

# VERİMLİLİK VE ETKİNLİK ÇERÇEVESİNDE ENTEGRE AHP-GİA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK ULUSLARARASI TAŞIMACILIKTA ALTERNATİF GÜZERGÂHLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Araştırma Makalesi

Ömer Faruk GÖRÇÜN<sup>1</sup>

GÖRÇÜN, Ö. F., (2020), **Verimlilik ve Etkinlik Çerçevesinde Entegre AHP-GİA Yöntemleri Kullanılarak Uluslararası Taşımacılıkta Alternatif Güzergâhların Değerlendirilmesi**, Verimlilik Dergisi, Yıl: 2020, Sayı: 2, T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Yayını.

## ÖZET

Verimlilik, etkinlik ve yüksek performans perspektifinde taşımacılık faaliyetlerini yürütebilmek, uluslararası taşımacılık firmaları için son derece önemlidir. Aynı zamanda işletmeler verimliliklerinin ve etkinliklerinin sürdürülebilir olmasına odaklanmaktadır. Bu kapsamda, bir uluslararası taşımacılık operasyonunda işletmelerin rekabet edebilirlik düzeylerini korumak ve geliştirmek için karar vericilerin almaları gereken çok sayıda stratejik karar bulunmaktadır. Bu kararlardan biri de güzergâh seçimi ile ilgilidir. Uygun güzergâhın seçimi taşıma operasyonunu yapısal olarak biçimlendirmenin yanı sıra, operasyonun verimliliğini ve etkinliğini büyük ölçüde belirlemektedir. Bu çalışma; Avrupa ülkelerine yapılan taşımalarda kullanılan güzergâh alternatiflerini Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemlerinin entegre edildiği hibrid bir Çok Kriterli Karar Verme Metodolojisi kullanarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada daha gerçekçi ve uygulanabilir sonuçların elde edilebilmesi için yedi kişiden oluşan bir uzmanlar kurulu oluşturulmuş, uzmanlar kurulu üyeleri ile yapılan toplantılarda karar noktaları, seçim kriterleri ile birlikte, hazırlanacak ikili karşılaştırma sorularının yöneltileceği karar alıcılar da belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Gri İlişkisel Analiz, Analitik Hiyerarşi Prosesi, Güzergâh Planlama, Taşıma.

<sup>1</sup> **Ömer Faruk GÖRÇÜN**, Dr. Öğr. Üyesi, Kadir Has Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü. ORCID: 0000-0003-3850-6755

\* Makale Gönderim Tarihi: 20.11.2018 Kabul Tarihi: 04.04.2019

# EVALUATION OF ROUTE ALTERNATIVE IN INTERNATIONAL TRANSPORTATION WITH INTEGRATED AHP-GRA METHODS WITHIN THE FRAMEWORK OF PRODUCTIVITY AND EFFECTIVENESS

## **ABSTRACT**

*Being able to carry out transport activities in terms of efficiency and high performance is very important for international transport companies. At the same time, businesses focus on sustainability of their efficiency and effectiveness. There are a number of strategic decisions that decision-makers need to take for improving the productivity levels of enterprises in an international transport operation. One of these decisions is related to route selection. The choice of the appropriate route not only structurally shapes the transport operation, but also largely determines the efficiency and effectiveness of the operation. This study aims to evaluate the route alternatives used in transports to European countries using a hybrid multi-criteria decision-making methodology that integrates Analytical Hierarchy Process (AHP) and Grey Relational Analysis (GRA). In order to obtain more realistic and feasible results, a panel of experts consisting of seven members was formed. The decision points, selection criteria and decision-makers to answer binary comparison questions were determined in the meetings held with the members of the experts committee.*

**Keywords:** *Grey Relational Analysis, The Analytic Hierarchy Process, Route Planning, Transport.*

## 1. GİRİŞ

Taşımacılık faaliyeti son derece karmaşık süreçlerden ve operasyonlardan oluşan lojistik bir faaliyet olarak tanımlanabilir. Sürecin başlangıcından sona ermesine kadar taşıma operatörleri sürekli olarak farklı durum ve unsurlarla ilgili karar almak zorundadırlar. Operasyonda kullanılacak aracın, personelin, taşıma kabının seçiminin yanı sıra, kullanılacak taşıma türünün, izlenecek güzergâhın, elleçleme, taşıma vb. faaliyetlere ilişkin iş yapış şekillerinin belirlenmesi dahil neredeyse hepsi gerçekte bir karar alma problemidir. Aynı zamanda, karar noktaları ile seçim kriterlerinin sayıları arttıkça, karar alıcılar açısından doğru kararlar alabilmek de zorlaşabilmektedir. Daha da önemlisi, taşımacılık faaliyetleri ile ilgili karar alma sürecine etki eden faktörler son derece değişken bir karaktere sahiptir.

Bu kapsamda, taşımacılık faaliyetlerine ilişkin karar alma problemlerinin etkin bir biçimde çözülebilmesi için Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinin kullanılması son derece önemlidir. Taşımacılık süreçlerine etki eden faktörlerin sayıca çok, aynı zamanda değişken niteliğe sahip olması dikkate alındığında, karar verme probleminin karar alıcıların sezgisel yaklaşımları ve tecrübelerine dayalı olarak çözülebilmesi son derece zordur. Aynı zamanda, yapılan bir hatanın telafisinin zor, hatta imkânsız olduğu görülebilmektedir. Bu kapsamda gerçekçi, rasyonel ve uygulanabilir nitelikte sistematik ve yapısal bir çerçevenin varlığının taşımacılık sektörü için son derece hayati bir gereksinim olduğu son derece açıktır.

Bu çalışmada Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri arasında yer alan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemi ile Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemleri entegre edilerek, Hibrid bir model kurgulanmış, uluslararası taşımacılıkta kullanılan güzergahlar, seçime etki eden faktörler ve seçim kriterleri çerçevesinde değerlendirilmiştir. Bu modelin tercih edilmesinin en önemli nedenlerinden biri; yöntemin kolayca anlaşılabilir olmasının yanı sıra, karar alıcılar tarafından uygulanmasının son derece basit olmasıdır. Özellikle sektörün eğitim ve kalifikasyon düzeyi düşünüldüğünde kolay uygulanabilir bir yöntemin tercih edilmesinin önemi de ortaya çıkmaktadır. Ek olarak taşımacılık sektöründe bütün faktörler siyah ve beyaz gibi net tanımlara sahip olmayabilmekte, bazı faktörler ara değerlere sahip olup, gri bir özellik gösterebilmektedir. GİA Yöntemi faktörlerin alacakları değerlerin net olmaması sorununa çözüm getirmesi açısından son derece işlevsel bir yaklaşımdır. Ek olarak, faktörlerin önem derecelerinin belirlenmesi ve öncelik değerlerinin hesaplanması için yazılımlara ve özel programlara gereksinim duyulmaması yöntemin tercih edilmesine etki eden bir diğer faktördür.

Araştırmanın çerçevesi içerisinde güzergâh seçimi, Gri İlişkisel Analiz Yaklaşımı alanlarında yapılan çalışmalar ayrı ayrı ve birlikte ele alındığında GİA yönteminin kullanıldığı birçok çalışmaya rastlanıldığı gibi, taşımacılıkta güzergâh seçimi konusunda da dikkate alınır ölçüde çalışmanın var olduğu görülmektedir. Buna karşılık, ve taşımacılık alanında güzergâh seçimi ile ilgili problemlerin çözümü ile ilgili olarak, GİA Yönteminin yalnız başına ya da bir başka ÇKVV yöntemi ile entegre edilerek kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Konu ile ilgili literatür gözden geçirildiğinde, Gri İlişkisel Analiz Yönteminin ağırlıklı olarak banka vb. finans kuruluşlarının performanslarının ölçülmesi, personel değerlendirme ve seçimi, konut seçimi, yer seçimi gibi alanlarda yoğunlaştığı görülmektedir.

Konu ile ilgili literatür değerlendirildiği zaman, benzer çalışmalardan biri Qu ve Chen tarafından hazırlanan "A Hybrid MCDM Method for Route Selection of Multimodal Transportation Network" isimli çalışmadır. Qu ve Chen (2018)'in çalışmasında intermodal ve kombine taşımacılık gibi çok modlu taşıma türleri açısından güzergâh seçimine ilişkin süreçler değerlendirilmiş, buna karşılık multimodal taşımacılık dışında kalan taşıma türleri kapsam dışında bırakılmıştır. Lojistik ve taşımacılıkla ilgili olarak, Kaewfak ve Ammarapala (2018), yük taşımacılığında multimodal taşımacılığa ilişkin güzergâhları analiz etmişler, Wang ve Yeo (2018), Bulanık Delphi ve ELECTRE I yöntemlerini entegre bir şekilde kullanarak Kore ve Merkezi Asya ülkeleri arasında kargo taşımacılığına yönelik intermodal güzergâhları değerlendirmişlerdir. Bo vd. (2018) ise konteyner güzergâhlarını ekonomik açıdan değerlendirirken, Hao vd. (2007), jenerik algoritma geliştirerek havayolu yük taşımacılığı için güzergâhları değerlendirmişlerdir. Yu vd. (2005), Gri Yöntemini kullanarak ekspres yük taşımacılığı için optimal güzergâh seçimi ile ilgili analiz gerçekleştirmişler, Pham ve Yeo (2018), Çin ve Vietnam arasındaki en iyi taşıma güzergâhının seçimi için karşılaştırmalı bir analiz yürütmüşlerdir. Meng vd. standart dışı özel yüklerin taşınması için güzergâh seçimi proseslerini değerlendirirken, Guze vd. (2017), benzer bir çalışmayı sıvı ve tehlikeli maddeler için gerçekleştirmişler, Randoph (1991) ise taşınan yüklerin ağırlıkları ve boyutları özelinde, güzergâhları analiz etmiştir.

