



## Filtre malzemesi için çok türlü taşımacılık rotalarının performans indeksi ile vaka analizi: Hatay-Trabzon

**Ömer Faruk CANSIZ**

Iskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay  
[ofcansiz@iste.edu.tr](mailto:ofcansiz@iste.edu.tr) ORCID: 0000-0001-6857-2513, Tel: (326) 613 50 00

**Kevser ÜNSALAN\***

Iskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay  
[kevser.keskin@iste.edu.tr](mailto:kevser.keskin@iste.edu.tr) ORCID: 0000-0002-9163-4855, Tel: (326) 613 50 00

Geliş: 28.12.2018, Revizyon: 13.05.2019, Kabul Tarihi: 28.05.2019

### Öz

Çalışmada unimodal ve multimodal taşımacılık rotaları karşılaştırılmaktadır. Rota optimizasyonunda, ulaşım coğrafyasının etkisi oldukça önemlidir. Bu çalışmada Türkiye için güneyden kuzeye rota seçimi farklı güzergâh seçim kriterlerine göre bağlı olarak ele alınmaktadır. Çalışmada ayrıca multimodal taşımacılığın, unimodal taşımacılığa göre üstünlükleri araştırılmaktadır. Taşıma hesaplarını etkileyen yük çeşidi olarak Hatay'da üretimi yaygın olan ve ihracat potansiyeli yüksek, aynı zamanda iç pazarda da yerinin önemli olduğu filtre yükü dikkate alınmaktadır. Taşımacılığın güney-kuzey hattındaki değişiminin incelenmesi için varış ili olarak Trabzon dikkate alınmaktadır. Bunun için öncelikle olası iki unimodal ve üç multimodal güzergâh rotası oluşturulmaktadır. Rotalar, yakıt tüketimi, maliyet, taşıma süresi, karbondioksit salınımı gibi performans kriterlerine bağlı olarak analiz edilmektedir. Performans indeksi değerlerine göre rotalar karşılaştırıldığında, performansı en yüksek rota %91,16-73,35 performans aralığı ile multimodal 1 güzergâhı çıkmaktadır. Unimodal taşımacılığın yapılamadığı iki nokta arasında multimodal taşımacılık ile ulaşım türlerinin pozitif yanları ortaya çıkarılarak negatif durumlar ortadan kaldırılabilir. Hatay ve Trabzon arasında unimodal demiryolu taşımacılığının yapılamamasından kaynaklı olarak demiryolu taşımacılığının pozitif yanları ancak multimodal taşımacılık kullanılarak rotalara yansıtılabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Multimodal taşımacılık, Rota optimizasyonu, Unimodal taşımacılık, Yük taşımacılığı

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Lojistik sektörünün gelişimi, uluslararası ticaretin artışı ile birlikte artmakta ve optimum dengenin kurulması için yeni yaklaşımlar araştırılmaktadır. Lojistik sektörünün en önemli alanlarından biri ise konteyner taşımacılığıdır. Dünya ticaretinin yaklaşık %90'ı konteyner ile yapılmaktadır. Konteyner taşımacılığında yükleme boşaltma sürecinden nakliyesine kadar birçok optimizasyon çalışmaları mevcuttur. Konteyner taşımacılığında nakliye aşamasında Ateş vd. (2010), denizyolu taşımacılığında konteyner taşımacılığının yerini incelemekte ve bu konuda Türkiye'deki mevcut durum incelemesi ile eksiklikleri tespit etmektedir. Sarıoğlu ve Özdemir (2006) ise kullanımı az olan akıllı konteyner sistemine Türkiye'deki lojistik firmalarının bakış açısını araştırmaktadır.

Taşımacılıkta tek türlü taşımacılığın yanı sıra çok modlu taşımacılık yaklaşımı da ön plana çıkmaktadır. Saatçioğlu ve Saygılı (2013), çok türlü taşımacılığın bir kolu olan intermodal taşımacılıkta demiryolu ve denizyolu birleşiminde hangi parametrelerin etkili olduğunu araştırmaktadır. Atar (2009), Türkiye'de kısa mesafe deniz taşımacılığı ve kombine taşımacılığın, karayolu taşımacılığının yerine kullanılabilirliğini araştırmaktadır. Atar vd. (2013) çalışmalarında kısa mesafe deniz taşımacılığı ile kombine taşımacılığın önemini farklı parametrelere bağlı olarak vurgulamaktadır.

Fremont ve Franc (2010) intermodal taşımacılık için karayolundan demiryolu taşımacılığına ağırlık vermek için mevcut durum analizi yapmaktadır. Cansız vd. (2008a,2008b) demiryolu taşımacılığının karayoluna kıyasla enerji tüketimi bakımından daha avantajlı olduğuna vurgu yapmaktadır. Ulaştırma enerji tüketimi konusunda birçok çalışma mevcuttur (Çubuk ve Cansız (2005a); Çubuk ve Cansız (2005b); Cansız (2007); Cansız vd. (2009)).

Multimodal taşımacılıkta rota optimizasyonu için birçok kritere bağlı olarak değerlendirmeler yapılmaktadır. Cansız ve Ünsalan (2018), çok türlü taşımacılığı maliyet açısından inceleyerek

tek türlü taşımacılık ile karşılaştırmaktadır. Cansız vd. (2018a) multimodal taşımacılık rotalarını maliyet, zaman ve emisyon parametreleri açısından değerlendirmektedir.

Multimodal taşımacılıkta değerlendirme kriterlerinin yanı sıra rota optimizasyonu önemlidir. Cansız vd. (2018b), multimodal taşımacılık ile güzergâh planlama çalışması yapmaktadır. Cansız vd. (2018c), multimodal taşımacılıkta rota seçimine yardımcı program geliştirmektedir. Cansız ve Göçmen (2018) parçacık sürü algoritması kullanarak güzergâh optimizasyonu için algoritma geliştirmektedir.

Yük taşımacılığında ucuz taşımacılığın yanı sıra günümüzde çevre dostu taşımacılık anlayışı da ön plana çıkmaktadır. Avrupa konseyi tarafından intermodal taşımacılık bu konuda teşvik edilmektedir. Yang ve Chen (2017), emisyon vergisinin çıkartılması ile emisyon miktarının azaltılabileceğini öne sürmektedir. Kishimoto vd. (2017) Çin'de CO<sub>2</sub> salınım fiyatlandırmasının artırılması ve karayolu emisyon uygulamalarının tam anlamıyla uygulanması ile genel emisyonun azalacağını öne sürmektedir.

Bu çalışmada multimodal ve unimodal taşımacılıkta, farklı rota seçim kriterlerine bağlı olarak rota en iyilemesi yapılmaktadır. Rota performans kriterleri için yakıt tüketimi, maliyet, zaman ve emisyon kriterlerinin yanı sıra bu dört performans kriterinin rota seçimi üzerine etkisinin eş zamanlı olarak incelenmesi için performans indeksi değeri de hesaplanmaktadır. Belirlenen performans kriterleri ve performans indeksine göre optimum rotalar belirlenerek, sonuçlara etki eden parametreler ele alınmaktadır.

Çalışmada ayrıca rota seçiminde ulaşım coğrafyasının etkilerinin ulaşım türlerine etkisinden kaynaklı olarak rota seçimini ne ölçüde etkilediği araştırılmaktadır. Böylelikle birim karar değişkenlerine göre değerlendirilen rotaların, ulaşım coğrafyasından kaynaklı sapmaların incelenmesi de yapılmaktadır. Bu amaçla Türkiye'nin güney-kuzey taşımacılık hattı incelenmektedir. Vaka analizi için Hatay ve Trabzon illeri seçilmektedir.

