

Karma Taşımacılık Türleri Esas Alınarak Rota Karşılaştırılması: Vaka Analizi

Ömer Faruk CANSIZ¹, Kevser ÜNSALAN^{2*}

^{1,2} İnşaat Mühendisliği, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye

^{*1} ofaruk.cansiz@iste.edu.tr, ¹ kevser.keskin@iste.edu.tr

(Geliş/Received: 28/10/2019);

Kabul/Accepted: 28/10/2019)

Öz: Bu çalışmada, yük taşımacılığında rota optimizasyonu için taşımacılık türlerinin birleşimi esas alınarak performans analizleri yapılmaktadır. Ayrıca yük tonajının rota seçimine etkisi de incelenmektedir. Rota seçiminde, yakıt tüketimi, taşımacılık maliyeti, taşıma süresi ve ulaşım türüne bağlı olarak taşıtlardan salınan karbondioksit miktarı dikkate alınmaktadır. Analizler için Hatay'dan Ankara'ya yük taşımacılığı yapılmaktadır. Yük türü, Hatay'da üretim sanayisi güçlü olan filtre malzemesi seçilmektedir. Yükün taşınmasına uygun olan konteyner taşımacılığı yapılmaktadır. Belirlenen iki nokta arasında karayolu ve demiryolu olmak üzere iki tek türlü taşımacılık, demiryolu ve karayolu kombinasyonları ile üç çok türlü taşımacılık rotası geliştirilmektedir. Rotalar performans indeksi esas alınarak değerlendirildiğinde 5, 10, 14 ton yük taşımacılığı için sırasıyla % 76,1, % 66,7 ve % 59,3 performans indeksleri ile optimum rota çok türlü 3 rotası çıkmaktadır. Tek türlü taşımacılığın olumsuz yönleri, çok türlü taşımacılığın yerinde kullanılması ile giderilebilmektedir. Böylece hızlı, ekonomik ve çevreci bir taşımacılık rotasına ulaşılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Çok türlü taşımacılık, Tek türlü taşımacılık, Yük taşımacılığı, Rota optimizasyonu

Comparison of Routes Based on Combined Transportation Types: Case Analysis

Abstract: In this study, performance analyzes are performed on the basis of combination of transportation types for route optimization in freight transportation. In addition, the effect of load tonnage on route selection is also examined. The choice of route is based on the amount of carbon dioxide emitted, the fuel consumption, transportation cost and transportation time. From Hatay to Ankara for freight transportation analysis is made. Filter material which is strong in the production industry in Hatay is selected as load type. Container transportation is suitable for filter material. Two unimodal transportation routes, namely road and rail, and three multimodal transportation routes with rail and road combinations are being developed. When the routes are evaluated on the basis of the performance index, the route of multimodal 3 is optimum route with the performance indexes of 76,1%, 66,7% and 59,3% for the 5, 10, 14 tons of freight transportation respectively. The negative aspects of unimodal transportation can be solved with the use of multimodal transportation properly. Thus, fast, economic and environmental transportation route is developed by simultaneously.

Key words: Multimodal transport, Unimodal transport; Freight transport, Route optimization

1. Giriş

Geleneksel taşımacılık türü olan tek türlü taşımacılık bir ulaşım türünün kullanılması ile yapılan taşımacılıktır. Demiryolları, karayolları, denizyolları, havayolları, iç su yolu ve boru hattı ulaşım türlerinden biri ile yapılmaktadır. Ülkemizde taşımacılık en çok karayolları olmak üzere genel de tek türlü ulaşım modu ile yapılmaktadır [1, 2]. Ulaştırma sistemlerinin geliştirilmesi, uluslararası ticari rekabetin artması ile yaygın kullanım alanı olan tek türlü taşımacılıktan çok türlü taşımacılığa geçiş yapılmaktadır [3]. Birden fazla taşımacılık türünün kullanılması ile yapılan çok türlü taşımacılık üzerine literatürde birçok çalışma mevcuttur [4]. Çok türlü taşımacılığın piyasa şartlarında gelen talebe göre şekillenen birçok alt tanımı bulunmaktadır. Bunlardan yükün, yük aktarma bölgelerinde elleçlenmeden yapılan türüne intermodal taşımacılık olarak tanımlanmaktadır [5]. Elleçleme yapılmı imkanı da olan, ilk ve son ayağının karayolları ile yapıldığı çok türlü taşımacılık türü ise kombine taşımacılıktır [6].

Literatürdeki tanımlara uygun olarak çok türlü taşımacılığın karakteristik özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. AHP yöntemini kullanarak model geliştiren Gürsoy (2010), çok türlü taşımacılık birleşimlerinin parametrelerini araştırmaktadır [7].

Türkiye'de demiryolu ve deniz yolunu birleşimlerinin altyapı eksikliklerini tespit eden Saatçi ve Kolbaşı (2012), demiryolu ve deniz yolu türlerinden oluşan çok türlü taşımacılık avantajlarını ortaya koymaktadırlar [8]. Çok türlü taşımacılık ile tek türlü taşımacılığa kıyasla daha hızlı, daha ekonomik ve daha verimli taşımacılık

^{2*} Sorumlu yazar: kevser.keskin@iste.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-6857-2513, ² 0000-0002-9163-4855

yapılabilmektedir. Çok türlü taşımacılığın tek türlü taşımacılığa göre avantajlı çıkmasının sebepleri arasında denizyolu ve demiryollarının yük taşımacılığında verimliliği sağlayan özelliklerin çok türlü taşımacılıkta yerinde kullanılmasından kaynaklanmaktadır [9, 10, 11].

Çok türlü taşımacılık için en önemli konulardan birisi de en uygun aktarma istasyonlarının belirlenerek en kısa yolun belirlenmesidir. Rota optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalardan, Cansız ve Göçmen parçacık sürü algoritmasını kullanarak çok türlü taşımacılık için en kısa yol algoritması geliştirmektedir [12]. Yine Hanssen vd. intermodal taşımacılığın seçimi için gerekli minimum karayolu uzaklığı üzerine çalışmaktadır. Taze balık nakliyesi için vaka analizi çalışması yapmaktadır. Çalışmasında minimum intermodal taşımacılık mesafesini belirlemekte ve intermodal taşımacılık ile karayolu taşımacılığının olumsuz yönlerinin bertaraf edildiğini ortaya koymaktadır [13]. Çok türlü taşımacılıkta bir başka rota optimizasyon çalışmasında, Cho vd. uluslararası konteyner taşımacılığında maliyet ve zaman tabanlı kısıtlanmış en kısa yol problemi için vaka analizi çalışması yaparak algoritma geliştirmektedir [14].