Zhou vd. (2017), yük limanlarında toplama ve dağıtım optimizasyonu ile ilgili bir model önermişlerdir. Bunlara ek olarak, Tayvan boğazında bozulabilir ürünlerin taşınması için bir güzergâh seçim modelinin kullanılması (Kuo, 2015), standart dışı yüklerin taşınması için güzergâh seçimi ve Seçim Kriterlerinin Analizi (Petraška ve Palšaitis, 2012), yük konsolidasyonu çerçevesinde Toplama Merkezlerinin Seçilmesi (Carr ve Wooseung, 2009),

yük güzergâh seçimi ve çizelgeleme Huntley, Brown ve Sappington, 1995), çok modlu taşımacılıkta güzergâh için bir çerçevenin geliştirilmesi (Kengpol, Tuammee ve Tuominen, 2014), ağır ve havaleli yüklerin taşınması için sistem seçimi (Petraška vd., 2018), ağır yüklerin taşınmasında güzergâhların değerlendirilmesi için Algoritma Oluşturma (Petraška vd., 2017), maliyetler çerçevesinde güzergâh seçimine ilişkin Bütünsel Bir Yaklaşım (Michell ve Gu, 2004), Tabu Algoritma Yaklaşımı ile yük taşımacılığı için güzergâh ve taşıma türü seçimi (Stoilova ve Kunchev, 2016), AHP Yöntemi ve Graf Metotları kullanılarak güzergâh seçimi (Pang vd., 2002), araç navigasyon sistemlerinde akıllı güzergâh seçimi (Yu vd., 2005), Gri Yöntemi kullanılarak taşıma ve lojistik faaliyetler için optimal önceliklerin belirlenmesi (Lin ve Yeh, 2010), taşımacı seçimi (Wang vd., 2010), demiryolu yük trenleri için çizelgeleme (Kuo vd., 2010), uzun mesafe taşımacılık operasyonlarında güzergâh seçim problemi için bir Karar Destek Sistemi (Royo vd., 2014), uluslararası intermodal taşımacılıkta Yük Şebekesi Modelleme (Peterson ve Bruce, 2000) gibi çalışmalara rastlanmıştır.

Öte yandan iki farklı Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi yerine AHP Yöntemi yapay sinir ağları ile entegre edilerek bir Hibrid Model olarak tanımlanmıştır (Kuo vd., 2002). Farkas (2009) Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) ile kentsel alanlarda yolcu taşımacılığı çerçevesinde potansiyel güzergâhları değerlendirmiştir. Tyagi ve Das (1997), AHP Yöntemi ile matematiksel programlamayı birlikte kullanarak dağıtım süreçleri ile ilgili bir model önermişler, uluslararası taşımacılıktan daha çok lojistik dağıtım proseslerini incelemişlerdir.

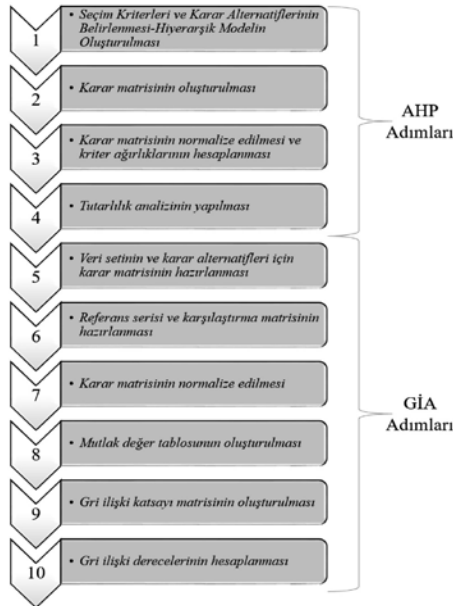
Korpela ve Lehmusvaara (1999), çalışmalarında, depolar arası şebekeleri gözden geçirerek optimal dağıtım ağlarını tanımlamaya çalışmışlardır. Bunun dışında AHP Metodu ile tedarik zinciri tasarımı (Korpela vd., 2001), ekolojik faktörlerin dağıtım şebekesine etkilerinin değerlendirilmesi (Korpela vd., 2001b), üretim kapasitesinin belirlenmesi için analitik bir yaklaşımın (Korpela vd., 2002) önerildiği çalışmalara rastlanılmıştır.

Bunların dışında Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Veri Zarflama Analizi (DEA), Kantitatif Risk Değerlendirmesi (QRA) gibi yöntemleri birlikte kullanarak multimodal taşımacılıkta güzergâh seçimi ile ilgili metodolojik bir çerçevenin önerildiği bir başka çalışma Kengpol tarafından hazırlanmıştır (Kengpol vd., 2014). Çalışma maliyetler ve çevresel faktörler dikkate alınarak daha fazla multimodal taşımacılığın riskleri üzerine odaklanmıştır. Ke vd. (2014), acil nitelikli afet ve insani yardım lojistiği gibi faaliyetlerde alternatif güzergâhları değerlendirmiştir. Öte yandan, bu çalışma için seçilen AHP ve Moora yöntemleri ile ilgili farklı alanlara ilişkin gerçekleştirilen çok sayıda çalışmaya rastlanmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde bu çalışmanın literatürde görülen eksikliğin giderilmesine katkı sağlamanın dışında, kolay uygulanabilir bir yönetime dayanmasına bağlı olarak taşımacılık sektöründe yer alan karar alıcılar tarafından kolayca uygulanabilecek sistematik ve yapısal bir çözüm yolu ortaya koyacağı öngörülebilmektedir. Ek olarak araştırmanın ve elde ettiği bulguların taşımacılık işletmelerinin yanı sıra, lojistik süreçte yer alan diğer paydaşların lojistik performanslarının geliştirilmeleri açısından değerlendirildiğinde çalışmanın uygun güzergâh seçimine olanak sağlaması, araştırmadan beklenen çıktılar arasında yer almaktadır.

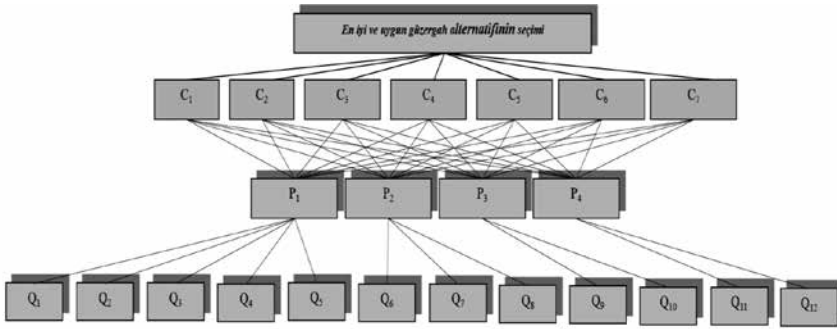
## 2. MATERYAL VE METOT

Avrupa yönüne gerçekleştirilen uluslararası taşımacılıkta kullanılan güzergâhları değerlendirmek üzere seçilen Hibrid Model, toplamda on adımdan oluşmaktadır. İlk dört adımda AHP Yöntemi kullanılarak, seçim kriterleri belirlenmekte ve AHP adımları uygulanarak seçim kriterlerinin görece önem değerleri hesaplandıktan sonra, kriterlerin tutarlılıkları analiz edilmektedir. Sonraki altı adım ise, Gri İlişkisel Analiz (GİA) yönteminin adımlarıdır. Buna göre karar matrisleri oluşturulduktan sonra, referans serisi ve karşılaştırma matrisi hazırlanmakta ardından, karar matrisi normalize edilerek, Mutlak Değer Tablosu oluşturulmaktadır. Son olarak, Gri İlişki Katsayısı Matrisi belirlenirken, en son adımda Gri İlişki Dereceleri hesaplanmıştır.



**Şekil 1. Seçilen Hibrid Modelin Uygulama Adımları**

**Adım 1. Seçim Kriterlerinin ve Karar Alternatiflerinin Belirlenmesi-Hiyerarşik Modelin Oluşturulması:** Uygulanacak modelin ilk aşamasında karar noktalarının ve seçim kriterlerinin gerçek dünyaya uygun bir biçimde belirlenmesi için taşımacılık sektöründe en az on beş yıl üst düzey yönetici ya da şirket sahibi yedi uzman seçilerek uzmanlar kurulu oluşturulmuştur. Uzmanlar kurulu üyelerinin mesleki bir kuruluşun yönetim kademelerinde görev alıyor olmaları da kurul üyesi olabilmek için koşul olmasa da bir öncelik kriteri olarak saptanmıştır. Uzmanlar kurulu en yüksek tecrübeye sahip üyenin başkanlığında birçok defa toplanarak, karar alternatifleri ile seçim kriterlerini belirlemiş, seçilen faktörler tüm üyelerin üzerinde mutabakata vardığı faktörler olarak kaydedilmiştir. Belirlenen seçim kriterleri ve karar alternatifleri çerçevesinde öncelikli olarak problemin hiyerarşik modeli oluşturulmuştur.



**Şekil 2. En Uygun Güzergâh Alternatifi Seçim Probleminin Hiyerarşik Yapısı**

Uzmanlar kurulu, üyeleri için, seçim kriterlerini ve karar alternatiflerini belirledikten sonra, bu faktörler dikkate alınarak hazırlanacak olan ikili karşılaştırma anketlerini cevaplayacak karar alıcıları da belirlemiştir. Uzmanlar kuruluna göre soruların yöneltileceği karar alıcıların sektörde en az 10 yıl görev yapan ve görev yaptıkları işletmenin karar alma süreçlerinde yer alan profesyoneller arasından seçilmesi uygun görülmüştür. Bu kriterlerin çerçevesinde 30 uluslararası taşımacılık işletmesinin sahibi ya da üst düzey yöneticisi karar alıcılar olarak belirlenmiştir.