## Materyal ve Yöntem

Çalışmada öncelikle ilk belirlenen olan taşınacak yükün çeşididir. Bu doğrultuda Hatay'da üretimi yaygın, ihracat potansiyeli yüksek ve iç pazarda yerinin önemli olduğu filtre yükü baz alınmaktadır. Filtre fabrikalarından alınan bilgiler doğrultusunda yükün 40' konteyner ile taşındığı ve filtre yükünün türüne bağlı olarak 5, 10,14 tonluk yük birimleri ve bunlara karşılık gelen 40000 TL, 145000 TL ve 250000 TL mali değerli filtre yükleri seçilmektedir. Bu yük birimleri minimum ve maksimum koşullar ve bu koşulların ortalaması alınarak belirlenmektedir.

### Yakıt Tüketimi

Türkiye'de ulaştırma sektörün de kullanılan petrol ürünlerinin tüketiminin tüm sektörlere oranı %11,19 gibi azımsanmayacak bir orana sahiptir (TÜİK, Sektörlere ve kullanım alanlarına göre nihai enerji tüketimi, 2005). Çalışmada yenilenemez enerji kaynaklarından tasarruf amaçlı rota optimizasyonunda yakıt tüketimi güzergâh karar değişkenlerinden biri olarak seçilmektedir.

#### a) Karayolu yakıt tüketimi

Karayolu yük taşımacılığında yakıt tüketim hesabı Denklem 1'e göre hesaplanmaktadır. Taşıtın yüklü gittiği ve dönüşte başka yükler taşıdığı kabul edilmektedir. Bu nedenle taşıtın sadece gidiş yolundaki yakıt tüketimi hesaplanmaktadır. Aracın tam kapasite ile 26 ton yük taşıdığı ve tam kapasite ile yük taşırken 40 litre yakıt yaktığı kabul edilmektedir. Taşıt dönüşte boş iken 30 litre yakıt tüketmektedir (Atar, (2013)).

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

Denklem 1'de  $YT_{kara}$ , karayolundaki tüketilen yakıt miktarını gösterirken,  $YM$ ; taşınan yük miktarı,  $MY$ ; konteynerde taşınabilecek maksimum yükü,  $M$ ; karayolu taşıma mesafesini,  $YT_{max}$  100 km'de maksimum yükün taşınmasında tüketilen yakıt miktarını,  $YT_{min}$  ise

100 kilometrede taşıtın boş iken tükettiği yakıt miktarını göstermektedir.

#### b) Demiryolu yakıt tüketimi

Demiryolu yük taşımacılığı için yakıt tüketimi Denklem 2 esas alınarak hesaplanmaktadır. Demiryolu taşımacılığında bir lokomotifte 80 adet vagon bulunduğu ve her vagonunda standart 40' konteyner taşıdığı kabul edilmektedir. Bir lokomotif 100 km tren yolunda 85-100 litre aralığında yakıt tüketmektedir (Demiryolu ve Karayolu Taşımacılığında Karşılaştırma (2018)). Çalışmada yük treninin maksimum yakıt tükettiği kabul edilmektedir.

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

Denklem de  $YT_{demir}$ , demiryolu taşımacılığında tüketilen konteyner başına düşen yakıt tüketimini,  $M$ ; demiryolu taşıma mesafesini,  $OYT$ ; bir lokomotifin 100 km'de ortalama yakıt tüketimini;  $KS$  ise bir lokomotifte taşınan konteyner sayısını göstermektedir.

#### c) Denizyolu yakıt tüketimi

Denizyolu yük taşımacılığında yakıt tüketimi için geminin seyirde ve limanda bulunma durumları dikkate alınmaktadır. Gemide ana ve yardımcı makinelerin yakıt tüketimi hesaplanmaktadır.

Seyirde ana makinenin günlük 500 ton fuel oil, yardımcı makinenin günlük 30 lt dizel yakıt tükettiği kabul edilmektedir. Limanda ise yardımcı makinenin günlük 45 lt dizel yakıt yaktığı kabul edilmektedir (Atar,(2013)). Konteyner gemileri için sürat 2010 yılı ortalama bir değer olan 25 knots alınmaktadır (Konteyner Gemileri İçin İstatistiksel Bilgiler). Limanda yükleme boşaltma süresi 3 gün kabul edilmektedir (Atar,(2013)). En büyük yük gemileri için konteyner kapasitesi maksimum 18000 adet konteynerdir. Bu çalışmada yük gemisinde 10000 adet konteyner taşıdığı kabul edilerek hesaplamalar yapılmaktadır. Denizyolu yük taşımacılığı için yakıt tüketimi Denklem 3 referans alınarak hesaplanmaktadır.

$$YT_{deniz}=(SAM_{GYT}\times SS+SYM_{GYT}\times SS+LYM_{GYT}\times LBS)/KS \quad (3)$$

Denklemden,  $YT_{deniz}$ , denizyolu taşımacılığı için konteyner başına düşen yakıt tüketimini,  $SAM_{GYT}$ , seyirde ana makine günlük yakıt tüketimini,  $SYM_{GYT}$ , seyirde yardımcı makine günlük yakıt tüketiminin,  $SS$  geminin seyir süresini,  $LYM_{GYT}$ , limanda yardımcı makine günlük yakıt tüketimini,  $LBS$ , limanda bekleme süresini,  $KS$  ise geminin bulunan konteyner adedini göstermektedir.

### Maliyet Hesabı

Taşımacılıkta optimum rota tercihi taşıma maliyetine göre yapılmaktadır (Cansız ve Ünsalan (2018)). Çalışmanın bu bölümünde rota seçimini etkileyen en önemli faktörün, farklı taşımacılık türlerine hesaplanması incelenmektedir.

#### a) Karayolu maliyet hesabı

Karayolu yük taşımacılığında maliyet Denklem 4'e göre hesaplanmaktadır. Karayolu taşımacılık maliyet kalemlerini yakıt tüketimi, sürücü ve dolaylı giderler oluşturmaktadır. 2018 yılı akaryakıt firmalarından alınan bilgilere göre dizelin litre fiyatı 5,1 TL olarak alınmaktadır. Sürücü ve dolaylı giderler, ton başına 5 TL olarak maliyete yansıtılmaktadır.

$$M_{kara}=YT_{kara}\times YF_{dizel}+SDG\times YM\times SS \quad (4)$$

Denklemden  $M_{kara}$ , karayolu için hesaplanan maliyeti,  $YT_{kara}$ , karayolunda tüketilen yakıt miktarını,  $YF_{dizel}$ , dizel yakıtın litre fiyatını,  $SDG$  değeri ton başı sürücü ve dolaylı giderleri,  $YM$  ise taşınan yükün ağırlığını,  $SS$  sürücü sayısını göstermektedir.

#### b) Demiryolu maliyet hesabı

Demiryolu yük taşımacılığında maliyet Denklem 5 referans alınarak hesaplanmaktadır. TCDD'nin İstasyonlar arası mesafe ve taşıma ücreti raporundan alınan birim fiyatlara göre demiryolu taşımacılık maliyetleri hesaplanmaktadır. Birim fiyatlara ayrıca kıymet primi eklenmektedir.

$$M_{demir}=TBF\times YM+KP \quad (5)$$

Denklemden,  $M_{demir}$ , demiryolu yük taşımacılığında maliyeti,  $TBF$  rapordan alınan birim fiyatı,  $YM$  değeri konteynerde taşınan yükün ağırlığı,  $KP$  konteynerde taşınan yükün mali değerine göre hesaplanan kıymet primidir. Kıymet primi 1000 km'ye kadar olan demiryolu mesafesinde yükün mali değerinin 1/1000'i, 1000 km den fazla mesafeler için ise mali değer 2/1000'sine denk gelmektedir.

