	0.7461	0.7916	0.4195	0.8619	0.5144	0.8734	1.0000	0.2614	0.6110
ST3	0.5244	0.6074	0.6031	0.0636	0.0485	0.9615	0.5581	0.5524	0.5581	0.1016	0.1015	0.6153	0.8435	0.5458	0.0335	0.4946
ST4	0.1967	0.7915	0.2341	0.0000	0.0000	0.9899	0.5174	0.4892	0.4906	0.0199	0.0000	0.2744	0.2443	0.4060	0.6194	0.9358
ST5	0.9019	0.3674	1.0000	0.6998	0.5122	0.0000	0.7916	0.8955	0.9985	0.6047	0.7640	0.6985	1.0000	1.0000	0.5822	1.0000
WT1	0.7889	0.5249	1.0000	0.1233	0.5381	0.8046	0.5900	0.5867	0.7030	0.8255	1.0000	0.8159	0.9118	0.8452	0.5609	0.0376
WT2	0.4851	0.1942	1.0000	0.1233	0.4471	0.8489	0.1542	0.0781	0.2539	0.4121	0.1419	0.8159	0.9118	0.3394	0.2913	0.2909
WT3	0.6658	0.1119	1.0000	1.0000	0.7379	0.5634	0.4922	0.5867	0.7030	0.7143	0.7640	0.5556	0.3890	0.5501	0.0335	0.5496
WT4	0.3203	0.3231	0.4440	0.0000	0.4313	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1401	1.0000	0.2909
WT5	0.0791	0.5249	1.0000	0.3424	0.7653	0.6281	0.3672	0.3471	0.4021	0.6354	0.8619	1.0000	0.9118	0.6647	0.2913	0.2036

Adım 3. Bu adımda eşitlik 33 yardımıyla normalize karar matrisinin elemanları ağırlıklandırılmış ve Tablo 8 de gösterildiği gibi ağırlıklandırılmış normalize matris oluşturulmuştur.

Tablo 8: Ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
S01	0.1138	0.0655	0.1055	0.1059	0.1133	0.0710	0.1188	0.0740	0.0896	0.0780	0.0677	0.0505	0.0847	0.0645	0.1071	0.0978
S02	0.0978	0.0483	0.1039	0.1136	0.1171	0.0563	0.0818	0.0891	0.0825	0.0560	0.0677	0.0494	0.0847	0.0645	0.1071	0.0766
S03	0.1082	0.0436	0.1039	0.0793	0.1074	0.0729	0.1094	0.1074	0.1066	0.0808	0.0677	0.0505	0.0847	0.0827	0.1071	0.0738
S04	0.1138	0.0365	0.1164	0.0670	0.0895	0.0875	0.1332	0.1143	0.1157	0.0902	0.0867	0.0505	0.0922	0.1108	0.1071	0.0798
S05	0.1367	0.0557	0.1179	0.0793	0.1030	0.0710	0.1466	0.1143	0.1429	0.0988	0.0931	0.0531	0.1177	0.1228	0.1071	0.1166
W01	0.0818	0.0655	0.0917	0.0737	0.0776	0.0729	0.1446	0.1252	0.1428	0.0847	0.0867	0.0505	0.1617	0.1270	0.1103	0.1475
W02	0.0818	0.0622	0.0939	0.0737	0.0776	0.0729	0.1446	0.1292	0.1428	0.0902	0.0867	0.0505	0.1694	0.1331	0.1321	0.1138
W03	0.0937	0.0522	0.0939	0.0763	0.0903	0.0580	0.1313	0.1251	0.1352	0.0701	0.0748	0.0505	0.1617	0.1227	0.1350	0.1286
W04	0.0867	0.0622	0.0789	0.0763	0.0654	0.0897	0.1446	0.1292	0.1352	0.0847	0.0867	0.0505	0.1494	0.1227	0.1321	0.1317
W05	0.0684	0.0702	0.0939	0.0763	0.0654	0.0729	0.1446	0.1022	0.1155	0.0628	0.0692	0.0505	0.1694	0.0974	0.1071	0.1138
ST1	0.0814	0.0731	0.0620	0.1312	0.0967	0.0607	0.1295	0.0986	0.1132	0.0544	0.0532	0.0486	0.1562	0.1029	0.0989	0.1161
ST2	0.1042	0.0587	0.0872	0.1312	0.1032	0.0580	0.1269	0.1128	0.1280	0.0701	0.0867	0.0473	0.1587	0.1331	0.1247	0.1189
ST3	0.1042	0.0587	0.0994	0.0698	0.0614	0.0952	0.1142	0.1003	0.1113	0.0544	0.0513	0.0505	0.1562	0.1029	0.1022	0.1103
ST4	0.0818	0.0655	0.0766	0.0656	0.0585	0.0965	0.1112	0.0962	0.1065	0.0504	0.0466	0.0398	0.1054	0.0936	0.1601	0.1428
ST5	0.1300	0.0500	0.1241	0.1115	0.0885	0.0485	0.1313	0.1224	0.1428	0.0792	0.0822	0.0531	0.1694	0.1331	0.1564	0.1475
WT1	0.1223	0.0557	0.1241	0.0737	0.0900	0.0875	0.1165	0.1025	0.1217	0.0902	0.0931	0.0567	0.1620	0.1228	0.1543	0.0766
WT2	0.1015	0.0436	0.1241	0.0737	0.0847	0.0897	0.0846	0.0696	0.0896	0.0697	0.0532	0.0567	0.1620	0.0891	0.1277	0.0952
WT3	0.1139	0.0406	0.1241	0.1312	0.1017	0.0758	0.1094	0.1025	0.1217	0.0847	0.0822	0.0486	0.1177	0.1032	0.1022	0.1143
WT4	0.0903	0.0483	0.0896	0.0656	0.0838	0.0970	0.0733	0.0646	0.0714	0.0494	0.0466	0.0312	0.0847	0.0769	0.1977	0.0952
WT5	0.0738	0.0557	0.1241	0.0881	0.1033	0.0790	0.1002	0.0870	0.1002	0.0808	0.0867	0.0625	0.1620	0.1108	0.1277	0.0888

Adım 4-7. Bu adımda sınır yakınlık matrisi eşitlik 34 kullanılarak oluşturulmuştur. Tablo 9 sınır yakınlık matrisini göstermektedir. Ardından sonraki uygulama adımları takip edilerek, strateji alternatiflerinin sıralama performansları belirlenmiş ve önem derecelerine göre alternatifler sıralandırılmıştır. Tablo 9 elde edilen sonuçları göstermektedir.

