

## ÇOK MODLU TAŞIMACILIK SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONUNA YÖNELİK BİR UYGULAMA

Sevgi EŞİYOK<sup>1</sup>  
Mert DEMİRCİOĞLU<sup>2</sup>

### ÖZ

Hizmet faaliyetlerinin büyük bir kısmını oluşturan lojistik ve taşımacılık faaliyetleri, işletmelerin rekabet gücü ve müşterilerin memnuniyeti açısından büyük bir öneme sahiptir. Dağıtım ağlarında karşılaşılan problemler ve gün geçtikçe artan şirketler arası rekabet lojistik sistemlerini daha karmaşık hale getirmiştir. Bu karmaşık sistem içerisinde müşteri memnuniyetinin gerçekleştirilmesi ve rekabet üstünlüğünün sağlanabilmesi için belirli performans kriterlerinin sağlanması gerekmektedir. Söz konusu performans kriterlerinin sağlanabilmesi için lojistik kaynakların ve zamanın en uygun şekilde kullanılması gerekir. Bu çalışmada bir lojistik firmasının yerel depo ile başlayıp talep noktaları ile son bulan, dört aşamadan oluşan üç farklı taşıma ağı senaryosu çözümlenmeye çalışılmıştır. Taşıma ağının farklı aşamalarında kara yolu, deniz yolu ve demir yolu taşıma modları kullanılmıştır. Taşıma ağının farklı aşamalarında kullanılan taşıma modları ve farklı aşamalarda alternatif lokasyonların seçimi için bir doğrusal programlama modeli oluşturulup toplam taşıma süresi minimize edilmeye çalışılmış, tedarik ve talep noktaları arasındaki her aşamada taşınan yük optimize edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çok Modlu Taşımacılık, Araç Rotalama, Lojistik Sistemleri

## AN APPLICATION FOR OPTIMIZATION OF MULTIMODAL TRANSPORTATION SYSTEMS

### ABSTRACT

Logistics and transportation activities which constitute a large part of service activities, are significant in terms of competitiveness of enterprises and customer satisfaction. Problem in distribution networks and increasing intercompany competition have made logistics systems more complex. In this complex system, it is necessary to provide specific performance criteria in order to achieve customer satisfaction and to gain competitive advantage. In order to achieve this performance, logistics resources and time should be used properly. In this study, three different transportation network scenarios consisting of four stages, starting with the local warehouse of the logistics company and ending with the demand points, were tried to be solved. Highway, seaway and railway transportation mode had been used at the different stages of transportation network. For the transportation modes used at the different stages of the transportation network and the selection of alternative locations at the different stages, a linear programming model was created and the total transportation time was tried to be minimized, therefore the cargo load carried at each stage between the supply and demand points was optimized.

**Keywords:** Multi-modal transportation, Vehicle Routing, Logistics Systems

---

<sup>1</sup> Yüksek Lisans Öğrencisi, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, sevgiesiyok@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0208-6242.

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Çukurova Üniversitesi, İ.İ.B.F., İşletme Bölümü, mdemircioglu@cu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2287-2067.

Received/Geliş: 22/01/2020 Accepted/Kabul: 03/03/2020, Research Article, Araştırma Makalesi  
Cite as/Alıntı: Eşiyok, S., Demircioğlu, M. (2020), "Çok Modlu Taşımacılık Sistemlerinin Optimizasyonuna Yönelik Bir Uygulama", *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, cilt 29, sayı 1, s. 256-269.

## Giriş

Tedarik zinciri yönetimi uzmanları konseyine (Council of Supply Chain Management Professionals - CSCMP) göre lojistik, tedarik zinciri yönetiminin bir parçasıdır. Malların hammadde aşamasından son kullanıcıya kadar akış ve dönüşümü ile ilgili tüm faaliyetleri kapsar (CSCMP, 2020). Lojistik ve yük taşımacılığı bir ülkenin ekonomisi üzerinde önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle bir ülkenin üretim, tüketim, ticaret gibi faaliyetlerinin etkili bir biçimde sağlanabilmesi için hammaddeden başlayıp nihai ürün hatta satış sonrası hizmetler gibi adımlarla devam eden bir zincir içerisindeki tüm aşamalarda sistemler ve zamanlamalar doğru planlanmalıdır. Doğru planlanmayan ve etkin olmayan her sistem hem ülkeye hem de lojistik firmasına ekstra bir maliyet yaratmaktadır.