#### c) Denizyolu maliyet hesabı

Denizyolu yük taşımacılığında maliyet hesaplaması, yakıt tüketimi, gemi personel ve dolaylı giderler, liman giderleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Liman giderleri; terminal hizmeti, karayolu ile aktarma var ise karayolu taşıtı giriş çıkış ücreti, yükleme boşaltma gideri olarak ayrılmaktadır. Yakıt tüketimi dışında kalan ücretler TCDD Liman Hizmetleri Tarifesinden (2018) alınan birim fiyatlandırmasından alınmaktadır. Tarifeden alınan verilere göre, limanda yükleme boşaltma masrafı 352 TL/konteyner, limanda terminal hizmeti kapsamında konteyner başına 137,2 TL, limana giriş-çıkış ücreti 98 TL/araç alınmaktadır. Gemide personel ve diğer giderler ise 6,16 TL/gün/konteyner olarak hesaba katılmaktadır. Türkiye'de akaryakıt fiyatlarına uygulanan Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) denizyolu taşımacılığı yapan gemilerin akaryakıtlarına uygulanmamaktadır. Bu nedenle denizyolu taşımacılığında fuel oil ve dizel akaryakıt fiyatlarının ÖTV'siz değerleri dikkate alınmaktadır. ÖTV'siz fuel oil 2,56 TL/kg, ÖTV'siz motorin ise 3,45 TL/lt kabul edilmektedir. Denizyolu maliyet hesabı Denklem 6 esas alınarak hesaplanmaktadır.

$$M_{deniz}=(YT_{ana}\times FOF+YT_{yardımcı}\times DF)/KS+YB+T H+LGÇ+GEG \quad (6)$$

Denklemden,  $M_{denizyolu}$ , denizyolu taşımacılığında konteyner başına düşen maliyeti,  $YT_{ana}$  parametresi ana makinenin seyirde tükettiği yakıt miktarını,  $YT_{yardımcı}$  ise yardımcı makinenin

seyirde ve limanda yaktığı yakıt miktarını, *FOF* değeri ÖTV'siz fuel oil birim fiyatını, *DF* ise ÖTV'siz dizel yakıtın birim fiyatını göstermektedir. *GEG* parametresi gemi personeli ve dolaylı giderleri, *KS* gemide taşınan konteyner sayısını, *YB* yükleme boşaltma giderini, *TH* terminal hizmeti masrafını, *LGÇ* limana giriş çıkış ücretini belirtmektedir.

### Taşımacılık Süresi Hesabı

Taşımacılık süresi yükün çıkış biriminden varış birimine kadar geçen bütün süreçleri kapsamaktadır. Yükün yükleme boşaltma, sürücü dinlenme ve seyir esnasında geçen süreç bu bölümde değerlendirilmektedir.

#### a) Karayolu taşımacılık süresi hesabı

Karayolu taşımacılık süresi Denklem 7'ye göre hesaplanmaktadır. Karayolunda yükleme boşaltma süresi 30 dakika kabul edilmektedir. Karayolunda taşımacılık süresi hesaplanırken sürücünün her 4,5 saatte 45 dakika mola verdiği kabul edilmektedir. Sürücüye ilgili mevzuat dikkate alınarak, 24 saatte en fazla 9 saat araba kullanmasına izin verilmektedir. En az iki sürücü olması halinde her 30 saatlik sürede her bir sürücü minimum 8 saat kesintisiz bir şekilde dinlenmektedir (Karayolları Trafik Yönetmeliği, Araç Kullanma ve Dinlenme Sürelerine Uyuma ve Denetleme Esasları). Taşıtın ortalama hızı 80 km/sa alınmaktadır (www.kgm.gov.tr - Şehirlerarası çift yönlü karayollarında hız sınırı). Karayolu yük taşımacılığında taşımacılık süresi Denklem 7'ye göre hesaplanmaktadır.

$$TS_{kara} = M/H + SDS + YBS \quad (7)$$

Denklemden  $TS_{kara}$  karayolu taşımacılığında taşımacılık süresini,  $M$  parametresi karayolu taşıma mesafesini,  $H$  taşıtın ortalama hızını,  $SDS$  sürücü dinlenme süresini,  $YBS$  ise yükleme boşaltma süresini göstermektedir.

#### b) Denizyolu taşımacılık süresi hesabı

Denizyolu taşımacılığında taşımacılık süresi hesabı Denklem 8'e göre hesaplanmaktadır. Denizyolu taşımacılığında konteynerin yükleme boşaltma süresi 3 gün kabul edilmektedir

(Atar,(2013)). Geminin sürati yakıt tüketim hesabı bölümünde bahsedildiği gibi 25 knot alınmaktadır.

$$TS_{deniz} = M/H + \lambda \times YBS \quad (8)$$

Denklemden,  $TS_{deniz}$  denizyolu yük taşımacılığında taşımacılık süresini,  $M$  denizyolundaki mil cinsinden kat edilen mesafeyi,  $H$  geminin hızını,  $\lambda$  katsayısı liman da operasyonel, iklimsel etmenlerden doğacak gecikmelere göre belirlenen katsayı,  $YBS$  ise limanda yükleme boşaltma süresini göstermektedir.

#### c) Demiryolu taşımacılık süresi hesabı

Demiryolu taşımacılık süresi Denklem 9'a göre hesaplanmaktadır. Demiryolu taşımacılığında konteynerin yükleme boşaltma süresi 45 dakika alınmaktadır. Avrupa ülkelerinde yük trenlerinin hızı 100 km/sa hızın üzerine çıkabilmekte iken, Türkiye'de yük trenleri maksimum 70 km/sa hıza çıkmaktadır (railturkeyakademi.wordpress.com). Bu sebeple çalışmada yük treninin hızı 70 km/sa alınmaktadır.

$$TS_{demir} = M/H + YBS \quad (9)$$

Denklemden,  $TS_{demir}$  demiryolu yük taşımacılığında taşımacılık süresini,  $M$  demiryolu taşımacılığında kat edilen mesafeyi,  $H$  trenin ortalama hızını,  $YBS$  ise yükleme boşaltma süresini göstermektedir.

### Emisyon Hesabı

Çalışmada ekonomik, hızlı rota optimizasyonunun yanı sıra çevreci rota optimizasyon anlayışı da benimsenmektedir. Taşıma aracının türüne bağlı olarak emisyon miktarı karayolu, demiryolu için Denklem 10'a göre hesaplanmaktadır (Guidelines for Measuring and Managing CO<sub>2</sub> Emission from Freight Transport Operations).

$$E = YM \times D \times EF \quad (10)$$

Denklemden,  $E$  CO<sub>2</sub> salınım miktarını,  $YM$  taşınan yükün ağırlığını,  $D$  taşıma mesafesini,

$EF$  ise ton başı  $CO_2$  emisyon faktörünü göstermektedir. Emisyon faktörü ise denklem 11'e göre hesaplanmaktadır.

$$EF = T \times M \times e / (1\ 000\ 000) \quad (11)$$

Denklemden  $T$  yük miktarını,  $M$  mesafeyi,  $e$  ise ton-km başı gram cinsinden  $CO_2$  emisyon miktarına karşılık gelmektedir. Denizyolu yük taşımacılığında emisyon hesabı Denklem 12'ye göre hesaplanmaktadır (Atar (2013)).

$$E = T \times P \times EF \times MY \quad (12)$$

Denklemden,  $E$  denizyolu yük taşımacılığında emisyon miktarını,  $T$  çalışma türünde (seyir ve manevra) geminin bulunduğu zamanı,  $P$  geminin çalışma türünde makinelerin güçlerini,  $EF$  gemi türüne göre emisyon çarpanı,  $MY$  ise makinelerin ilgili çalışma türündeki yüzde makine gücünü göstermektedir.