Tablo 9: Sınır yakınlık matrisi ve stratejilerin sıralandırılması

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	R_i	Sıra
S01	0.016	0.011	0.005	0.020	0.026	-0.003	0.001	-0.027	-0.024	0.006	-0.004	0.001	-0.046	-0.037	-0.016	-0.009	-0.081	16
S02	0.000	-0.006	0.004	0.028	0.030	-0.018	-0.036	-0.012	-0.031	-0.016	-0.004	0.000	-0.046	-0.037	-0.016	-0.030	-0.192	19
S03	0.011	-0.011	0.004	-0.006	0.020	-0.001	-0.008	0.006	-0.007	0.008	-0.004	0.001	-0.046	-0.021	-0.016	-0.033	-0.104	18
S04	0.016	-0.018	0.016	-0.019	0.002	0.013	0.016	0.013	0.002	0.018	0.015	0.001	-0.039	0.007	-0.016	-0.027	0.001	11
S05	0.039	0.001	0.018	-0.006	0.016	-0.003	0.029	0.013	0.029	0.026	0.022	0.003	-0.013	0.019	-0.016	0.010	0.186	2
W01	-0.016	0.011	-0.008	-0.012	-0.010	-0.001	0.027	0.024	0.029	0.012	0.015	0.001	0.031	0.023	-0.013	0.041	0.154	6
W02	-0.016	0.008	-0.006	-0.012	-0.010	-0.001	0.027	0.028	0.029	0.018	0.015	0.001	0.039	0.029	0.009	0.007	0.164	3
W03	-0.004	-0.003	-0.006	-0.009	0.003	-0.016	0.014	0.024	0.022	-0.002	0.003	0.001	0.031	0.019	0.012	0.022	0.109	8
W04	-0.011	0.008	-0.021	-0.009	-0.022	0.015	0.027	0.028	0.022	0.012	0.015	0.001	0.019	0.019	0.009	0.025	0.136	7
W05	-0.029	0.016	-0.006	-0.009	-0.022	-0.001	0.027	0.001	0.002	-0.010	-0.002	0.001	0.039	-0.006	-0.016	0.007	-0.011	12
ST1	-0.016	0.018	-0.038	0.046	0.009	-0.014	0.012	-0.003	0.000	-0.018	-0.018	-0.001	0.025	-0.001	-0.024	0.009	-0.014	13
ST2	0.007	0.004	-0.013	0.046	0.016	-0.016	0.009	0.011	0.014	-0.002	0.015	-0.002	0.028	0.029	0.002	0.012	0.159	4
ST3	0.007	0.004	-0.001	-0.016	-0.026	0.021	-0.003	-0.001	-0.002	-0.018	-0.020	0.001	0.025	-0.001	-0.021	0.003	-0.048	14
ST4	-0.016	0.011	-0.024	-0.020	-0.029	0.022	-0.006	-0.005	-0.007	-0.022	-0.025	-0.010	-0.025	-0.010	0.037	0.036	-0.093	17
ST5	0.032	-0.005	0.024	0.026	0.001	-0.026	0.014	0.021	0.029	0.007	0.011	0.003	0.039	0.029	0.033	0.041	0.280	1
WT1	0.025	0.001	0.024	-0.012	0.003	0.013	-0.001	0.001	0.008	0.018	0.022	0.007	0.031	0.019	0.031	-0.030	0.159	5
WT2	0.004	-0.011	0.024	-0.012	-0.003	0.015	-0.033	-0.032	-0.024	-0.003	-0.018	0.007	0.031	-0.015	0.005	-0.012	-0.076	15
WT3	0.016	-0.014	0.024	0.046	0.014	0.002	-0.008	0.001	0.008	0.012	0.011	-0.001	-0.013	-0.001	-0.021	0.007	0.083	9
WT4	-0.007	-0.006	-0.010	-0.020	-0.003	0.023	-0.044	-0.037	-0.042	-0.023	-0.025	-0.018	-0.046	-0.028	0.075	-0.012	-0.226	20
WT5	-0.024	0.001	0.024	0.003	0.016	0.005	-0.017	-0.014	-0.014	0.008	0.015	0.013	0.031	0.007	0.005	-0.018	0.040	10

Sürdürülebilirlik stratejilerinin önceliklendirilmesine ilişkin elde edilen sonuçlar incelendiği zaman, ST5 Uluslararası ticarete demiryolunun rekabetçiliğini artırmak için hız ve kapasiteyi artıracak projelere yatırım yapmak stratejisi