Çok türlü taşımacılık ile ilgili yapılan çalışmalarda il bazında üretilen ürüne göre optimizasyon çalışması yapılması doğru sonuçlara ulaşılması açısından önemlidir. Çünkü her ürünün taşımacılık karakteristikleri farklıdır. Bu çalışmada Hatay ilinde üretimi yaygın olan filtre yükü dikkate alınmaktadır. Türkiye'nin Akdeniz ile İç Anadolu Bölgesi arasındaki taşımacılık rota karakteristiği belirlenmeye çalışılmaktadır. Değerlendirme kriteri olarak beş farklı kıstas göz önünde bulundurulmaktadır. Bu kıstaslar yakıt tüketimi, maliyet, taşımacılık süresi, emisyon ve performans indeksi olarak gruplandırılmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Ulaşım modları karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu, iç su yolu ve boru hattı taşımacılığı olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Ülkemizde %89 gibi bir oran ile karayolu taşımacılığı, yük taşımacılığında en çok tercih edilen ulaşım modudur. Karayolu taşımacılığını sırasıyla demiryolu, denizyolu ve havayolu taşımacılığı takip etmektedir. Yük taşımacılığında Türkiye'de havayolu taşımacılığı yok denilecek kadar azdır. Havayolu taşımacılığı, hacmi ve ağırlığı düşük, değeri yüksek kargo yüklerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yine de Türkiye'de kargo uçak filosu istenilen düzeylerde değildir. Kargo taşımacılıklarının büyük çoğunluğu yolcu uçakları ile yapılmaktadır. Bu çalışmada en yaygın kullanılan karayolu, demiryolu ve denizyolu taşımacılığı dikkate alınmaktadır. Hatay-Ankara vaka analizinde ulaşım coğrafyasından dolayı denizyolu taşımacılığı yapılamamaktadır. Bu nedenle çalışma karayolu, demiryolu taşımacılıklarının incelemesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada Hatay ilinde ihraç potansiyeli yüksek ve yurtiçi pazarda payı yüksek olan filtre yükü seçilmiştir. Hatay ilinde filtre fabrikaları ile görüşmeler sonucu filtre yükünün bir tır dorsesinde maksimum hacimde, minimum ve maksimum tonaj değerleri 5 ve 14 ton olarak belirlenmektedir. Ayrıca minimum ve maksimum değerler arasında ise ortalama bir değer olan 10 ton yük birimi dikkate alınmaktadır. Ayrıca üreticiden alınan bilgiler dâhilinde yük tonaj değerlerine karşılık yüklerin mali değerleri 40000 TL, 145000 TL ve 250000 TL olarak belirlenmektedir.

2.1 Yakıt tüketimi

Yük taşımacılığında genel olarak petrol ve petrol yan ürünü yakıtlar kullanılmaktadır. Özellikle karayolları yük taşımacılığında petrol türevi akaryakıtların tüketimi çok fazla olmaktadır. Demiryolları ve denizyollarını düşündüğümüzde bu yakıt tüketimleri önemli ölçüde azalmaktadır. Bu sebeple çok türlü taşımacılık tek türlü taşımacılığa göre daha uygun yakıt tüketim değerlerine sahip olabilmektedir. Bu konuda, belirlenen rotaların yakıt tüketim değerlerinin belirlenmesi için kullanılan değişkenler ve denklemler incelenmektedir.

Türkiye'de en çok kullanılan yük taşımacılığı türü olan karayollarında yakıt tüketimini etkileyen çok sayıda değişken vardır. Bu değişkenlerin bir kısmının sayısal değerlere dönüştürülmesi olanaksızdır. Denklem yerleştirilebilecek değişkenlerden aracın tam kapasite dolu olması için 100 km'de 40 litre yakıt tükettiği, boş olması durumu için 30 litre yakıt tükettiği kabul edilmektedir [15]. Tam kapasiteden kasıt 26 ton yük yüklenmesidir. Günümüzde Türkiye yük taşımacılığında, yük tonaj sınırlarına göre en fazla 26 ton yük taşınabilmektedir. Karayolu yük taşımacılığında yakıt tüketimi Denklem 1 ile hesaplanmaktadır.

$$YT_{\text{karayolu}} = ((YM)/(MY)) \times (YT_{\text{max}} - YT_{\text{min}}) + 2 \times YT_{\text{min}} \times (M/100) + (M/100) \times YT_{\text{min}} \quad (1)$$

Burada, YT_{karayolu} karayolundaki yakıt tüketim miktarını, YM taşınan yükün ağırlığını, MY taşınabilecek maksimum yük kapasitesini, M karayolu mesafesini, YT_{max} 100 km'de maksimum yükün taşınmasında tüketilen yakıt miktarını, YT_{min} 100 km'de tüketilen minimum yakıt miktarını göstermektedir. Demiryolu yük

taşımacılığında yakıt tüketimini etkileyen birçok değişken vardır. Bir lokomotifin kaç adet vagon taşıdığı, her vagona kaç adet konteyner bulunduğu, lokomotifin 100 km’de kaç litre yakıt tükettiği önemlidir.

Bu çalışmada lokomotifin 85-100 litre mazotu 100 km’de yaktığı kabul edilmektedir. Aynı zamanda bir lokomotifin bir adet konteynerin taşıdığı 80 adet vagon takılmaktadır [16]. Demiryolu yakıt tüketimi Denklem 2 referans alınarak hesaplanmaktadır.

$$YT_{\text{demiryolu}} = ((M/100) \times OYT) / KS \quad (2)$$

Yakıt tüketiminin belirlenmesi amacıyla yazılan bu denklemde notasyonların ne anlama geldiğine baktığımızda, $YT_{\text{demiryolu}}$ bir konteyner için birim yakıt tüketimini, M konteynerin aldığı mesafeyi, OYT lokomotifin 100 km’deki ortalama yakıt tüketimini, KS ise lokomotifte taşınan konteyner sayısını vermektedir.