Gemideki ana makinenin gücü 1610 kW, yardımcı makinenin gücü 165 kW, gemideki jeneratörlerin gücü 47 kW alınmaktadır.

Gemideki ana makinenin yükü seyir esnasında %80, manevra esnasında iken ise %40 olarak alınmaktadır (Atar vd. (2013)). Konteyner gemisinin manevra süresi ise 2 saat kabul edilmektedir.

## Bulgular ve Tartışma

Bu makalede yük taşımacılığının başlangıç yeri Hatay olarak düşünüldüğünde, varış yerinin Trabzon olması taşımacılık özelliklerinin incelenmesi açısından oldukça karakteristik bir örnek olacaktır. Hatay'dan Trabzon'a demiryolu ile taşımacılık yapmak ulaşım altyapısı açısından uygun değildir. Aynı zamanda denizyolları ile taşımacılık yapmakta ulaşım mesafesinin uzamasından dolayı incelemeye değerdir. Tablo 1'de Hatay ve Trabzon arasında geliştirilen rotalar verilmektedir. Tablo 2'de ise belirlenen rotaların ulaşım modlarına göre mesafe dağılımları incelenmektedir.

**Tablo1.** Hatay-Trabzon arası geliştirilen rotalar ve mod değişim noktaları

| Ulaşım Rotası      | Başlangıç Noktası | 1. Ulaşım Modu | 1. Mod Değişim Noktası | 2. Ulaşım Modu | Varış Noktası |
|--------------------|-------------------|----------------|------------------------|----------------|---------------|
| Unimodal Karayolu  |                   | Karayolu       | -                      | -              |               |
| Unimodal Denizyolu | Hatay             | Denizyolu      | -                      | -              | Trabzon       |
| Multimodal 1       |                   | Demiryolu      | Erzurum                | Karayolu       |               |
| Multimodal 2       |                   | Demiryolu      | Kars                   | Karayolu       |               |
| Multimodal 3       |                   | Demiryolu      | Samsun                 | Denizyolu      |               |

**Tablo 2.** Hatay-Trabzon arası geliştirilen rotaların ulaşım modlarına göre mesafe dağılımları

| Ulaşım Rotası      | Mesafe       |                |                |
|--------------------|--------------|----------------|----------------|
|                    | Karayolu(km) | Denizyolu(mil) | Demiryolu (km) |
| Unimodal Karayolu  | 911          | -              | -              |
| Unimodal Denizyolu | 25,2         | 1402,22        | -              |
| Multimodal 1       | 251          | -              | 942            |
| Multimodal 2       | 414          | -              | 1159           |
| Multimodal 3       | 27,10        | 160,73         | 1019           |

## Yakıt Tüketimi Hesabı

### a) Hatay-Trabzon arası unimodal karayolu

Karayolu taşımacılığında yakıt tüketimini yükün ağırlığı etkilediği için hesaplar üç farklı yük tonajı için yapılmaktadır. Denklem 1'e göre

Hatay-Trabzon arasında karayolu taşımacılığında yakıt tüketimi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$YT_{kara} = ((YM)/(MY) \times (YT_{max} - YT_{min}) + YT_{min}) \times (M/100)$$

$$=(911/100) \times ((5/26) \times (40-30) + 30) = 290,82 \text{ lt}$$

dizel

10 ton yük taşınmasında;

$$YT_{kara} = ((YM)/(MY) \times (YT_{max} - YT_{min}) + YT_{min}) \times (M/100)$$

$$=(911/100) \times ((10/26) \times (40-30) + 30) = 308,34 \text{ lt}$$

dizel

14 ton yük taşınmasında;

$$YT_{kara} = ((YM)/(MY) \times (YT_{max} - YT_{min}) + YT_{min}) \times (M/100)$$

$$=(911/100) \times ((14/26) \times (40-30) + 30) = 322,35 \text{ lt}$$

dizel

5 ton yük taşınırken taşıt 290,82 lt, 10 ton yük taşınırken 308,34 lt, 14 ton yük taşınırken 322,35 lt dizel yakıt tüketmektedir. Yük ağırlığının 5 tondan 10 tona çıkması ile yakıt tüketiminde %6 artış gözlenmektedir. 14 ton taşınması ile ise taşıtın yakıt tüketimi 5 tona kıyasla %10,8 artmaktadır.

#### b) Hatay-Trabzon arası unimodal denizyolu

Hatay ve Trabzon arasında denizyolu taşımacılığı için yakıt tüketimi hesaplanırken öncelikle geminin seyir süresi belirlenmektedir. Daha sonra Denklem 2 referans alınarak denizyolu taşımacılığında yakıt tüketimi hesaplanmaktadır.

$$\text{Seyir Süresi} = \text{mesafe/hız} = (1402,22/25)/24$$

$$= 2,34 \text{ gün}$$

Seyirde Yakıt Tüketimi;

$$\text{Ana makine; } 500 \times 2,34 = 1170 \text{ ton fuel oil}$$

$$\text{Yardımcı makine; } 30 \times 2,34 = 70,2 \text{ lt dizel}$$

$$\text{Limanda Yakıt Tüketimi} = 45 \times 3 = 135 \text{ lt dizel}$$

$$YT_{deniz} = (SAM_{GYT} \times SS + SYM_{GYT} \times SS + LYM_{GYT} \times LBS) / KS = (1170 \times 1000 + 70,2 + 135) / 10000 = 117,02 \text{ lt/konteyner}$$

Denizyolu taşımacılığında yakıt tüketimi 0,138 lt/konteyner hesaplanmaktadır. Görüldüğü gibi bir konteynerin karayolunda taşınması ile bir konteynerin denizyolunda taşınması karşılaştırıldığında yakıt tüketiminde oldukça fark oluşmaktadır.

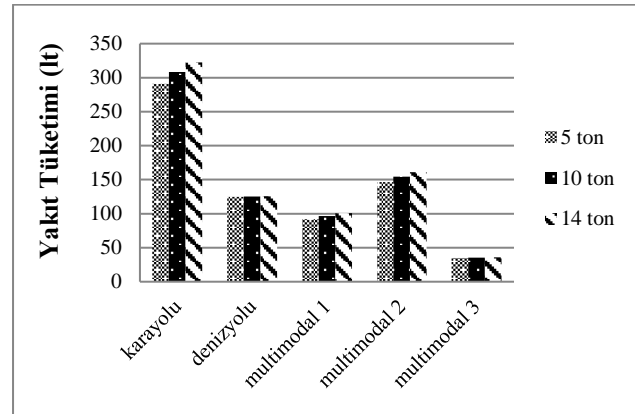
#### c) Hatay-Trabzon arası unimodal demiryolu

Hatay-Trabzon arasında yapılan yük taşımacılığında unimodal demiryolu taşımacılığı yapılamamaktadır. Multimodal 1 güzergâhı içerisinde bulunan 942 km demiryolu taşımacılığının yakıt tüketimi hesabı Denklem 3'e göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Konteyner başı yakıt tüketimi;

$$YT_{demir} = ((M/100) \times OYT) / KS = [(942/100) \times 100] / 80 = 11,78 \text{ lt/konteyner dizel}$$

Demiryolu taşımacılığında 11,78 lt/konteyner dizel yakıt yaktığı hesaplanmaktadır. Diğer unimodal ulaşım türleri ile karşılaştırıldığında yakıt tüketimi bakımından karayolu taşımacılığına kıyasla daha avantajlı çıkmaktadır. Fakat denizyolu taşımacılığı, demiryolu taşımacılığına göre yakıt tüketimi açısından daha avantajlıdır. Tabii ki ulaşım coğrafyasının bunun üzerinde önemli bir etkisi vardır.