diğer stratejilere göre daha fazla öne çıkan bir strateji olarak belirlenmiştir. Bunu S05 "Orta Koridor projesi kapsamında uluslararası taşımacılık bağlantılarını güçlendirerek demiryolu rekabetçiliğini artırmak" ve W02 "Demiryolu ağının limanlar ve lojistik merkezler ile entegrasyonunu artırarak esnekliği iyileştirmek" stratejileri izlemektedir. Diğer alternatifler görece olarak daha düşük önem skorları alarak ST2 "Enerji verimliliği ve düşük işletme maliyetleri sayesinde uzun vadede demiryolu taşımacılığını daha ekonomik hale getirmek" > "WT1 Özel sektör yatırımlarını artırarak demiryolu altyapısındaki yetersizlikleri gidermek ve finansal riskleri azaltmak" > "W01 Demiryolu altyapısının sanayi bölgelerine erişimini artırmak için özel sektör yatırımlarını teşvik etmek" > "W04 Lojistik süreçlerdeki elleçleme ve aktarma sürelerini kısaltmak için dijitalleşme ve otomasyon yatırımları yapmak" > "W03 Teşvik programlarını kullanarak özel sektörün demiryolu taşımacılığına daha fazla yatırım yapmasını sağlamak" > "WT3 Yük taşımacılığındaki esnekliği artırmak için intermodal taşımacılık çözümlerini teşvik etmek" > "WT5 Demiryolu projelerinin tamamlanma süresini kısaltmak için yeni finansman modelleri ve kamu-özel ortaklıkları oluşturmak" > "S04 Intermodal taşımacılığı artırarak demiryolunun lojistik sistemlerdeki entegrasyonunu güçlendirmek" > "W05 Demiryolu taşımacılığını destekleyen kamu politikalarının geliştirilmesi için devlet-özel sektör iş birliğini artırmak" > "ST1 Karayolu taşımacılığına kıyasla düşük karbon emisyon avantajını vurgulayarak demiryolunu çevresel düzenlemelerle teşvik edilen bir alternatif haline getirmek" > "ST3 Demiryolu altyapı projelerini hızlandırmak için kamu yatırımlarını artırarak bürokratik engelleri aşmak" > "WT2 Lojistik süreçlerdeki bürokratik engelleri azaltmak için mevzuat düzenlemeleri yapmak ve süreçleri hızlandırmak" > "S01 Elektrifikasyon yatırımlarını hızlandırarak düşük karbonlu taşımacılığı teşvik etmek" > "ST4 Demiryolu lojistiğinde insan kaynağı gelişimini desteklemek için eğitim programları ve teşvikler sağlamak" > "S03 Akıllı demiryolu sistemleri ve dijitalleşme yatırımları ile verimliliği artırmak" > "S02 Yeşil Mutabakat ve diğer çevre politikalarına uyum sağlayacak altyapı projeleri geliştirmek" > "WT4 İş gücü açığını kapatmak için üniversiteler ve sanayi iş birliğinde demiryolu taşımacılığına özel eğitim programları geliştirmek şeklinde sıralanmışlardır.

5. Sonuç ve Değerlendirme

Demiryolu taşımacılığı sektörü çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma konusunda kritik bir rol oynamaktadır. Ancak sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi süreci, sektörün doğası gereği çok boyutlu, belirsizlik içeren ve dinamik bir yapı arz etmektedir. Bu çalışmada, demiryolu taşımacılığı sektöründe sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi amacıyla, q-rung orthopair fuzzy kümelerle dayalı SPC ve MABAC yöntemlerinin entegrasyonundan oluşan yenilikçi bir karar destek modeli geliştirilmiştir. Literatürde daha önce çoğunlukla çevresel ve ekonomik boyutlara ağırlık verilirken, bu çalışmada sosyal boyutun da denkleme dahil edilerek bütüncül bir yaklaşım benimsenmesi önemli bir katkı olarak öne çıkmaktadır.

Çalışmanın bulguları, sektörde uzun vadeli başarı ve dönüşüm sağlanabilmesi için stratejik kararların yalnızca teknik verimlilik ya da maliyet etkinliği perspektifinden değil, aynı zamanda toplumsal kabul, istihdam etkisi ve kamu-özel iş birliği gibi sosyal faktörler çerçevesinde de değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda, çalışmada geliştirilen model, sektördeki karar vericilere belirsizlik ortamında daha isabetli, dengeli ve uygulanabilir stratejiler belirleme imkânı sunarak, sürdürülebilir demiryolu taşımacılığına yönelik literatüre ve uygulamaya önemli katkılar sağlamaktadır.

5.1. Çalışmanın Yenilikleri ve Katkıları

Bu çalışma hem teorik hem de pratik açıdan önemli yenilikler ve katkılar ortaya koymuştur. Teorik düzeyde, klasik çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin ötesine geçilerek, belirsizliklerin ve çelişkili uzman yargılarının daha etkin şekilde temsil edilmesine olanak tanıyan q-rung orthopair fuzzy kümeler kullanılmıştır. Ayrıca SPC yöntemiyle kriter ağırlıklarının objektif şekilde belirlenmesi ve MA-BAC yöntemiyle alternatif stratejilerin dengeli biçimde sıralanması, metodolojik bütünlük ve güvenilirlik açısından literatüre değerli bir model kazandırmıştır.

Pratik düzeyde ise çalışmada belirlenen kriterler ve önceliklendirilen stratejiler, demiryolu taşımacılığı alanındaki kamu kurumları, özel sektör firmaları ve politika yapıcılar için somut bir yol haritası sunmaktadır. Çalışmada geliştirilen model, sektörel karar destek süreçlerinde uygulanabilir, esnek ve şeffaf bir araç olarak değerlendirilmekte; böylece sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir kolaylaştırıcı rol üstlenmektedir.

5.2. Kriter ve Strateji Sıralamalarının Değerlendirilmesi

Çalışmada kriterler arasında en yüksek önceliğin "İstihdama Katkı", "Kamu-Özel Sektör İş Birliği Potansiyeli" ve "Toplum ve Kullanıcı Kabulü" kriterlerine verildiği görülmüştür. Bu sonuç, sürdürülebilirlik kavramının yalnızca çevresel boyutla sınırlı tutulamayacağı; toplumsal ve kurumsal faktörlerin de stratejik başarı için vazgeçilmez olduğu gerçeğini doğrulamaktadır. İstihdam etkisinin öne çıkması, demiryolu projelerinin yerel kalkınmaya doğrudan katkı sağlaması ve sosyal refahı artırması açısından mantıklı ve beklenen bir bulgudur.