**Adım 2. Karar Matrisinin Oluşturulması:** Çizelge 1’de gösterilen Saaty’nin 1-9 ikili karşılaştırma skalası dikkate alınarak hazırlanan ikili karşılaştırma soruları, belirlenen karar alıcılara yöneltilerek karar alıcılar tarafından cevaplandırılmış, her bir karşılaştırma için elde edilen yanıtların için Eşitlik 1’de gösterildiği gibi geometrik ortalamaları alınarak, karar matrisinin her bir elemanının sayısal değeri hesaplanmıştır.

$$x = \sqrt[n]{a_1 \times a_2 \times a_3 \dots \times a_n} \quad (1)$$

**Çizelge 1. İkili Karşılaştırma Ölçeği (Saaty, 1986: 843)**

Önem	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	$i$ 'nin $j$ 'ye eşit olması
3	Çok az önemli	$i$ 'nin $j$ 'den çok az önemli olması
5	Kuvvetli derecede önemli	$i$ 'nin $j$ 'den kuvvetli derecede önemli olması
7	Çok kuvvetli derecede önemli	$i$ 'nin $j$ 'den çok kuvvetli derecede önemli olması
9	Mutlak önemli	$i$ 'nin $j$ 'den mutlak önemli olması
2, 4, 6, 8	Ara değerler	1-3, 3-5, 5-7, 7-9 arası değerlendirmeler
Tersleri	Tersi karşılaştırma	$i$ 'nin $j$ 'ye göre tersinin alınması

Her bir karşılaştırma için elde edilen yanıtların geometrik ortalamaları alınarak ikili karşılaştırma matris elemanlarının sayısal değerleri belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, Eşitlik 2 kullanılarak bir  $i$  faktörün  $j$  faktörüne göre önem derecesinin tersi alınmakta, bu şekilde  $j$  faktörünün  $i$  faktörüne göre önem derecesi hesaplanmaktadır. Bu işlemlerin ardından Eşitlik 3'te gösterilen İkili Karşılaştırma Matrisi A oluşturulmaktadır.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

**Adım 3. İkili Karşılaştırma Matrislerinin Normalize Edilmesi ve Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması:** Eşitlik 4 yardımıyla, elde edilen İkili Karşılaştırma Matrisinin her bir elemanı kendi sütun toplamına bölünerek normalize edilmekte ve Eşitlik 5 de görüldüğü gibi her bir sütun için  $b$  sütun vektörleri oluşturulmaktadır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4)$$

$$b_j = \begin{bmatrix} b_{1j} \\ b_{2j} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{nj} \end{bmatrix} \quad (5)$$



Bütün sütunlar için normalizasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra, b sütun vektörleri bir araya getirilerek Eşitlik 6'da gösterildiği gibi Normalize Matris C oluşturulmaktadır.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Normalize Matris C'nin her bir satırında yer alan elamanların aritmetik ortalamaları alınarak her bir seçim kriterinin ağırlık değeri hesaplanmakta ve seçim kriterlerinin göreceli önem değerlerini yüzdelik cinsinden gösteren bu değerler w Sütun Vektörü ile gösterilmektedir.

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

**Adım 4. Tutarlılık Analizlerinin Yapılması:** Bu adımda gerçekleştirilen analizin ve değerlendirme sürecinin gerçekçi bir temele sahip olup olmadığının tespit edilebilmesi için Tutarlılık Analizi gerçekleştirilmektedir. Tutarlılık Analizi beş aşamada yapılmaktadır. Birinci aşamada Karar Matrisi A'nın elemanları öncelik vektörü w'nin elemanları ile çarpılıp D Matrisi elde edilmektedir.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ d_{n1} & d_{n2} & \cdot & d_{nn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

İkinci aşamada Eşitlik 9 kullanılarak, D Matrisinin her bir elemanı her bir satır için karşılık gelen w vektörünün elemanına bölünerek temel değer olarak adlandırılan e Sütun Vektörü oluşturulmaktadır. Bu aşamada e sütun vektörünün toplamı alınmaktadır.

$$e_i = \frac{d_i}{w_i}; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Üçüncü aşamada öz değer olarak tanımlanan  $\lambda_{maks}$  'ın hesaplanması için Eşitlik 10 kullanılmakta,  $e$  vektörünün toplam değeri faktör sayısına bölünerek öz değer hesaplanmaktadır. Öz değer tüm faktörlerin ortalamasını göstermesinin yanı sıra, diğer kriterlerin ve karar noktalarının tutarlılığını belirlemektedir.

$$\lambda_{maks} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \quad (10)$$

Dördüncü aşamada Eşitlik 11 kullanılarak Tutarlılık Göstergesi olarak adlandırılan CI değeri hesaplanmaktadır. CI değeri, öz değer ( $\lambda_{maks}$ ) ile faktör sayısı arası farkın faktör sayısının bir eksiğine bölünmesi ile elde edilmektedir.

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \quad (11)$$

Tutarlılık Göstergesi (CI) hesaplandıktan sonra bu değer Çizelge 2'den elde edilen Rassallık Göstergesi Değerine bölünerek Tutarlılık Değeri (CR) elde edilebilmektedir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (12)$$

**Çizelge 2. Rassallık Göstergeleri (Saaty, 1986: 852)**

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

Hesaplanan CR değerinin 0,10 (% 10)'un altında olması halinde değerlendirme ve analiz tutarlı olarak kabul edilmektedir. Tutarlılık değerinin 0,10'dan yüksek bir değer alması halinde değerlendirmeler tutarsız olarak kabul edilmektedir. Bu durumda ilk adıma geri dönülerek, çalışma gözden geçirilmekte, gerekli olması halinde ikili karşılaştırmalar yeniden yapılmaktadır.

**Adım 5. Veri Setlerinin ve Karar Alternatifleri İçin Karar Matrislerinin Hazırlanması:** Bu aşamada n sayıda seçim kriteri ve m sayıda karar noktasını işaret eden  $m \times n$  boyutlu bir Karar Matrisi X oluşturulmaktadır. Matris X'in satırları karar noktalarını, sütunları ise seçim kriterlerini göstermektedir. Faktör serisi Eşitlik 13'te gösterildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$x_i = (x_i(j), \dots, x_i(n)), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Oluşturulan matriste  $x_i$  seçenekleri tanımlarken,  $x_i(j)$  her bir alternatifi seçim kriterlerine göre aldıkları performans değerlerini göstermektedir.

$$X = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & x_1(n) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & x_2(n) \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ x_m(1) & x_m(2) & \dots & x_m(n) \end{bmatrix} \quad (14)$$

#### **Adım 6. Referans Serisi ve Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması:**

Altıncı adımda her bir alternatif için seçim kriterleri çerçevesinde alabilecekleri en iyi değerler belirlenmektedir. Öncesinde seçim kriterlerinden hangilerinin maksimum, hangilerinin minimum değerler aldığı en iyi sonucu verecekleri belirlenmektedir. En iyi sonuç bir  $i$  faktöründen beklenen faydayı artırmak üzere olabilecek en yüksek değere sahip olmak iken, bir  $j$  faktöründen maliyet vb. katlanılması gereken unsurları en aza indirebilecek şekilde en küçük değeri alması olabilmektedir. Eşitlik 15 karar alternatiflerinin alabileceği en iyi değeri göstermektedir.

$$x_0 = (x_0(j)), \quad \text{ve } j = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

#### **Adım 7. Karar Matrislerinin Normalize Edilmesi:**

Normalizasyon işlemi her bir seçim kriterinden maksimum ya da minimum değer alması beklentisine göre farklı bir biçimde yapılmaktadır. Bir seçim kriterinden beklenti en düşük değeri alması ise Eşitlik 16'da görüldüğü gibi sütunda yer alan en yüksek değer ile karar noktasının aldığı değer farkının en yüksek değer ve en düşük değer farkına bölünerek matris elemanı normalize edilebilmektedir.

$$x_i^- = \frac{\text{mak } x_i(j) - x_i(j)}{\text{mak } x_i(j) - \text{min } x_i(j)} \quad (16)$$

Seçim kriterinden beklenti en yüksek değeri alması ise bu durumda Eşitlik 17 kullanılarak, karar alternatifinin aldığı değer ile sütunda yer alan en küçük değer farkı, en yüksek değer ve en düşük değer farkına bölünmekte ve matris elemanı normalize edilmektedir.

$$x_i^* = \frac{x_i(j) - \text{mak } x_i(j)}{\text{mak } x_i(j) - \text{min } x_i(j)} \quad (17)$$

Karar matrisinin tüm elemanları için normalizasyon işlemi yapılarak, bütün değerler normalize edildikten sonra Normalize Matris oluşturulmaktadır.

$$X_i^* = \begin{bmatrix} x_1^*(1) & x_1^*(2) & \dots & x_1^*(n) \\ x_2^*(1) & x_2^*(2) & \dots & x_2^*(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m^*(1) & x_m^*(2) & \dots & x_m^*(n) \end{bmatrix} \quad (18)$$

**Adım 8. Mutlak Değer Tablosunun Oluşturulması:** Mutlak Değer Tablosu her bir seçim kriteri çerçevesinde beklenen en iyi değer ile normalize matris eleman değerlerinin farkı alınarak hesaplanmaktadır.

$$\Delta_{oi} = |x_o^*(j) - x_i^*(j)|, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (19)$$

Bütün matris elemanları için işlem gerçekleştirildikten sonra Eşitlik 20'de gösterildiği gibi bir Mutlak Değer Matrisi oluşturulmaktadır.

$$X_i^* = \begin{bmatrix} \Delta_{o1}(1) & \Delta_{o1}(2) & \dots & \Delta_{o1}(n) \\ \Delta_{o2}(1) & \Delta_{o2}(2) & \dots & \Delta_{o2}(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{om}(1) & \Delta_{om}(2) & \dots & \Delta_{om}(n) \end{bmatrix} \quad (20)$$

**Adım 9. Gri İlişki Katsayı Matrisi ve Ağırlıklı Gri İlişki Katsayı Matrislerinin Oluşturulması:** Dokuzuncu adımda Eşitlik 21 kullanılarak Gri İlişkisel Katsayı Matrisi oluşturulmaktadır. Bu doğrultuda bir önceki adımda oluşturulan Mutlak Değer Matrisinin her bir sütununda yer alan en küçük ve en büyük değerler belirlendikten sonra her iki değerlerin ortalaması alınarak ayırıcı katsayı olarak tanımlanan  $\zeta$  değeri hesaplanır.