2.2 Maliyet hesabı

Yük taşımacılığı ile uğraşan şirketlerin taşımacılık türlerinin ve rotalarının belirlenmesinde en çok dikkate aldıkları parametre taşımacılık maliyetleridir. Bazen taşımacılık maliyetleri ürünün kendi değeri üzerinden bile yüksek çıkabilmektedir. Yük taşımacılığı maliyetlerini türlere göre incelemek istediğimizde her bir türde çok değişik parametreler ile karşılaşmaktadır. Karayolu yük taşımacılığını maliyet açısından incelediğimizde sürücüyü ait masraflar ve diğer giderler, yakıt tüketimi masrafları hesapların içerisine girmektedir. Bu masraflardan sürücü ve diğer giderleri ton başına 5 TL olarak, Atar (2013) tarafından yapılan çalışmadan alınmaktadır [15]. Dolaylı giderler başlığı altında, karayolu taşımacılığı yapan firmanın muhasebe, yönetici, idareye bağlı giderlerinin yanı sıra aracın kademe giderleri de yer almaktadır. Yakıt tüketimi maliyetinde kullanılan mazotun litre fiyatı, 2018 yılı baz alınarak 5,1 TL kabul edilmektedir. Denklem 3 ile karayolları yük taşımacılığının maliyet hesabı yapılmaktadır.

$$M_{\text{karayolu}} = YT_{\text{karayolu}} \times YF_{\text{dizel}} + SDG \times YM \quad (3)$$

Denkleme göre M_{karayolu} , karayolunda bir konteyner için hesaplanan taşıma maliyetini, YT_{karayolu} karayolunda tüketilen yakıt miktarı, YF_{dizel} mazot litre fiyatı, SDG değeri ise ton başı sürücü ve diğer giderleri, YM ise taşınan yükün ağırlığını göstermektedir. Demiryolu taşımacılığında konteyner taşımacılık maliyeti, TCDD’nin yayınladığı rapordan, belirlenen istasyonlar dikkate alınarak ton başı birim maliyetler alınmaktadır [17]. Rapordan alınan birim fiyatlara ek olarak maliyete, yükün mali değerinin belli oranı kadar alınan kıymet primi dâhil edilmektedir. Demiryolu yük taşımacılığında bir konteyner için maliyet hesabı Denklem 4 dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

$$M_{\text{demiryolu}} = TBF \times YM + KP \quad (4)$$

Verilen denklemde, $M_{\text{demiryolu}}$, demiryolu konteyner taşımacılığında taşımacılık maliyetini, TBF rapordan alınan ton başı birim maliyeti, YM değeri ise konteynerdeki yükün ağırlığını, KP değeri kıymet primini göstermektedir. Kıymet primi yükün değerine göre, 1000 km’ye kadar olan demiryolu mesafesinde yükün mali değerinin 1/1000’i, 1000 km’den fazla mesafeler için ise 2/1000’sine denk gelmektedir.

2.3 Taşımacılık süresi hesabı

Taşımacılığı etkileyen en önemli parametrelerden birisi taşımacılık süresidir. Zaman, tercih edilebilirliği artıran önemli bir değişkendir. Bu sebeple taşımacılık rotalarının karşılaştırılmasında süre parametresi de dikkate alınmaktadır. Taşımacılık süresi yükün çıkış yerinden varış yerine kadar geçen süreye denmektedir. Yükün yükleme-boşaltma süresi, yolda geçen süre, dinlenme süreleri, limanlarda ve istasyonlarda geçen bekleme süreleri taşımacılık süresini oluşturmaktadır.

Karayollarında taşımacılık değişkenleri incelendiğinde bazı kabuller yapılmaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü’nün yayınladığı uygulama esasları dikkate alındığında, sürücünün 24 saat süreçte en fazla 9 saat araç kullanabileceği görülmektedir. Bununla birlikte, aralıksız en fazla 4,5 saat taşıt kullanabileceği anlaşılmaktadır. 4,5 saat sürekli sürüşten sonra en az 45 dakika zorunlu mola vermesi gerekmektedir [18]. Taşıtın ortalama hızı şehirlerarası çift yönlü karayollarında hız sınırlarına göre 80 km/sa alınmaktadır [19]. Karayolu yük taşımacılığı için taşımacılık süresi Denklem 5 dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

$$TS_{\text{karayolu}} = M/H + SDS + YBS \quad (5)$$

Verilen denklemde, TS_{karayolu} karayolu taşımacılığında taşımacılık süresini, M parametresi karayolu taşıma mesafesini, H değeri yönetmeliğe göre alınan taşıtın ortalama hızını, SDS sürücü dinlenme sürelerini, YBS ise yükleme boşaltma süresini göstermektedir.

Demiryolu yük taşımacılığında diğer türlere benzer olarak kabuller yapılmaktadır. Türkiye'deki yük trenlerinin hızı saatte 70 km'ye çıkarken, Avrupa ülkelerinde saatte 100 km'ye ulaşmaktadır [20]. Bu nedenle demiryollarında taşımacılık süresini hesapladığımız Denklem 6'da, tren hızı 70 km/sa alınmaktadır. Denklemde kullanılan yükleme-boşaltma süresi 45 dakika kabulü yapılmaktadır.

$$TS_{\text{demiryolu}}=M/H+YBS \quad (6)$$

Demiryolu yük taşımacılığında taşımacılık süresinin hesabı Denklem 6'a göre yapılmaktadır. Bu eşitlikte $TS_{\text{demiryolu}}$ demiryolu yük taşımacılığında taşımacılık süresinin notasyonudur. Denklemde yer alan M harfi demiryolu yük taşımacılığında gidilen mesafeyi ifade etmektedir. H harfi trenin ortalama hızını gösteren değişkeni vermektedir. YBS ile yükleme boşaltma süresi denkleme girmektedir.

2.4 Emisyon hesabı

Son yıllarda iklim değişikliklerinin gündeme gelmesi ile sera gazı etkisi yapan atıkların takip edilmesi önemli hale gelmektedir. Petrol ürünü yakıt kullanan yük taşımacılığının sera etkisi yapan gazların salımında önemli bir yere sahip olduğu düşünüldüğünde, yük taşımacılığının performans hesabı yapılırken yük taşımacılığındaki emisyon hesaplarının yapılması çevre için çok önemlidir. Bu çalışmada tek türlü taşımacılıktan çok türlü taşımacılığa geçişte emisyonunda sağlanan kazanımlar taşımacılık rotaları üzerinden değerlendirilmektedir. Böylece ekonomik, hızlı rota anlayışının yanı sıra çevreci rotalar da ön planda yerini almaktadır. Denklem 7 ile taşımacılık rotalarının emisyon hesapları yapılmaktadır [21].

$$E=YM \times D \times EF \quad (7)$$

Rotaların emisyon hesabının bulunduğu Denklem 10'da E , gram cinsinden CO_2 salınım miktarını, YM taşınan yük ağırlığı, D nakliye mesafesini, EF ise ton başına düşen emisyon faktörünü vermektedir. Emisyon faktörünün denklemi ise Denklem 8'de görülmektedir.

$$EF=T \times M \times e / (1000000) \quad (8)$$

Denklem 11'de T yükün ağırlığını, M karayolu veya demiryolu mesafesini, e ise ton-km başı gram cinsinden emisyon miktarını vermektedir.