Stratejiler açısından ise "Uluslararası ticarette rekabetçiliği artıracak hız ve kapasite artırıcı projelere yatırım yapılması" en yüksek önceliğe sahip olmuştur. Bu bulgu demiryolu taşımacılığının yalnızca iç pazara değil, küresel ticaret ağlarına entegre olmasının da sürdürülebilirlik stratejisinin önemli bir unsuru olduğunu ortaya koymaktadır. İntermodal entegrasyonu artırmaya ve altyapı modernizasyonuna yönelik stratejiler de üst sıralarda yer alarak, sektörde verimlilik ve esneklik artışına olan ihtiyacı vurgulamıştır.

Bu sıralama sonuçları, günümüz demiryolu taşımacılığının sadece çevreci bir alternatif olmakla kalmayıp, ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma motoru olarak konumlandırılması gerektiğini gösteren güçlü kanıtlar sunmaktadır.

5.3. Yönetimsel Çıkarımlar ve İçgörüler

Elde edilen bulgular, demiryolu taşımacılığı sektöründeki yöneticiler, politika yapımcılar ve yatırımcılar için çeşitli önemli çıkarımlar sunmaktadır. Öncelikle sürdürülebilirlik stratejilerinin yalnızca çevresel hedeflere odaklanmaması, sosyal kabul ve kamu-özel sektör iş birliklerini ön planda tutacak şekilde yeniden tasarlanması gerektiği açıktır. Bu doğrultuda yatırım kararlarında yalnızca maliyet-etkinlik değil, aynı zamanda toplumsal fayda analizlerinin de dikkate alınması bir zorunluluk hâline gelmiştir.

Ayrıca hız ve kapasite artırıcı projelerin önceliklendirilmesi, uluslararası rekabette demiryolu taşımacılığının payını artırmak için kritik bir adımdır. Bu bulgu sektörde küresel entegrasyon odaklı politikaların geliştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Öte yandan stratejik projelerde kamu-özel ortaklığı modellerinin teşvik edilmesi hem finansal kaynakların çeşitlendirilmesi hem de risklerin paylaşılması açısından etkili bir yönetim yaklaşımı olarak değerlendirilmelidir. Son olarak kullanıcı memnuniyeti ve toplumsal kabul kriterlerinin ön planda tutulması, stratejilerin sahada daha yüksek başarı oranına ulaşmasına ve paydaş memnuniyetinin artmasına katkı sağlayacaktır.

5.4. Genel Değerlendirme

Bu çalışmada geliştirilen hibrit model, demiryolu taşımacılığı sektöründe sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi sürecine hem teorik derinlik hem de pratik uygulanabilirlik kazandırmıştır. Elde edilen bulgular, sektörün gelecekteki gelişiminde sosyal, çevresel ve ekonomik faktörlerin dengeli biçimde dikkate alınmasının zorunlu olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur. Modelin sunduğu sistematik yaklaşım, yalnızca mevcut karar destek süreçlerinin güçlendirilmesine katkı sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda yeni politika tasarımları ve sektörel stratejilerin oluşturulmasına da rehberlik edecektir. Gelecek çalışmalarda, önerilen modelin farklı bölgesel bağlamlarda test edilmesi ve kullanıcı davranışları gibi dinamik faktörlerin daha derinlemesine incelenmesi önerilmektedir.

6. Sonuçlar ve Gelecek Çalışma Trendleri

Bu çalışmada demiryolu taşımacılığı sektöründe sürdürülebilirlik stratejilerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi amacıyla q-Rung Orthopair Bulanık Kümeler (qROFS), SPC ve MABAC yöntemlerine dayalı entegre bir karar verme modeli geliştirilmiştir. Çalışmada, literatürde çoğunlukla sadece ekonomik veya çevresel boyutlara odaklanılan yaklaşımların ötesine geçilerek ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik boyutlarının birlikte değerlendirildiği bütüncül bir yaklaşım benimsenmiştir. Önerilen yöntem, belirsizlik ve uzman görüşleri arasındaki tutarsızlıkları etkin bir şekilde yöneterek demiryolu sektöründe stratejik karar verme süreçlerinin nesnellik ve güvenilirlik düzeyini artırmıştır.

Elde edilen bulgular istihdama katkı, kamu-özel sektör iş birliği potansiyeli ve toplum tarafından kabul edilebilirlik gibi sosyal odaklı kriterlerin demiryolu sektörünün sürdürülebilir dönüşümünde kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, hız ve kapasite artırımı odaklı uluslararası rekabet gücünü artırma stratejilerinin en üst sıralarda yer alması, sektörün sadece ulusal değil küresel ticaret ağlarıyla entegrasyon ihtiyacını vurgulamaktadır. Bu sonuçlar ulaştırma alanında kapsamlı ve dengeli sürdürülebilirlik stratejileri geliştirmek isteyen politika yapımcılar ve sektör temsilcileri için değerli bilgiler sunmaktadır.

6.1. Çalışmanın Sınırlılıkları

Çalışmanın sağladığı katkılara rağmen bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle model her ne kadar çoklu sürdürülebilirlik boyutlarını kapsasa da büyük ölçüde uzman görüşlerine dayanmakta ve bu durum bulanık mantık kullanılsa dahi öznel yanlılık riskini tamamen ortadan kaldırmamaktadır. Ayrıca, çalışma yalnızca demiryolu taşımacılığı sektörü ve belirli bir bölgesel bağlam ile sınırlıdır; dolayısıyla bulguların diğer ulaştırma türlerine veya farklı coğrafyalara doğrudan genellenmesi sınırlı olabilir.

Bir diğer sınırlılık ise dinamik faktörler — teknolojik yenilikler, kullanıcı davranışlarındaki değişimler ve politika dönüşümleri gibi — model içerisine doğrudan entegre edilmemiştir. Ayrıca, qROFS yaklaşımının sunduğu üstün esnekliğe rağmen, yönteminin uygulanabilirliği yüksek teknik bilgi gerektirdiğinden, pratik kullanımda yaygınlaşması için ek kolaylaştırıcı araçlara ihtiyaç duyulabilir.

