



Türkiye-Fransa Mermer Taşımacılığında Optimal Rotanın Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Belirlenmesi*

Determining Optimal Routes for Marble Transport Between Turkey and France Using the Multi-Criteria Decision Making

Melih Çelik¹ , Yasin Gültekin² 

Öz

Küreselleşmenin etkisi ve tüketicilerin tercihleri doğrultusunda artan talebe karşılık vermek amacıyla taşımacılık sektörü sürekli kendini geliştirmeye ve verimliliğini arttırmaya odaklanması gerekmektedir. Günümüzde optimal taşıma rotaları üzerinden taşımacılık operasyonlarını gerçekleştirmek bu yüzden kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, Türkiye-Fransa mermer taşımacılığında optimal rota çok kriterli karar verme yöntemleriyle belirlenmeye çalışılmıştır. Öncelikli olarak literatür taranarak rota seçimini etkileyen kriterlerden en çok üzerinde durulan 6 ana ve 18 alt olmak üzere 24 kriter belirlenmiştir. Belirlenen kriterler lojistik sektöründe taşımacılık hizmeti sağlayan şirket yöneticileri, operasyon uzmanları ve alanında uzman akademisyenlerin oluşturduğu gruba sunulmuş ve kriterler son haline getirilmiştir. Super Decision programı kullanılarak AHP yönteminin temeli olan hiyerarşik yapı oluşturulmuş ve kriter ağırlıkları elde edilmiştir.

Sektörde Afyon-Lyon noktaları arasında taşımacılık hizmeti sağlayan işletmelerden günümüzde kullanılan 5 farklı rotanın maliyet ve transit süre bilgileri elde edilmiştir. EcoTransIT emisyon hesaplama aracıyla rotaların emisyon analizi yapılmıştır. TOPSIS yöntemiyle aynı lojistik uzmanlarınca değerlendirilen 5 rota AHP yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıklarıyla beraber analiz edilmiş ve söz konusu iki nokta arasında optimal taşıma rotası belirlenmiştir. Analizler sonucunda denizyolu+iç su yolu intermodal taşımacılık rotası diğer alternatiflere göre sahip olduğu düşük maliyetin yanı sıra kısmen transit süre ve düşük emisyon değerleri avantajıyla Afyon-Lyon plaka mermer taşınmasında optimal rota olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taşımacılık, Mod Seçimi, Optimal Rota, TOPSIS, AHP

ABSTRACT

In order to respond to increasing demand in line with the effects of globalization and the consumers' preferences, the transportation sector has needed to focus on constantly improving itself and its efficiency. Currently, operating transportation operations through optimal transport routes have become critical. This study attempts to determine the optimal transportation route for exporting marble from Turkey to France using multi-criteria decision-making methods. The study first reviews the literature to determine the 6 main and 18 sub-criteria that have been mentioned the most. The study submitted these criteria to groups made up of logistics company managers, operation executives, and scholars in order to get expert opinions. The study uses the program Super Decisions to create a hierarchy structure for the analytical hierarchy process (AHP) and to calculate the criterion weights.

The study collected information from companies providing service between Afyon and Lyon regarding the costs and transit times of the five different transportation routes that are currently used. The study then analyzed the emissions for each of these five routes using the tools from the emissions calculator software EcoTransIT. By using the criterion weights found using the AHP method, the five transportation routes were analyzed in terms of the same group using the technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) method to determine which route is the most appropriate. After the analysis, the study compared the various routes and selected the seaway + inland waterway intermodal transportation route as the optimal one due to its low cost and minimal transit time and emission values.

Keywords: Transportation, Mode choice, Optimal route

Başvuru/Submitted: 21.10.2022 • **Revizyon Talebi/Revision Requested:** 09.11.2022 • **Son Revizyon/Last Revision Received:** 11.11.2022 • **Kabul/Accepted:** 07.12.2022

*Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Anabilim Dalı'nda tamamlanan benzer isimli yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

1 Melih Çelik (Yüksek Lisans Öğrencisi), Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Biga Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Çanakkale, Türkiye. E-mail: melihcelik750@gmail.com ORCID: 0000-0002-4680-7788

2 **Sorumlu yazar/Corresponding author:** Yasin Gültekin (Dr. Öğr. Üyesi), Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Biga Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Uluslararası Ticaret ve Lojistik Bölümü, Çanakkale, Türkiye. E-mail: yasingulteekin@comu.edu.tr ORCID: 0000-0002-0161-8748

Atf/Citation: Celik, M., Gultekin, Y. (2022). Türkiye-Fransa mermer taşımacılığında optimal rotanın çok kriterli karar verme yöntemi ile belirlenmesi. Journal of Transportation and Logistics, *Journal of Transportation and Logistics*, 7(2), 233-259. <https://doi.org/10.26650/JTL.2022.1192542>

Extended Abstract

Due to globalization and changes in consumer behaviors, the rising demand for products has increased trade volumes, which has in turn put pressure on the transportation sector, which is an indispensable part of global trade. In order to meet the constant rises in demand, the transportation sector has had to concentrate on improving itself and its efficiency in addition to trying to find novel solutions. In this sense, great importance is had in running transport operations through the optimal transportation routes. Having logistics companies transport products on efficient routes allows them to reduce transportation costs, which have the largest share of their operational costs, to increase customer satisfaction by delivering goods on time, and to gain advantages over other competitors.

This study attempts to determine the optimal transportation route for exporting marble from Turkey to France by combining the analytical hierarchy process (AHP) and the technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) multi-criteria decision making methods.

Firstly, the study discusses the importance of determining optimal transportation routes and the factors that affect efficiency based on the mode of transport. Afterwards, the study reviews the literature to determine the six main and 18 sub-criteria that are mentioned the most and have occurred the most in studies. These criteria were then submitted to groups consisting of logistics company managers, operation executives, and scholars in order to obtain expert opinions. These same groups filled out the paired comparisons matrices, which were then used based on the AHP method. Next, the study used the program Super Decisions to construct the hierarchy structure of the AHP method and to calculate the criteria weights.

The study made calculations within its scope by considering the values closest to the ideal solution and the most optimal route for transporting 20 tons of marble slabs along the Afyon-Lyon line and revealed the seaway + inland waterways intermodal transportation route (i.e., Route 5) to be the most optimal. Transportation operations along this route take 10 days to complete, with a carbon dioxide emission of 12.40 and a cost of 4,115€ (3,465 + 650). The next most optimal routes were determined respectively as the RORO+Railroad,¹ Sea + Land, RoRo + Highway, and Highway routes. The RoRo + Railroad and the Seaway + Highway routes can be said to have similar values. The reason why the Highway Route ranked last is its higher costs and emissions compared to the other transportation routes. The low weight value of the transit time sub-criterion was another reason why the Highway Route ranked last, despite its speed advantage.

As a result of the analyses performed using the program SuperDecisions, cost is seen as the most important criterion with a weight of 0.53, with the other criteria in order of importance being found as reliability (0.19), product features (0.11), speed (0.08), flexibility (0.04), and environment (0.02). From this point of view, the most important criterion can be said to be cost when determining the optimal route for transporting marble slabs from Afyon to Lyon. The reliability criterion has the second highest weight and also plays an important role in determining the optimal route.

1 RORO = Roll On-Roll Off ships

Due to the structural fragility of marble slabs, they must be delivered to their final destination without any damage, and this increased the importance of the reliability criterion. Product features also play an important role in determining routes. Marble slabs being a high tonnage product requires certain restrictions to be observed while being transported enroute.

Contrary to the findings in the studies in the literature, the speed criterion can be remarkably described as having the second lowest weight (after environment) in this study. The reason for this is that very few situations require urgent transportation of marble slabs within the supply chain. Despite the increasing importance of the environmental factor (carbon dioxide emissions in particular being the main cause of global warming threatening the Earth) in the transportation sector, this study found it to have the lowest criterion weight. However, because the decision groups gave average values to the sub-criteria of undamaged product delivery, capacity flexibility, and weight, carbon dioxide emissions are seen to still play an important role in determining the optimal route despite its low criterion weight. According to the findings regarding the environment criterion, the environmental factor can be said to still be ignored in the transportation sector, despite the regulations countries as well as global non-governmental organizations have made to protect the environment.

Giriş

Taşımacılık operasyonlarında taşımanın hangi rota üzerinden gerçekleştirileceği büyük bir öneme sahiptir. Verimli bir rota üzerinden ürünün taşınması operasyonel maliyetlerde en büyük paya sahip taşıma maliyetlerinin düşürülmesine, zamanında teslimat yapılarak müşteri memnuniyetinin artırılmasına ve rekabet içerisinde olduğu diğer rakipleri üzerinde rekabet avantajı elde etmesine olanak verir.

Taşımacılık sistemi, ürünlerin üretildiği ilk noktadan müşterilerin talep ettiği noktaya kadar motorlu veya motorsuz taşıtlar yoluyla belirli bir taşıma kabının içinde iki tarafında önceden belirlemiş olduğu şartlar ve zaman konusu göz önünde bulundurularak belirli iki nokta arasındaki hareketlerin oluşturduğu organizasyondur (Khoban vd., 2011: 108).

Ülkeler arasındaki etkileşimlerin artması ve ticaret yapmadaki kolaylıklarla beraber artan rekabet ortamında işletmeler maliyetleri düşürmek amacıyla üretim sahalarında yeni planlamalara gitmiştir. Küresel ölçekte üretilen noktada ve son nihai kullanıcı arasındaki mesafelerin artması lojistiğin rekabet etmede önemli bir araç olduğunu göstermiştir. Küreselleşmenin getirdiği yoğun rekabet ortamında işletmelerin katma değer üretebilmesine olanak sağlayan lojistik faaliyetler büyük öneme sahiptir. Hem taşıma noktasında elde edebilecekleri maliyet avantajı hem de müşteri memnuniyetini üst düzeyde tutmak isteyen firmalar her bir taşıma modunun avantajlarını tek bir potada eritip ürünün başlangıcından son dağıtım noktasına kadar olan lojistik süreci en optimal şekilde planlamalıdır. Uluslararası lojistik maliyetlerinin toplam üretim maliyetlerinin %30-%50'sini oluşturduğu düşünüldüğünde (Cho vd., 2010: 529) lojistik kaynakları ve zamanı en iyi şekilde kullanan işletmeler ölçek ekonomisi avantajı elde ederek rakipleri üzerinde üstünlük sağlamaktadırlar (Banomyong 2001: 680).

Lojistik faaliyetlerdeki kalitesizlik ve verimsizlik uluslararası rekabette geri kalmanın en önemli nedenlerindedir. Ürünlerin ithalatı ve ihracatı noktasında gümrük işlemlerindeki yolsuzluk, kırtasiye işlerinin fazla olmasının yanı sıra kurumlar arası uyumsuzluğun yol açtığı gecikmeler, altyapıya bağlı olarak limanlarda verilen hizmetlerin kısıtlı olması ve buna bağlı olarak öngörülen teslimat sürelerindeki sapmalar, liman içinde bulunan depoların yetersiz olması maliyetleri arttırarak rekabette geri kalmanın nedenlerini açıklamaktadır (Gani, 2017: 280).

Taşıma modu seçimi ve farklı taşıma modları ile yapılan kombinasyonlar lojistik yönetiminin verimini doğrudan etkileyen en önemli kararlardan biridir. Buna paralel olarak kolektif tedarik zinciri verimi tercih edilen taşımacılık modundan etkilenecektir (Banomyong, 2001: 1). Eğer bir modun verimsizliği söz konusu ise bu tüm kombinasyonu dolayısıyla da tedarik zinciri verimini etkilemektedir (Seo vd., 2017: 157). Belirli iki nokta arasında her bir taşımacılık modunun kendine özgü avantajları olduğu düşünülürse, her bir modun avantajını kullanacak şekilde bir optimal rota belirlemek güvenilir, zamanında ve ucuz bir navlun talep eden yükleyiciler için önemlidir (Yang vd., 2011: 516). Başka bir deyişle, her bir taşıma modunun verimli olduğu noktaları kullanarak ekonomik ve çevreye duyarlı sürdürülebilir çoklu taşıma rotası oluşturmak son dönemde karar vericilerin üzerinde durduğu önemli noktalardan birisidir (Çetinkaya ve Deveci, 2020: 27).