2.5 Performans indeksi hesabı

Ulaştırma modunun seçimi, büyük oranda yük türüne bağlıdır. Örneğin zaman, değer/ton oranı yüksek ve raf ömrü kısa olan ürünler için önemli bir kriterdir. Bu çalışmada, rotaların birbirleri ile karşılaştırılması için bütün rota seçim parametrelerinin etkisinin incelenmesinde performans indeksi hesabı yapılmaktadır. Performans indeksi hesaplaması için öncelikle bütün parametreler normalize edilmektedir (Denklem 9). Normalize edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak performans indeksine ulaşılmaktadır (Denklem 10).

$$X_N=(X_{\text{max}}-X)/(X_{\text{max}}-X_{\text{min}}) \quad (9)$$

Denklem 9'da X_N normalizasyon değerini, X_{max} maksimum değeri, X_{min} minimum değeri ve X değeri normalize edilmek istenen veriyi göstermektedir.

$$PI=(YT_N+M_N+TS_N+E_N)/4 \quad (10)$$

Denklem 10'da PI değeri performans indeksine karşılık gelirken, YT_N normalize edilmiş yakıt tüketimini, M_N normalize edilmiş maliyeti, TS_N normalize edilmiş taşımacılık süresini ve E_N normalize edilmiş emisyon değerini temsil etmektedir.

3. Bulgular

Yük taşımacılığında rota belirlenmesi başlangıç yeri ile varış yeri arasındaki her bir özelliğin değerlendirilmesi ile en iyi şekilde yapılabilir. Bu nedenle her farklı başlangıç ve varış yeri ayrı bir analiz sebebidir. Bu çalışmada Hatay ili ile Ankara ili arasında vaka analizi çalışması yapılmaktadır. Tablo 1’de seçilen vaka analizi çalışması için hazırlanan rotalar ve rotaların mod değişim noktaları verilmektedir. Tablo 2’de verilen bu rotalar için ulaşım türlerine göre mesafe dağılımları görülmektedir. Çalışmada coğrafik nedenlerden kaynaklı olarak denizyolu taşımacılığı kullanılamamaktadır. Çok türlü taşımacılık rota kombinasyonları demiryolu ağırlıklı olmak üzere karayolu-demiryolu birleşiminden meydana gelmektedir.

Tablo 1. Hatay-Ankara arasındaki tek türlü ve çok türlü taşımacılık rotaları ve tür değişim noktaları

Ulaşım Rotası	Başlangıç Noktası	1. Ulaşım Modu	1. Mod Değişim Noktası	2. Ulaşım Modu	Variş Noktası
Tek türlü karayolu	Hatay	Karayolu	-	-	Ankara
Tek türlü demiryolu		Demiryolu	-	-	
Çok türlü 1		Demiryolu	Konya	Karayolu	
Çok türlü 2		Demiryolu	Eskişehir	Karayolu	
Çok türlü 3		Karayolu	Konya	Demiryolu	

Tablo 2. Rotalar içerisindeki ulaşım türü mesafeleri

Ulaşım Rotası	Mesafe	
	Karayolu(km)	Demiryolu (km)
Tek türlü karayolu	633	-
Tek türlü demiryolu	17.90	1170
Çok türlü 1	363	318
Çok türlü 2	235	945
Çok türlü 3	331,9	318

3.1. Yakıt tüketimi hesabı

3.1.1 Hatay-Ankara arası tek türlü karayolu

Karayolu taşımacılığında yakıt tüketimini yükün ağırlığı etkilediği için hesaplar üç farklı yük tonajı için yapılmaktadır. Denklem 1’e göre Hatay-Ankara arasında karayolu taşımacılığında yakıt tüketimi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

5 ton yük taşınmasında;

$$YT_{\text{karayolu}} = ((YM)/(MY) \times (YT_{\text{max}} - YT_{\text{min}}) + YT_{\text{min}}) \times (M/100) + (M/100) \times YT_{\text{min}} = (633/100) \times ((5/26) \times (40-30) + 30) + (633/100) \times 30 = 391,97 \text{ lt dizel}$$

10 ton yük taşınmasında;

$$YT_{\text{karayolu}} = ((YM)/(MY) \times (YT_{\text{max}} - YT_{\text{min}}) + YT_{\text{min}}) \times (M/100) + (M/100) \times YT_{\text{min}} = (633/100) \times ((10/26) \times (40-30) + 30) + (633/100) \times 30 = 404,15 \text{ lt dizel}$$

14 ton yük taşınmasında;

$$YT_{\text{karayolu}} = ((YM)/(MY) \times (YT_{\text{max}} - YT_{\text{min}}) + YT_{\text{min}}) \times (M/100) + (M/100) \times YT_{\text{min}} = (633/100) \times ((14/26) \times (40-30) + 30) + (633/100) \times 30 = 413,89 \text{ lt dizel}$$

5 ton yük taşınırken taşıt 391,97 lt, 10 ton yük taşınırken 404,15 lt, 14 ton yük taşınırken 413,89 lt dizel yakıt tüketmektedir. Yük ağırlığının 5 tondan 10 tona çıkması ile yakıt tüketiminde %3,1 artış gözlenmektedir. 14 ton taşınması ile ise taşıtın yakıt tüketimi 5 tona kıyasla %5,6 artmaktadır.