6.2. Gelecek Araştırmalar için Yönelimler

Bu çalışmanın bulgularına ve sınırlılıklarına dayanarak, gelecekteki araştırmalar için birkaç önemli öneri sunulabilir. İlk olarak, geliştirilen model farklı ulaşım türlerine (örneğin kentsel toplu taşıma sistemleri, deniz taşımacılığı, hava taşımacılığı gibi) uygulanarak, ulaştırma sektörünün genel sürdürülebilirlik dinamikleri daha geniş bir perspektiften değerlendirilebilir. Ayrıca, farklı bölgeler ve ekonomik gelişmişlik seviyeleri arasında karşılaştırmalı çalışmalar yürütülmesi, evrensel ve bağlamsal sürdürülebilirlik etmenlerinin ayırt edilmesine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada literatür taraması, Web of Science ve Scopus veri tabanları aracılığıyla sistematik bir şekilde gerçekleştirilmiş ve belirlenen anahtar kelime grupları temelinde ilgili yayınlar analiz edilmiştir. Ancak yakın gelecekte yapılacak çalışmalarda bibliyometrik analiz tekniklerinin (örneğin eş-atıf (co-citation), bibliyografik eşleşme, kümeleme (cluster analysis), co-word analizi vb.) entegrasyonu sayesinde literatürdeki ana temaların daha nesnel, görsel ve bütünsel şekilde ortaya konması hedeflenmektedir. Bu tür tekniklerle yapılacak bilimsel haritalama sayesinde, çalışmanın araştırma konusunun literatürdeki yerinin daha güçlü biçimde konumlandırılması mümkün olacağı gibi literatürdeki bilgi boşluklarının da sistematik olarak tespit edilmesi sağlanabilecektir. Ayrıca bu analizler literatürün gelişimsel evrimini, temel yazarlardan oluşan entelektüel kümeleri ve konunun zamansal ilerleyişini görselleştirmeye imkân tanıyarak, araştırmacılara

yönlendirici bir yol haritası da sunacaktır. Bu kapsamda yapılacak bibliyometrik analizler, çalışmanın akademik katkı derinliğini artırarak hem metodolojik hem de kuramsal düzeyde daha güçlü bir literatür inşasına zemin hazırlayacaktır.

Bunun yanı sıra gerçek zamanlı operasyonel verilerin ve kullanıcı davranışlarının karar destek modellerine entegre edilmesi, daha dinamik ve adaptif stratejik planlama sistemlerinin geliştirilmesine imkân verebilir. Ayrıca qROFS tabanlı modellerin makine öğrenmesi ve büyük veri analitiği gibi yeni teknolojilerle birleştirilmesi, karar verme süreçlerinde hem tahmin gücünü hem de esneklik düzeyini artıracak önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır.

Son olarak qROFS tabanlı karar destek sistemlerinin daha kullanıcı dostu ve erişilebilir platformlara dönüştürülmesi, bu teorik yaklaşımın kamu kurumları ve özel sektör uygulayıcıları tarafından daha geniş ölçekte benimsenmesini kolaylaştırabilir. Bu tür uygulamalar, sadece teorik katkıları artırmakla kalmayacak, aynı zamanda sürdürülebilir ve dirençli ulaşım sistemlerinin geliştirilmesine de doğrudan katkı sağlayacaktır.

Gelecek çalışmalarda sürdürülebilirlik stratejilerinin daha güvenilir ve kapsamlı biçimde analiz edilebilmesi için yalnızca dilsel (nitel) yargılara değil, aynı zamanda sayısal (nicel) veri kaynaklarına dayalı hibrit karar verme modellerine yönelinmesi önem arz etmektedir. Bu doğrultuda maliyet etkinliği, karbon emisyonu ve enerji verimliliği gibi kriterler, doğrudan ölçülebilir ve sektörel veri tabanlarında yer alan somut göstergelerle desteklenebilecek niteliktedir. Literatürden, sektörel raporlardan veya kamuya açık veri tabanlarından elde edilecek bu sayısal göstergeler, q-ROF tabanlı karar verme süreçlerine entegre edilerek modelin geçerliliği ve hesaplama temeli daha sağlam bir zemine oturtulabilir. Özellikle maliyet verileri, karbon salım miktarları veya enerji tüketim düzeyleri gibi objektif veriler, uzman değerlendirmeleriyle birlikte kullanılarak daha dengeli ve çok boyutlu analizler yapılması mümkün olacaktır.

Böyle bir yaklaşım, modelin yalnızca teorik düzeyde kalmamasını, aynı zamanda pratikte uygulanabilir ve karar alıcılara yol gösterici nitelikte olmasını sağlayacaktır. Bu kapsamda geliştirilecek hibrit veri yapıları, duyarlılık analizi veya senaryo bazlı testler gibi araçlarla modelin öngörü kapasitesini artıracak ve karar desteği işlevini güçlendirecektir. Dolayısıyla sürdürülebilirlik temelli çok kriterli karar verme literatüründe, nitel ve nicel verilerin entegre edildiği metodolojik yaklaşımların önümüzdeki dönemde ön plana çıkacağı öngörülmektedir. Bu çalışmada önerilen modelin böyle bir veri bütünleşmesine açık yapısı sayesinde, gelecek araştırmalar için değerli bir temel sunduğu değerlendirilmektedir.