Lojistik süreci tasarlayan yöneticilerin odaklandığı ana noktalar taşıma süreleri ve maliyettir. Bu süreç iki parametreden oluşan basit bir süreç değildir aksine tam anlamıyla sınıflandırılmayan, sektörlerle ve taşınan ürünlere göre farklılık gösteren ilave faktörleri barındıran bir süreçtir (Meixell ve Norbis, 2008: 183). Dolayısıyla optimal bir taşıma modunun belirlenmesinden dikkat edilmesi gereken birçok farklı değişken vardır. Bilinmelidir ki etkin bir şekilde tasarlanmayan lojistik süreçler işletmeye ek taşıma maliyeti, uzayan teslimat süreleri ve hedeflenenden düşük müşteri memnuniyeti olarak geri döner. Özellikle çokmodlu taşımacılık rotasının belirlenmesi maliyetleri ve riskleri minimize etmesi ve zamanında teslimat yapılmasına olanak vermesi açısından da önemlidir. Verimli bir şekilde planlanan ve yürütülen bu taşımalar küresel ticareti kolaylaştırmakta ve uluslararası ticaret zincirinin verimini arttırmaktadır (Seo vd., 2017: 155).

1. Optimal Taşıma Modu Seçimini Etkileyen Faktörler

Taşımacılık sisteminin içinde birçok taşıma şekli yer almaktadır ve zaman, maliyet, miktar, elverişlilik durumlarına göre birbirleri üzerinde avantaj ve dezavantaja sahiptirler. Her bir taşımacılık modunun diğer taşımacılık modu üzerinde maliyet, hız, güvenilirlik, kapasite anlamında avantaj ve dezavantajlara sahip olmasından dolayı farklı modlarının bir arada planlandığı taşımacılık sistemleri mevcuttur (Ruijgrok, 2008: 40). Hedeflenen iki nokta arasında gerçekleştirilecek taşıma modu ve rotasının belirlenmesinde literatürde en çok yer verilen iki kriter taşıma süreleri (hız) ve maliyettir. Bu süreç iki parametreden oluşan basit bir süreç değildir aksine tam anlamıyla sınıflandırılmayan, sektörlerle ve taşınan ürünlere göre farklılık gösteren ilave faktörleri barındıran bir süreçtir (Meixell ve Norbis, 2008: 183). Dolayısıyla optimal bir taşıma modunun belirlenmesinden dikkat edilmesi gereken birçok farklı değişken vardır. İki nokta arasında genellikle alternatif rotalar oluşturmak mümkündür. Optimal taşıma modu seçimi karmaşık bir problemdir. Bu problemi çözerken maliyet, zaman, mesafe, çevre, kapasite gibi faktörleri düşünerek en uygun taşıma modunu ve rotayı belirlemek hedeflenmelidir (Kasilingam, 2012: 168).

Teknolojinin gelişmesi sayesinde üretim maliyetlerini azaltan işletmeler bir sonraki adım olarak büyük bir gider kalemi olan lojistik maliyetleri minimize etmeye çalışmaktadırlar. Lojistik maliyetlerde en fazla paya sahip olan taşıma maliyetinin düşürülmesi lojistik maliyetleri düşürmek, dolayısıyla karlılığı arttırmak anlamına gelmektedir (Jung vd., 2019: 56). Taşımacılık için belirlenen rota ve mod seçimi taşıma maliyetini ve zamanını doğrudan etkilemektedir. Taşıma süresi genel olarak arz ve talep noktaları arasında tüm lojistik faaliyetleri içeren toplam süreyi ifade etmektedir. Taşıma süresi lojistik servis sağlayıcıların rekabet avantajını doğrudan etkileyebilmektedir. Taşıma süresinde anlamlı azalmalar taşımanın aktörlerini bu taşımacılık modunu kullanması açısından cezbetmektedir (Brooks vd., 2012: 294). Benzer şekilde taşıma sürelerini kısaltmak için lojistik maliyetlerin arttığı durumlarda mevcuttur. Ayrıca arz ve talep noktaları arasında planlanan rotaların optimizasyonu ile taşıma süreleri kısaltılarak depolama ve stok maliyetlerinden tasarruf edilebilmektedir (Sambracos ve Ramfou, 2014: 25).

Taşımacılığa olan talebin artması, taşımacılık dolayısıyla ortaya çıkan karbondioksit salımı neticesinde oluşan kirliliğin de artmasına neden olmuştur. 1990 yılından günümüze

kadar sürekli yükselen taşımacılık endüstrisi, küresel çapta meydana gelen emisyonun %25'ini oluşturmaktadır (Navarro, 2014: 1545). Ulusal ve uluslararası kuruluşlar bu etkiyi uzun dönemde azaltmak ve tersine çevirmek için sürdürülebilir bir taşımacılık sistemi oluşturmak için politikalar yürütmektedir. Ancak Bask ve Rajahonka (2017) çalışmalarında taşımacılık hizmeti alımında karar vericilerin, çevre faktörünü en önemli kriterler arasında görmediklerini belirtmiştir.

Tüketiciler açısından güvenilirlikte önemli bir faktördür. Müşteriler satın aldıkları ürünlerin zamanında ve eksiksiz teslimatını, maliyet gibi önemli görmeye başlamışlardır. Zamanında gerçekleştirilemeyen taşımalar, işletmelerin olması gerekenden daha fazla maliyete katlanmasına yol açmaktadır. De Jong vd. (2004) çalışmasında karayolu taşımacılığında teslimat sürelerinde %10-11 oranındaki artışın, taşıma maliyetlerini yaklaşık %3 oranında yükselttiğini saptamıştır. Bu sebeple zamanında teslimat faktörü taşımacılık modu ve rota seçiminde dikkat edilmesi gereken noktalar arasına girmiştir.

Uluslararası taşımacılık planlaması yapılırken göz önünde bulundurulacak kriterlerden bir tanesi de güvenlik faktörüdür. Terör ya da farklı eylem tipleri için yük trenlerinin, kargo uçaklarının ya da boru hatlarının sabote edilmesi bu konu özelinde örnek olarak gösterilebilir. Güvenli olmayan bölgelere yapılan taşımalarda kargonun başına gelebilecekler riskler karar verme aşamasında önemli bir rol oynamaktadır (Konstantinus ve Zuidgeest, 2019: 7). Taşımacılık rotaları üzerinden taşımanın güvenli bir şekilde yapılması siyasilerin, sanayicilerin ve lojistik şirketlerinin ortak hareket etmesine, kararlı bir şekilde konunun üzerine gitmesine bağlıdır (Reniers ve Dullaert, 2013: 104).

Ürün karakteristiği, ürünlerin taşınması, depolanması, paketlenmesi, elleçlenmesi ve etiketlenmesi gibi kısaca tüm lojistik faaliyetlerin nasıl planlanmasını gerektiğini göstermesi açısından önemlidir. Literatür tarandığında ürün karakteristiğinin fiziksel, değer, ikame ve risk olmak üzere 4 ayrı grupta toplandığı görülmektedir. Lojistik açısından değerlendirildiğinde fiziksel karakter öne çıkmaktadır. Bunlar ağırlık, bozulabilirlik, yanıcılıktır. Tüm bu özellikler ürünlerin son tüketiciye ulaştırılırken kullanılan taşıma modu ve rotasını doğrudan etkilemektedir (Stefanov, 2018: 42). Taşınan ürünün sahip olduğu özellikler taşımacılık modu ve rota seçimini daha karmaşık hale getirmektedir. Örnek vermek gerekirse genel kargoların dışında pahalı ürünlerin taşımacılığında güvenlik faktörüne daha fazla dikkat edilmelidir. Pham ve Yeo (2018) çalışmalarında elektronik bir ürün olan dizüstü bilgisayarı havayolundan daha ucuz denizyolundan daha risksiz düşüncesiyle demiryolu ile taşımıştır. Çok ağır ve büyük ürünler genel olarak çok modlu taşıma sistemleri kullanılarak iki nokta arasında taşınması hedeflenir. Söz konusu ürünün nerede üretildiği ve nerede kullanılacağı göz önünde bulundurularak, bu ürüne özgü bir taşıma operasyonu değerlendirilmeli ve planlanmalıdır. Ağır ürünlerin taşınmasında güvenlik ve zamanında ve hasarsız teslimat önemli taşımanın kalitesini etkileyecek, göz önünde bulundurulması gereken etmenlerdir. Örnek vermek gerekirse trafik akışının yavaş ve dar olduğu bölgelerden planlanan son taşıma bölgenin karayolu altyapısına ve böyle taşımalar için özel üretilmiş araçlara zarar verebilmektedir (Bazaras vd., 2013: 20)

Tedarik zincirinde meydana gelen değişimler, ayrılmaz bir parçası olan taşımacılığın da bu değişime kendini adapte etmesini gerektirmiştir. Sistemlerin kendini değişimlere

göre uyarlaması ve çözümler üreterek operasyonların devam etmesi ise esneklik olarak karşımıza çıkmaktadır (Gosling ve Naim, 2010: 11). Başka bir deyişle karşılaşılan zorluklara rağmen operasyonların devam ettirilmesi yeteneğidir. Yoğun bir şekilde kullanılan rota üzerinde gerçekleşecek taşımanın kısmen ya da tamamen engellenmesini gerektirecek bir olumsuzluğun yaşanması teslimatın gecikmesine, operasyonel performans ve müşteri memnuniyetin düşmesine son olarak da maliyetlerin artmasına neden olur. Bu yüzden karar vericiler söz konusu durumların yaratacağı olumsuz etkiyi en aza indirgeyecek planlamaları yapmalıdırlar (Ishfaq, 2012: 216).

2. Literatürde Rota Seçimi Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Ulusal ve uluslararası literatürde çoklu taşıma sistemleri ve hedeflenen iki nokta arasında en uygun rota seçimini farklı yönleri ile ele alan birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaları şu şekilde özetleyebiliriz. Boardman vd. (1997) çalışmalarında Atlanta-Fort Worth noktaları arasında en düşük maliyetli taşıma türleri kombinasyonunu bulmaya çalışmışlardır. Çalışmada taşıma maliyeti, süresi ve mesafe değişkenlerini içeren karar destek veri tabanı oluşturulmuş ve K- En Kısa Yol Algoritması ile bilgisayar üzerinde çalıştırılarak en uygun rota saptanmıştır. Geliştirilen karar destek veri tabanının intermodal taşımacılığı kullanımını kolaylaştırdığı ve mal sahipleri ve taşıma operatörlerinin maliyet, hız ve hizmet kalitesi temelinde en uygun rotayı bulmasını sağladığı sonucuna varılmıştır. Bookbinder ve Fox (1998) iki Kuzey Amerika Serbest Ticaret Anlaşması (NAFTA)'nın iki üyesi Kanada (Toronto, Montreal, Winnipeg, Calgary ve Vancouver) ve Meksika (Mexico City, Monterrey ve Guadalajara) arasında taşıtan perspektifiyle en verimli rota üzerinden intermodal konteyner taşımacılığı planlamak üzerine bir çalışma hazırlamışlardır. Maliyet-transit süre analizini yöntem olarak belirlemişlerdir. Belirlenen başlangıç ve bitiş noktaları arasında her bir intermodal senaryosunun kendine has avantajları olduğu, Meksika sınır geçişinden yaşanan sıkışıklık nedeniyle tır kullanımının teslimat sürelerini uzattığı sonucuna varılmış ve tüm bu çıkarımlar doğrultusunda en uygun rota belirlenmiştir. Banomyong (2001) çalışmasında maliyet modelini kullanarak Vientian-Singapur koridorunda farklı taşımacılık modlarını ve kombinasyonlarını içeren rotalar belirlemiştir. Belirlenen noktalar arasında karayolu seçimi en hızlı transit süre seçeneğini, Bangkok üzerinden gerçekleştirilen karayolu+denizyolu opsiyonunu ise en ucuz rotayı sunmuştur. Özellikle kargo hacimlerinin artması durumunda demiryolu taşımacılığının da cazip hale gelebileceği tespit edilmiştir. Banomyong ve Beresford (2001) çalışmalarında çok modlu taşıma maliyet süre analizini kullanarak Laos-Avrupa koridorunda beş farklı alternatif rota belirlemiş ve en uygun olanı belirlemeye çalışmışlardır. Hedef iki nokta arasında denizyolu en ucuz, demiryolu orta ve karayolu en pahalı olduğu saptanmıştır. Vientian-Rotterdam destinasyonları arasında maliyet-transit süre-güvenilirlik paritesinin en yüksek olduğu taşımacılık modu Malezya'da bulunan Klang limanından gerçekleştirilen denizyolu olduğu belirlenmiştir.