$$\gamma_{oi} = \frac{\Delta_{\min} - \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(j) - \zeta \Delta_{\max}} \quad (21)$$

Ayırıcı katsayı en küçük ve en büyük değerlerin ortalaması olarak alınabileceği gibi, birçok çalışmada 0,5 sabit katsayı aldığı görülmektedir. Bu durum olumlu ve olumsuz durumlara eşit olasılık tanınmasından kaynaklanabilmektedir. Bu işlemler tamamlandığında Eşitlik 22'de gösterilen matris oluşturulmaktadır.

$$G = \begin{bmatrix} g_1(1) & g_1(2) & \dots & g_1(n) \\ g_2(1) & g_2(2) & \dots & g_2(n) \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ g_m(1) & g_m(2) & \dots & g_m(n) \end{bmatrix} \quad (22)$$

Matris G'nin her bir elemanı kendi sütununda yer alan faktör ağırlık değeri ile çarpılarak, ağırlıklı Gri İlişki Katsayısı Matrisi P elde edilmektedir. Ağırlıklı faktör değerleri modelin üçüncü adımında hesaplanan w sütun vektöründe yer alan değerlerdir.

$$P = \begin{bmatrix} w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ g_1(1).w_1 & g_1(2).w_2 & \dots & g_1(n).w_n \\ g_2(1).w_1 & g_2(2).w_2 & \dots & g_2(n).w_n \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ g_m(1).w_1 & g_m(2).w_2 & \dots & g_m(n).w_n \end{bmatrix} \quad (23)$$

**Adım 10. Gri İlişki Derecelerinin Belirlenmesi:** Onuncu adımda matris P'nin her bir satırında yer alan eleman değerlerinin toplamı alınarak her bir karar alternatifinin önem derecesi hesaplanır. Bu değer her bir karar noktasının görece olarak önem sıralamasındaki yerini göstermektedir. Bu kapsamda karar noktaları en yüksek değerden başlayarak sıralandırılabilir. Karar noktalarının aldıkları değerler  $\tau$  sütun vektörü ile gösterilmektedir.

$$\tau = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \tau_n \end{bmatrix} \quad (24)$$

### 3. GÜZERGÂH SEÇİMİNE İLİŞKİN SAYISAL ANALİZ

**Adım 1. Seçim Kriterlerinin ve Karar Alternatiflerinin Belirlenmesi-Hiyerarşik Modelin Oluşturulması:** Bu çalışmada araştırmacı tarafından oluşturulan uzman kurulu ile yapılan toplantılarda karar alternatifleri, seçim kriterleri ile ikili karşılaştırma sorularının yöneltileceği karar alıcılar belirlenmiş, seçim sürecine etkieden faktörler arası ilişkileri tanımlamak üzere problemin Hiyerarşik Modeli oluşturulmuştur. Uzmanlar kurulu ile birlikte

gerçekleştirilen toplantıların ilki beyin fırtınası şekilde gerçekleştirilmiş, kendilerinden Avrupa yönüne yapılan taşımalarda güzergâh seçimine etki eden faktörler ile karar alternatiflerini istedikleri gibi tanımlamaları istenmiş, tüm üyelerin serbestçe ifade ettikleri faktörler ve karar noktaları toplantının raportörleri tarafından kaydedilmiştir. Daha sonraki toplantılarda, belirlenen faktörler ve karar alternatifleri arasında eleme yapıp yapılamayacağı değerlendirilmiş, sürece etkisi son derece sınırlı faktörler kurulda yer alan üyelerin ortak mutabakatı ile çalışmanın kapsamından çıkarılmıştır. Çizelge 3, 4 ve 5'te gösterildiği gibi uzmanlar kurulu üyelerinin üzerinde mutabık kaldıkları seçim kriterleri ve karar alternatifleri saptanmıştır.

**Çizelge 3. Seçim Kriterleri**

Kodu	Tanım
C <sub>1</sub>	Toplam Taşıma Maliyetleri
C <sub>2</sub>	Taşıma Hızı
C <sub>3</sub>	Güvenlik ve Emniyet
C <sub>4</sub>	Çevreye Duyarlılık (Düşük Emisyon)
C <sub>5</sub>	Yasal Sınırlamalar (Kısıtlar)
C <sub>6</sub>	Lojistik Hizmet Alma (Depolama, Liman vb.)
C <sub>7</sub>	Güzergâhın Mesafesi

**Çizelge 4. Karar Noktaları**

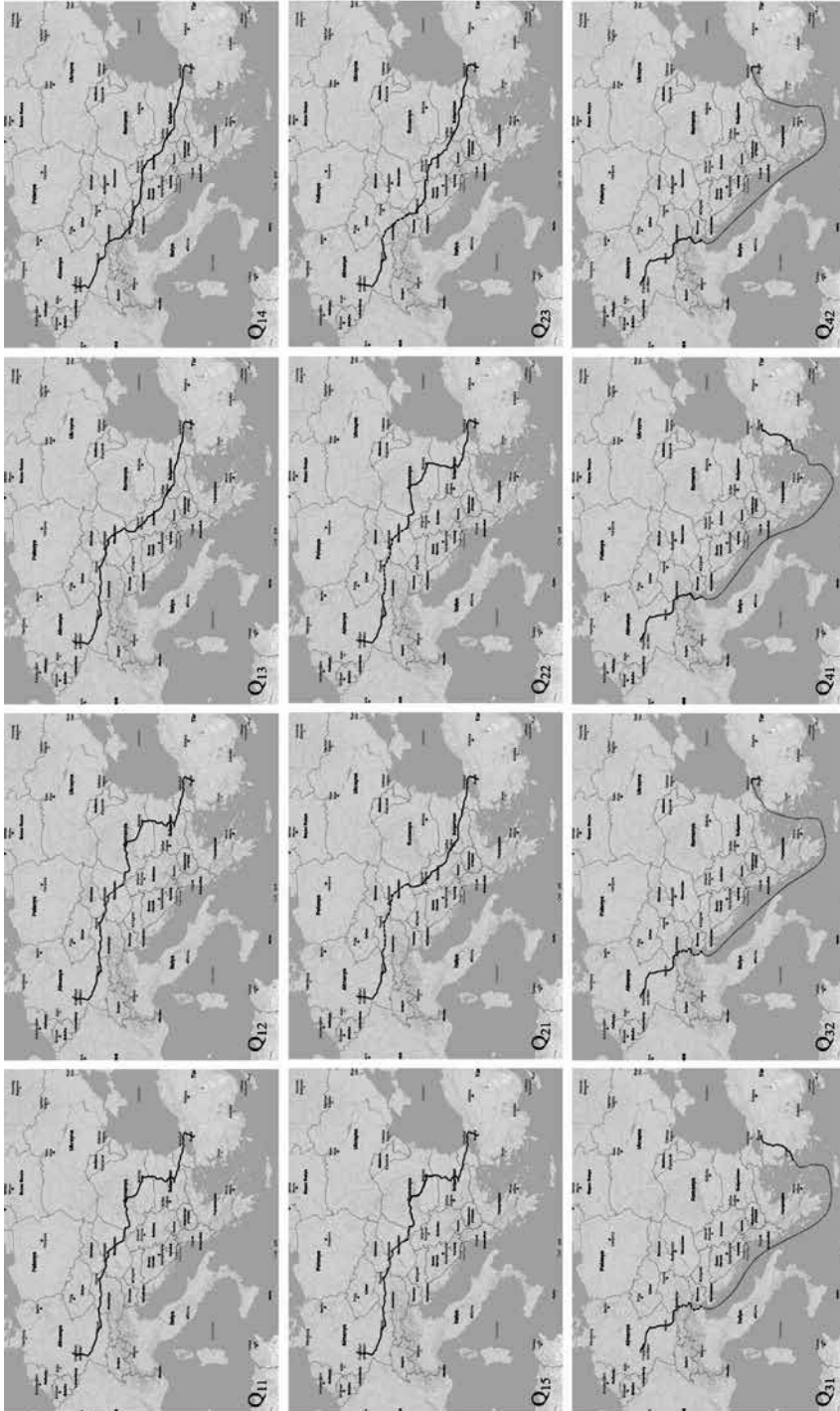
Kodu	Tanım
P <sub>1</sub>	Karayolu ile kat edilen güzergâhlar
P <sub>2</sub>	Karayolu + demiryolu ile kat edilen güzergâhlar
P <sub>3</sub>	Karayolu + demiryolu + denizyolu ile kat edilen güzergâhlar
P <sub>4</sub>	Karayolu + denizyolu ile kat edilen güzergâhlar

**Çizelge 5. Alt Karar Noktaları**

Kodu	Tanım
Q <sub>11</sub>	Bursa-İstanbul-Bulgaristan-Romanya (ücretsiz)-Macaristan (ücretsiz)-Avusturya-Almanya
Q <sub>12</sub>	Bursa-İstanbul-Bulgaristan-Romanya (ücretsiz)-Macaristan (ücretli)-Avusturya-Almanya
Q <sub>13</sub>	Bursa-İstanbul-Bulgaristan-Romanya (saatlik)-Macaristan (ücretli)-Avusturya-Almanya
Q <sub>14</sub>	Bursa-İstanbul-Bulgaristan-Sırbistan-Macaristan (ücretsiz)-Avusturya-Almanya

Q <sub>15</sub>	Bursa-İstanbul-Bulgaristan-Sırbistan-Hırvatistan-Slovenya-Avusturya-Almanya
Q <sub>21</sub>	Bursa-İstanbul-Bulgaristan-Romanya (ücretsiz)-Szeged- Wels treni-Avusturya-Almanya
Q <sub>22</sub>	Bursa-İstanbul-Bulgaristan-Sırbistan-Szeged-Wels treni-Avusturya-Almanya
Q <sub>23</sub>	Bursa-İstanbul-Bulgaristan-Sırbistan- Hırvatistan-Slovenya-Maribor-Wels -Avusturya-Almanya
Q <sub>31</sub>	Bursa-İzmir-Çeşme-Trieste Ro-Ro-Trieste-Salzburg treni-Avusturya-Almanya
Q <sub>32</sub>	Bursa-İstanbul-Pendik-Trieste Ro-Ro-Trieste-Salzburg treni-Avusturya-Almanya
Q <sub>41</sub>	Bursa-İzmir-Çeşme-Trieste Ro-Ro -Avusturya -Almanya
Q <sub>42</sub>	Bursa-İstanbul-Pendik-Trieste Ro-Ro-Avusturya -Almanya