Çalışmanın ileriki aşamalarında önceliklendirilmiş sürdürülebilirlik stratejilerine ilişkin uygulanabilirlik değerlendirmelerinin daha ayrıntılı biçimde ele alınması önerilmektedir. Özellikle her bir stratejiye yönelik örnek eylem adımlarıyla birlikte çevresel, ekonomik ve sosyal risklerin sistematik olarak analiz edilmesi, modelin yalnızca stratejik önceliklendirme düzeyinde kalmayıp politika yapıcılar açısından doğrudan uygulanabilir bir yol haritası sunmasını sağlayacaktır. Örneğin karbon emisyonlarının azaltılmasına yönelik stratejilerde, uygulanabilecek teknik dönüşüm

seçenekleri (örneğin dizel araçların elektrikliye dönüşümü), potansiyel yatırım maliyetleri, enerji arz güvenliği gibi parametreler dikkate alınarak risk-alt strateji matrisleri oluşturulabilir. Benzer şekilde kamu-özel sektör iş birliklerini içeren stratejilerde mevzuat engelleri, paydaş uyumu, finansal riskler ve operasyonel belirsizlikler gibi faktörlerin analizi, eylem planlarının daha gerçekçi bir zemin üzerine inşa edilmesine katkı sunacaktır. Bu tür bir genişletme ile önerilen model yalnızca karar destek aracı olarak değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik politikalarının tasarımı ve sahada uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi için bütüncül bir çerçeve olarak değerlendirilebilir. Dolayısıyla gelecekteki çalışmalarda eylem planları ve risk değerlendirme modüllerinin modele entegrasyonu, modelin pratik geçerliliğini artıracak ve karar vericilere çok daha somut bir yönlendirme sağlayacaktır.

Bu çalışmada önerilen q-ROF tabanlı hibrit karar destek modeli, Türkiye demiryolu taşımacılığı sektöründeki sürdürülebilirlik stratejilerinin önceliklendirilmesine özgü olarak yapılandırılmıştır. Ancak literatürde yer alan benzer yöntemlerle yürütülmüş uluslararası çalışmalar dikkate alındığında, modelin farklı ülke örneklerine uygulanabilirliğini değerlendirmek, metodolojik geçerliliğini sınamak açısından anlamlı bir katkı sağlayabilir. Örneğin Mansourianfar ve Haghsheenas (2018) İran demiryolu projeleri için geliştirdiği sürdürülebilirlik odaklı karar modeli, Simionescu ve Silviu (2016) tarafından Romanya'da sürdürülebilirlik bağlamında demiryolu modernizasyonu projelerinin değerlendirilmesi için yürütülen çalışma ya da Wang vd., (2021) tarafından yürütülen ve Tanzania şehirler arası demiryolu taşımacılığına yönelik sürdürülebilirlik bağlamı çalışması, farklı coğrafyalarda benzer kriter setlerinin nasıl işlediğine dair kıymetli örnekler sunmaktadır.

Bu bağlamda gelecek çalışmalarda Türkiye'de geliştirilen bu modelin farklı ülke örneklerine uygulanması; hem strateji önceliklendirmelerindeki benzerlikleri ve farklılıkları ortaya koyacak, hem de modelin genellenebilirliğini ve karşılaştırmalı geçerliliğini artıracaktır. Ayrıca çoklu ülke örneklerinin karşılaştırmalı analizinin yapılması, sürdürülebilirlik politikalarının kültürel, ekonomik ve kurumsal bağlama duyarlı olarak şekillenmesine katkı sağlayacak; politika yapıcılar açısından daha evrensel düzeyde uygulanabilir çıktılar üretecektir. Bu nedenle, ileriki araştırmalarda modelin farklı ülke vakalarıyla birlikte test edilmesi ve sonuçlarının çapraz olarak karşılaştırılması, mevcut çalışmanın uluslararası literatüre katkısını artıracak önemli bir yönelim olarak değerlendirilmektedir.

Kaynakça

Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and Systems*, 20(1), 87-96. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3)

Ayan, B., Abacioğlu, S., & Basilio, M. P. (2023). A Comprehensive Review of the Novel Weighting Methods for Multi-Criteria Decision-Making. *Information* (Switzerland) (C. 14, Sayı 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., Pamucar, D., Dey, P., Chatterjee, S., & Majumder, S. (2024). A q-ROF Based Intelligent Framework for Exploring the Interface Among the Variables of Culture Shock and Adoption Toward Organizational Effectiveness (ss. 255-293). https://doi.org/10.1007/978-981-99-5354-7_14

Biswas, S., Sanyal, A., Božanić, D., Kar, S., Milić, A., & Puška, A. (2023). A Multicriteria-Based Comparison of Electric Vehicles Using q-Rung Orthopair Fuzzy Numbers. *Entropy*, 25(6). <https://doi.org/10.3390/e25060905>

Biswas, S., Sanyal, A., Božanić, D., Puška, A., & Marinković, D. (2023). Critical Success Factors for 5G Technology Adaptation in Supply Chains. *Sustainability*, 15(6), 5539. <https://doi.org/10.3390/su15065539>

Bouraima, M. B., Qiu, Y., Stević, Ž., & Simić, V. (2023). Assessment of alternative railway systems for sustainable transportation using an integrated IRN SWARA and IRN CoCoSo model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101475>

Deveci, M., Gokasar, I., Pamucar, D., Biswas, S., & Simic, V. (2022). An Integrated Proximity Indexed Value and q-Rung Orthopair Fuzzy Decision-Making Model for Prioritization of Green Campus Transportation. *q-Rung Orthopair Fuzzy Sets* (ss. 303-332). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1449-2_12

Deveci, M., Gokasar, I., Pamucar, D., Coffman, D. M., & Papadonikolaki, E. (2022). Safe E-scooter operation alternative prioritization using a q-rung orthopair Fuzzy Einstein based WASPAS approach. *Journal of Cleaner Production*, 347. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131239>

Deveci, M., Pamucar, D., Gokasar, I., Koppen, M., & Gupta, B. B. (2022). Personal Mobility in Metaverse With Autonomous Vehicles Using Q-Rung Orthopair Fuzzy Sets Based OPA-RAFSI Model. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. <https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3186294>