Chang (2008) Tayvan-ABD arasında tam-sayıli doğrusal planlama modelini kullanarak en uygun intermodal rotayı belirlemeye çalışmıştır. Oluşturulan matematiksel model uygulandığında birtakım sonuçlara ulaşmıştır. Rota seçiminde göz önünde bulundurulacak faktörlere göre değişiklikler olmaktadır. Öyle ki maliyet düşünülürse denizyolu, teslimat

süresi düşünüldüğünde ise havayolu tercih edildiği ortaya çıkmıştır. Demiryolu bu iki nokta arasında hiçbir zaman alternatif olamamıştır. Ergin ve Çekerol (2008) oluşturdukları modeli Türkiye’de intermodal taşımacılığının uygulanabilirliğini hızlı tüketim mallarını içeren sektörde uygulamayı ve intermodal taşıma için rotalar bulmayı amaçlamışlardır. Türkiye’de iç bölgelere yapılan taşımalarda karayolu-demiryolu tercih edildiği görülmüştür. Uzun mesafeli taşımalarda taşıma maliyetini azaltmak için demiryolunun kullanıldığı saptanmıştır. Ayrıca demiryolu ağının ülke genelinde genişletilmesini ve demiryolu bağlantısı olmayan limanlara hızlı bir şekilde bağlantı noktası kurulması gerektiğini önermişlerdir. Tuzkaya ve Önüt (2008) çalışmalarında FANP yöntemi kullanarak Almanya ve Türkiye arasında bir taşıma senaryosu gerçekleştirmişlerdir. Maliyet, güvenlik, esneklik, izlenilebilirlik, risk, hız ve ürün özellikleri çalışmanın kriterleridir. Kriter ağırlıklarının hesaplanarak varılan sonuçta en optimal taşıma modları sırasıyla demiryolu, denizyolu ve karayoludur. Demiryolunun öncelikli olarak gözükmesine rağmen demiryolu taşımacılığındaki sefer saatlerinin değişikliği, artan talebe yanıt verememesi ve yetersiz kapasiteye sahip olmasından dolayı gerçekte şirket tarafından karayolu tercih edilmektedir. Cho vd. (2010) yürüttükleri çalışmada dinamik planlama ve en kısa yol algoritmasını kullanarak 3. parti lojistik işletmelerinin de kullanabileceği bir optimal rota planlama algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri maliyet ve zamanı minimize eden algoritmayı Güney Kore’de bulunan Busan limanı ile Hollanda’da bulunan Rotterdam limanı arasında küçük ve büyük ölçekte intermodal taşımacılıkta kullanmışlardır.

Yang vd. (2011) Çin’in Şenzen ve Şangay Hindistan’ın ise Mumbai, Yeni Delhi, Kalkuta ve Visakhapatnam şehirleri arasında intermodal taşıma ağı kurmak için 36 farklı rota oluşturmuşlardır. Taşıma mesafesinin toplam maliyeti düşürmek için önemli bir anahtar olmadığını, modlar arası yapılan geçişlerde bekleme sürelerinin önemli olduğu, antrepo ve sigorta maliyetlerinin toplam maliyet üzerinde ciddi bir yük oluşturduğu çalışmadan elde ettikleri bulgular arasındadır. Kengpol vd. (2012) Tayvan ve Vietnam arasında yapılması planlanan çokmodlu taşıma rota planlamasını belirlemek için karar destek sistemi oluşturmuşlardır. Bu sistemde bütçe ve zaman sayısal kriterleri, taşıma sırasında ürüne gelecek risk, altyapı ve ekipman hasarları ise kalite kriterlerini oluşturmuştur. Her bir rotanın maliyetini belirlemek için maliyet analizi, risk durumunu ölçmek için risk analizi, kriter ağırlıklarını belirlemek için AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemini son olarak en optimum rotayı bulmak için de hedef programlamayı kullanmışlardır. Kim ve Chang (2014) çalışmalarında doğrusal planlama yöntemini kullanarak Güney Kore’nin Seul şehrinde Amerika’nın Seattle limanına taşıma mesafesi, taşıma maliyeti ve emisyon değişkenlerine sahip üç farklı intermodal taşıma senaryosu planlamışlardır. Senaryolarda taşıma ve zaman maliyetinin yanı sıra dışsal maliyet olarak da karbon vergisi ve emisyon ticaret şeması tanımlanmıştır. Karbon vergisinin arttırıldığında demiryolu kullanımının kayda değer bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Ancak emisyon ticaret şeması programı kapsamında üretim merkezlerinden birim karbondioksit salımı başına alınan ücretin arttırıldığı bir durumda, kullanılan modlarda önemli bir değişiklik yaşanmamıştır. Öyle ki iç taşımada hala en fazla karayolu kullanılmıştır. Çalışmanın önerisi uluslararası organizasyon ve devletlerin karbon vergisi altında alınan ücret ile emisyon ticaret şeması programı kapsamında alınan ücretleri eşitlemesi durumunda çevreye daha az zarar verileceği olmuştur.

Macharis vd. (2015) çalışmalarında Belçika'nın Antwerp limanında yine Belçika içinde rastgele seçilen 11 noktaya taşıma senaryosu gerçekleştirmişlerdir. Yöntem olarak kriterlerin ağırlıklandırılması için AHP ve optimum rotanın seçilmesi içinde PROMETHEE kullanılmıştır. Çalışmada Taşıma maliyeti, taşıma süresi, zamanında teslimat güvenilirliği, trafik sıklığı, emisyon miktarı, kaza riski ve gürültü değişkenleri yer almaktadır. Daha az gürültü çıkaran ve karbondioksit salımı yapan araçların yerine çevreye daha duyarlı araçların karayolunda kullanılması karayolu taşımacılığının olumsuz dışsal etkisini azaltabilir sonucuna varmışlardır. Demir vd. (2015) çalışmalarında Avrupa içinde 32 farklı servisle birbirine bağlanabilen içsuyolu karayolu ve demiryolunu içeren 10 farklı terminal arasında bir intermodal ve tek modlu bir taşıma senaryosu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada stokastik ve karışık tam sayılı programlama kullanılmıştır. Demiryolu ve iç su yolu karayoluna göre oldukça ekonomiktir. Bu iki taşıma modu ayrıca emisyon salımı açısından en çevreci olarak göze çarpmaktadır. Ancak ana taşımanın gemi ve trenle yapılması teslimat sürelerinde uzamalara dolayısıyla da yüksek ceza ödemelerine yol açabilmektedir. Hao ve Yue (2016) çalışmalarında Çin'in Shenyang ve Chedgu şehirleri arasında on adet standart konteynerin karayolu, demiryolu ve denizyolu kullanılarak minimum maliyet ve en kısa sürede taşınmasını ele almıştır. Bu çalışmayı taşıma süresi, taşıma maliyeti, taşıma mesafesi ve kargo değeri değişkenlerini kullanarak karışık tam sayılı programlama metodundan faydalanarak gerçekleştirmiştir. Belirlenen iki nokta arasında taşıma maliyet-taşıma süresi paritesinin en uygun olduğu sistem demiryolu olarak öne çıkmıştır.

Seo vd. (2017) çalışmalarında Çin'in Chongqing şehrinden Hollanda'nın Rotherdam limanına yedi farklı rota üzerinden laptop taşıma senaryosunu maliyet, transit süre ve taşıma mesafesi değişkenleriyle ve Beresford'un geliştirdiği maliyet-süre yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. 7 rota arasında da en ucuz rota iç taşımada iç su yolu, ana taşımada da denizyolu kullanılan 1.rota olmasına rağmen, laptop ürünün nispeten daha hızlı teslimat edilmesini gerektiğinden 6.rota seçilmiştir. 6.rota iç ve ana taşımanın demiryolu ile gerçekleştiği rotadır. Sonraki çalışmalar için taşıma gecikme ve rota üzerindeki kaza oranlarının değişken olarak eklenebileceğini önermiştir. Stoilova (2018) çalışmasında iki nokta arasında 5 farklı alternatif üzerinden en uygun konteyner taşıma operasyonunu gerçekleştirmiştir. Hedeflenen iki nokta arasında demiryolu ve karayolu modlarını kullanarak taşıma maliyet ve süresi, emisyon, zamanında ve güvenli teslimat, modlar arası transfer geçişkenliği değişkenleriyle Shannon Entropy, DEAMATEL ve AHP metodlarını uygulayarak kriter ağırlıklarını Compromise Programing metoduyla da alternatifler arasından optimal taşıma modu ve rotasını bulmaya amaçlamıştır. Pham ve Yeo (2018) çalışmalarında Çin'in Schenzen şehrinden Vietnam'ın Haipong şehrine, taşıtan ve lojistik servis sağlayıcıları perspektifinden kapıdan kapıya taşıma senaryosu gerçekleştirmişlerdir. Tutarlı bulanık tercih ve Delphi metodunu kullanmışlardır. Yüksek teknoloji içeren ürünlerin taşınmasında havayolunun kullanabileceğini belirtmişlerdir. Gelecek çalışmalar için farklı şehirlerden taşıma gerçekleştirilebileceğini ve demiryolunu dahil edebileceklerini önermişlerdir. Arslanhan ve Tosun (2021) çalışmalarında Kayseri İlinden Çin'e kiraz taşıma senaryosu gerçekleştirmiştir. En iyi- En kötü yöntemi kullanarak kriter ağırlıkları belirlenmiş, sonrasında ise WASPAS yöntemi kullanılarak taşımacılık

modu seçilmiştir. Kirazın bozulabilen bir ürün olması sebebiyle havayolu taşımacılığı birinci alternatif olarak seçilmiştir. Kaewfak vd. (2021) Çalışmalarında Tayland'da 50.000 ton sınırlı kömür taşıma operasyon senaryosu gerçekleştirmişlerdir. ZOGP(Zero-One-Goal Programing) ve AHP metodunu kullanarak taşıma maliyeti, taşıma süresi ve risk değişkenleri 3 farklı rota üzerinde deneyerek en uygun rotayı bulmayı amaçlamışlardır.

3. Yöntem

Çalışmanın bu bölümünde Türkiye-Fransa arasında içerisinde plaka mermer bulunan konteynerin taşınması için birkaç farklı rota oluşturulmuştur. Rota seçimini etkileyen kriterler sektörde aktif olarak çalışan uzman kişilerce belirlenmiş ve AHP yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır. TOPSİS (İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği) yöntemi ile de hedef iki nokta arasındaki en uygun rota belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı Türkiye-Fransa arasında gerçekleştirilecek taşımacılık operasyonlarının optimal rotasını AHP ve TOPSİS çok kriterli karar verme yöntemlerinin hibrit bir şekilde kullanarak belirlemektir. Başka bir deyişle yükün çıkış ve varış noktaları arasında düşük maliyet, transit süre ve emisyonlu bir intermodal taşıma rotası belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda hedef iki nokta arasında lojistik hizmet sunan şirketlerden rota, maliyet, transit süre bilgileri, literatür taraması ile de rota seçimini etkileyen kriterler edinilmiştir. Afyon-Lyon arasında taşımacılık senaryosu gerçekleştirirken aynı zamanda aşağıda belirtilen diğer hedeflere de ulaşılabileceği düşünülmektedir.

- İki nokta arasındaki en optimal rotanın belirlenmesi
- Mevcut olarak kullanılan rotalara alternatif rotalar belirlenmesi
- Rotalar özelinde transit süre, maliyet ve emisyon değerlerinin hesaplanarak sürdürülebilirlik düzeyinin tespit edilmesi
- Ürünün belirlenen ülkeye en optimal şekilde taşıyarak ihracatçılarımıza rekabet avantajının sağlanmasıdır.

Literatür taraması sonucunda elde edilen 6 ana 18 alt kriter sektör yöneticisi ve akademisyenden oluşan uzman görüş grubuna gönderilmiş onay alındıktan sonra kriterlerin ikili karşılaştırmalarını içeren uygulama formu taşımacılık sektöründeki işletmelerde çalışan uzman yöneticilere mail yoluyla sunulmuştur. Doldurulan uygulama formlarına göre kriter ağırlıkları AHP yöntemi ile Super Decision v2.10 paket programında belirlenmiştir. Belirlenen rotalar arasından en optimal olanı seçmek için ise TOPSİS yöntemi kullanılmıştır. AHP yönteminde ağırlıklandırılan her bir ana kriterin en fazla ağırlığa sahip alt kriterleri alınarak TOPSİS için karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisi, normalleştirildikten sonra AHP yöntemiyle elde edilen ağırlıklar ile çarpılarak ağırlıklandırılmış matris elde edilmiş, ideal çözüme en yakın ve en uzak değerler hesaplanmış ve alternatifler arasından en uygun olanı seçilmiştir. TOPSİS yöntemi Excel 2016 paket programı üzerinde uygulanmıştır.