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

Hatay ve Trabzon 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 yakıt tüketimini çok etkilememektedir. Minimum yakıt tüketimi ise multimodal 3 rotasında hesaplanmaktadır. Multimodal3 rotasında üç taşımacılık türünün dengeli kullanımı ile unimodal denizyolu

taşımacılığındaki yakıt tasarrufunun da önüne geçilmektedir.

### Maliyet Hesabı

#### a) Hatay-Trabzon arası unimodal karayolu

Hatay'dan Trabzon'a 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;

$$M_{kara} = Y_{T_{kara}} \times Y_{F_{dizel}} + S_{DG} \times Y_{M} \times S_{S} \\ = 290,82 \times 5,1 \text{ TL/l} + 5 \text{ t} \times 5 \text{ TL/t} \times 1 = 1508,18 \text{ TL}$$

10 ton yük taşınmasında;

$$M_{kara} = Y_{T_{kara}} \times Y_{F_{dizel}} + S_{DG} \times Y_{M} \times S_{S} \\ = 308,34 \times 5,1 \text{ TL/l} + 10 \text{ t} \times 5 \text{ TL/t} \times 1 = 1622,53 \text{ TL}$$

14 ton yük taşınmasında;

$$M_{kara} = Y_{T_{kara}} \times Y_{F_{dizel}} + S_{DG} \times Y_{M} \times S_{S} \\ = 322,35 \times 5,1 \text{ TL/l} + 14 \text{ t} \times 5 \text{ TL/t} \times 1 = 1713,99 \text{ TL}$$

Yük tonajının 5 tondan 10 tona çıkartılması ile birlikte maliyette %7,6, yükün 14 tona çıkması ile ise %13,65 artış görülmektedir. Yükün ağırlığı 3 kat artmasına rağmen maliyet artışı %15'in altında gözlenmektedir.

#### b) Hatay-Trabzon arası unimodal denizyolu

Denizyolu taşımacılığında konteynerin ağırlığı hesaba katılmamaktadır. Ağırlığın 5, 10, 14 ton olması maliyeti etkilememektedir. Konteyner bazında hesap yapılmaktadır. Aşağıda Hatay'dan Trabzon'a denizyolu ile giden bir yük için konteyner başı maliyet hesabı verilmektedir.

$$M_{deniz} = (Y_{T_{ana}} \times F_{OF} + Y_{T_{yardımcı}} \times D_{F}) / K_{S} + Y_{B} + T_{H} + L_{GÇ} + G_{EG} \\ = (1170 \times 1000 \times 2,56 + 205,2 \times 3,45) / 10000 + 352 + 137,2 + 98 + 6,16 \times (1,23 + 3) = 906,68 \text{ TL/konteyner}$$

Denizyolu taşımacılığında maliyeti etkileyen en önemli parametreler limanda alınan

hizmetlerden oluşmaktadır. Karayolu taşımacılığı ile karşılaştırıldığında denizyolu taşımacılığı ile yaklaşık 3,2 kat maliyette tasarruf sağlanmaktadır.

#### c) Hatay-Trabzon arası demiryolu

Aşağıda Hatay ve Trabzon arasında yapılacak Multimodal İtaşımacılığın demiryolu maliyet hesabı aşağıda verilmektedir. TCDD'nin İstasyonlar Arası Mesafe ve Taşıma Ücreti Raporundan alınan ton başı birim fiyat tarifesine göre bu iki nokta arası maliyet 82,95 TL/t hesaplanmaktadır. Bu iki nokta arası 942 km olarak bulunmakta ve bu nedenle kıymet primi yükün değerinin 1/1000'i alınmaktadır.

5 ton yük için;

$$M_{demir} = T_{BF} \times Y_{M} + K_{P} = \\ 82,95 \times 5 + 40000 \times 1/1000 = 454,75 \text{ TL}$$

10 ton yük için;

$$M_{demir} = T_{BF} \times Y_{M} + K_{P} = 82,95 \times 10 + 145000 \times 1/1000 = 974,50 \text{ TL}$$

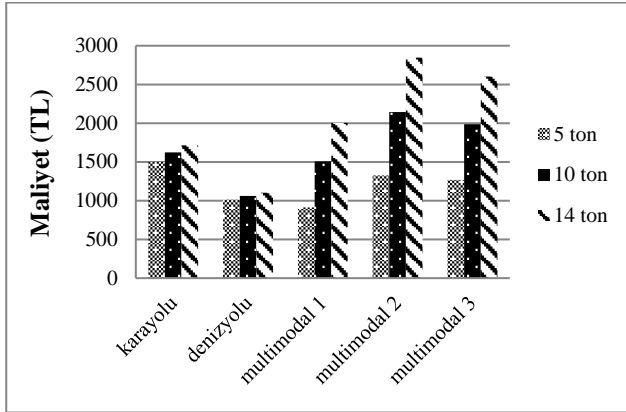
14 ton yük için;

$$M_{demir} = T_{BF} \times Y_{M} + K_{P} = 82,95 \times 14 + 250000 \times 1/1000 = 1411,30 \text{ TL}$$

Yükün 5 tondan 10 tona çıkması ve mali değeri 40.000 TL'den 145.000 TL'ye çıkması ile taşıma maliyeti %114 artmaktadır. Yük tonajı 14 ton ve mali değeri 250.000 TL olması ile maliyet %210 artmaktadır. Burada görüldüğü gibi demiryollarında yükün kıymet değeri, maliyeti önemli ölçüde etkilemektedir. Şekil 2'de ulaşım modlarına ve yük tonajına göre maliyet analizi verileri görülmektedir. Grafik incelendiğinde denizyolu ulaşım türünün diğer türlere göre en ucuz taşımacılık olduğu açıkça görülmektedir. En maliyetli taşımacılık ise 5 ton yük için karayolu, 10 ve 14 ton yük için ise multimodal 2 ile yapılmaktadır. Karayolunda maliyetleri arttıran en önemli faktör yakıt tüketimidir. Multimodal taşımacılık rotalarında ise maliyetleri yükselten en önemli etkilerden biri demiryolu taşımacılığında alınan kıymet primi ücretidir. Bu konuda yapılacak kıymet primi düzenlemeleri ile mali değeri yüksek olan



ürünlerin demiryolu ile taşınmasına teşvik edilmesi sağlanabilmektedir.



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

### Zaman Hesabı

Her güzergâh için materyal metotta verilen taşımacılık süresi formülleri kullanılarak zaman hesapları aşağıdaki gibi yapılmaktadır. Deniz yolu rotasında liman faaliyetlerini aksatabilecek operasyonel ve iklimsel gecikmelerin yaşanmadığı kabul edilerek  $\lambda$  katsayısı 1 alınmaktadır.