3.1.2 Hatay-Ankara arası tek türlü demiryolu

Hatay-Ankara arasındaki demiryolu taşımacılığı için yakıt tüketimi Denklem 2'ye göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Konteyner başı yakıt tüketimi;

$$YT_{\text{demiryolu}} = ((M/100) \times OYT) / KS = [(1170/100) \times 100] / 80 = 14,63 \text{ lt/konteyner dizel}$$

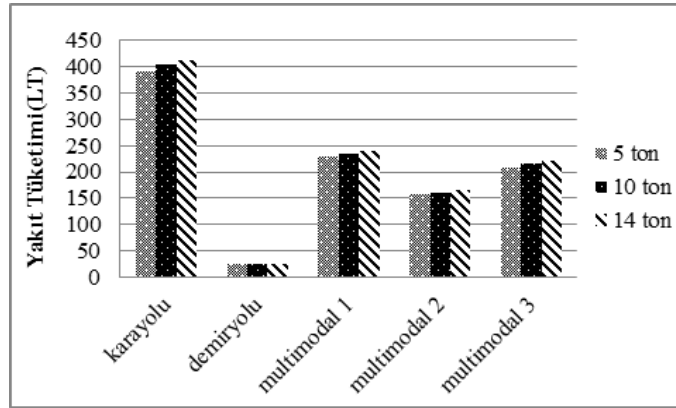
Demiryolu taşımacılığında 14,63 lt/konteyner dizel yakıt yaktığı hesaplanmaktadır. Yakıt tüketimi bakımından karayolu taşımacılığına kıyasla daha avantajlı çıkmaktadır.

3.1.3 Hatay-Ankara arası çok türlü 1

Hatay-Ankara arasındaki çok türlü 1 rotası için yakıt tüketim hesabı aşağıda verilmektedir. Rota incelendiğinde yük filtre fabrikasından, tren istasyonuna 5 km'lik mesafeyi karayolu ile almaktadır. İskenderun'dan Konya'ya demiryolu mesafesi 318 km olarak belirlenmektedir. Konya Ereğli garından Ankara Organize Sanayi Bölgesine yük karayolu ile taşınmakta ve mesafe 358 km'dir. Çok türlü taşımacılık hesabı 5 ve 358 km'lik karayolu mesafesine ve 318 km demiryolu mesafesine göre yapılmaktadır.

Tablo 3. Çok türlü 1 rotası için ulaşım türlerine yakıt tüketim dağılımları

Rota	Ulaşım Tipi	Mesafe	Yakıt Tüketimi (lt)		
			5 ton	10 ton	14 ton
Filtre Fabrikası-İskenderun Tren Garı İskenderun Tren Garı-Konya Ereğli Tren Garı	Karayolu	5 km	3,10	3,19	3,27
	Demiryolu	318 km	3,975	3,975	3,975
Konya Ereğli Tren Garı-Ankara OSB Çok türlü 1	Karayolu	358 km	221,68	228,57	234,08
	Karayolu+Demiryolu+Karayolu	5+318+358 km	228,76	235,74	241,32



Şekil 1. Hatay-Ankara arası ulaşım türlerine göre yakıt tüketim miktarları

Hatay ve Ankara arasında yapılan taşımacılık türlerine göre yakıt tüketim grafiği Şekil 1'de verilmektedir. Grafikte karayolu taşımacılığı ile diğer ulaşım türlerine kıyasla açık ara fazla yakıt tüketildiği görülmektedir. Yük tonajının artışı ulaşım türleri içerisinde çok fark yaratmamaktadır.

3.2 Maliyet hesabı

3.2.1 Hatay-Ankara arası tek türlü karayolu

Hatay'dan Ankara'ya yapılacak olan konteyner yük taşımacılığı için karayolu maliyet hesabı aşağıdaki gibi yapılmaktadır. Karayolu taşımacılığında, yükün ağırlığı maliyeti belirleyen önemli parametrelerden birisidir. Bundan dolayı yük arttıkça maliyette de artış gözlenmektedir.

5 ton yük taşınmasında;

$$M_{\text{karayolu}} = YT_{\text{karayolu}} \times YF_{\text{dizel}} + SDG \times YM = 391,97 \times 5,1 \text{ TL} + 5 \text{ t} \times 5 \text{ TL/t} = 2024,05 \text{ TL}$$

10 ton yük taşınmasında;

$$M_{\text{karayolu}} = Y_{\text{T}_{\text{karayolu}}} \times Y_{\text{F}_{\text{dizel}}} + \text{SDG} \times Y_{\text{M}} = 404,15 \times 5,1 \text{ TL/l} + 10 \text{ t} \times 5 \text{ TL/t} = 2111,17 \text{ TL}$$

14 ton yük taşınmasında;

$$M_{\text{karayolu}} = Y_{\text{T}_{\text{karayolu}}} \times Y_{\text{F}_{\text{dizel}}} + \text{SDG} \times Y_{\text{M}} = 413,89 \times 5,1 \text{ TL/l} + 14 \text{ t} \times 5 \text{ TL/t} = 2180,84 \text{ TL}$$

Yük tonajının 5 tondan 10 tona çıkartılması ile birlikte maliyette %4,3, yükün 14 tona çıkması ile ise %7,8 artış görülmektedir. Yükün ağırlığı 3 kat artmasına rağmen maliyet artışı %10'un altında olmaktadır.

3.2.2 Hatay-Ankara arası tek türlü demiryolu

Aşağıda Hatay ve Ankara arasında yapılacak demiryolu konteyner yük taşımacılığının farklı yük tonajı ve yük değerlerine bağlı olarak maliyet hesabı verilmektedir. TCDD'nin İstasyonlar Arası Mesafe ve Taşıma Ücreti Raporundan alınan ton başı birim fiyat tarifesine göre bu iki nokta arası maliyet 104,06 TL/t hesaplanmaktadır. Bu iki nokta arası 1170 km olarak bulunmakta ve bu nedenle kıymet primi yükün değerinin 2/1000'si alınmaktadır.

5 ton yük için;

$$M_{\text{demiryolu}} = \text{TBF} \times Y_{\text{M}} + \text{KP} = 104,06 \times 5 + 40000 \times 2/1000 = 600,30 \text{ TL}$$

10 ton yük için;

$$M_{\text{demiryolu}} = \text{TBF} \times Y_{\text{M}} + \text{KP} = 104,06 \times 10 + 145000 \times 2/1000 = 1330,60 \text{ TL}$$

14 ton yük için;

$$M_{\text{demiryolu}} = \text{TBF} \times Y_{\text{M}} + \text{KP} = 104,06 \times 14 + 250000 \times 2/1000 = 1956,84 \text{ TL}$$

Yükün 5 tondan 10 tona çıkması ve mali değeri 40000 TL'den 145000 TL'ye çıkması ile taşıma maliyeti %122 artmaktadır. Yük tonajı 14 ton ve mali değeri 250000 TL olması ile maliyet %226 artmaktadır. Burada görüldüğü gibi demiryollarında yükün kıymet değeri, maliyeti önemli ölçüde etkilemektedir.