Literatürde tam sayılı doğrusal planlama, hedef programlama gibi karar verme teknikleri bulunmaktadır. AHP yönteminin içerisinde birçok değişkeni barındıran ve karmaşık bir

yapıya sahip birçok problemi kolaylaştırması, objektif yorumların yanında subjektif yorumlara da olanak vermesi sebebiyle literatürde en çok yer verilen çok kriterli karar verme yöntemi (ÇKKV) yöntemidir ve bu çalışmada da bu neden ile tercih edilmiştir (Ömürbek ve Şimşek, 2014: 308). Çünkü optimal taşıma rotası belirlenmesi amacıyla yapılan değerlendirmede sayısal değerlerin yanında tecrübelerin de değerlemeye katılması çalışmanın verimliliğini arttırmaktadır. İdeal çözüme en yakın ve negatif çözüme en uzak mesafe metodolojisine dayanan TOPSIS yöntemi bu çalışmada 5 farklı rota arasından en verimli olanı seçme aşamasında kullanılmıştır. TOPSIS yöntemi karar vericilerin rasyonel ifadelerinin yanında en iyi ve en kötü alternatifin aynı anda gösterebilmesine ek olarak kolay uygulanabilir ve anlaşılabilir olmasından dolayı tercih edilmiştir (Shih vd. 2007: 802). Belirlenen iki nokta arasında emisyon değerlerini ölçmek amacıyla EcoTransIT web uygulaması kullanılmıştır. EcoTransIT yük taşımacılığı esnasında ortaya çıkan karbondioksit salımını direkt ve dolaylı bir şekilde hesaplayabilen ücretsiz bir emisyon hesaplama aracıdır (Petro ve Konency, 2017: 679).

Çalışma kapsamında Afyon-Lyon noktaları arasında taşımacılığın gerçekleştirilmesi için şirketlerden hâlihazırda gerçek müşterilerine sunduğu mevcut rotaların bilgisi alınmış ve bu rotalar üzerinden uygulama gerçekleştirilmiştir. Rota, maliyet ve transit süre bilgileri sektördeki söz konusu hedef noktalara lojistik hizmet sunan şirketlerden edinilmiştir.

3.1 Veri Toplama Süreci ve Verilerin Analizi

Literatür taraması sonucu ana ve alt olmak üzere elde edilen toplam 24 kriter taşımacılık sektöründe hizmet veren armatör ve freight-forwarder şirketlerinin operasyon, satın alma, iş geliştirme ve planlama müdürü unvanlarına sahip yöneticilerine ve lojistik alanında uzman akademisyenlere mail yoluyla gönderilerek uygulama formlarının doldurulması sağlanarak veriler toplanmıştır. Veri toplama aşamasında 10 şirket yöneticisi ve 3 akademisyene ulaşılmıştır. Ulaşılan şirket yöneticilerinin ortalama tecrübesi 13 yıldır.

Rotaların maliyet ve transit süre bilgileri 1 Haziran- 1 Temmuz 2022 tarihleri öğrenilmiş ve gelişen durumlara göre navlun fiyatlarında farklılar yaşanabileceği bilgisi elde edilmiştir. Elde edilen veriler Excell 2016 ve Super Decision v2.10 kullanılarak analiz edilmiştir.

Uygulamada rota seçimini etkileyen ana ve alt kriterler geniş literatür taramasından sonra belirlenmiştir. Belirlenen kriterler lojistik sektöründeki uzman kişilerin ayrıca devlet ve vakıf üniversitesindeki lojistik alanında uzman akademisyenlerin görüşüne sunulmuştur. Söz konusu kriterlerin uygunluk onayı alındıktan sonra kriterler son şeklini almıştır.

Uygulama kapsamında Afyon'dan Lyon şehrine gerçekleştirilecek plaka mermer ihracatı için toplamda 5 rota seçilmiştir. Seçilen rotaların hepsi aktif halde kullanılmaktadır. Rotalar ile maliyet(navlun) ve transit süre ile ilgili bilgiler armatörler ve freight forwarderların satış temsilcileri tarafından elde edilmiştir. Belirlenen rotalarda her gün gemi ya da tırın taşımacılığa uygun olduğu transit sürelerin rota üzerinden herhangi bir olumsuzluk olmadığı durumlara göre hesaplandığı ve buna göre veri girişinin yapıldığı bir varsayım kabul edilmiştir. Ayrıca hasarsız ürün teslimatı ve kapasite esnekliği ile ilgili literatürde ölçek bulunmamasına bağlı olarak söz konusu iki kriter uzman görüşüne sunulmuş ve rotalara göre değerlendirildiğinde aralarında anlamlı bir fark bulunmamasından dolayı nitel ifadeleri nicel ifadeleri çeviren ölçek kullanılmış ve 5(orta) puan verilmiştir.

Afyon-Lyon hedef noktaları arasında optimal rotanın belirlenmesi amacıyla kriterler ve alt kriterler için ulusal ve uluslararası literatür taranmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda en fazla üzerinde durulan ve öneme sahip 6 ana 18 alt kriter belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin amaca yönelik olup olmadığına yönelik sektördeki yöneticilerin yanı sıra devlet ve vakıf üniversitelerindeki lojistik alanında uzman akademisyenlerden görüş alınmıştır. Süreç sonunda 6 ana 18 alt kriter olmak üzere 24 kriter belirlenmiştir. Bu kriterler aşağıda Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1: Çalışmada Kullanılan Ana ve Alt Kriterler

Maliyet (M) Ana Navlun (M1) İç Taşıma (M2) Liman ve Gümrük Masrafları (M3)	Güvenilirlik (G) Zamanında Teslimat (G1) Hasarsız Ürün Teslimatı (G2) Gecikmelerde Alınan Sorumluluk Düzeyi (G3)
Hız (H) Transit Süre (H1) Mesafe (H2) Aktarma Noktalarında Geçen Süre (H3)	Ürün Özellikleri (Ü) Ağırlık (Ü1) Hacim(Ü2) Ambalaj Gereksinimi (Ü3)
Çevre (Ç) Karbondiyoksit Salımı (Ç1) Yenilenebilir Enerji Kul. Maliyeti (Ç2) Gürültü (Ç3)	Esneklik (E) Zaman Esnekliği (E1) Kapasite Esnekliği (E2) Rota Esnekliği (E3)

3.2 Rotaların Belirlenmesi

Rota 1 Afyon-Lyon Karayolu Taşımacılığı: Rota 1’de Afyon’da fabrikada dolumu yapılan konteyner tır üzerine yüklenip mühürlenip gümrük işlemleri yapıldıktan sonra Türkiye’den ayrılarak Bulgaristan-Sırbistan-Hırvatistan-Slovenya-Avusturya-Almanya üzerinden Fransa’ya giriş yapar ve Lyon şehrine vararak taşıma son bulur.

Rota 2 Afyon-Lyon Ro-Ro+Karayolu Taşımacılığı: Rota 2’de Afyon’da dolumu yapıp yüklenen konteyner tır ile Yalova’daki Ro-Ro terminaline oradan da Ro-Ro gemisi ile Fransa’nın Sete limanını varır. Sete limanında tır iniş yaparak Lyon şehrine karayolu vasıtasıyla hedef noktaya ulaştırılır

Rota 3 Afyon-Lyon Ro-Ro+Demiryolu Taşımacılığı: Rota 3’te Afyon’dan çıkan tır Pendik’te bulunan Ro-Ro terminaline gelir, Ro-Ro gemisiyle İtalya’nın Trieste limanına varır. Burada konteyner elleçlenerek demiryoluna aktarılır ve Trieste-Duisburg-Lyon demiryolu hattıyla Lyon’a ulaştırılır.

Rota 4 Afyon-Lyon Denizyolu+Karayolu Taşımacılığı: Rota 4’te Afyon’dan konteyner tır ile İzmir Aliğa’da bulunan TCEEGE konteyner limanına getirilir ve konteyner gemisi ile Fransa’da bulunan Fos/Sur/Mer limanına taşınır. Burada elleçlenerek tır üzerine tekrar yüklenir ve karayolu vasıtasıyla Lyon’a ulaştırılır.

Rota 5 Afyon-Lyon Denizyolu+İç Suyolu Taşımacılığı: Rota 5’te Afyon’da dolmuş gerçekleştirilen konteyner gerekli işlemleri yapıldıktan sonra Bursa Gemlik’te bulunan Gempot limanına tır ile getirilir ve konteyner gemisine yüklenerek Fransa’da bulunan Seayard 2XL limanına taşınır. Burada elleçlenerek Avrupa’da nehir taşımacılığında kullanılan küçük konteyner gemilerine yüklenerek Lyon’a getirilir ve taşımacılık operasyonu sonlandırılır.

3.3 Rotaların Maliyet ve Transit Süre Analizi

Afyon-Lyon noktaları arasında oluşturulan 5 farklı rotanın maliyet, transit süre ve toplam emisyon miktarları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 2: Rotaların Maliyet, Transit Süre ve Emisyon Rakamları

Rotalar	Açıklama	Maliyet(Ana Navlun+İç Taşıma) (€)	Transit Süre (Gün)	Toplam Emisyon (Ton)
Rota 1	Karayolu	5200(4600+600)	7	18,58
Rota 2	RoRo+Karayolu	4500(3900+600)	8	10,35
Rota 3	RoRo+Demiryolu	4110(3560+550)	11	11,20
Rota 4	Denizyolu+Karayolu	4300(3750+550)	9	12,10
Rota 5	Denizyolu+İç suyu	4115(3465+650)	10	12,40

3.4 Rotaların Emisyon Analizi

Afyon-Lyon noktaları arasında belirlenen birbirinden farklı 5 rotanın çevreye ne kadar duyarlı bir taşımacılık gerçekleştireceğini ölçmek amacıyla her bir rotanın emisyon analizi gerçekleştirilmiştir. Emisyon analizinde kullanılan birçok farklı ölçme metodolojisi bulunmaktadır. Ancak EcotransIT emisyon hesaplama aracı kullanılarak oluşturulan 5 rotanın emisyon analizi yapılmıştır.

Tablo 3: Belirlenen Rotaların Emisyon Analizi

Rotalar	Taşıma Modu	Araç Tipi	İstif Faktörü (%)	Boş Tur Faktörü(%)	Mesafe (km)	CO ₂ Eşdeğer Emisyon Miktarı (ton)		
						Doğrudan	Dolaylı	Toplam
Rota 1. Afyon-Lyon	Karayolu	Tır	60	20	3161	14,95	3,63	18,58
Rota 2. Afyon-Yalova Sete-Lyon	Karayolu	Tır	60	20	350+330	3,34	0,81	4,15
Rota 2. Yalova-Sete	Denizyolu	Ro-Ro	-	-	2848	5,94	0,26	6,20
Rota 3. Afyon-Pendik	Karayolu	Tır	60	20	382	1,96	0,43	2,39
Rota 3. Pendik-Trieste	Denizyolu	Ro-Ro	-	-	2249	4,69	0,21	4,90
Rota 3.Trieste-Duisburg-Lyon	Demiryolu	Tren	50	20	1123+801	3,09	0,82	3,91
Rota 4.Afyon-TCEEGE Fos/Sur/Mer- Lyon	Karayolu	Tır	60	20	375+295	3,29	0,79	4,08
Rota 4. TCEEGE-Fos/Sur/Mer	Denizyolu	Handysize	-	-	2422	7,39	0,63	8,02
Rota 5.Afyon-Gemport	Karayolu	Tır	60	20	300	1,56	0,34	1,90
Rota 5. Gemport-Seayard 2XL	Denizyolu	Handysize	-	-	2744	7,97	0,67	8,64
Rota 5. Seayard 2XL-Lyon	İç suyu	İç suyu Konteyner Gemisi	-	-	312	1,53	0,39	1,92

Tablo 3 incelendiğinde en fazla emisyon değerinin 18,58 ile 1. Rotada en az emisyon değerinin ise 10,35 ile 2. Rotada olduğu tespit edilmiştir.

3.5 Araştırmanın Bulguları

Araştırma kapsamında daha önceden belirlenmiş olan kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış ve devamında yapılan araştırma kapsamında elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Katılımcılardan elde edilen veriler Superdecision, EcotransIT ve Excel programları kullanılarak anlamlı tablolar oluşturulmuş ve yorumlanmıştır.