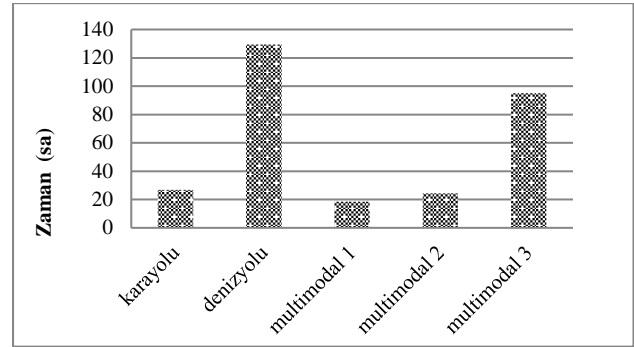
*Hatay-Trabzon arası Unimodal Karayolu için;*  
 $TS_{kara} = M/H + SDS + YBS = (911 \text{ km}) / (80 \text{ km/sa}) + 45 \text{ dk} + 30 \text{ dk} + 14,25 \text{ sa} = 26,89 \text{ sa}$

*Hatay-Trabzon arası Unimodal Denizyolu için;*  
 $TS_{deniz} = M/H + \lambda \times YBS = (1402,22 \text{ mil}) / (25 \text{ knots}) + 1 \times 3 \text{ gün} \times 24 = 128,09 \text{ sa}$

*Hatay-Trabzon arası Multimodal 1 Güzergahı içerisinde bulunan demiryolu için;*  
 $TS_{demir} = M/H + YBS = (942) / (70 \text{ km/sa}) + 45 \text{ dk} = 14,21 \text{ sa}$

Hatay-Trabzon arasında tasarlanan güzergâh senaryolarının seyahat süreleri değerleri Şekil 3'te karşılaştırılmaktadır. En hızlı taşımacılık 18,34 sa ile multimodal1 rotasında yapılmaktadır. Karayolu rotasının, multimodal1 rotasına göre daha uzun sürmesinin nedeni yasal sürücü araç kullanma süresi kısıtlarından kaynaklanmaktadır. Multimodal1 rotasında ise demiryolu- karayolu kombinasyonu ile

sürücünden kaynaklı gecikmeler minimize edilmektedir. Denizyolu taşımacılık rotasının nakliye süresi açısından olumsuz çıkmasının nedeni ise liman yükleme boşaltma ve liman operasyonel süreçlerden kaynaklanmaktadır. Nakliye süresi, rota seçimini etkileyen ürünlerin taşınmasında denizyolu taşımacılığı çok tercih edilmeyen bir ulaşım türü olduğu sonuçlar ışığında desteklenmektedir.



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

### Emisyon Hesabı

Hatay ve Trabzon arasında gerçekleştirilen güzergahlardan unimodal taşımacılıklara ait emisyon hesapları aşağıdaki gibi yapılmaktadır. Emisyon hesabında karayolu ve demiryolu taşımacılığında yükün tonajı dikkate alınırken, denizyolu taşımacılığında gemide çalışan makine türlerine bağlı olarak emisyon hesabı yapılmaktadır.

a) *Hatay-Trabzon arası unimodal karayolu taşımacılığı için emisyon hesabı*

*5 ton yük için;*  
 $EF = T \times M \times e / (1\,000\,000) = 5 \times 911 \times 151,1 / 1000000 = 0,688 \text{ gr/t-km}$   
 $E = YM \times D \times EF = 5 \times 911 \times 0,688 = 3133,84 \text{ gr}$

*10 ton yük için;*  
 $EF = T \times M \times e / (1\,000\,000) = 10 \times 911 \times 151,1 / 1000000 = 1,38 \text{ gr/t-km}$   
 $E = YM \times D \times EF = 10 \times 911 \times 1,38 = 12571,80 \text{ gr}$

*14 ton yük için;*  
 $EF = T \times M \times e / (1\,000\,000) = 14 \times 911 \times 111,8 / 1000000 = 1,43 \text{ gr/t-km}$

$$E=YM \times D \times EF=14 \times 911 \times 1,43= 18238,22 \text{ gr}$$

b) Hatay-Trabzon arası Multimodal 1 taşımacılık içerisindeki demiryolu taşımacılığı için emisyon hesabı

5 ton yük için;

$$EF= T \times M \times e / (1\ 000\ 000) =$$

$$5 \times 942 \times 22 / 1000000 = 0,104 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF=5 \times 942 \times 0,104= 489,84 \text{ gr}$$

10 ton yük için;

$$EF= T \times M \times e / (1\ 000\ 000) =$$

$$10 \times 942 \times 22 / 1000000 = 0,207 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF=10 \times 942 \times 0,207= 1949,94 \text{ gr}$$

14 ton yük için;

$$EF= T \times M \times e / (1\ 000\ 000) =$$

$$14 \times 942 \times 22 / 1000000 = 0,290 \text{ gr/t-km}$$

$$E=YM \times D \times EF=14 \times 942 \times 0,290= 3824,52 \text{ gr}$$

c) Hatay-Trabzon arası unimodal denizyolu taşımacılığı için emisyon hesabı

Seyirde Emisyon Miktarı;

$$\text{Ana makine; } E=T \times P \times EF \times MY$$

$$=2,34 \times 1610 \times 672 \times 0,80= 2025354,24 \text{ g/sefer}$$

$$\text{Yardımcı makine; } E=T \times P \times EF \times MY$$

$$=2,34 \times 165 \times 672 \times 0,80=207567,36 \text{ g/sefer}$$

$$E_{\text{seyir}} = 2025354,24 + 207567,36 = 2232921,6$$

g/sefer

Manevrada Emisyon Miktarı;

$$\text{Ana makine; } E=T \times P \times EF \times MY$$

$$=1/12 \times 1610 \times 730 \times 0,40= 39176,67 \text{ g/manevra}$$

$$\text{Yardımcı makine; } E=T \times P \times EF \times MY$$

$$=1/12 \times 165 \times 730 \times 0,80=8030 \text{ g/manevra}$$

$$E_{\text{manevra}} = 39176,67 + 8030 = 47206,67$$

g/manevra

Limanda Emisyon Miktarı;

$$\text{Jeneratörler; } E_{\text{liman}}=T \times P \times EF \times MY$$

$$=5,34 \times 47 \times 672 \times 0,80=134926,85 \text{ g/liman}$$

Denizyolunda Toplam Emisyon Miktarı;

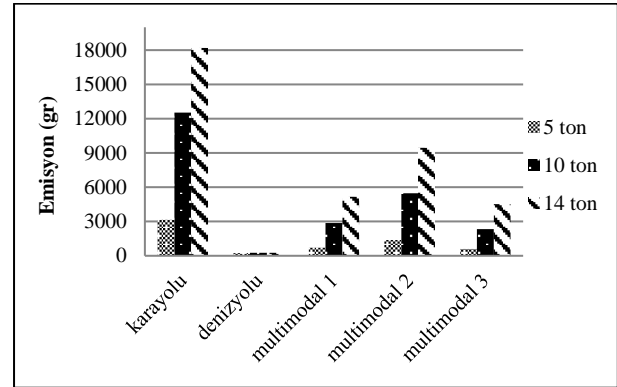
$$E_{\text{deniz(gemi)}}=E_{\text{seyir}}+E_{\text{manevra}}+E_{\text{liman}}=2232921,6+47$$

$$017,84+134926,85=2414866,29 \text{ g/gemi}$$

$$E_{\text{deniz(konteyner)}}=2414866,29/10000=241,49$$

g/konteyner

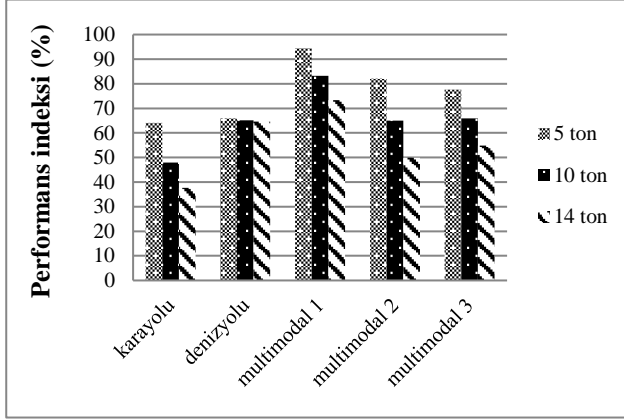
Şekil 4'te ulaşım modları ve taşınan yükün ağırlığına bağlı olarak hesaplanan emisyon miktarları verilmektedir. Grafik incelendiğinde minimum emisyon miktarı unimodal denizyolu taşımacılığında görülmektedir. En fazla CO<sub>2</sub> salınımı ise 18238,22 gr ile 14 ton yükün karayolu ile taşınmasında gerçekleşmektedir. Multimodal taşımacılık güzergahı incelendiğinde, karayolu taşımacılığına kıyasla daha az emisyon salınımı hesaplanmaktadır. Bunun nedeni ise multimodal taşımacılık güzergahının ağırlıklı denizyolu taşımacılığında oluşmasından kaynaklanmaktadır. Ülkemizde yurtiçi yük taşımacılığında ağırlıklı karayolunun tercih edilmesinden dolayı, taşımacılıktan kaynaklanan emisyon değerleri oldukça yüksek çıkmaktadır. Taşımacılığın denizyoluna kaydırılması CO<sub>2</sub> salınımının indirgenmesinde oldukça etkili olacağı açık bir şekilde görülmektedir.