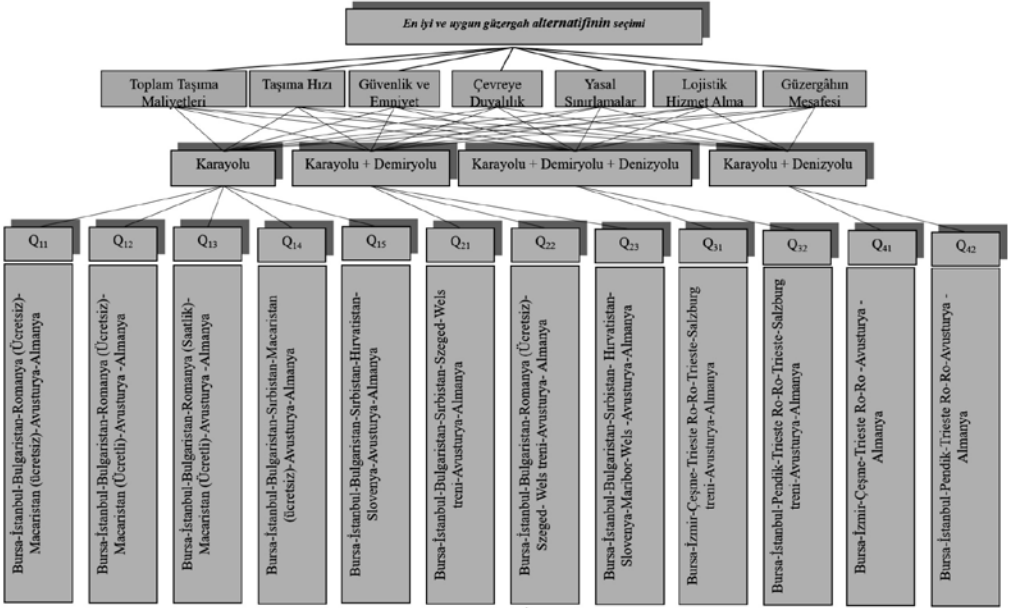
Belirlenen seçim kriterleri, karar noktaları ve alt karar noktalarına göre hiyerarşik model oluşturulmuş, aynı zamanda söz konusu faktörler çerçevesinde hazırlanacak ikili karşılaştırma sorularının yöneltileceği karar alıcılar da saptanmıştır. Çizelge 3, 4 ve 5'te gösterildiği gibi, uzmanlar kurulu üyeleri toplamda 7 seçim kriteri belirlerken, Avrupa yönüne gerçekleştirilen taşımalar için kullanılabilir 12 farklı güzergâh alternatifi tanımlanmış, kullanılan taşıma türlerine göre bu güzergâhlar 4 ana grupta sınıflandırılmıştır.



Şekil 3. Değerlendirmeye Alınan Güzergâh Alternatifleri



Problemin Hiyerarşik Modeli oluşturulduktan sonra, karar noktaları ve seçim kriterleri dikkate alınarak, Ek 2'de gösterilen ikili karşılaştırma soruları hazırlanmıştır. İkili karşılaştırma soruları ile seçim kriterlerinin birbirlerine görelî üstünlükleri sayısal olarak belirlenmeye çalışılmış, bunun için Çizelge 2'de gösterilen Saaty'nin 1-9 İkili Karşılaştırma Ölçeği kullanılmıştır. Buna ek olarak, sayısal ölçeğe sahip olmayan karar noktaları arasındaki karşılaştırmalarda da karar alıcıların görüşlerine müracaat edilmiş, bunun için de ikili karşılaştırma soruları hazırlanarak karar alıcılara yöneltilmiştir.



Şekil 4. Güzergah Seçimine İlişkin Hiyerarşik Model

**Adım 2. Karar Matrisinin Oluşturulması:** Karar alıcılardan ikili karşılaştırma sorularına verilen yanıtlar toplandıktan sonra, her bir karşılaştırma için verilen yanıtların geometrik ortalamaları Eşitlik 1 kullanılarak, hesaplanmış ve Karar Matrisi oluşturulmuştur. Karar Matrisinin her bir elemanı iki faktör arası karşılaştırmayı gösterirken, Eşitlik 2 kullanılarak Görelî Önem Değeri belirlenmiş,  $i$  faktörünün  $j$  faktörüne göre önem değerinin tersi alınarak  $j$  faktörünün  $i$  faktörüne göre önem değeri hesaplanmıştır.

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$
$C_1$	1,00	4,11	2,07	2,34	1,58	2,10	3,06
$C_2$	0,24	1,00	1,10	1,92	1,04	1,27	1,34
$C_3$	0,48	0,91	1,00	1,66	1,09	3,07	1,55
$C_4$	0,43	0,52	0,60	1,00	1,19	1,18	1,55
$C_5$	0,63	0,96	0,92	0,84	1,00	1,42	1,33
$C_6$	0,48	0,79	0,33	0,85	0,70	1,00	2,31
$C_7$	0,33	0,75	0,64	0,64	0,75	0,43	1,00
$\Sigma$	3,59	9,04	6,66	9,25	7,35	10,47	12,14

**Adım 3. İkili Karşılaştırma Matrislerinin Normalize Edilmesi ve Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması:** Eşitlik 4 kullanılarak s sütun vektörleri elde edilmiş, ardından bu vektörler bir araya getirilerek Normalize Matris C oluşturulmuştur.

$$\begin{array}{c}
 C_1 \\
 C_2 \\
 C_3 \\
 C_4 \\
 C_5 \\
 C_6 \\
 C_7 \\
 \Sigma
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 0,2785 & 0,4549 & 0,3103 & 0,2526 & 0,2150 & 0,2009 & 0,2519 \\
 0,0677 & 0,1106 & 0,1653 & 0,2077 & 0,1411 & 0,1210 & 0,1103 \\
 0,1348 & 0,1004 & 0,1501 & 0,1792 & 0,1478 & 0,2932 & 0,1280 \\
 0,1193 & 0,0576 & 0,0906 & 0,1081 & 0,1618 & 0,1125 & 0,1279 \\
 0,1762 & 0,1066 & 0,1382 & 0,0909 & 0,1361 & 0,1356 & 0,1095 \\
 0,1324 & 0,0873 & 0,0489 & 0,0918 & 0,0958 & 0,0955 & 0,1900 \\
 0,0910 & 0,0826 & 0,0966 & 0,0696 & 0,1024 & 0,0414 & 0,0823 \\
 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00
 \end{bmatrix}$$

Bir sonraki adımda C matrisinin her bir satırında yer alan eleman değerlerinin ortalaması alınarak seçim kriterlerinin yüzdelik olarak önem değerini gösteren w sütun vektörü elde edilmiştir.

$$w = \begin{bmatrix} 0,2806 \\ 0,1320 \\ 0,1619 \\ 0,1111 \\ 0,1276 \\ 0,1060 \\ 0,0808 \end{bmatrix} = \begin{array}{l} C_1 \text{ Taşıma Maliyetleri} \\ C_2 \text{ Taşıma Hızı} \\ C_3 \text{ Güvenlik ve Emniyet} \\ C_4 \text{ Çevreye Duyarlılık} \\ C_5 \text{ Yasal Sınırlamalar} \\ C_6 \text{ Lojistik Hizmet Alma} \\ C_7 \text{ Mesafe} \end{array}$$

**Adım 4. Tutarlılık Analizlerinin Yapılması:** Tutarlılık Analizi 5 aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada Karar Matrisi A'nın elemanları öncelik vektörü w'nin elemanları ile çarpılıp D matrisi elde edilmiştir. Ardından Eşitlik 9 kullanılarak, e sütun vektörü oluşturulmuştur.

$$e = \begin{bmatrix} 1,00 & 4,11 & 2,07 & 2,34 & 1,58 & 2,10 & 3,06 \\ 0,24 & 1,00 & 1,10 & 1,92 & 1,04 & 1,27 & 1,34 \\ 0,48 & 0,91 & 1,00 & 1,66 & 1,09 & 3,07 & 1,55 \\ 0,43 & 0,52 & 0,60 & 1,00 & 1,19 & 1,18 & 1,55 \\ 0,63 & 0,96 & 0,92 & 0,84 & 1,00 & 1,42 & 1,33 \\ 0,48 & 0,79 & 0,33 & 0,85 & 0,70 & 1,00 & 2,31 \\ 0,33 & 0,75 & 0,64 & 0,64 & 0,75 & 0,43 & 1,00 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,2806 \\ 0,1320 \\ 0,1619 \\ 0,1111 \\ 0,1276 \\ 0,1060 \\ 0,0808 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7,4466 \\ 7,3261 \\ 7,3565 \\ 7,1981 \\ 7,3108 \\ 7,2382 \\ 7,2819 \end{bmatrix}$$

$\Sigma \ 51,16$

Üçüncü aşamada Eşitlik 10 kullanılarak, öz değer olarak tanımlanan  $\lambda_{maks}$  hesaplanmıştır.

$$\lambda_{maks} = \frac{51,16}{7} = 7,3083$$

Dördüncü aşamada Eşitlik 11 kullanılarak Tutarlılık Göstergesi olarak adlandırılan CI değeri hesaplanmıştır.

$$CI = \frac{7,3083 - 7}{7 - 1} = 0,0514$$

Tutarlılık Göstergesi (CI) hesaplandıktan sonra bu değer Çizelge 2'den elde edilen Rassallık Gösterge Değerine (RI) bölünerek Tutarlılık Değeri (CR) elde edilmiştir.

$$CR = \frac{0,0514}{1,32} = 0,039$$

Görüldüğü gibi, Tutarlılık Değeri (CR) 0,10'dan daha küçük bir değer aldığı için değerlendirme ve analiz tutarlı kabul edilebilmekte, modelin bir sonraki aşamasına geçilebilmektedir.