Çalışma kapsamında hazırlanan ana ve alt kriterlerin birbirleri ile karşılaştırmalarını sonucunda oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerini içeren uygulama formları her bir şirket yöneticisi ve akademisyene gönderilerek doldurulmaları sağlanmıştır. Elde edilen 13 uygulama formunda bulunan ana ve alt kriter ikili karşılaştırma matrislerinin medyanları alınarak temel bir uygulama formu meydana getirilmiştir. Temel uygulama formunun karşılaştırma matrisleri aşağıda Tablo 4'te gösterilmiştir. Tablo 4'te gösterilen karar matrisindeki veriler AHP yönteminin daha kolay uygulanabilmesine olanak sağlayan SuperDecision v2.10 programında girdi olarak kullanılmış ve ana ve alt kriter ağırlıklarını bulmak için işlemler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen işlemler sonucunda elde edilen ana kriter değerleri aşağıdaki aşağıda Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Çalışmada kullanılan ana kriterlerin karar matrisi

Ana Kriterler	Maliyet	Hız	Çevre	Güvenilirlik	Ürün Özellikleri	Esneklik
Maliyet	1	7	8	5	7	8
Hız	0,14	1	5	0,33	0,33	3
Çevre	0,12	0,20	1	0,20	0,20	0,33
Güvenilirlik	0,20	3	5	1	3	7
Ürün Özellikleri	0,14	3	5	0,33	1	3
Esneklik	0,12	0,33	3	0,14	0,33	1

Tablo 5: Çalışmada kullanılan ana ve alt kriterlerin kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Kriter Ağırlıkları
Maliyet 0,53051	Ana Navlun	0,4166
	İç Taşıma	0,0789
	Liman ve Gümrük Masrafları	0,0349
Hız 0,08227	Transit Süre	0,06011
	Mesafe	0,00666
	Aktarma Noktalarında Geçen Süre	0,01550
Çevre 0,02865	Karbondioksit Salımı	0,01924
	Yenilenebilir Enerji Kullanım Kapiliyeti	0,00760
	Gürültü	0,00180
Güvenilirlik 0,19333	Zamanında Teslimat	0,05393
	Hasarsız Ürün Teslimatı	0,12549
	Gecikmelerde Alınan Sorumluluk Düzeyi	0,01390
Ürün Özellikleri 0,11921	Ağırlık	0,08856
	Hacim	0,02311
	Ambalaj Gereksinimi	0,00754
Esneklik 0,04603	Zaman Esnekliği	0,00867
	Kapasite Esnekliği	0,03363
	Rota Esnekliği	0,00373
Tutarlılık Oranı	0,09708	0,09708

Hem ana hem de alt kriter değerlerinin tutarlılık oranı 0,10'dan düşüktür ve literatürde bu değer 0,10'dan düşük olması beklenmektedir. Dolayısıyla gerçekleştirilen işlemler tutarlıdır.

Tablo 5 incelendiğinde maliyet ana kriteri 0,53 ile en fazla öneme sahip kriter olarak gözükmektedir. Maliyetten sonra sırasıyla 0,19 güvenilirlik, 0,11 ürün özellikleri, 0,08 hız, 0,04 esneklik ve 0,02 kriter ağırlığı ile çevre gelmektedir. Buradan hareketle Afyon-Lyon hattında plaka mermer taşımak için rota seçimi yapılırken en fazla maliyet faktörünün göz önünde bulundurulduğu söylenebilir. Zamanında teslimat, hasarsız ürün teslimatı ve gecikmelerde alınan sorumluluk düzeyi gibi alt kriterlere sahip güvenilirlik faktörünün ise maliyetten sonra en fazla öneme sahip olduğu görülmektedir. Plaka mermerin kırılma, çatlama, devrilme gibi durumlara müsait olması güvenilirlik faktörünün önemini doğrular niteliktedir. Plaka mermer yapısı gereği tonajlı bir yük olduğu için ürün özellikleri faktörü de ön plana çıkmaktadır. Konteynerlerin belirli azami ağırlık ve hacim sınırı olduğu göz önüne alındığında rota seçiminde ürün özelliklerinin de önemini artmaktadır. Hız faktörünün genel olarak literatürde en fazla öneme sahip kriter olarak değerlendirildiği çalışmalar mevcuttur. Ancak bu çalışmada plaka mermerin tedarik zincirinde acil olarak taşınmasının gerektiği durumların çok kısıtlı olmasından dolayı hız faktörü önem olarak maliyet, güvenilirlik ve ürün özelliklerinden sonra gelmektedir. Başka bir ifadeyle maliyetin ve taşımanın güvenilir bir şekilde olması ürünün varış noktasına hızlı bir şekilde ulaştırılmasından daha önemli olduğu söylenebilir. Esneklik faktörü ise bu çalışmada diğer kriterler ile kıyaslandığında düşük öneme sahip kriter olarak gözükmektedir. Söz konusu iki hedef nokta arasında zaman, kapasite ve rota esnekliği gibi alt kriterlerin plaka mermer taşınması için rota oluştururken çok fazla dikkate alınmadığı söylenebilir. Çevre kriterinin ise belirlenen 6 ana kriter arasında en düşük öneme sahip kriter olduğu belirlenmiştir. Yükün çıkış ve varış noktaları arasında en verimli rotayı belirlemek için yapılan bu çalışmada çevre faktörünün çok az derecede dikkate alındığı söylenebilir. Son yıllarda küresel ısınmanın etkilerinin azaltılmasına yönelik atılan adımlar neticesinde karbon ayak izi, emisyon ticareti gibi bir takım düzenlemeler getirilmiştir. Taşımacılık sektöründe karbondioksit salımının yüksek olması ve bunu azaltmak adına getirilecek ek vergi gibi yaptırımlar ilerleyen dönemde çevre faktörünün optimal rotanın belirlenmesi aşamasında önemini artacağını söylemek mümkündür. Ana kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra sırayla alt kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesine geçilmiştir.

Tablo 6: Maliyet alt kriteri karar matrisi

Maliyet Alt Kriteri	Ana Navlun	İç Taşıma	Liman ve Gümrük Masrafları
Ana Navlun	1	7	9
İç Taşıma	0,142	1	3
Liman ve Gümrük Masrafları	0,111	0,33	1

Tablo 6'da maliyet ana kriteri altında yer alan alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları gösterilmiştir. İkili karşılaştırma yönteminde kriterlerin birbiri ile kıyaslaması 1 olmalıdır. Buradan hareketle ikili karşılaştırmalar yapıldığında ana navlun alt kriterinin iç taşımaya

göre 7(Çok kuvvetli derecede önemli) liman ve gümrük masrafları alt kriterine göre ise 9(mutlak derecede önemli)'dir. İç taşıma alt kriteri ise liman ve gümrük masraflarına göre 3(orta derecede önemli)'dir.

Tablo 7: Maliyet alt kriterlerinin kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı

Maliyet Alt Kriterleri	Kriter Ağırlıkları
Ana Navlun	0,4166
İç Taşıma	0,0789
Liman ve Gümrük Masrafları	0,0349
Tutarlılık Oranı	0,07721

Tablo 7'de maliyet ana kriterinin altında bulunan ana navlun, iç taşıma ve liman ve gümrük masrafları alt kriterlerinin kriter ağırlıkları gösterilmiştir. Maliyet alt kriterlerinin tutarlılık oranı 0,07'dir. Afyon-Lyon hattında plaka mermer taşınması için optimal rota belirlenirken en fazla öneme sahip maliyet kriterinde ana navlun 0,41 ile ön plana çıkmaktadır. Daha sonra ise 0,07 ile iç taşıma gelmektedir. Maliyet alt kriteri içinde en az öneme sahip kriter ise liman ve gümrük masraflarıdır. İç taşımada genel olarak kullanılan karayolu taşıma modunun ana taşımada demiryolu ve denizyolu taşımacılık modları ile yer değiştirmesi ana navlunun ne kadar önemli olduğunu doğrulamaktadır. Piyasa koşullarında üretim merkezi ve ana taşımada gerçekleştirileceği liman ya da tren istasyonu arasındaki bağlantıyı kuran iç taşımacılıkta hizmet veren şirketler birbirine yakın ücretler başka bir deyişle ortalama rakamlar sunmaktadır. Aynı şekilde liman ve gümrük operasyonlarında oluşan maliyetler de birbirine paralellik göstermektedir. Ana taşımada kullanılan demiryolu, denizyolu ve kısmen karayolu taşımacılık modlarının birbiri üzerindeki avantaj ve dezavantajları düşünüldüğünde maliyet anlamında ciddi farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Öyle ki demiryolu, denizyolu ve karayolu taşımacılık operasyonlarından maliyet olarak pozitif ayrışmaktadır. Buradan hareketle maliyet alt kriterinde doğrudan maliyet ana kriterini etkileyen alt kriterin ana navlun olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 8: Hız alt kriterlerinin karar matrisi

Hız Alt Kriterleri	Transit Süre	Mesafe	Aktarma Noktalarında Geçen Süre
Transit Süre	1	7	5
Mesafe	0,14	1	3
Aktarma Noktalarında Geçen Süre	0,20	0,33	1

Tablo 8'de hız ana kriterinin altında bulunan transit süre, mesafe ve aktarma noktalarında geçen süre alt kriterlerinin ikili karşılaştırmalarına yer verilmiştir. İkili karşılaştırma yönteminde kriterlerin birbiri ile kıyaslaması 1 olmalıdır. Buna bağlı olarak tablo 8 değerlendirildiğinde, transit süre alt kriterinin mesafeye göre 7(Çok kuvvetli derecede önemli) aktarma noktalarında geçen süreye göre ise 5(kuvvetli derecede önemli)'dir. Mesafe alt kriteri ise aktarma noktalarında geçen süreye göre 3(orta derecede önemli)'dir.

Tablo 9: Hız alt kriterlerinin kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı

Hız Alt Kriterleri	Kriter Ağırlıkları
Transit Süre	0,06011
Mesafe	0,00666
Aktarma Noktalarında Geçen Süre	0,01550
Tutarlılık Oranı	0,06239

Tablo 9’da hız ana kriterine ait transit süre, mesafe ve aktarma noktalarında geçen süre alt kriterlerinin kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı gösterilmiştir. Hız alt kriterlerinin tutarlılık oranı 0,062 olarak bulunmuştur. Afyon-Lyon hattında plaka mermer taşınması için optimal rota belirlenirken hız ana kriteri 0,082 düşük kriter ağırlığına sahip olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni plaka mermerin tüketici ihtiyaçlarında olağan dışı durumlar hariç herhangi bir acil taşımacılık operasyonu gerektirmemesidir. Hız ana kriterinin düşük olması hız alt kriterlerinin de sahip oldukları kriter ağırlıklarının düşük çıkmasına neden olmuştur. Yapılan analizler sonucunda hız ana kriterinin altında en fazla öneme sahip alt kriterler sırasıyla transit süre, aktarma noktalarında geçen süre ve mesafe olarak tespit edilmiştir. Söz konusu iki nokta arasında gerçekleştirilecek plaka mermer taşımada ürünün başlangıç noktasından varış noktasına kadarki süreyi kapsayan transit sürenin en önemli alt kriterdir. Aktarma noktalarında geçen süre alt kriterinin mesafe alt kriterinden daha önemli olmasının sebebi karayolu hariç Afyon-Lyon hattında intermodal taşımacılığın kullanılması dolayısıyla taşıma modu değiştirilirken geçen zamanın toplam taşıma süresi doğrudan etkilemesidir.

Tablo 10: Çevre alt kriterlerinin karar matrisi

Çevre Alt Kriterleri	Karbondioksit Salımı	Yenilenebilir Enerji Kullanım Kabiliyeti	Gürültü
Karbondioksit Salımı	1	3	9
Yenilenebilir Enerji Kullanım Kabiliyeti	0,33	1	5
Gürültü	0,11	0,20	1

Tablo 10’da çevre ana kriterinin altında bulunan karbondioksit salımı, yenilenebilir enerji kullanım kabiliyeti ve gürültü alt kriterlerinin ikili karşılaştırmaları gösterilmiştir. Tablo 10 incelendiğinde, karbondioksit salımı alt kriterinin yenilenebilir enerji kullanım kabiliyetine göre 3(orta derecede önemli) gürültüye göre ise 9(mutlak derecede önemli) olduğu söylenebilir. Yenilenebilir enerji kullanım kabiliyeti alt kriteri ise gürültüye göre 3(orta derecede önemli)’dir. Buradan hareketle tabloda belirtilen üç alt kriterin birbirleri ile kıyaslamaları sonucunda önem sırasına göre sırasıyla karbondioksit salımı, yenilenebilir enerji kullanım kabiliyeti ve son olarak gürültü olduğu saptanmıştır.

Tablo 11: Çevre alt kriterlerinin kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı

Çevre Alt Kriterleri	Kriter Ağırlıkları
Karbondioksit Salımı	0,01924
Yenilenebilir Enerji Kullanım Kabiliyeti	0,00760
Gürültü	0,00180
Tutarlılık Oranı	0,02795

Tablo 11’de çevre ana kriterine karbondioksit salımı, yenilenebilir enerji kullanım kabiliyeti ve gürültü alt kriterlerinin kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı gösterilmiştir. Çevre alt kriterlerinin tutarlılık oranı 0,027 olarak bulunmuştur. Afyon-Lyon noktaları arasında plaka mermerin optimal rota üzerinden taşınmasını amaçlayan bu çalışmada 0,028 ile en düşük öneme sahip ana kriter çevre olmuştur. Çevre ana kriterinin düşük olması çevre alt kriterlerinin de düşük bir öneme sahip olmasına yol açmıştır. Rakamsal olarak değerlendirildiğinde çevre alt kriterlerinde en fazla öneme sahip alt kriter 0,019 ile karbondioksit salımı olmuştur. Taşımacılık operasyonlarında kullanılan araçların çevreye yaydığı karbondioksit optimal rota belirlenirken dikkate alındığını anca yeterli düzeyde olmadığını söylemek mümkündür. Aynı şekilde rota üzerinde çevre dostu elektrikli taşıma araçlarıyla gerçekleştirilebilir kabiliyeti karbondioksit salımından sonra 0,007 ile ikinci sırada yer almaktadır. Gürültü alt kriterinin ise 0,001 ile en düşük öneme sahip alt kriter olduğu gözükmemektedir.