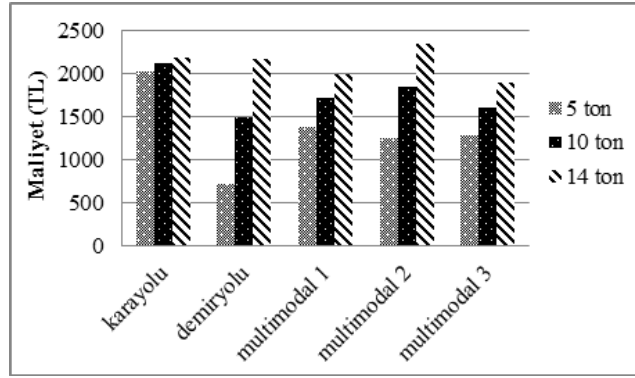
3.2.3 Hatay-Ankara arası çok türlü 1

Hatay-Ankara arasındaki çok türlü 1 rotası için taşımacılık maliyeti hesabı aşağıda verilmektedir. Çok türlü 1 rotasının içerisindeki ulaşım türleri dağılımlarına göre taşımacılık maliyeti hesabı 5, 10 ve 14 ton yük için Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Çok türlü 1 rotası için ulaşım türlerine taşımacılık maliyeti dağılımları

Rota	Ulaşım Tipi	Mesafe	Maliyet (TL)		
			5 ton	10 ton	14 ton
Filtre Fabrikası-İskenderun Tren Garı	Karayolu	5 km	40,79	66,28	86,67
İskenderun Tren Garı-Konya Ereğli Tren Garı	Demiryolu	318 km	178,00	421,00	636,40
Konya Ereğli Tren Garı-Ankara OSB	Karayolu	358 km	1155,59	1215,70	1263,79
Çok türlü 1	Karayolu+Demiryolu+Karayolu	5+318+358 km	1374,38	1702,98	1986,87

Şekil 2'de ulaşım modlarına ve yük tonajına göre maliyet analizi verileri görülmektedir. Grafik incelendiğinde demiryolu ulaşım türünün diğer türlere göre en ucuz taşımacılık olduğu açıkça görülmektedir. En maliyetli taşımacılık ise üç yük birimi içinde karayolu taşımacılığıdır. Demiryolu taşımacılığı yük tonajı ve değeri arttıkça taşımacılık maliyetleri ciddi oranda etkilenmektedir. Çok türlü taşımacılığın karayoluna kıyasla daha ucuz taşımacılık türü olduğu göze çarpmaktadır. Güzergâh kombinasyonları içerisinde bulunan demiryolu ve denizyolu taşımacılığı oranına göre yük birimi arttıkça maliyetlerdeki artışta buna göre artış göstermektedir.



Şekil 2. Hatay-Ankara arası ulaşım modlarına göre maliyet değerleri

3.3. Taşımacılık süresi hesabı

Her güzergâh için Materyal ve Metot bölümünde verilen taşımacılık süresi formülleri kullanılarak zaman hesapları aşağıda yapılmaktadır.

Hatay-Ankara arası Tek türlü Karayolu için;

$$TS_{karayolu} = M/H + SDS + YBS = (633 \text{ km}) / (80 \text{ km/sa}) + 45 \text{ dk} + 30 \text{ dk} = 9,16 \text{ sa}$$

Hatay-Ankara arası Tek türlü Demiryolu için;

$$TS_{demiryolu} = M/H + YBS = (1170) / (70 \text{ km/sa}) + 45 \text{ dk} = 17,46 \text{ sa}$$

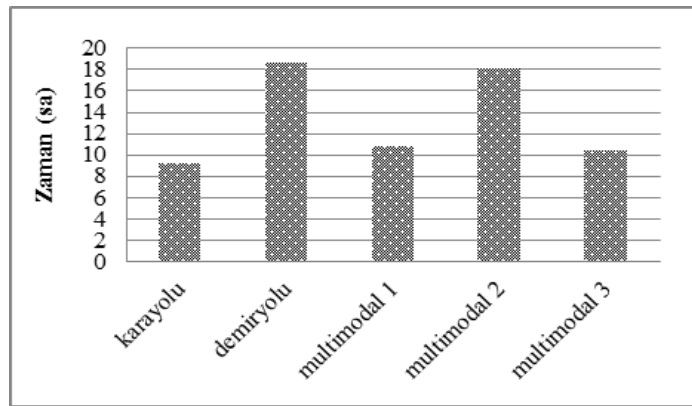
Hatay-Ankara arası çok türlü 1 için;

Hatay-Ankara arasındaki çok türlü 1 rotası için taşımacılık süresi hesabı Tablo 5’te verilmektedir. Üç taşımacılık safhasında gerçekleştirilen çok türlü 1 rotası için her bölümde taşımacılık süresi hesabı yapılmaktadır.

Tablo 5. Çok türlü 1 rotası için ulaşım türlerine taşımacılık süresi dağılımları

Rota	Ulaşım Tipi	Mesafe	Taşımacılık süresi (sa)
Filtre Fabrikası-İskenderun Tren Garı	Karayolu	5 km	0,56
İskenderun Tren Garı-Konya Ereğli Tren Garı	Demiryolu	318 km	5,29
Konya Ereğli Tren Garı-Ankara OSB	Karayolu	358 km	4,98
Çok türlü 1	Karayolu+Demiryolu+Karayolu	5+318+358 km	10,83

Hatay-Ankara arasında tasarlanan güzergâh senaryolarının seyahat süreleri değerleri Şekil 3’te karşılaştırılmaktadır. En yavaş taşımacılık güzergâhı 19,12 sa ile demiryoludur.



Şekil 3. Hatay-Ankara arası ulaşım modlarına göre taşımacılık süresi dağılımları

3.4. Emisyon hesabı

Hatay ve Ankara arasında gerçekleştirilen güzergahlardan tek türlü taşımacılıklara ait emisyon hesapları aşağıdaki gibi yapılmaktadır. Emisyon hesabında karayolu ve demiryolu taşımacılığında yükün tonajı dikkate alınmaktadır.