Taşıma ve ulaştırma maliyetleri bir firmanın maliyetleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple firmaların dolayısıyla ülkelerin rekabet ortamındaki yerinin belirlenmesinde direkt bir etkiye sahiptir. Taşımacılık sektörünün mali açının yanında belirli bir hizmet kalitesini de sağlaması gerekmektedir.

Ülkeler ve firmalar maliyetlerini düşürmek, hizmet kalitelerini artırmak için gerçekleştirdikleri alanlardaki hizmet sürelerini minimuma indirmeyi amaçlamalıdır. İntermodal taşımacılık yapan bir lojistik firması taşımacılıkta kullandığı her taşıma modundaki aktivite sürelerini planlamalıdır. Deniz yolu taşımacılığı, intermodal taşımacılıkta çok sık kullanılan bir taşıma modu olmakla birlikte, çok fazla hazırlık ve depolama sürelerinin bulunduğu bir taşımacılık modudur. Firmalar, uluslararası çok modlu taşımacılıkta gerçekleşen toplam süreleri azaltmak için deniz yolu taşımacılığında süre kaybı yaşatan işlemlere yoğunlaşmalıdır. Konteynerlerin bloklarda hızlı depolanması ve alınması konteyner terminallerinin ekonomik performansı ve hizmet kalitesi için gereklidir (Bazzazi, Safaei ve Javadian, 2009, s.44). Bir limanın verimliliği genellikle işlem süresi ve gemilerin geri dönüş süresi ile ölçülür. Yüksek maliyetler nedeniyle yüksek geri dönüş süreleri liman işletmeciliğinde kabul edilemez. (Chen, Bostel, Dejax, Cai, ve Xi, 2007, s.40).

Üretim sistemlerindeki çıkmazlar, bugüne kadar birçok araştırmacı tarafından incelenirken lojistik sistemlerindeki çıkmazlar pek fazla önemsenmemiştir (Lehman, Grunow ve Günther, 2006, s.632). Dağıtıcı firmalar ürün dağıtımını yaparken herhangi bir matematiksel model yardımı olmadan, geleneksel yöntemler kullanarak dağıtım yaptıkları için yüksek maliyetlere katlanmak zorunda kalmaktadırlar. Gün geçtikçe artan müşteri talep ve istekleri şirketleri daha sıkı bir rekabet ortamına sürüklemekte, taleplere cevap verme hızı önem kazanmakta, bu durumun maliyetler üzerindeki etkileri de artmaktadır. Etkin bir sistem kullanmak firmaya hem maliyet açısından hem de zaman açısından büyük yararlar sağlayacaktır.

Çalışmada intermodal taşımacılık üzerinde durularak çok modlu taşımada kullanılan dağıtım türleri üzerine bir çalışma yapılmıştır. İntermodal taşıma yapan bir firmada dağıtım işlemi süresince görülen sorunlar üzerinde entegre bir matematiksel model hazırlanarak çözümlenmeye çalışılmıştır.

### **Kavramsal Çerçeve**

Çok modlu taşımacılık sistemleri, arz noktalarından talep noktalarına kadar birden fazla aşamadan oluşur. Bu alanla ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde genellikle çok modlu taşımacılık sisteminin aşamalarında ortaya çıkan problemlerle ilgili ayrı ayrı yöntemler geliştirildiği görülmektedir. Bu bölümde literatürde yer alan çalışmalar yöntem ve metotlarına göre sınıflandırılarak değerlendirilmiştir.