Genel olarak bakıldığında çevre faktörünün Afyon-Lyon hattında optimal taşıma rotası belirlenirken gerektiği kadar dikkate alınmadığı söylenebilir. Ancak taşımacılık sektörünün küresel ısınma başta olmak üzere çevreye verdiği zararın büyük olduğu düşünüldüğünde çevreye duyarsız bir şekilde oluşturulan rotalar üzerinden gerçekleştirilen taşımacılık operasyonları bu duruma tezatlık oluşturmaktadır. Bu bakış açısının ilerleyen zamanlarda taşımacılık sektörünün çevreye verdiği zararları indirgeme anlamında mikro ve makro ölçekte sivil toplum kuruluşları tarafından gerçekleştirilecek yaptırımlar ve düzenlemeler neticesinde değişebileceği düşünülebilir.

Tablo 12: Güvenilirlik alt kriterlerinin karar matrisi

Güvenilirlik Alt Kriterleri	Zamanında Teslimat	Hasarsız Ürün Teslimatı	Gecikmelerde Alınan Sorumluluk Düzeyi
Zamanında Teslimat	1	0,33	5
Hasarsız Ürün Teslimatı	3	1	7
Gecikmelerde Alınan Sorumluluk Düzeyi	0,20	0,14	1

Tablo 12’de güvenilirlik ana kriteri altında yer alan zamanında teslimat, hasarsız ürün teslimatı ve gecikmelerde alınan sorumluluk düzeyi alt kriterlerinin ikili karşılaştırmalarına yer verilmiştir. Bilindiği üzere, ikili karşılaştırma yönteminde kriterlerinin birbiri ile kıyaslaması 1 olmalıdır. Alt kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapıldığında hasarsız ürün teslimat alt kriterinin zamanında teslimata göre 3(orta derecede önemli) gecikmelerde alınan sorumluluk düzeyine göre ise 7(çok kuvvetli derecede önemli) olduğu sonucuna varılmıştır. Zamanında teslimat alt kriteri ise gecikmelerde alınan sorumluluk düzeyine göre 3(orta derecede önemli)’dir.

Tablo 13: Güvenilirlik alt kriterlerinin kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı

Güvenilirlik Alt Kriterleri	Kriter Ağırlıkları
Zamanında Teslimat	0,05393
Hasarsız Ürün Teslimatı	0,12549
Gecikmelerde Alınan Sorumluluk Düzeyi	0,01390
Tutarlılık Oranı	0,06239

Tablo 13’de güvenilirlik ana kriterine ait zamanında teslimat, hasarsız ürün teslimatı ve gecikmelerde alınan sorumluluk düzeyi alt kriterlerinin kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı gösterilmiştir. Güvenilirlik alt kriterlerinin tutarlılık oranı 0,062 olarak bulunmuştur. Afyon’dan yüklenen plaka mermerin optimal rota üzerinden Fransa’nın Lyon şehrine taşınmasını amaçlayan bu çalışmada maliyetten sonra en önemli kriter 0,19 ile güvenilirlik olmuştur. Güvenilirlik kriterinin alt kriterlerine baktığımızda önem sırasıyla hasarsız ürün teslimatı 0,12, zamanında teslimat 0,05 ve son olarak gecikmelerde alınan sorumluluk düzeyi 0,013 olduğu görülmektedir. Hasarsız ürün teslimatı alt kriter ağırlığının diğer alt kriter ağırlıklarına göre yüksek olması plaka mermerin yapısı gereği kırılmaya müsait ve taşınma esnasında meydana gelebilecek risklere açık olması ve bunlara bağlı olarak ortaya ek maliyetlerin çıkması ile açıklanabilir. Zamanında teslimat alt kriteri ise plaka mermerin genel anlamda tedarik zinciri içerisinde aciliyet oluşturabilecek bir ürün olmaması sebebiyle düşük kriter ağırlığına sahiptir. Ancak, zamanında teslimat alt kriteri başka ürün gamında farklı değerlere sahip olabileceği söylenebilir. Gecikmelerde alınan sorumluluk düzeyi ise diğer alt kriter ile kıyaslandığında en düşük öneme sahip alt kriter olarak göze çarpmaktadır. Ürünün taşınması esnasında yükleme-boşaltma gemi veya trenin rötör yapması gibi meydana gelebilecek gecikmelerde taşıyıcı operatörlerinin sorumluluk almasının düşük öneme sahip olması taşımacılık sektöründeki rekabetin yüksek olması ve müşteri kaybetmemek adına gelecek taşıma operasyonlarda indirim gibi farklı promosyonlar ile müşterilerinin memnun edilmesi ile açıklanabilir.

Tablo 14: Ürün özellikleri alt kriterlerinin karar matrisi

Ürün Özellikleri Alt Kriterleri	Ağırlık	Hacim	Ambalaj Gereksinimi
Ağırlık	1	5	9
Hacim	0,20	1	4
Ambalaj Gereksinimi	0,11	0,25	1

Tablo 14’te ürün özellikleri ana kriterinin alt kriterleri olan ağırlık, hacim ve ambalaj gereksiniminin birbirileri ile ikili karşılaştırmalarına göre aldıkları puanlara yer verilmiştir. Tablo 14 incelendiğinde, ağırlık alt kriterinin ambalaj gereksinimine göre 9(mutlak derecede önemli), hacim alt kriterine göre ise 5(kuvvetli derecede önemli) olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hacim alt kriteri ise ambalaj gereksinimine göre 4 (orta ve kuvvetli derece arasında önemli) puanını almıştır. İkili karşılaştırmalar sonucunda ağırlık alt kriterinin diğer alt kriterlere görece üstünlük sağladığı söylenebilir.

Tablo 15: Ürün özellikleri alt kriterlerinin ağırlıkları ve tutarlılık oranı

Ürün Özellikleri Alt Kriterleri	Kriter Ağırlıkları
Ağırlık	0,08856
Hacim	0,02311
Ambalaj Gereksinimi	0,00754
Tutarlılık Oranı	0,06852

Tablo 15’de ürün özellikleri ana kriterine ağırlık, hacim ve ambalaj gereksinimi alt kriterlerinin kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı gösterilmiştir. Ürün özellikleri alt kriterlerinin tutarlılık oranı 0,068 olarak bulunmuştur. Afyon- Lyon hattında optimal

taşıma rotasının belirlenmesini konu edinen bu çalışmada ürün özellikleri kriteri 0,11 ağırlık ile maliyet ve güvenilirlikten sonra en önemli kriter olarak saptanmıştır. Ürün özellikleri alt kriterlerine baktığımızda kriter ağırlıklarına göre sırasıyla ağırlık 0,08, hacim 0,02 ve son olarak ambalaj gereksinimi 0,007 olarak hesaplanmıştır. Ağırlık alt kriterinin diğer alt kriterlere oranla daha fazla ağırlığa sahip olması taşımacılık operasyonlarında konteynerin belirli bir azami ağırlığa sahip olması ile açıklanabilir. Buna ek olarak iç taşıma operasyonlarında karayolunun tercih edilmesi ve 42 ton azami tonaj sınırı ağırlık alt kriterin önemini arttırmaktadır. Plaka mermerin taşındığı operasyonlarda hacim faktörü bu çalışmada düşük öneme sahip olması plaka mermer standart konteynerlere kolay bir şekilde yüklenebilmesi ve hacimsel anlamda bir problem yaşanmaması ile açıklanabilir. Blok mermer taşımalarında bu durum farklılık gösterdiği bilinmektedir. Hacim faktörü bu taşımalarda büyük öneme sahiptir ve standart konteyner ölçülerine uygun olmadığı için üstü açık konteynerlerde taşınarak limanda uygun hale getirilip dolumu yapılmaktadır. Ambalaj gereksiniminin diğer alt kriterlere göre çok daha düşük öneme sahip olması plaka mermerin ürün yapısı gereği bu operasyona ihtiyaç duymamasından kaynaklanmaktadır. Plaka mermerin iki tahta arasına koyularak konteyner dolumu yapılır ve sabitleme işlemlerinden sonra taşınmaya hazır hala gelir. Bu yüzden ambalaj gereksinimi alt kriteri diğerlerine göre düşük öneme sahiptir.

Tablo 16: Esneklik alt kriterlerinin karar matrisi

Esneklik Alt Kriterleri	Zaman Esnekliği	Kapasite Esnekliği	Rota Esnekliği
Zaman Esnekliği	1	0,20	3
Kapasite Esnekliği	5	1	7
Rota Esnekliği	0,33	0,14	1

Tablo 16’da esneklik ana kriterinin altındaki zaman esnekliği, kapasite esnekliği ve rota esnekliği alt kriterlerinin birbirleri ile karşılaştırmaları sonucunda oluşan puanlara yer verilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda kapasite esnekliği alt kriteri rota esnekliğine göre 7 (çok kuvvetli derecede önemli), zaman esnekliği 5 (kuvvetli derecede önemli) olduğu ortaya çıkmıştır. Zaman esnekliği alt kriterinin ise rota esnekliğine göre 3 (orta derecede önemli) olduğu görülmektedir. Başka bir deyişle rota esnekliğinin rota seçimi yapılırken esnekli ana kriteri altında en düşük öneme sahip olduğu söylenebilir.

Tablo 17: Esneklik alt kriterlerinin kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı

Esneklik Alt Kriterleri	Kriter Ağırlıkları
Zaman Esnekliği	0,00867
Kapasite Esnekliği	0,03363
Rota Esnekliği	0,00373
Tutarlılık Oranı	0,06239

Tablo 17’de esneklik ana kriterine ait zaman esnekliği, kapasite esnekliği ve rota esnekliği alt kriterlerinin kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı gösterilmiştir. Esneklik alt kriterlerinin tutarlılık oranı 0,062 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmada çevre kriterinden sonra en düşük öneme sahip kriter 0,046 ile esneklik olmuştur. Esneklik alt kriterleri incelediğinde önem ağırlıklarına göre sırasıyla 0,033

kapasite esnekliği, 0,008 zaman esnekliği ve son olarak 0,003 ile rota esnekliği olmuştur. Kapasite esnekliği alt kriterinin diğer esneklik alt kriterleri ile kıyaslandığında daha fazla ağırlığa sahip olması yüklenecek plaka mermerlerinin miktarında meydana gelebilecek değişimlerin meydana gelmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Başka bir ifadeyle bir konteynerin yüklenmesinin planlandığı taşımacılık operasyonunda müşteri tarafından gelen daha fazla konteyner yükleme talebinin karşılanması diğer alt kriterlere göre daha fazla öneme sahiptir. Dolayısıyla kapasite esnekliği diğer alt kriterlere oranla daha fazla ağırlık elde etmiştir.

Zaman esnekliği taşımacılık operasyonlarında meydana gelen zamansal değişimleri ifade eder ve plaka mermerin daha önce de bahsedildiği üzere aciliyet oluşturabilecek bir ürün olmamasından dolayı düşük bir ağırlığa sahiptir. Ürünün farklılaştığı ya da aciliyetin meydana geldiği durumlarda zaman esnekliğinin öneminin artacağını söylenebilir.

Rota esnekliği ise çevresel ve politik faktörlere bağlı olarak gelişen durumlarda farklı rota üzerinden taşımaların gerçekleşmesini ifade eder. Çalışmanın gerçekleştirildiği zaman diliminde ürünün çıkış ve varış noktaları arasında herhangi bir olumsuz durumun olmaması rota esnekliğinin görece daha düşük ağırlığa sahip olmasına neden olduğu söylenebilir.

3.6 TOPSİS Yöntemi ile Optimal Rotanın Belirlenmesi

Uygulama bölümünün bu kısmında AHP yöntemi ile elde edilen her bir ana kriterin en fazla ağırlığa sahip alt kriteri alınarak TOPSİS yöntemi için karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisinde hem nitel hem nicel verilerin bulunmasından dolayı nitel ifadeleri sayısal ifadelerle çevirerek bir bütünlüğün sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle Tablo 18’de gösterilen Koçak ve Coğurcu (2015) kullanmış olduğu nitel ifadeleri nicel ifadelerle dönüştürme ölçeği kullanılmıştır.