Du, W. S. (2021). A further investigation on q-rung orthopair fuzzy Einstein aggregation operators. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 41(6). <https://doi.org/10.3233/JIFS-210548>

Feng, F., Zheng, Y., Sun, B., & Akram, M. (2022). Novel score functions of generalized orthopair fuzzy membership grades with application to multiple attribute decision making. *Granular Computing*, 7(1). <https://doi.org/10.1007/s41066-021-00253-7>

Gandhi, N., & Kant, R. (2023). Evaluation of sustainability performance of the rail freight transportation: An index-based analysis. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.193>

Garg, C. P., & Kashav, V. (2020). Assessment of Sustainable Initiatives in the Containerized Freight Railways of India using Fuzzy AHP Framework. *Transportation Research Procedia*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.057>

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>

Görçün, Ö. Faruk., Chatterjee, Prasenjit., Stević, Željko., & Küçükönder, Hande. (2024). An integrated model for road freight transport firm selection in third-party logistics using T-spherical Fuzzy sets. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 186, 103542. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103542>

Güneri, B., & Deveci, M. (2023). Evaluation of supplier selection in the defense industry using q-rung orthopair fuzzy set based EDAS approach. *Expert Systems with Applications*, 222. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119846>

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>

Krmac, E., & Djordjević, B. (2018). An Evaluation of Indicators of Railway Intelligent Transportation Systems using the Group Analytic Hierarchy Process. *Electronics Science Technology and Application*, 4(2). <https://doi.org/10.18686/esta.v4i2.57>

Kumar, N., & Kumari, N. (2012). Conceptual architectural design of Indian railway intelligent transportation systems. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 7266 LNCS. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29667-3_13

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>

Liu, P., & Wang, P. (2019). Multiple-attribute decision-making based on archimedean bonferroni operators of q-rung orthopair fuzzy numbers. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 27(5). <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2018.2826452>

Liu, Z., & Zhang, Y. (2022). Comprehensive Sustainable Assessment and Prioritization of Different Railway Projects Based on a Hybrid MCDM Model. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912065>

Mansourianfar, M. H., & Haghshenas, H. (2018). Micro-scale sustainability assessment of infrastructure projects on urban transportation systems: Case study of Azadi district, Isfahan, Iran. *Cities*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.08.012>

Mishra, A. R., & Rani, P. (2021). A q-rung orthopair fuzzy ARAS method based on entropy and discrimination measures: an application of sustainable recycling partner selection. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03549-3>

Noruzi, M., Naderan, A., Zakeri, J. A., & Rahimov, K. (2023). A Novel Decision-Making Framework to Evaluate Rail Transport Development Projects Considering Sustainability under Uncertainty. *Sustainability (Switzerland)*, 15(17). <https://doi.org/10.3390/su151713086>

Peng, X., & Dai, J. (2018). Approaches to single-valued neutrosophic MADM based on MABAC, TOPSIS and new similarity measure with score function. *Neural Computing and Applications*, 29(10). <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2607-y>

Qahtan, S., Alsattar, H. A., Zaidan, A. A., Deveci, M., Pamucar, D., & Delen, D. (2023). Performance assessment of sustainable transportation in the shipping industry using a q-rung orthopair fuzzy rough sets-based decision making methodology. *Expert Systems with Applications*, 223. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119958>

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>

Rao, S. H. (2021). Transportation synthetic sustainability indices: A case of Taiwan intercity railway transport. *Ecological Indicators*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107753>

Saha, A., Majumder, P., Dutta, D., & Debnath, B. K. (2021). Multi-attribute decision making using q-rung orthopair fuzzy weighted fairly aggregation operators. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(7). <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02551-5>

Simionescu, V., & Silviu, G. (2016). Assessing Sustainability of Railway Modernization Projects; A Case Study from Romania. *Procedia Computer Science*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.182>

Stoilova, S., Munier, N., Kendra, M., & Skrúcaný, T. (2020). Multi-criteria evaluation of railway network performance in countries of the TEN-T orient-east med corridor. *Sustainability (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/su12041482>

Wang, J., Sekei, V. S., Ganiyu, S. A., & Makwetta, J. J. (2021). Research on the sustainability of the standard gauge railway construction project in Tanzania. *Sustainability (Switzerland)*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13095271>

Wang, P., Wang, J., Wei, G., & Wei, C. (2019). Similarity measures of q-rung orthopair fuzzy sets based on cosine function and their applications. *Mathematics*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/math7040340>

Wang, R., & Li, Y. (2018). A novel approach for green supplier selection under a q-rung orthopair fuzzy environment. *Symmetry*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/sym10120687>

Weber, S. (1983). A general concept of fuzzy connectives, negations and implications based on t-norms and t-conorms. *Fuzzy Sets and Systems*, 11(1-3). [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(83\)80073-6](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(83)80073-6)

Wei, G., Gao, H., & Wei, Y. (2018). Some q-rung orthopair fuzzy Heronian mean operators in multiple attribute decision making. *International Journal of Intelligent Systems*, 33(7). <https://doi.org/10.1002/int.21985>

Yager, R. R. (2013). Pythagorean fuzzy subsets. *Proceedings of the 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting, IFSA/NAFIPS 2013*. <https://doi.org/10.1109/IFSA-NAFIPS.2013.6608375>

Yager, R. R. (2017). Generalized Orthopair fuzzy sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 25(5), 1222-1230. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2016.2604005>

Yin, S., Wang, Y., & Shafiee, S. (2023). Ranking products through online reviews considering the mass assignment of features based on BERT and q-rung orthopair fuzzy set theory. *Expert Systems with Applications*, 213. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119142>

Yüksel, Ç., & Uncu, N. (2024). Evaluating the Performance of Railway Transportation Companies Using Multi-Criteria Decision-Making Methods. *Demiryolu Mühendisliği*, 20, 11-24. <https://doi.org/10.47072/demiryolu.1407420>