Wilson vd. (2001) çalışmalarında birçok limana uğrayan bir konteyner gemisinde konteynerler için uygun bir yerleşim planı bulmaya çalışmışlar ve bunun için de Dal-Sınır Algoritması ve Tabu Arama Algoritması'nı kullanmışlardır. Bish vd. (2005) çalışmalarında konteynerlerin depo alanlarında düzenlenmesi üzerinde çalışmışlar ve gelen konteynerlerin alanlarda belirlenen yere atanması ve taşıyıcı araçların da konteynerlere atanması problemlerine çözüm aramışlardır. Ayrıca boşaltma zamanlarının ve depo alanı ile ritim arasındaki mesafenin en küçüklenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Problemin çözümü için Sezgisel Yöntemleri kullanmışlardır. Castilho vd. (1993) çalışmalarında elleçleme hareket sayısı ve alan miktarını minimize etmeye çalışırken konteyner elleçleme ve depolama stratejilerinden yararlanmışlardır. Konteyner depolama alanlarında depo düzenlerini belirlemede ve konteynerleri geliş zamanlarına göre gruplandırma ve ayırmada simülasyon tekniğinden yararlanmışlardır. Bruzzone vd. (1998) çalışmalarında konteynerlerin terminalde yerleşimini planlamışlar ve çözüm için yine simülasyon yöntemini kullanmışlardır.

Ng vd. (2005) çalışmalarında istif vinci işlemlerinde darboğaz oluşturan işlemler üzerinde yoğunlaşmışlar ve hazırlık sürelerini minimize etmeye çalışmışlardır. İşlem sürelerinin alt ve üst sınırlarını saptamışlar ve bunları yaparken de Dal-Sınır Algoritması yöntemini kullanmışlardır. Zhang vd. (2003) yine çalışmalarında terminaldeki konteynerlerin oluşturduğu dar boğazlar üzerinde yoğunlaşmışlar, çalışmalarında ithal, ihraç ve transit konteynerlerin aynı blokta istiflendiği kompleks bir terminalde depolama yeri belirleme problemi üzerinde çalışmışlar ve problemi iki aşamada çözmüşlerdir. İlk aşamada bloklar arasındaki iş yükü dengelenmiş, ikinci aşamada ise gemi ile bloklar arasındaki taşıma mesafesi minimum edilmeye çalışılarak konteynerler bloklara atanmıştır. Kim vd. (2004) çalışmalarında gemilerin çevrim sürelerini kısaltmak, gemilere daha etkin yükleme yapmak için konteynerlerin yerleşimini düzenlemek gibi konulara yer vermişlerdir. Problem çözüm yöntemi olarak Dinamik Programlama ve Ulaştırma Modeli yöntemini kullanmışlardır.

Newman vd. (2000) çalışmalarında demir yolu ağırlıklı intermodal taşımacılık üzerinde durmuşlardır. Trenlerin çizelgelenmesi ve konteynerlerin atanması problemlerine çözüm aramışlardır. Teslim sürelerini, trenlerin çalışmasının sabit maliyetlerini ve konteynerlerin birim taşınma maliyetlerini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Zhang vd. (2002) çalışmalarında istif vinçlerinin günlük periyottaki iş yüklerini göz önüne alarak gecikme zamanlarını minimize etmeye çalışmışlardır. Problemi çözerken ise Karma Tamsayı Programlama kullanmışlardır. Alattar (2003) çalışmasının içeriğini genişleterek Almanya'dan Türkiye'ye ithal edilen malların dağıtım ağı üzerinde gerçekleştirmiş, tüm taşıma ağındaki süreçleri göz önünde bulundurarak ağ üzerindeki yükleme, depolama ve

boşaltma sürelerini minimize etmeye çalışmıştır.

### **Matematiksel Model**

Dinamik kapsamlı lojistik verilerin analizi, var olan sistemlerin takibi, değerlendirilmesi ve mevcut verilerinin işlenmesi için literatürde çeşitli çalışmalar yapılmış ve yöntemler geliştirilmiştir. Her geçen gün değişen koşul ve ihtiyaçlara göre değişiklik gösteren veriler, en makul ve etkili çözümleri ortaya koymak için sürekli takip edilmeli, yeni metotlar oluşturulmalıdır.