**Adım 5. Veri Setlerinin ve Karar Alternatifleri İçin Karar Matrislerinin Hazırlanması:** Bu aşamada  $n$  sayıda seçim kriteri ve  $m$  sayıda karar noktasını işaret eden  $m \times n$  boyutlu bir Karar Matrisi X oluşturulmuştur.

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$
$Q_{11}$	3979,085	5,20	196190,79	0,46157386	32	20	5216,4
$Q_{12}$	4463,885	5,84	196190,79	0,51781066	33	20	5216,4
$Q_{13}$	4663,885	6,10	196190,79	0,54101066	34	20	5216,4
$Q_{14}$	4015,681	5,25	190104,41	0,46581899	28	15	5059,0
$Q_{15}$	4049,659	5,29	184741,40	0,46976050	29	16	4942,4
$Q_{21}$	4344,072	5,68	144543,48	0,50391241	31	19	4024,8
$Q_{22}$	4392,187	5,74	137727,59	0,50949371	27	14	4942,4
$Q_{23}$	4146,765	5,42	161064,65	0,48102480	30	17	4423,4
$Q_{31}$	3943,589	5,16	64048,50	0,45745636	14	9	1895,8
$Q_{32}$	4000,056	5,23	55689,60	0,46400654	17	12	1521,8
$Q_{41}$	3936,205	5,15	96879,37	0,45659982	15	10	2668,4
$Q_{42}$	3940,705	5,15	88520,47	0,45712179	18	13	2294,4

$C_2$  taşıma hızı olarak belirlenen kriterin her bir karar alternatifi için sayısal değeri belirlenirken, bir güzergâhta yasal ve reel olarak belirlenen birim hızlar, yine yasal olarak belirlenen araç kullanma süresi ile çarpılarak, toplam mesafe bu değere bölünmüş ve güzergâh için hız değeri hesaplanmıştır. Bunun için Eşitlik 25 kullanılabilir. Formülde  $t_{hr}$ , taşıma hızını gösterirken,  $t_{mr}$ , toplam mesafeyi,  $y_{hs'}$ , birim hızı, aks ise günlük olarak araç kullanma süresini göstermektedir.  $y_{hs'}$ , uluslararası düzenlemelere göre 85 km/s olarak alınırken, aks ise uluslararası AETR Sözleşmesi hükümleri

uyarınca 9 saat/gün olarak alınmıştır. Bunun yanı sıra güzergâhta demiryolu ya da denizyolu bağlantısı varsa bunların güzergâh kat etme süreleri gün değerinden hesaba katılmıştır.  $R_l$  demiryolu,  $R_r$  ise denizyolu bağlantılarının gün cinsinden güzergâh kat etme süresini vermektedir.

$$t_h = \frac{\sum I_m}{y_{hs} x a_{ks}} + R_l + R_r \quad (25)$$

Güvenlik ve emniyet kriteri ile ilgili olarak dünya ülkelerinin güvenlik ve emniyet düzeylerinin yüzdelik değer olarak gösterildiği 12 Eylül Dünya Yaralanmayı Önleme ve Güvenlik Teşviki Konferansı'nda Eylül 2016'da açıklanan UL Güvenlik Endeksi verilerine dayandırılmıştır. Her ülke için tanımlanan değer güzergâhlarda yer alan ülkelerin güvenlik değerleri ile söz konusu ülkenin kat edilmesi için gereken mesafe ile çarpılmış, güzergâhta yer alan tüm ülkeler için aynı işlem yapıldıktan sonra elde edilen değerler toplanarak güzergâhların Güvenlik Değeri belirlenmiştir.

$$G_i = \sum (G_{id} x k_m)_i \quad i = \{1, 2, \dots, n\} \quad (26)$$

$G_i$ ,  $i$  güzergâhı için toplam güvenlik değerini gösterirken  $G_{id}$ ,  $i$  ülkesi için güvenlik düzeyini, km ise o ülkeyi kat etmek için geçilmesi gereken mesafeyi ifade etmektedir.  $C_4$ , çevreye duyarlılık kriterinin sayısal değerlerini hesaplamak için güzergâhta kat edilen mesafe ile birim,  $CO_2$ , salınım değeri ve taşınabilen yük miktarı çarpılarak birim değere bölünmüştür. Elde edilen değer ton cinsinden emisyon değeri olarak belirlenmiş ve kaydedilmiştir.  $C_5$  yasal sınırlamalar kriterinin sayısal değerleri ise her bir güzergâh için ülkelerden geçişte karşılaşılan prosedürlerin sayısı dikkate alınarak belirlenirken,  $C_6$ , lojistik hizmet alma kriteri için her bir güzergâhta sağlanan lojistik hizmetlerin sayıları toplanarak elde edilmiştir. Son olarak,  $C_7$  mesafe kriteri ise başlangıç ve bitiş noktaları arasında kat edilen mesafeyi tanımlamaktadır.

### **Adım 6. Referans Serisi ve Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması:**

Her bir alternatif için seçim kriterleri çerçevesinde alabilecekleri en iyi değerler belirlenmiştir. Öncesinde seçim kriterlerinden hangilerinin maksimum, hangilerinin minimum değerler aldığı en iyi sonucu verecekleri belirlenmektedir. En iyi sonuç bir  $i$  faktöründen beklenen faydayı artırmak üzere olabilecek en yüksek değere sahip olmak iken, bir  $j$  faktöründen maliyet vb. katlanması gereken unsurları en aza indirebilecek şekilde en küçük değeri alması olabilmektedir. Eşitlik 15 karar alternatiflerinin alabileceği en iyi değeri göstermektedir.

Referans Verisi	3936,21	6,09658	196190,79	0,45659982	14	20	1521,8
Minimum	3936,205	5,145	55689,600	0,457	14,000	9,000	1521,800
Maksimum	4663,885	6,097	196190,790	0,541	34,000	20,000	5216,400

Elde edilen çizelge değerleri ışığında Karşılaştırma Matrisi aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 & C_7 \\ \begin{matrix} Q_{11} \\ Q_{12} \\ Q_{13} \\ Q_{14} \\ Q_{15} \\ Q_{21} \\ Q_{22} \\ Q_{23} \\ Q_{31} \\ Q_{32} \\ Q_{41} \\ Q_{42} \\ x_0 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 3979,085 & 5,20 & 196190,79 & 0,46157386 & 32 & 20 & 5216,4 \\ 4463,885 & 5,84 & 196190,79 & 0,51781066 & 33 & 20 & 5216,4 \\ 4663,885 & 6,10 & 196190,79 & 0,54101066 & 34 & 20 & 5216,4 \\ 4015,681 & 5,25 & 190104,41 & 0,46581899 & 28 & 15 & 5059,0 \\ 4049,659 & 5,29 & 184741,40 & 0,46976050 & 29 & 16 & 4942,4 \\ 4344,072 & 5,68 & 144543,48 & 0,50391241 & 31 & 19 & 4024,8 \\ 4392,187 & 5,74 & 137727,59 & 0,50949371 & 27 & 14 & 4942,4 \\ 4146,765 & 5,42 & 161064,65 & 0,48102480 & 30 & 17 & 4423,4 \\ 3943,589 & 5,16 & 64048,50 & 0,45745636 & 14 & 9 & 1895,8 \\ 4000,056 & 5,23 & 55689,60 & 0,46400654 & 17 & 12 & 1521,8 \\ 3936,205 & 5,15 & 96879,37 & 0,45659982 & 15 & 10 & 2668,4 \\ 3940,705 & 5,15 & 88520,47 & 0,45712179 & 18 & 13 & 2294,4 \\ 3936,205 & 6,10 & 196190,79 & 0,4565998 & 14 & 20 & 1521,8 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

**Adım 7. Karar Matrislerinin Normalize Edilmesi:** Sütunlardaki maksimum ve minimum değerler elde edildikten sonra faktörün yönüne göre normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Seçim kriterlerinden  $C_1$ ,  $C_4$ ,  $C_5$  ve  $C_7$  kriterleri minimum yönlü kriterler iken  $C_2$ ,  $C_3$  ve  $C_6$  kriterleri maksimum yönlü kriterler olarak belirlenmiştir. Eşitlik 16 ve 17 kullanılarak normalizasyon işlemi yapılarak Normalize Matris oluşturulmuştur.

$$X^*_i = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 & C_7 \\ \begin{matrix} Q_{11} \\ Q_{12} \\ Q_{13} \\ Q_{14} \\ Q_{15} \\ Q_{21} \\ Q_{22} \\ Q_{23} \\ Q_{31} \\ Q_{32} \\ Q_{41} \\ Q_{42} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,941 & 0,059 & 1,000 & 0,941 & 0,100 & 1,000 & 0,000 \\ 0,275 & 0,725 & 1,000 & 0,275 & 0,050 & 1,000 & 0,000 \\ 0,000 & 1,000 & 1,000 & 0,000 & 0,000 & 1,000 & 0,000 \\ 0,891 & 0,109 & 0,957 & 0,891 & 0,300 & 0,545 & 0,043 \\ 0,844 & 0,156 & 0,919 & 0,844 & 0,250 & 0,636 & 0,074 \\ 0,439 & 0,561 & 0,632 & 0,439 & 0,150 & 0,909 & 0,323 \\ 0,373 & 0,627 & 0,584 & 0,373 & 0,350 & 0,455 & 0,370 \\ 0,711 & 0,289 & 0,750 & 0,711 & 0,200 & 0,727 & 0,215 \\ 0,990 & 0,010 & 0,059 & 0,990 & 1,000 & 0,000 & 0,899 \\ 0,912 & 0,088 & 0,000 & 0,912 & 0,850 & 0,273 & 1,000 \\ 1,000 & 0,000 & 0,293 & 1,000 & 1,950 & 0,091 & 0,690 \\ 0,994 & 0,006 & 0,234 & 0,994 & 0,800 & 0,364 & 0,791 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