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

Hatay ve İzmir arasında geliştirilen güzergâh senaryolarının dört karar değişkenine bağlı olarak hesaplanan performans indeksi değerleri Şekil 5'deki grafikte görülmektedir. Grafığe göre performansı en yüksek güzergâh 5, 10 ve 14 ton için sırasıyla %94,38, %83,26, %73,31 performans ile multimodal 1 taşımacılık rotası en verimli çıkmaktadır. Bunun nedeni karar değişkenleri ayrı ayrı incelendiğinde multimodal 1 rotasının performans bakımından birinci yada ikinci sırada olmasından kaynaklanmaktadır. Rota içerisinde demiryolu

ve karayolu taşımacılık türlerinin ulaşım coğrafyasına bağlı olarak dengeli bir şekilde kullanımı, rotayı performans indeksi bakımından en üst sıraya taşımaktadır. En verimsiz güzergâh ise grafikte görüldüğü gibi tüm yük birimleri içinde karayolu taşımacılık güzergâhıdır.



Şekil 5. Hatay-Trabzon performans indeksi

## Sonuç

Bu çalışmada unimodal ve multimodal taşımacılık güzergâhları yakıt tüketimi, maliyet, zaman ve emisyon karar değişkenlerine ve performans indeksine bağlı olarak değerlendirilmektedir. Vaka analizi olarak Türkiye'nin güneyinden kuzeyine yük taşımacılığı yapılarak güney-kuzey doğrultusundaki ulaşım coğrafyasının etkisine bakılmaktadır. Bunun için Hatay ve Trabzon arasında rota optimizasyonu yapılmaktadır.

Güzergâhlardaki taşıtların yakıt tüketimi incelendiğinde en az tüketim 34,79-35,74 litre dizel ile multimodal 3 rotasında hesaplanmaktadır. İkinci en az yakıt tüketimi ise 91,90-100,59 litre ile multimodal 1 güzergâhında yakıt tüketimi hesaplanmaktadır. Rotalar içerisinde en fazla yakıt tüketimi 290,82-322,35 litre ile karayolu taşımacılık güzergâhındadır. En az tüketimin multimodal 3 rotasında görülmesinin nedeni üç ulaşım türünün dengeli bir şekilde kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Denizyolu taşımacılığının üçüncü sırada yer almasının nedeni ise ulaşım coğrafyasının etkilerinin görülmesinden

kaynaklanmaktadır. Türkiye'nin yarım ada olmasından dolayı denizyolu ile yük Türkiye'nin üç tarafını dolanmaktadır. Multimodal taşımacılık ile unimodal demiryolu taşımacılığı yapılamayan Hatay-Trabzon arasında Samsun'a kadar demiryolu taşımacılığı ve sonrasında denizyolu taşımacılığı ile yakıt verimliliği arttırılmaktadır.

Nakliye maliyetleri karşılaştırıldığında en ekonomik taşımacılık 5 ton yük için 913,40 TL ile multimodal 1 rotasıyla, 10 ve 14 ton yük için ise 1062,29 TL ve 1104,267 TL ile unimodal denizyolu rotasında yapılmaktadır. Maliyeti en yüksek rota ise 5 ton yük için 1508,18 TL ile karayolu güzergâhı, 10 ve 14 ton yük için ise 2145,23 TL ve 2843,95 TL ile multimodal 2 güzergâhı çıkmaktadır. Multimodal güzergâhlar içerisindeki demiryolu taşımacılığı yük tonajı ve değeri arttıkça maliyette ani sıçramalar meydana gelmektedir. Demiryolu taşımacılığındaki kıymet priminde azaltmaya gidilmesi maliyetlerin iyileştirilmesinde önemli etkiye sahip olacaktır.

Taşımacılık süreleri ele alındığında en hızlı taşımacılık 18,35 saat ile multimodal 1 rotasında yapılabilmektedir. Unimodal demiryolu taşımacılığının yapılamadığı Hatay'dan Trabzon'a, demiryolu ulaşım türünün avantajları multimodal taşımacılık ile sağlanabilmektedir. Rotalar içerisinde diğer karar değişkenleri bakımından avantajlı olsa da unimodal denizyolu taşımacılığı 129,40 saat ile en yavaş rota çıkmaktadır.

Rotalarda taşıt tipine bağlı olarak hesaplanan emisyon değerlerine bakıldığında en çevre dostu güzergâh 243,10-252,13 gram CO<sub>2</sub> salınımı ile denizyoludur. Çevreye en çok zarar veren rota ise 3135,03-18185,89 gram CO<sub>2</sub> ile karayolu güzergâhıdır. Multimodal taşımacılık rotaları ise karayoluna kıyasla daha çevre dostu güzergâhtır. Ülkemizde yaygın bir taşımacılık türü olan karayolu taşımacılığının çevreye oldukça zararlı olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Kurumların izleyeceği çevre politikaları doğrultusunda ileride karayolu taşımacılığının seçimi azalmaya gidecektir.

Dört karar değişkeni aynı anda değerlendirilerek güzergâhlar değerlendirildiğinde 5, 10 ve 14 ton yük taşınmasında %94,37, %83,26, %73,31 performans indeksi ile multimodal 1 güzergâhı, en uygun çıkmaktadır. İki unimodal taşımacılığın yapılabildiği bu iki il arasında unimodal taşımacılıkların uygun çıkmadığı görülmektedir. Güney-Kuzey doğrultusundaki ulaşım kısıtlarının multimodal taşımacılık rotaları ile aşıldığı görülmektedir. Yük aktarma istasyonlarındaki organizasyonların artırılması, nakliye firmalarının kurumsallaşması ile birlikte multimodal taşımacılığa yönelimin artacağı açık bir şekilde görülmektedir.