Hatay-Ankara arası tek türlü karayolu taşımacılığı için emisyon hesabı;
5 ton yük için;

$$EF=T \times M \times e / (1000000) = 5 \times 633 \times 151,1 / 1000000 = 0,478 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 5 \times 633 \times 0,478 = 1512,87 \text{ gr}$$

10 ton yük için;

$$EF=T \times M \times e / (1000000) = 10 \times 633 \times 151,1 / 1000000 = 0,957 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 10 \times 633 \times 0,957 = 6057,81 \text{ gr}$$

14 ton yük için;

$$EF=T \times M \times e / (1000000) = 14 \times 633 \times 111,8 / 1000000 = 0,991 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 14 \times 633 \times 0,991 = 8782,24 \text{ gr}$$

Hatay-Ankara arası tek türlü demiryolu taşımacılığı için emisyon hesabı;
5 ton yük için;

$$EF=T \times M \times e / (1000000) = 5 \times 1170 \times 22 / 1000000 = 0,129 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 5 \times 1170 \times 0,129 = 754,65 \text{ gr}$$

10 ton yük için;

$$EF=T \times M \times e / (1000000) = 10 \times 1170 \times 22 / 1000000 = 0,257 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF = 10 \times 1170 \times 0,257 = 3006,9 \text{ gr}$$

14 ton yük için;

$$EF=T \times M \times e / (1000000) = 14 \times 1170 \times 22 / 1000000 = 0,360 \text{ gr/t-km}$$

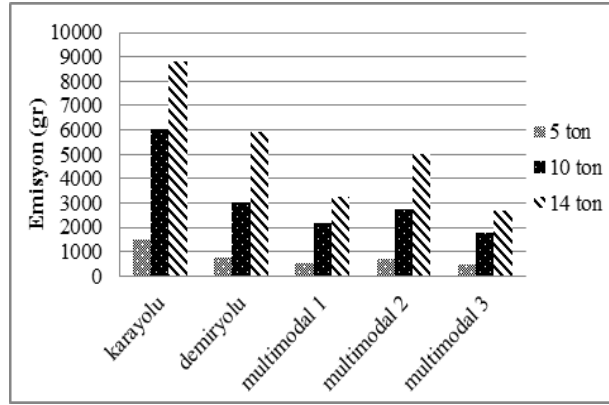
$$E=YM \times D \times EF = 14 \times 1170 \times 0,360 = 5896,8 \text{ gr}$$

Hatay-Ankara arası çok türlü 1 taşımacılığı için emisyon hesabı;
Hatay-Ankara arasındaki çok türlü 1 rotası için emisyon hesabı Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Çok türlü 1 rotası için ulaşım türlerine göre emisyon dağılımları

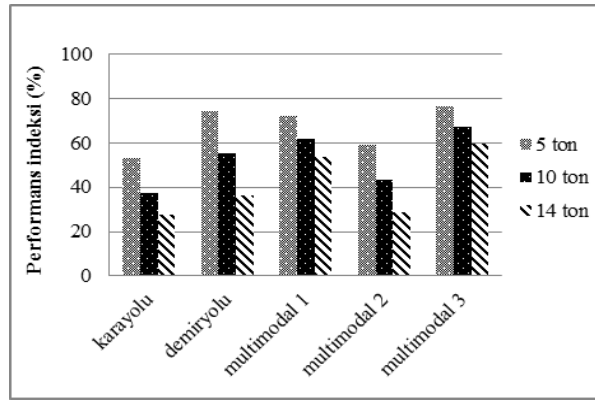
Rota	Ulaşım Tipi	Mesafe	Emisyon (gr)		
			5 ton	10 ton	14 ton
Filtre Fabrikası-İskenderun Tren Garı	Karayolu	5 km	0,09	0,38	0,55
İskenderun Tren Garı-Konya Ereğli Tren Garı	Demiryolu	318 km	55,62	222,47	436,05
Konya Ereğli Tren Garı-Ankara OSB	Karayolu	358 km	484,14	1936,56	2808,43
Çok türlü 1	Karayolu+Demiryolu+Karayolu	5+318+358 km	539,85	2159,41	3245,03

Şekil 4'te ulaşım modları ve taşınan yükün ağırlığına bağlı olarak hesaplanan emisyon miktarları verilmektedir. Grafik incelendiğinde minimum emisyon miktarı çok türlü 3 taşımacılığında görülmektedir. En fazla CO₂ salımı ise 8782,24 gr ile 14 ton yükün karayolu ile taşınmasında gerçekleşmektedir. Ülkemizde yurtiçi yük taşımacılığında ağırlıklı karayolunun tercih edilmesinden dolayı, taşımacılıktan kaynaklanan emisyon değerleri oldukça yüksektir. Taşımacılığın demiryolu ve deniz yoluna kaydırılması CO₂ salımının indirgenmesinde oldukça etkili olacağı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4. Hatay-Ankara arası ulaşım modlarına göre emisyon miktarları

İskenderun ve Ankara arasında geliştirilen güzergâh senaryolarının performans indeksi değerleri Şekil 5'deki grafikte görülmektedir. Grafığe göre performansı en yüksek güzergâh 5, 10, 14 ton için sırasıyla %76,1, %66,7 ve %59,3 performans ile çok türlü 3 taşımacılık güzergâhı en verimli çıkmaktadır. En verimsiz güzergâh ise grafikte görüldüğü gibi tüm yük birimleri içinde karayolu taşımacılık güzergâhıdır.



Şekil 5. Hatay-Ankara arası rotaların performans indeksi

4. Sonuç

Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde rota seçiminde ihtiyaca göre seçimin yapılması gerektiği görülmektedir. Farklı güzergâh karar değişkenlerine bağlı olarak rota seçimi değişiklik göstermektedir. Çalışmada Türkiye'nin İç Anadolu bölgesi için Ankara iline geliştirilen taşımacılık senaryoları incelenmektedir. Bunun için karayolu, demiryolu ve çok türlü taşımacılık türleri ele alınmaktadır. Rotalar performans kriterlerine göre değerlendirilmektedir.

Yakıt tüketimi incelendiğinde diğer ulaşım rotalarına kıyasla minimum yakıt tüketimi 25,71 lt/konteyner dizel ile demiryolu güzergâhında görülmektedir. En fazla yakıt tüketimi ise 448,54 lt/konteyner dizel ile 14 ton karayolu yük taşımacılığında gözlenmektedir.