**Adım 8. Mutlak Değer Tablosunun Oluşturulması:** Normalize edilmiş referans değer ile Normalize matris elemanlarının farkı hesaplanarak Mutlak Değer Tablosu oluşturulmuştur. Bunun için Eşitlik 19 kullanılmıştır.

$$X_i^* = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 & C_7 \\ \begin{matrix} Q_{11} \\ Q_{12} \\ Q_{13} \\ Q_{14} \\ Q_{15} \\ Q_{21} \\ Q_{22} \\ Q_{23} \\ Q_{31} \\ Q_{32} \\ Q_{41} \\ Q_{42} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,059 & 0,941 & 0,000 & 0,059 & 0,900 & 0,000 & 1,000 \\ 0,725 & 0,275 & 0,000 & 0,725 & 0,950 & 0,000 & 1,000 \\ 1,000 & 0,000 & 0,000 & 1,000 & 1,000 & 0,000 & 1,000 \\ 0,109 & 0,891 & 0,043 & 0,109 & 0,700 & 0,455 & 0,957 \\ 0,156 & 0,844 & 0,081 & 0,156 & 0,750 & 0,364 & 0,926 \\ 0,561 & 0,439 & 0,368 & 0,561 & 0,850 & 0,091 & 0,677 \\ 0,627 & 0,373 & 0,416 & 0,627 & 0,650 & 0,545 & 0,630 \\ 0,289 & 0,711 & 0,250 & 0,289 & 0,800 & 0,273 & 0,785 \\ 0,010 & 0,990 & 0,941 & 0,010 & 0,000 & 1,000 & 0,101 \\ 0,088 & 0,912 & 1,000 & 0,088 & 0,150 & 0,727 & 0,000 \\ 0,000 & 1,000 & 0,707 & 0,000 & 0,050 & 0,909 & 0,310 \\ 0,006 & 0,994 & 0,766 & 0,006 & 0,200 & 0,636 & 0,209 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

**Adım 9. Gri İlişki Katsayı Matrisinin Oluşturulması:** Eşitlik 21 kullanılarak Gri İlişkisel Katsayı Matrisi oluşturulmuştur.

$$G = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 & C_7 \\ w & 0,28 & 0,13 & 0,16 & 0,11 & 0,13 & 0,11 & 0,08 \\ \begin{matrix} Q_{11} \\ Q_{12} \\ Q_{13} \\ Q_{14} \\ Q_{15} \\ Q_{21} \\ Q_{22} \\ Q_{23} \\ Q_{31} \\ Q_{32} \\ Q_{41} \\ Q_{42} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,895 & 0,347 & 1,000 & 0,895 & 0,357 & 1,000 & 0,333 \\ 0,408 & 0,645 & 1,000 & 0,408 & 0,345 & 1,000 & 0,333 \\ 0,333 & 1,000 & 1,000 & 0,333 & 0,333 & 1,000 & 0,333 \\ 0,821 & 0,360 & 0,920 & 0,821 & 0,417 & 0,524 & 0,343 \\ 0,762 & 0,372 & 0,860 & 0,762 & 0,400 & 0,579 & 0,351 \\ 0,471 & 0,532 & 0,576 & 0,471 & 0,370 & 0,846 & 0,425 \\ 0,444 & 0,572 & 0,46 & 0,444 & 0,435 & 0,478 & 0,442 \\ 0,633 & 0,413 & 0,667 & 0,633 & 0,385 & 0,647 & 0,389 \\ 0,980 & 0,336 & 0,347 & 0,980 & 1,000 & 0,333 & 0,832 \\ 0,851 & 0,354 & 0,333 & 0,851 & 0,769 & 0,407 & 1,000 \\ 1,000 & 0,333 & 0,414 & 1,000 & 0,909 & 0,355 & 0,617 \\ 0,988 & 0,335 & 0,395 & 0,988 & 0,714 & 0,440 & 0,705 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Gri İlişki Katsayı Matrisinin her bir elemanı seçim kriteri için hesaplanan ağırlık değeri ile çarpılmış ve yeni oluşan Ağırlıklı Gri İlişki Katsayı Matrisi P elde edilmiştir. Matris P, her bir seçim kriteri özelinde karar noktalarının alacakları değerleri münferiden gösteren  $m \times n$  boyutlu bir matristir.

$$P = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 & C_7 \\ \begin{matrix} Q_{11} \\ Q_{12} \\ Q_{13} \\ Q_{14} \\ Q_{15} \\ Q_{21} \\ Q_{22} \\ Q_{23} \\ Q_{31} \\ Q_{32} \\ Q_{41} \\ Q_{42} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,251 & 0,046 & 0,162 & 0,099 & 0,046 & 0,106 & 0,027 \\ 0,115 & 0,085 & 0,162 & 0,045 & 0,044 & 0,106 & 0,027 \\ 0,094 & 0,132 & 0,162 & 0,037 & 0,043 & 0,106 & 0,027 \\ 0,230 & 0,047 & 0,149 & 0,091 & 0,053 & 0,056 & 0,028 \\ 0,214 & 0,049 & 0,139 & 0,085 & 0,051 & 0,061 & 0,028 \\ 0,132 & 0,070 & 0,093 & 0,052 & 0,047 & 0,090 & 0,034 \\ 0,125 & 0,076 & 0,088 & 0,049 & 0,055 & 0,051 & 0,036 \\ 0,178 & 0,055 & 0,108 & 0,070 & 0,049 & 0,069 & 0,031 \\ 0,275 & 0,044 & 0,056 & 0,109 & 0,128 & 0,035 & 0,067 \\ 0,239 & 0,047 & 0,054 & 0,095 & 0,098 & 0,043 & 0,081 \\ 0,281 & 0,044 & 0,067 & 0,111 & 0,116 & 0,038 & 0,050 \\ 0,277 & 0,044 & 0,064 & 0,110 & 0,091 & 0,047 & 0,057 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

**Adım 10. Gri İlişki Derecelerinin Belirlenmesi:** Oluşturulan matrisin her bir satırı için satır eleman değerlerinin toplamı alınarak, karar alternatiflerinin önem dereceleri ve sıralamasını gösteren  $\tau$  sütun vektörü elde edilmiştir. En yüksek değeri alan karar noktasından başlanarak karar alternatifleri sıralandırılmıştır. Matrisin her bir elemanı kendi sütunu için hesaplanmış ağırlık değeri ile çarpıldığında Ağırlıklandırılmış Gri İlişki Matrisi oluşturulmuştur.

$$\tau = \begin{matrix} & Değer & Sıra \\ \begin{matrix} Q_{11} \\ Q_{12} \\ Q_{13} \\ Q_{14} \\ Q_{15} \\ Q_{21} \\ Q_{22} \\ Q_{23} \\ Q_{31} \\ Q_{32} \\ Q_{41} \\ Q_{42} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,73661 \\ 0,58386 \\ 0,59992 \\ 0,65432 \\ 0,62766 \\ 0,51948 \\ 0,47969 \\ 0,55966 \\ 0,71454 \\ 0,65608 \\ 0,70625 \\ 0,68978 \end{bmatrix} & \begin{matrix} 1 \\ 9 \\ 8 \\ 6 \\ 7 \\ 11 \\ 12 \\ 10 \\ 2 \\ 5 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \end{matrix}$$

#### 4. SONUÇ

Analizin 10. adımı sonucunda Avrupa yönüne yapılacak taşımalarda verimliliğin, etkinliğin ve performansın belirlenen kriterler çerçevesinde en yüksek düzeyde sağlanabileceği güzergâh alternatifi  $Q_{11}$  kodu ile gösterilen güzergâhtır. Bursa'dan çıkarak, sırasıyla İstanbul, Bulgaristan, Romanya (Ücretsiz), Macaristan (Ücretsiz), Avusturya'dan geçerek ve Almanya'ya ulaşan hat sadece karayolu taşımacılığının kullanıldığı bir güzergâhtır. Bu

güzergâhı karayolu, denizyolu ve demiryolu türlerinin kullanıldığı  $Q_{31}$  ve karayolu ve denizyolu türlerinin kullanıldığı  $Q_{41}$  alternatif güzergâhları izlemektedir. Diğer alternatifler bunların ardından sıralanmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde alternatif güzergâhlar;  $Q_{11} > Q_{31} > Q_{41} > Q_{42} > Q_{32} > Q_{14} > Q_{15} > Q_{13} > Q_{12} > Q_{23} > Q_{21} > Q_{22}$  şeklinde sıralanmaktadır. Bu sıralama çerçevesinde karayolu ile en karayolu dahil olmak üzere en az bir taşıma türünde denizyolu taşımacılığının kullanıldığı alternatifler başlarda yer alırken, karayolu ve demiryolu bağlantılı güzergâhların tercih edilebilirliğinin düşük olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, sadece karayolu taşımacılığının kullanıldığı güzergâhlar 1-8'lik arasında kendilerine yer bulurken, en az bir denizyolu taşımacılık alternatifinin bulunduğu kombine hatlar ikincilik ile dördüncülük arasında yer elde etmişlerdir.

Seçim kriterleri dikkate alındığında önem derecesine sahip olan ve  $C_1$  olarak tanımlanan taşıma maliyetleri kriterinin karar alternatiflerine önemli ölçüde etki ettiği görülmektedir. Bunun sonucunda karayolu ile kat edilen  $Q_{11}$  alternatifine ek olarak, maliyetin en düşük olduğu  $Q_{31}$  ve  $Q_{41}$  alternatiflerinin öne çıktığı tespit edilmektedir. Bunun yanı sıra ilk beş tercih içerisinde yer alan alternatiflerin aldıkları değerler arasındaki fark oldukça düşüktür. Karayolu alternatifi dışında deniz ve demiryolu bağlantılı güzergâhların öne çıkmasında etkili olan bir diğer faktör emniyet ve güvenlidir. Özellikle denizyolu ve demiryolu bağlantılı hatların daha yüksek düzeyde emniyet ve güvenlik sağlaması bu alternatiflerin tercih edilebilirliğini analize göre artırmıştır. Dolayısıyla  $Q_{11}$  dışındaki karayolu taşımacılığında kullanılan diğer dört alternatifin güvenlik düzeyinin artırılması halinde tercih edilebilirliği de artabilecektir.