## Kaynaklar

- Atar, F. (2013). *Kısa Mesafe Deniz Taşımacılığının Avantajları ve Kombine Taşımacılıktaki Önemi*, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Atar, F., Aydoğdu, Y. V., Duru, O., Şenol, Y. E. (2013). Kısa Mesafe Deniz Taşımacılığının Avantajları ve Kombine Taşımacılıktaki Önemi Üzerine Bir Çalışma. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 5(1), 75-91.
- Ateş, A., Karadeniz, Ş., Esmir, S. (2010). Dünya Konteyner Taşımacılığı Pazarında Türkiye'nin Yeri, *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 2( 2), 83-98.
- Cansız, O. F. (2007). Enerji Politikalarının Ulaştırma Sistemlerinin Optimizasyonu ile Geliştirilmesi ve Uygulamadan Elde Edilen Getirilerin Ortaya Konması, Yayınlanmış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Cansız, O. F., Arslan, T., Çubuk, M. K., Çalışıcı, M. (2008a). Türkiye Demiryollarında Enerji Tüketim Analizi. 2. *International Railway Symposium & Trade Exhibition, Istanbul*, 287-306.
- Cansız, O. F., Arslan, T., Çubuk, M.K., Çalışıcı, M. (2008b). Yük Taşımacılığında Demiryollarından Uzaklaşan Türkiye'nin Enerji Kaybının İncelenmesi. 2. *International Railway Symposium & Trade Exhibition*, 241-254.
- Cansız, O. F., Çubuk, M. K., Çalışıcı, M. (2009). An Energy Analysis of Road Transportation in Turkey, *Proceedings of The 3rd International Conference on Energy and Development - Environment - Biomedicine*, 91-95.
- Cansız, O. F., Göçmen, S. (2018). Distance Analysis of Multimodal Transportation Based on Traveling Salesman Problem with Particle Swarm Optimization Method. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 5(6),1-6.
- Cansız, O. F., Ünsalan, K. (2018) Cost Analysis of Multimodal Freight Transportation : A Case of Iskenderun. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 5(5), 315-319.
- Cansız, O. F., Ünsalan, K., Çalışıcı, M., Göçmen, S. (2018a). Şehirlerarası Güzergâh Performans İndeksinin Çok Türlü Taşımacılık Baz Alınarak Analiz Edilmesi: Analiz Parametrelerinin Oluşturulması ve AUS Entegrasyonu. 1. *Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi*, 213-214.
- Cansız, Ö. F., Ünsalan, K., Çalışıcı, M., Göçmen, S. (2018b). Şehirlerarası Taşımacılık Performansı İndeksinin Çok Türlü Taşımacılık Baz Alınarak Analiz Edilmesi: Çok Türlü Güzergâhların Tasarımı ve AUS Entegrasyonu. 1. *Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi*, 5-8.
- Cansız, O. F., Ünsalan, K., Çalışıcı, M., Göçmen, S. (2018c). Çok Türlü Taşımacılık Güzergâhlarının Gezgini Satıcı Problemleri Baz Alınarak Tasarlanması: Güzergâhların Optimizasyonu ve Akıllı Ulaşım Sistemlerine

- Entegrasyonu. *1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi*, 58-59.
- Çubuk, K., Cansız, O. F. (2005a). Türkiye’de Ulaşım Sistemleri Arasındaki Enerji Durumu, 24. Enerji Verimliliği Haftası Etkinlikleri, 17-18.
- Çubuk, K., Cansız O.F. (2005b). Energy Status Between Transportation System in Turkey. The Energy Efficiency Conference, Ministry of Energy and Natural Resources, 47-49.
- Fremont, A., Franc, P. (2010). Hinterland Transportation in Europe: Combined Transport Versus Road Transport. *Journal of Transport Geography*, 18(4), 548–556.
- İnternet- Araç Kullanma ve Dinlenme Sürelerine Uyuma Mecburiyeti ve Denetleme Esasları. URL: <https://www.tugem.com.tr/mevzuat?mlid=2528>, Son Erişim Tarihi: 10.04.2018
- İnternet- Şehirlerarası çift yönlü karayollarında hız sınırı. URL: [www.kgm.gov.tr](http://www.kgm.gov.tr), Son Erişim Tarihi: 15.04.2018
- İnternet- URL: [railturkeyakademi.wordpress.com](http://railturkeyakademi.wordpress.com), Son Erişim Tarihi:28.04.2018
- İnternet- Guidelines for Measuring and Managing CO<sub>2</sub> Emission from Freight Transport Operations. URL: [www.cefic.org](http://www.cefic.org), Son Erişim Tarihi: 02.05.2018.
- İnternet- Demiryolu ve Karayolu Taşımacılığında Karşılaştırma. URL: <http://www.ustaokan.com/?Syf=26&Syz=530815>, Son Erişim Tarihi: 22.05.2018.
- Kishimoto, P. N., Karplus, V. J., Zhong, M., Saikawa, E., Zhang, X., Zhang, X., (2017). The Impact of Coordinated Policies on Air Pollution Emissions from Road Transportation in China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 54, 30-49.
- Nas, S. (2010) “Konteyner Gemileri İçin İstatistiksel Bilgiler” 15.Kasım.2010, İzmir, [www.nasmaritime.com](http://www.nasmaritime.com).
- Saatçioğlu, C., Saygılı, M. S. (2013). İntermodal Taşımacılıkta Denizyolu- Demiryolu Entegrasyonunun Ekonomik ve Çevresel Açından Değerlendirilmesi. *Journal of ETA Maritime Science*, 1(2), 19-26.
- Sarıoğlu, D. Ö., Özdemir, M. (2016). Lojistik Süreçte Yeni Bir Uygulama ve Sektörün Bakışı: Akıllı Konteyner. *Adnan Menderes Üniversitesi Akademik Bilişim Konferansı*, 1-8.
- TCDD (2018). TCDD Liman Hizmetleri Tarifesi.
- TÜİK (a) (2005). Sektörlere ve Kullanım Alanlarına Göre Nihai Enerji Tüketimi.
- Yang, H., Chen, W., (2017). Retailer-driven Carbon Emission Abatement with Consumer Environmental Awareness and Carbon Tax: Revenue-sharing Versus. *Omega*, 78, 179-191.

## Case study with the performance index of multimodal transport routes for the filter material: Hatay-Trabzon

### Extended abstract

*In this study, unimodal and multimodal transport routes are compared. The effect of transportation geography is very important in route optimization. In this study from south to north route selection in Turkey is examined routes depending on the selection different criteria. For this purpose, a case study is carried out for the filter load carried from Hatay to Trabzon. Two possible unimodal and three multimodal route routes are created for this purpose. Routes are analyzed based on performance criteria such as fuel consumption, cost, transport time, carbon dioxide emission.*

*When the fuel consumption of the vehicles on the routes is examined, the minimum fuel consumption is calculated with 34.79-35.74 liters of diesel on the multimodal 3 route. The second, 91.90-100.59 liters, calculates the minimum fuel consumption on the unimodal sea route. The highest fuel consumption is 290.82-322.35 liters on the road transportation route.*

*Compared to transportation costs, the most economical transportation is the sea route with a cost range of 1062.29-1104.27TL for 10 and 14 tons freight. The highest cost for 5 tons of freight is the highway route with a cost of 1508.18 TL. The most costly route for 10 and 14 tons of freight is the multimodal 2 route with a cost of 2145.23 TL and 2843.95TL. As the freight tonnage and value increase in the rail transport within the multimodal routes, there are sudden increases in the cost. Reducing the asset premium in railway transportation will have a significant effect on improving costs.*

*When the transportation times are considered, the fastest transportation can be done on the multimodal route with 18.35 hours. Unimodal rail transport cannot be done from Hatay to Trabzon, the advantages of the rail transport can be provided with multimodal transportation. Although it is advantageous in terms of other decision variables within the routes, unimodal maritime transport is the slowest route with 129.40 hours.*

*Considering the emission values calculated according to the vehicle type in the routes, the most environmentally friendly route is sea with 243.10-252.13 grams CO<sub>2</sub> emission range. The most damaging route is the highway route with a range of 3135.03-18185.89 grams CO<sub>2</sub>. Multimodal transport routes are a more environmentally friendly route compared to roads.*

*When the routes are compared according to the performance index values, the highest performance route is the multimodal 1 route with a 94.37%-73.31% performance range. Due to multimodal transport, the positive aspects of transportation types can be revealed between the two points where unimodal transport cannot be carried out and negative situations can be eliminated. Due to the failure of unimodal railway transportation between Hatay and Trabzon, the positive aspects of railway transportation can only be reflected on routes by using multimodal transportation.*

**Keywords:** Multimodal transport; Route optimization; Unimodal transport; Freight transport