Tablo 18: Nitel ifadeleri sayısal ifadelerle dönüştürme ölçeği

Ölçek	9	7	5	3	1
İfade	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük

Kaynak: (Koçak ve Coğurcu, 2015: 7)

TOPSİS yöntemi için karar matrisi oluşturulurken ana navlun, transit süre bilgileri sektördeki lojistik işletmelerden, karbondioksit salımı EcoTransIT web arayüzünden elde edilmiştir. Bu çalışmanın varsayımlarında yer alan taşınması gereken plaka mermer tonajı 20 olarak belirlenmiştir. Geriye kalan hasarsız ürün teslimatı ve kapasite esnekliği alt kriterlerini ölçmek amacıyla literatürde ölçek bulunmaması ve buna ek olarak söz konusu alt kriterleri sayısal ifadelerle dönüştürmek için çalışmanın uygulama kısmı için oluşturulan uygulama formlarını dolduran uzman görüşlerine başvurulmuş rotalara göre değerlendirildiğinde anlamlı bir fark olmadığını anlaşılmasından sonra bu kriterlerin Tablo 18’deki ölçek dikkate alınarak puanlaması yapılmış ve 5(orta) puanı verilmiştir. Bununla birlikte karar matrisinin tüm girdileri matematiksel olarak ifade edilmiş ve aşağıdaki Tablo 19’da TOPSİS karar matrisi gösterilmiştir.

Tablo 19’da çalışma kapsamında oluşturulan 5 farklı rotanın 6 ana kritere göre aldığı değerler ve ana kriterlerin sahip olduğu kriter ağırlıklarına yer verilmiştir. Tablo incelendiğinde

Tablo 19: TOPSİS karar matrisi

Ağırlık	Ana Navlun	Transit Süre	Karbondioksit Salımı	Hasarsız Ürün Teslimatı	Ağırlık	Kapasite Esnekliği
	0,4166	0,0601	0,0192	0,1254	0,0885	0,0336
Karayolu	4600	7	18,58	5	20	5
RoRo+Karayolu	3900	8	10,35	5	20	5
RoRo+Demiryolu	3560	11	11,2	5	20	5
Denizyolu+Kara	3750	9	12,1	5	20	5
Denizyolu+İç suyu	3465	10	12,4	5	20	5

en yüksek ana navlunun karayolu, en uzun transit sürenin RoRo+demiryolu, en fazla karbondioksit salımının karayolu rotalarının olduğu söylenebilir. Çalışmanın amacı en düşük ana navlun, en kısa transit süre, en düşük karbondioksit salımı, en güvenilir ve esnek rotanın bulunması olduğu için ana navlunun en ucuz, transit sürenin en kısa, karbondioksit salımının en az olduğu rota belirlenmeye çalışılmıştır.

Tablo 20: Normalize edilmiş topsis matrisi

	Ana Navlun	Transit Süre	Karbondioksit Salımı	Hasarsız Ürün Teslimatı	Ağırlık	Kapasite Esnekliği
Karayolu	0,530764942	0,343616486	0,627062876	0,447213595	0,4472	0,447213595
RoRo+Karayolu	0,449996364	0,392704555	0,349305746	0,447213595	0,4472	0,447213595
RoRo+Demiryolu	0,410765912	0,539968763	0,377992692	0,447213595	0,4472	0,447213595
Denizyolu+Kara	0,432688811	0,441792624	0,408367105	0,447213595	0,4472	0,447213595
Denizyolu+İç suyu	0,399804462	0,490880694	0,418491909	0,447213595	0,4472	0,447213595

Tablo 20’de TOPSİS karar matrisinden yararlanarak matris normalize edilmiştir. Ana navlun ana kriterinde karayolunun, transit sürede RoRo+demiryolunun, karbondioksit salımında karayolunun en yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Ağırlık ana kriteri çalışma kapsamında 20 ton olarak belirlendiği için tüm rotalarda aynı değerlere sahiptir. Hasarsız ürün teslimatı ve kapasite esnekliği ise nitel ifadeleri sayısal ifadelere dönüştürme ölçeği kullanılarak karar grubu tarafından değerlendirilmiştir.

Tablo 21: Ağırlıklandırılmış normalize edilmiş TOPSİS matrisi

	Ana Navlun	Transit Süre	Karbondioksit Salımı	Hasarsız Ürün Teslimatı	Ağırlık	Kapasite Esnekliği
Karayolu	0,221116675	0,020651351	0,012039607	0,056080585	0,0396	0,015026377
RoRo+Karayolu	0,187468485	0,023601544	0,00670667	0,056080585	0,0396	0,015026377
RoRo+Demiryolu	0,171125079	0,032452123	0,00725746	0,056080585	0,0396	0,015026377
Denizyolu+Kara	0,180258159	0,026551737	0,007840648	0,056080585	0,0396	0,015026377
Denizyolu+İç suyu	0,166558539	0,02950193	0,008035045	0,056080585	0,0396	0,015026377

Tablo 21’de normalize edilmiş matris AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıklarıyla çarpılarak matris ağırlıklandırılmıştır. Tablo 21 incelendiğinde, ana navlunda en ucuz denizyolu+içsuyu, transit sürede karayolu ve en çevreci rota ise RoRo+karayolu olduğu söylenebilir.

Tablo 22: İdeal pozitif ve negatif çözüm değerleri

	Ana Navlun	Transit Süre	Karbondioksit Salımı	Hasarsız Ürün Teslimatı	Ağırlık	Kapasite Esnekliği
V+	0,166558539	0,020651351	0,00670667	0,056080585	0,0396	0,015026377
V-	0,221116675	0,032452123	0,012039607	0,056080585	0,0396	0,015026377

Tablo 22’de normalize edilip ağırlıklandırılmış matristen yararlanılarak ideal pozitif ve negatif çözüm değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplama yapılırken ideal pozitif çözüm için ana navlun, transit süre ve karbondioksit salımı için MİN, hasarsız ürün teslimatı, ağırlık, kapasite esnekliği alt kriterleri için ise MAX değerleri bulunmuştur. Aynı şekilde negatif çözüm değerleri için ise navlun, transit süre ve karbondioksit salımı için MAX, hasarsız ürün teslimatı, ağırlık, kapasite esnekliği alt kriterleri için ise MİN değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 23: En iyi ve en kötüye göre alternatiflerin sıralanması

	Si+	Si-	Skor	Sıralama
Karayolu	0,054818158	0,011800772	0,177138419	5
RoRo+Karayolu	0,021117043	0,035199057	0,625026541	4
RoRo+Demiryolu	0,012665499	0,050219803	0,798593648	2
Denizyolu+Kara	0,01495928	0,041495351	0,735021209	3
Denizyolu+İç su yolu	0,008949711	0,054784399	0,859577377	1

Tablo 23’de ideal çözüme en yakın maximum (Si+) ve minimum (Si-) değerler gösterilmiştir. İdeal çözüme en yakın değerlere göre hesaplamalar yapılmış ve Afyon-Lyon hattında 20 ton plaka mermer taşınması için en optimal Rota 5 Denizyolu + İç su yolu intermodal taşımacılık rotası olmuştur. Bu rotada taşımacılık operasyonu 10 günde, 12.40 karbondioksit salımı ve 4115€ (3465+650) maliyet ile gerçekleşmektedir. Bu rotada Afyon’dan 20 ton plaka mermer 40’ DC (2TEU) konteynere doldurulup karayolu ile Bursa Gemlik’te bulunan Gempport’a getirilir ve ana taşımanın gerçekleştirileceği gemiye yüklenerek Seayard FOS 2XL limanına taşınır. Burada elleçlemesi yapılarak Avrupa’da nehir taşımacılığında yaygın olarak kullanılan küçük konteyner gemileri ile Lyon’a götürülerek taşıma sonlandırılır.

Optimal rotadan sonra sırasıyla en optimal rotalar RoRo+Demiryolu, Denizyolu+Kara, RoRo+Karayolu ve son olarak Karayolu rotası olarak belirlenmiştir. RoRo+Demiryolu ve Denizyolu+Karayolu rotalarının birbirine yakın değerler aldığı söylenebilir. Karayolunun sıralamada son sırada yer almasının nedeni maliyetinin ve kısmen emisyon değerlerinin diğer taşıma rotalarına göre yüksek olmasıdır. Transit süre alt kriter ağırlığının düşük olması karayolunun sahip olduğu hız avantajına rağmen optimal rota sıralamasında son sırada yer almasına neden olmuştur.

4. Sonuç ve Öneriler

Artan dünya nüfusunun yanı sıra insanların daha fazla tüketmek istemesi küresel olarak ticaret hacimlerinin artmasına neden olmuştur. Ticaret hacimlerinde meydana gelen artış

taşımacılık sektörü üzerinde bir yük oluşturmuştur. Küreselleşme ile ürünlerin talep edildiği ve üretildiği merkezler arasındaki uzaklığın artmasıyla beraber hedef iki nokta arasında taşımacılığın verimli hale getirilmesi zorunluluk haline gelmiştir. Talep edilen ürünlerin optimal rota üzerinden son tüketiciye ulaştırılması, taşımanın daha az maliyet, daha kısa zaman ve günümüzde dünyayı tehdit eden küresel ısınmanın başlıca sebebi olan karbondioksitin çevreye daha az salımıyla gerçekleşmesini sağlar. Buradan hareketle optimal rota üzerinden taşımacılık gerçekleştirmek küresel tedarik zinciri için kritik öneme sahiptir.

Bu çalışma kapsamında ideal çözüme en yakın değerlere göre hesaplamalar yapılmış ve Afyon-Lyon hattında 20 ton plaka mermer taşınması için en optimal güzergah Denizyolu + İç suyu intermodal taşımacılık rotası (Rota 5) olmuştur. Bu rotada taşımacılık operasyonu 10 günde, 12.40 karbondioksit salımı ve 4115€ (3465+650) maliyet ile gerçekleştirilmektedir. Optimal rotadan sonra sırasıyla en uygun rotalar RoRo+Demiryolu, Denizyolu+Kara, RoRo+Karayolu ve son olarak Karayolu rotası olarak belirlenmiştir. RoRo+Demiryolu ve Denizyolu +Karayolu rotalarının birbirine yakın değerler aldığı söylenebilir. Karayolunun sıralamada son sıradan yer almasının nedeni maliyetinin ve emisyon değerlerinin diğer taşıma rotalarına göre yüksek olmasıdır. Transit süre alt kriter ağırlığının düşük olması karayolunun sahip olduğu hız avantajına rağmen optimal rota sıralamasında son sırada yer almasına neden olmuştur.

SuperDecision programında yapılan analizler sonucunda Tablo 5'te elde edilmiştir. 0,53 kriter ağırlığı ile maliyet en önemli kriter olarak öne çıkmıştır. Önem sırasına göre sırasıyla 0,19 güvenilirlik, 0,11 ürün özellikleri, 0,08 hız, 0,04 esneklik ve son olarak 0,02 ile çevre olmuştur. Buradan hareketle Afyon-Lyon noktaları arasında taşınacak plaka mermer için optimal rota belirlenirken en önemli kriterin maliyet olduğu söylenebilir. Maliyet kriterinden sonra gelen güvenilirlik kriteri de optimal rotanın belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Başka bir deyişle plaka mermerin yapısı gereği kırılabilir olmasından dolayı hasarsız bir şekilde son noktaya ulaştırılması güvenilirlik kriterinin ağırlığının artmasına sebep olmuştur. Ürün özellikleri ise rotalar belirlenmesinde söz sahibidir. Plaka mermerin tonajlı bir ürün olması rota üzerinde taşınırken belirli kısıtlamalara uyulmasını gerektirmektedir. 40DC konteynerin azami yük sınırı 26.7 ton ve belirlenen rotaların iç taşınmasında tercih edilen karayolunda izin verilen araç dahil maksimum ağırlığın 42 ton olması bu kısıtlara örnek olarak verilebilir.

Literatürde bulunan çalışmalardaki bulguların aksine bu çalışmada hız kriteri çevreden sonra en düşük ağırlığa sahip olması çarpıcı olarak nitelendirilebilir. Bunun nedeni olarak plaka mermerin tedarik zinciri içerisinde acil olarak taşınmasını gerektirecek durumların çok kısıtlı olmasıdır. Günümüzde çevre faktörünün özellikle dünyamızı tehdit eden küresel ısınmanın başlıca sebebi olan karbondioksit salımının taşımacılık sektöründe öneminin artmasına rağmen bu çalışmada çevre faktörü en düşük kriter ağırlığına sahiptir. Ancak hasarsız ürün teslimatı, kapasite esnekliği ve ağırlık alt kriterlerine karar grubunca ortalama değerler verilmesi sonucunda karbondioksit salımı düşük kriter ağırlığına rağmen optimal rotanın belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Çevre konusunda elde edilen bulgulara göre, küresel sivil toplum kuruluşlarının yanı sıra ülkelerin de çevreyi korumak adına yaptıkları düzenlemelere rağmen taşımacılık sektöründe çevre faktörünün eskiden olduğu gibi yine göz ardı edildiği söylenebilir.