Sonuç olarak Türkiye'den Avrupa'ya gerçekleştirilen taşımalarda karayolu taşımacılığı bütün eksik yönlerine rağmen halen en yüksek tercih edilebilirlik düzeyine sahip olan taşıma türüdür. Buna bağlı olarak, sadece karayolu taşımacılığının kullanıldığı ve tek modlu taşıma operasyonlarının gerçekleştirildiği güzergâhlar tercih edilebilirliklerini sürdürmektedir.

Seçim kriterleri açısından değerlendirildiğinde, karar noktalarına etki eden kriterler  $C_1 > C_3 > C_2 > C_5 > C_4 > C_7$  şeklinde önem derecelerine göre sıralandırılabilir. Karar alıcılar bu faktörler arasında  $C_7$  olarak kodlanan güzergâh mesafesine en düşük önemi atfetmektedirler. Buna bağlı olarak, en uzun mesafeye sahip olan güzergâh olmasına rağmen,  $Q_{11}$  alternatifi en fazla tercih edilebilir hat olabilmektedir. Daha da önemlisi gerçek hayatta da taşımacıların en fazla tercih ettiği güzergâhın bahsi geçen taşıma hattı olarak belirlenmiştir.



Bu çalışma uluslararası yük taşımacılığı operasyonlarında güzergâh seçimine odaklanan karar alıcıların daha rasyonel kararlar alabilmeleri için sistematik ve yapısal bir model tanımlamakta, aynı zamanda karar alıcılar tarafından kolayca uygulanabilecek bir yöntem ortaya koymaktadır. Bu sayede karar alıcılar seçimlerin ne ölçüde doğru ve rasyonel olduğunu matematiksel bir model yardımı ile test edebilecekleri gibi, operasyonlarını verimlilik, etkinlik gibi perspektiflerde yeniden planlayabilecek ve organize edebileceklerdir.

## KAYNAKÇA

- BO, L., QIAO, H., ZHAO, Y., YANG, X., HUA, G. ve ZHANG, X., (2018), **Economic evaluation on container shipping route selection**, *International Journal of Manufacturing Technology & Management*, 32, (2): 85-101.
- CARR ve WOOSEUNG, J., (2009), **Hub arc selection for freight consolidation**, IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management Management Industrial Engineering and Engineering Management, 2009, IEEM 2009: 1961-1963.
- FARKAS, A., (2009), **Route/site selection of urban transportation facilities: An integrated gis/mcdm approach**, MEB 2009–7th International Conference on Management, *Enterprise and Benchmarking*, June 5-6.
- GUZE, NEUMANN, T. ve WILCZYŃSKI, P., (2017), **Multi-criteria optimization of liquid cargo transport according to linguistic approach to the route selection task**, *Polish Maritime Research*, (24): 89-96.
- HAO, Z., GONG, Y. ve ZHANG, Y., (2007), **Route selection research of air freight transportation for multi-customers based on the improved genetic algorithm**, *Journal of Transportation Engineering and Information*, 5, (1): 71-76.
- HUNTLEY, C. L., BROWN, D. E., SAPPINGTON, D. E. ve MARKOWICZ, B. P., (1995), **Freight routing and scheduling at csx transportation**, *The Institute for Operations Research and the Management Sciences*, 25, (3): 58-71.
- KAEWFAK, K. ve AMMARAPALA, V., (2018), **The decision making of freight route in multimodal transportation**, *Suranaree Journal of Science & Technology*, 25, (1): 1-10.
- KE, X. ve CHEN, J., (2014), **Research on the most optimal emergent logistics transportation based on grey theory**, *Logistics Engineering and Management*, (7): 182-184.
- KENGPOL, A., TUAMMEE ve TUOMINEN, M., (2014), **The development of a framework for route selection in multimodal transportation**, *International Journal of Logistics Management*, 25, (3): 581-610.
- KENGPOL, A., TUAMMEE ve TUOMINEN, M., (2014), **The development of a framework for route selection in multimodal transportation**, *International Journal of Logistics Management*, 25, (3): 581-610.
- KORPELA, J. ve LEHMUSVAARA, A., (1999), **A customer oriented approach to warehouse network evaluation and design**, *International Journal of Production Economics*, 59, (1-3): 135-146.
- KORPELA, J., KYLAHEIKO, K., LEHMUSVAARA, A. ve TUOMINEN, M., (2001), **The effect of ecological factors on distribution network evaluation**, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 4, (2): 257-269.
- KORPELA, J., KYLAHEIKO, K., LEHMUSVAARA, A. ve TUOMINEN, M., (2002), **An analytic approach to production capacity allocation and supply chain design**, *International Journal of Production Economics*, 78, (2): 187-195.
- KORPELA, J., LEHMUSVAARA, A. ve TUOMINEN, M., (2001), **Customer service based design of the supply chain**, *International Journal of Production Economics*, 69, (2): 193-204.

- KUO, A., ELISE, M. H. ve MAHMASSANI, H. S., (2010), **Freight train scheduling with elastic demand**, *Transportation Research Part E*, 46, (6): 1057-1070.
- KUO, C., (2015), **A routes selection model for perishable commodities across the taiwan straits**, Doktora Tezi, *National Chiao Tung University*.
- KUO, R. J., CHI, C. ve KAO, S., (2002), **A decision support system for selecting convenience store location through integration of fuzzy AHP and artificial neural network**, *Computers in Industry*, 47, (2): 199-214.
- LIN, Y., YEH, C., (2010), **Optimal carrier selection based on network reliability criterion for stochastic logistics networks in supply chain forecasting systems**, *International Journal of Production Economics*, 128, (2): 510-517.
- MENG, L., ZHENGHUA, H., CHANGQING, H., ZHANG, W. ve JIA, T., (2015), **Optimized route selection method based on the turns of road intersections: A case study on oversized cargo transportation**, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4, (4): 2428-2445.
- MICHELL, M. ve GU, K., (2004), **A holistic approach to route selection based on whole life costs, new horizons for rail**, Darwin, N.T. Railway Technical Society of Australasia, 2004: 32.1-32.6; Darwin, N. T: *Railway Technical Society of Australasia*.
- PANG, G. K. H., TAKAHASHI, K., YOKOTA, T. ve TAKENAGA, H., (2002), **Intelligent route selection for in-vehicle navigation systems**, *Transportation Planning & Technology*, 25, (3): 175-213.
- PETERSON, F. ve BRUCE, E., (2000), **Intermodal and international freight network modeling southworth**, *Transportation Research Part C*, 8, (1): 147-166.
- PETRAŠKA, A. ve PALŠAITIS, R., (2012), **Evaluation criteria and a route selection system for transportating oversize and heavyweight cargoes**, *Transport*, 27, (3): 327-334.
- PETRAŠKA, A., ČIŽIŪNIENĖ, K., JARAŠŪNIENĖ, A., MARUSCHAK, P. ve PRENTKOVSKIS, O., (2017), **Algorithm for the assessment of heavyweight and oversize cargo transportation routes**, *Journal of Business Economics & Management*, 18, (6): 1098-1114.
- PETRAŠKA, A., ČIŽIŪNIENĖ, K., PRENTKOVSKIS, O. ve JARAŠŪNIENĖ, A., (2018), **Methodology of selection of heavy and oversized freight transportation system**, *Transport and Telecommunication*, 19, (1): 45-58.
- PHAM, T. Y. ve YEO, G. T., (2018), **A comparative analysis selecting the transport routes of electronics components from china to vietnam**, *Sustainability*, 10, (7): 24-44.
- QU, L. ve CHEN, Y., (2008), **A hybrid mcdm method for route selection of multimodal transportation network**, In: Sun F., Zhang J., Tan Y., Cao J., Yu W. (eds) *Advances in Neural Networks - ISSN 2008, Lecture Notes in Computer Science*, vol 5263, Springer, Berlin, Heidelberg.
- RANDOLPH, W., (1991), **Route selection on freight networks with weight and volume constraints**, *Transportation Research*, 25, (4): 175.
- ROYO, J. A., EMILIO B. L. ve ALBERTO F., (2014), **A decision support system for a long-distance routing problem based on the ant colony optimization metaheuristic Sicilia**, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, (111): 1035-1044.

- SAATY, T. L., (1986), **Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process**, *Management Science*, (32): 841-855.
- STOILOVA ve KUNCHEV, L., (2016), **Application of the graph theory, AHP method and cost benefits analysis for route selection of a road train**, *Journal of the Balkan Tribological Association*, 22, (1A-II): 1041-1056.
- TYAGI, R. ve DAS, C., (1997), **A methodology for cost versus service trade-offs in wholesale location - distribution using mathematical programming and analytic hierarchy process**, *Journal of Business Logistics*, 18, (2): 77-99.
- WANG, Q., LANG, M., PENG, Y. ve ZHANG, X., (2010), **Research on freight transport route and mode selection based on tabu search algorithm**, *Logistics Technology*, 29, (6): 256-258.
- WANG, Y., YEO, G. T., (2018), **Intermodal route selection for cargo transportation from korea to central asia by adopting fuzzy delphi and fuzzy electre in methods**, *maritime policy & Management*, (45): 1, 3-18.
- YU, S., ZHAI, R., LI, X. ve YANG W., (2005), **Optimal route selection for express freight transportation system based on grey theory**, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 5, (3): 46-50.
- YU, ZHAI, R., LI, X. ve YANG, W., (2005), **Optimal route selection for express freight transportation system based on grey theory**, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 5, (3): 46-50.
- ZHOU, X., CHEN, X. ve SHAO, L., (2017), **Study on the optimization of collection and distribution system of freight hub ports: Illustrated by the case of shanghai international shipping center**, China, *Transportation Research Procedia*, (25): 1126-1136.