Rota seçiminde dikkat edilen en önemli parametre olan maliyete göre rotalar analiz edildiğinde 5 ve 10 ton yük için minimum maliyet demiryolu taşımacılığında görülmektedir. 14 ton filtre yükü için yükün maliyetindeki artış kıymet primini önemli ölçüde etkileyerek nakliye maliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. 14 ton yük için minimum maliyet 1883,16 TL ile çok türlü 3 rotasında hesaplanmaktadır.

Taşıma süresinin önemli olduğu yükler için dikkate alınan nakliye süresi için güzergâhlar incelendiğinde en hızlı taşımacılık 9,16 sa karayolu ile yapılmaktadır. Nakliye süresi bakımından en elverişsiz rota ise 18,69 sa ile demiryolu taşımacılığı çıkmaktadır. Ülkemizde yük taşımacılığı için demiryolu taşımacılığının süre bakımından daha elverişli hale gelmesi için mevcut altyapısının daha çok geliştirilmesi ve yük trenlerindeki hızın artırılmasına

yönelik çalışmalar yapılması önerilmektedir. Bu şekilde sürücü dinlenmesine gerek duyulmayan demiryolu taşımacılığının karayolu taşımacılığına göre tercih edilebilirliği artırılabilir.

Araç tipine bağlı olarak hesaplanan CO₂ emisyon miktarlarına göre rotalar incelendiğinde 440,65 gr ile 5 ton yükün taşınmasında çok türlü 3 güzergahında görülmektedir. Yük tonajı arttıkça 14 ton için minimum emisyon miktarı 2669,56 gr hesaplanmakta fakat rota seçiminde değişiklik görülmemektedir. En fazla emisyon ülkemizde en çok tercih edilen karayolu taşımacılığında meydana gelmektedir. Karayolu taşımacılığı tercihinin azaltılması için bu da farklı bir etken olarak belirlenmektedir.

Dört karar değişkeni için ortak bir rota seçimi yapmak için performans indeksleri incelendiğinde üç yük birimi içinde en yüksek performans çok türlü 3 güzergahında görülmektedir. Bu da taşımacılığın tek türlü taşımacılıklardan özellikle karayolundan çok türlü taşımacılığa aktarılmasının birçok avantajı beraberinde getireceğini göstermektedir.

Kaynaklar

- [1] Cansız OF. Enerji politikalarının ulaştırma sistemlerinin optimizasyonu ile geliştirilmesi ve uygulamadan elde edilen getirilerin ortaya konması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2007.
- [2] Cansız OF, Çubuk MK, Çalışıcı M. An energy analysis of road transportation in Turkey. Proceedings of The 3rd International Conference on Energy and Development - Environment – Biomedicine; 29 Aralık 2009; Ankara. 91-95.
- [3] Cansız OF, Ünsalan K. Cost analysis of multimodal freight transportation: a case of Iskenderun. IJAERS 2018; 5(5): 315-319.
- [4] Steadieseifi M, Dellaert NP, Nuijten W, Van Woensel T, Raoufi R. Multimodal freight transportation planning: A literature review. EJOR 2014; 233: 1-15.
- [5] Crainic T, Kim K. Intermodal transportation. Handbooks in Operations Research and Management Science 2007; 14: 467-537.
- [6] Deveci DA, Çavuşoğlu D. İntermodal demiryolu taşımacılığı: Türkiye için fırsatlar ve tehditler. Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi 2013; 5(1): 93-120.
- [7] Gursoy M. A method for transportation mode choice. Scientific Research and Essays 2010; 5: 613-624.
- [8] Saatçioğlu C, Kolbaşı N. Türkiye lojistik sektöründe denizyolu-demiryolu entegrasyon sürecinin incelenmesi. Sakarya İktisat Dergisi 2012; 2:1-33.
- [9] Cansız OF, Ünsalan K, Çalışıcı M, Göçmen S. Çok türlü taşımacılık güzergâhlarının gezgin satıcı problemleri baz alınarak tasarlanması: güzergâhların optimizasyonu ve akıllı ulaşım sistemlerine entegrasyonu. 1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi; 19-21 Nisan 2018; Balıkesir. 58-59.
- [10] Cansız OF, Ünsalan K, Çalışıcı M, Göçmen S. Şehirlerarası güzergâh performans indeksinin çok türlü taşımacılık baz alınarak analiz edilmesi: analiz parametrelerinin oluşturulması ve AUS entegrasyonu. 1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi; 19-21 Nisan 2018; Balıkesir. 58-59.
- [11] Cansız OF, Ünsalan K, Çalışıcı M, Göçmen S. Şehirlerarası taşımacılık performansı indeksinin çok türlü taşımacılık baz alınarak analiz edilmesi: çok türlü güzergâhların tasarımı ve AUS entegrasyonu. 1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi; 19-21 Nisan 2018; Balıkesir. 58-59.
- [12] Cansız OF, Göçmen S. Distance analysis of multimodal transportation based on traveling salesman problem with particle swarm optimization method. IJAERS 2018; 5(6): 1-6.
- [13] Hanssen TES, Mathisen TA, Jorgensen F. Generalized transport costs in intermodal freight transport, Procedia—Social and Behavioral Sciences 2012; 54: 189-200.
- [14] Cho JH, Kim HS, Choi HR. An intermodal transport network planning algorithm using dynamic programming—a case study: from Busan to Rotterdam in intermodal freight routing. Applied Intelligence 2010; 36: 529-541.
- [15] Atar F. Kısa mesafe deniz taşımacılığının avantajları ve kombine taşımacılıktaki önemi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013.
- [16] <http://www.ustaokan.com/?Syf=26&Syz=530815>, (22.05.2018)
- [17] [https://portal1.tcddtasimacilik.gov.tr/tcdd\(bD10ciZjPTIwMCZkPW1pbg==\)/zy02/yuk_tasima_fiyatlari](https://portal1.tcddtasimacilik.gov.tr/tcdd(bD10ciZjPTIwMCZkPW1pbg==)/zy02/yuk_tasima_fiyatlari), (10.02.2018)
- [18] <https://www.tugem.com.tr/mevzuat?mlid=2528>, (10.04.2018)
- [19] <http://www.kgm.gov.tr>, (15.04.2018)
- [20] <http://railturkeyakademi.wordpress.com>, (02.05.2018)
- [21] <http://www.cefic.org>, (05.04.2018)