Ek-1 Uzmanların stratejilere ilişkin dilsel değerlendirmeleri

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
S01	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
S01	KV2	VH	VVH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	VH	VH	EH	VVH	EH	VVH	VH	VH	VVH
S01	KV3	EH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
S01	KV4	VVH	M	M	H	VH	M	MH	MH	H	MB	M	MH	MB	MH	MB	M
S01	KV5	EH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
S02	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
S02	KV2	VH	VH	VVH	EH	EH	EH	VH	VVH	VH	VH	VVH	EH	VVH	VH	VH	VH
S02	KV3	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
S02	KV4	H	MB	MB	M	H	M	M	MH	MH	M	M	M	MB	MH	MB	M
S02	KV5	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
S03	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
S03	KV2	VVH	VVH	VVH	VH	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	VVH	EH	VVH	VH	VH	VH
S03	KV3	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
S03	KV4	H	MB	MB	MH	H	MB	H	H	H	MH	M	MH	MB	VH	MB	MB
S03	KV5	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
S04	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
S04	KV2	VVH	EH	EH	H	H	VH	EH	EH	VVH	EH	EH	EH	VVH	EH	VH	VH
S04	KV3	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
S04	KV4	VH	MB	MB	MH	H	M	VH	VH	VH	VH	H	MH	MH	VH	MB	MH
S04	KV5	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
S05	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
S05	KV2	EH	EH	EH	VH	VH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VH	EH
S05	KV3	EH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
S05	KV4	EH	M	M	MH	VH	M	VVH	VH	VVH	VVH	VH	H	MH	VVH	MB	M
S05	KV5	EH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
ST1	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
ST1	KV2	VH	VH	VH	EH	EH	EH	VVH	VH	VH	VH	VH	EH	EH	VH	VH	VH
ST1	KV3	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
ST1	KV4	VH	M	MH	VH	H	B	MB	MB	M	MB	M	MB	MB	H	VB	M
ST1	KV5	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
ST2	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
ST2	KV2	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VH
ST2	KV3	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
ST2	KV4	VH	MH	B	VH	VH	MB	B	M	M	MH	H	B	M	VH	VB	MH
ST2	KV5	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
ST3	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H

ST3	KV2	EH	EH	EH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	EH	EH	VH	VH	VH
ST3	KV3	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH	
ST3	KV4	VH	MH	H	B	MB	VB	MB	M	MB	MB	MB	MH	MB	H	B	B
ST3	KV5	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
ST4	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
ST4	KV2	VVH	VVH	VVH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VVH	VH	VH	EH	EH
ST4	KV3	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
ST4	KV4	MH	M	M	VVB	B	VVB	B	B	VB	VB	VB	B	B	MB	MH	VB
ST4	KV5	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
ST5	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
ST5	KV2	EH	EH	EH	EH	VH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VH	EH
ST5	KV3	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH
ST5	KV4	VVH	H	H	MB	MB	VB	M	MB	MH	M	MH	H	H	VH	M	MB
ST5	KV5	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH
W01	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
W01	KV2	VVH	VVH	EH	VH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VH	EH
W01	KV3	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
W01	KV4	MH	M	M	MB	M	MB	M	MH	MH	H	H	MH	MH	H	M	MB
W01	KV5	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
W02	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
W02	KV2	VVH	VVH	EH	VH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VH
W02	KV3	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
W02	KV4	MH	MB	MH	MB	M	MB	M	H	MH	VH	H	MH	H	VH	MB	MB
W02	KV5	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
W03	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
W03	KV2	EH	EH	EH	VH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH
W03	KV3	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
W03	KV4	MH	MB	MH	M	M	MB	M	VH	H	MH	H	MH	MH	MH	M	B
W03	KV5	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
W04	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
W04	KV2	VVH	VVH	VVH	VH	VH	VH	EH	EH	VVH	EH	EH	EH	VVH	EH	VVH	VVH
W04	KV3	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
W04	KV4	H	MB	MH	M	MH	MB	M	H	H	H	H	MH	H	MH	MB	MB
W04	KV5	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
W05	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
W05	KV2	VH	VH	EH	VH	VH	VVH	EH	VH	VH	VH	VH	EH	EH	VH	VH	VH
W05	KV3	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
W05	KV4	MH	MB	MH	M	MH	MB	M	MH	MH	H	VH	MH	H	MH	MB	MB
W05	KV5	VVH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	EH
WT1	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
WT1	KV2	EH	EH	EH	VH	VH	VH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VH
WT1	KV3	EH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
WT1	KV4	VH	M	H	MB	M	M	M	MH	H	VH	VH	VH	VVH	VVH	MB	M
WT1	KV5	EH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
WT2	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
WT2	KV2	VVH	VVH	EH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	EH	EH	VVH	VVH	VVH
WT2	KV3	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
WT2	KV4	MB	MB	H	MB	VB	MB	MH	MB	H	VH	M	VH	VVH	H	B	MB
WT2	KV5	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH

WT3	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
WT3	KV2	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	EH	VH	EH
WT3	KV3	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
WT3	KV4	MH	M	H	VH	M	B	H	MH	H	H	MH	MB	MH	H	B	MB
WT3	KV5	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
WT4	KV1	EH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
WT4	KV2	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	EH	VVH
WT4	KV3	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
WT4	KV4	MB	MB	MB	VVB	VVB	EB	VB	VB	VB	VVB	VB	B	MB	B	VVH	MB
WT4	KV5	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
WT5	KV1	VH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	VVH	EH	VVH	EH	EH	EH	VH	EH	VH	H
WT5	KV2	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	EH	EH	VVH	VVH
WT5	KV3	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH
WT5	KV4	H	M	H	VB	MH	VVB	M	M	MH	MH	H	VVH	VVH	VH	B	VB
WT5	KV5	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH	EH	EH	EH	VVH	VVH	VVH	VVH