Optimal olarak belirlenen Rota 5'te Afyon'dan 20 ton plaka mermer 40' DC (2TEU) konteynere doldurulup karayolu ile Bursa Gemlik'te bulunan Gempport'a getirilir ve ana taşımanın gerçekleştirileceği gemiye yüklenerek Seayard FOS 2XL limanına taşınır. Burada elleçlemesi yapılarak Avrupa'da nehir taşımacılığında yaygın olarak kullanılan küçük konteyner gemileri ile Lyon'a götürülerek taşıma sonlandırılır.

Literatürde AHP-TOPSİS hibrit yönteminin kullanıldığı hisse senedi seçimi, lojistik köy, elektrik trafo ve depo kurulumu gibi çalışmalar mevcuttur. İki yöntemin beraber kullanıldığı optimal rota seçimi için ulusal literatürde yeterli kaynak bulunmamaktadır. Bu anlamda yapılan çalışmanın ilgi literatüre katkı sağladığı söylenebilir. Bunun yanı sıra optimal taşıma rotası seçimi yapılırken genel olarak maliyet transit süre kriterleri üzerinden bir uygulama gerçekleştirilmektedir. Ancak bu çalışmada farklı kriterler ve özellikle son dönemde önemi giderek artan karbondioksit salımı ölçümleri de dahil edilmiştir. Çalışma bu yönüyle de diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır. Plaka mermerin Türkiye'nin ihraç ettiği ürünlerin başında gelmesi ve bu ürünlerin optimal rota üzerinden Fransa'ya ihraç edilmesi, işletmelerin rekabet avantajı elde etmesi açısından çalışmanın gerçekteki önemini arttırdığı söylenebilir.

Çalışmanın ana amacı olan Afyon-Lyon noktaları arasındaki en optimal rotanın belirlenmesi analizler sonucunda elde edilmiş ve amaçlanan hedefe ulaşılmıştır. Ana amacın yanında mevcut olarak kullanılan rotalara alternatif rotalar belirlenmesi, rotalar özelinde transit süre, maliyet ve emisyon değerlerinin hesaplanarak sürdürülebilirlik düzeyinin tespit edilmesi, ürünün belirlenen ülkeye en optimal şekilde taşıyarak ihracatçılarımıza rekabet avantajının sağlanması gibi diğer amaçlara da ulaşılmıştır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada bazı kısıtlar bulunmaktadır. Seçilen ürünün plaka mermer olması kriter ağırlıkları bunu göre belirlenmesi, çalışma sonunda elde edilen optimal rotanın plaka mermer özelinde olmasına neden olmuştur. Diğer bir ifadeyle plaka mermer yerine hızlı taşınmasını gereken bir sağlık ürününün taşınması noktasında optimal rota farklılık gösterecektir. Bu nedenle gelecek çalışmalarda farklı ürün gruplarına yer verilebilir. Ayrıca bu çalışmada Afyon-Lyon hattında optimal rota bulunmuştur. Farklı hedef noktalar belirlenmesi ileriki çalışmalar için önerilebilir. Bu çalışmada şirket yöneticilerine ve akademisyenlere uygulanan uygulama formlarında yaş, tecrübe ve çalışılan kurum bilgilerine ulaşılmak istenmiştir. Bu bilgilere ek olarak ciro ve çalışan sayıları eklenerek küçük, orta ve büyük işletmelerin rota belirlenirken önem verdiği kriterlerin değişip değişmediği test edilebilir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar finansal destek beyan etmemişlerdir.

Yazar Katkıları: Çalışma Konsepti/Tasarım- M.Ç., Y.G.; Veri Toplama- M.Ç.; Veri Analizi/Yorumlama- M.Ç.; Yazı Taslağı- M.Ç., Y.G.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi- Y.G.; Son Onay ve Sorumluluk- M.Ç., Y.G.

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support.

Author Contributions: Conception/Design of Study- M.Ç., Y.G.; Data Acquisition- M.Ç.; Data Analysis/Interpretation- M.Ç.; Drafting Manuscript- M.Ç., Y.G.; Critical Revision of Manuscript- Y.G.; Final Approval and Accountability- M.Ç., Y.G.;

Kaynakça

- Arslanhan, H. ve Tosun, Ö. (2021). “Ulaştırma modu seçimi probleminin bütünlük en iyi-en kötü ve waspas yöntemleriyle çözülmesi”. *Pamukkale Üniversitesi Muhendislik Bilim Dergisi*, 27(1), 13-23.
- Banamyong, R. (2001). “Modelling freight logistics: the vientiane–singapore corridor”. In *Proceedings of the First International Conference on Integrated Logistics (ICIL), August 21-24, Nanyang Technological University & Carnegie Mellon University, Singapore*, 441-446.
- Bazaras, D., Batarliene, N., Palsaitis, R. ve Petraska, A. (2013). “Optimal road route selection criteria system for oversize goods transportation”. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 8(1), 19-24.
- Boardman, B. S., Malstrom, E. M.; Butler, D. P.; Cole, M. H. (1997). “Computer assisted routing of intermodal shipments”. *Computers & Industrial Engineering*, 33(1-2), 311-314.
- Bookbinder, H. J. ve Fox, S. N (1998). “Intermodal routing of canada–mexico shipments under Nafta”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 34(4), 289-303.
- Brooks, R. M., Puckett, M. S., Hensher, A. D. ve Sammons, A. (2012). “Understanding mode choice decisions: a study of australian freight shippers”. *Maritime Economic Logistics*, 14(3), 274–299. <https://doi.org/10.1057/mel.2012.8>
- Banamyong, R. (2001). “Modelling freight logistics: the vientiane–singapore corridor”. In *Proceedings of the First International Conference on Integrated Logistics (ICIL), August 21-24, Nanyang Technological University & Carnegie Mellon University, Singapore*, 441-446.
- Cho, H. J., Kim, S. Hy ve Choi, R. H. (2010). “An intermodal transport network planning algorithm using dynamic programming—a case study: from busan to rotterdam in intermodal freight routing”. *Applied Intelligent*, 36(3), 529-541. <https://doi.org/10.1007/s10489-010-0223-6>
- Çetinkaya, V. ve Deveci, D. A. (2020). “Optimal sürdürülebilir rota tespiti için gerekli göstergelerin bir çok kriterli karar verme yöntemi ile önem düzeyi tespiti”. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 12(1), 25-46.
- De jong, G. ve Worterboer, P. (2004). *New Values Of Time And Reliability in Freight Transport In The Netherlands*. Erişim: 23.03.2022 <https://significance.nl/wp-content/uploads/2019/03/2004-GDJ-New-values-of-time-and-reliability-in-freight-transport-in-the-Netherlands.pdf>
- Demir, E., Burgholzer, W., Hrusovsky, M., Arıkan E., Jammerneegg, W. ve Woensel T. (2015). “A green intermodal service network design problem with travel time uncertainty”, *Transportation Research Part B*, 4, 1-19.
- Ergin, H. ve Çekerol, S. G. (2008). “Intermodal yük taşımacılığı ve türkiye hızlı tüketim malları dağıtımı için uygulama denemesi”. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22.
- Gani, A. (2017). “The logistic performance effect in international trade”. *Asian Journal of Shipping and Logistics*, 33(4), 279-288. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2017.12.012>
- Gosling, J., Purvis ve L. And Mohammed, N. (2010). “Supply chain flexibility as a determinant of supplier selection”. *International Journal of Production Economics*, 128(1), 11-21.
- Ishfaq, R. (2012). “Resilience through flexibility in transportation operations”. *International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*, 15(4), 215-229. <https://doi.org/10.1080/13675567.2012.709835>
- Jung, H., Kim, J. ve Shin, K. (2019). “Importance analysis of decision making factors for selecting international freight transportation mode”. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 35(1), 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2019.03.008>
- Hao, C ve Yue, Y. (2016). “Optimization on combination of transport routes and modes on dynamic programming for a container multimodal transport”. *Procedia Engineering*, 137, 382-390. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.272>
- Kaewfak, K., Ammarapala, V. ve Huynh, Van-Nam (2021). “Multi-objective optimization of freight route choices in multimodal transportation”. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 14(1), 794–807. <https://doi.org/10.2991/ijcis.d.210126.001>

- Kasilingam, Raja G. (2012). *Logistics and Transportation: Design and planning*. Almanya: Springer.
- Kengpol, A., Meethom, W. ve Tuominen, M. (2012). "the development of a decision support system in multimodal transportation routing within greater mekongsub-regioncountries". *International Journal of Production Economics*, 140(2), 691-701.
- Kim, H.J ve Chang, Y.T (2014). "Analysis of an intermodal transportation network in korea from an environmental perspective". *Transportation Journal*, 53(1), 79-106.
- Koçak, D. ve Çoğurcu, E. Y. (2015). "Network modeli ile ağ analizi için çok kriterli karar verme yöntemleriyle karşılaştırmalı çözüm". *Gazi İktisat ve İşletme Dergisi*, 1(1), 1-42.
- Khooban, Z., Farahani, Z. R. ve Rezapour, Shabnam (2011). *Transportation. Logistics Operations And Management: Concepts And Models*. London: Elsevier.
- Konstantinus, A. ve Zuidgeest, M. (2019). "An investigation into the factors influencing inter-urban freight mode choice decisions in the southern african development community region". *Journal of Transport and Supply Chain Management*, 13, 1-11.
- Macharis, C., Meers, D., ve Lier, V.T. (2015). "Modal choice in freight transport: combining multi-criteria decision analysis and geographic information systems". *International Journal of Multicriteria Decision Making*, 5(4), 355-372.
- Meixell, J. M. ve Norbis, M. (2008). "A review of the transportation mode choice and carrier selection literature". *The International Journal of Logistics Management*, 19(2), 183-211. <https://doi.org/10.1108/09574090810895951>
- Navarro, M. (2014). "Environmental factors and intermodal freight transportation: analysis of the decision bases in the case of spanish motorways of the sea". *Sustainability*, 6(3), 1544-1566. <https://doi.org/10.3390/su6031544>
- Ömürbek, N. ve Şimşek, A. (2014). "Analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci yöntemleri ile online alışveriş site seçimi". *Yönetim ve Ekonomi Araştırma Dergisi*, 12(22), 306-327. <https://doi.org/10.11611/JMER214>
- Petro, F. ve Konency, V. (2017). "Calculation of emissions from transport services and their use for the internalisation of external costs in road transport". *Procedia Engineering*, 192(4), 677-682. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.117>
- Reniers, G. ve Dullaert, W. (2013). "A method to assess multi-modal hazmat transport security vulnerabilities: hazmat transport sva". *Transport Policy*, 28, 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.05.002>
- Ruijgrok, C. (2008). "Europeran Transport: Insight and Challanges". *Handbook of Logistics and Supply-Chain Management*, 2, 29-46. <https://doi.org/10.1108/9780080435930-003>
- Sambracos, E. ve Ramfou, I. (2014). "Freight transport time savings and organizational performance: a systemic approach". *International Journal of Economic Sciences and Applied Research*, 6(1), 19-40
- Seo, J. Y., Chen, F. ve Roh Y. S. (2017). "Multimodal transportation: the case of laptop from chongqing in China to Rotterdam in Europe". *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 33(3), 155-165. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2017.09.005>
- Shih, H., Shyur, J. H. ve Lee, E. S. (2007). "An extension of TOPSIS for group decision making". *Mathematical and Computer Modelling*, 45(7-8), 801-813
- Stefanov, M. (2018). "Logistics interpretation of product characteristics of liquefied and compressed natural gas". *Research in Logistics&Production*, 8(1), 39-52.
- Stoilova, S. (2018). An Approach For Choosing The Optimal Route And Type Of Transport For Freight Carriage Using Compromise Programming. MATEC Web of Conferences 234:06002 (2018).
- Tuzkaya, R. U. (2009). "Evaluating the environmental effects of transportation modes using an integrated methodology and an application". *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6(2), 277-290. <https://doi.org/10.1007/BF03327632>
- Yang, X., Low, M.W.J ve Tang, C. L. (2011). "Analysis of intermodal freight from china to indian ocean: a goal programming approach". *Journal Transport of Geography*. 19(4), 515-527.