Çalışma kapsamında incelenen geçmiş yöntem ve metotlar ışığında firma için yeni bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Uygulamada kullanılan çok modlu ve çok aşamalı matematiksel model aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

**İndis Seti:** Doğrusal programlama modelinin belirlenen indis seti aşağıdaki gibidir.

i: Yerel Depolar (1:Mersin, 2:İzmir, 3:Yalova, 4:İstanbul)

j: Birinci Aktarma Merkezleri (1:Trieste, 2:Halkalı)

k: İkinci Aktarma Merkezleri (1:Sopron, 2:Viyana, 3:Lüksemburg)

l: Talep Noktaları (1:Londra, 2:Paris, 3:Brüksel, 4:Amsterdam, 5:Köln)

p: Ürün Tipi

**Parametreler:** Doğrusal programlama modelinde toplam taşıma, aktarma ve istifleme sürelerinin minimizasyonu için belirlenen parametreler aşağıdaki gibidir.

$D_{pl}$  : l talep noktasının talep ettiği p ürünü miktarı

$X_{pi}$  : i yerel deposunun arz miktarı

### **Taşıma Süreleri**

$Rt_{pij}$ : p ürününü i yerel deposundan j birinci aktarma merkezine kara yolu ile taşıma süresi (saat/ürün)

$St_{pij}$ : p ürününü i yerel deposundan j birinci aktarma merkezine deniz yolu ile taşıma süresi (saat/ürün)

$Tt_{pjk}$  : p ürününü j birinci aktarma merkezinden k ikinci aktarma merkezine demir yolu ile taşıma süresi (saat/ürün)

$Rt_{pkl}$ : p ürününü k ikinci aktarma merkezinden l talep noktasına kara yolu ile taşıma süresi (saat/ürün)

### **Aktarma Süreleri**

$Ra_{pi}^{I,bos}$  : i yerel deposundan kara yolu ile gidecek p ürününün yerel depoda boşaltılma süresi (saat/ürün)

$Sa_{pi}^{I,bos}$  : i yerel deposundan deniz yolu ile gidecek p ürününün yerel depoda boşaltılma süresi (saat/ürün)

$Ra_{pi}^{I,yuk}$  : i yerel deposundan kara yolu ile gidecek p ürününün yüklenme süresi (saat/ürün)

$Sa_{pi}^{I,yuk}$  : i yerel deposundan deniz yolu ile gidecek p ürününün yüklenme süresi (saat/ürün)

$Ra_{pj}^{I,bos}$  : Kara yolu ile j aktarma merkezine gelen p ürününün boşaltılma süresi (saat/ürün)

$Sa_{pj}^{J,bos}$ : Deniz yolu ile j aktarma merkezine gelen p ürününün boşaltılma süresi (saat/ürün)

$Ta_{pj}^{J,yuk}$ : Demir yolu ile j aktarma merkezinden gidecek olan p ürününün yüklenme süresi (saat/ürün)

$Ra_{pk}^{K,bos}$ : Demir yolu ile k aktarma merkezine gelen p ürününün boşaltılma süresi (saat/ürün)

$Ra_{pk}^{K,yuk}$ : Kara yolu ile k aktarma merkezinden l talep noktasına gidecek olan p ürününün yüklenme süresi (saat/ürün)

#### Depolanma Süreleri

$Rd_{pi}^I$ : Kara yolu ile gidecek p ürününün i yerel deposunda depolanma süresi (saat/ürün)

$Sd_{pi}^I$ : Deniz yolu ile gidecek p ürününün i yerel deposunda depolanma süresi (saat/ürün)

$Rd_{pj}^J$ : Kara yolu ile gelen p ürününün j aktarma merkezinde depolanma süresi (saat/ürün)

$Sd_{pj}^J$ : Deniz yolu ile gelen p ürününün j aktarma merkezinde depolanma süresi (saat/ürün)

$Td_{pk}^K$ : Demir yolu ile gelen p ürününün k aktarma merkezinde depolanma süresi (saat/ürün)

#### Kapasiteler

$A_j$ : j birinci aktarma Merkezinin kapasitesi (konteyner)

$B_k$ : k ikinci aktarma Merkezinin kapasitesi (konteyner)

**Karar Değişkenleri:** Doğrusal programlama modelinde toplam taşıma, aktarma ve istifleme sürelerinin minimizasyonu için belirlenen karar değişkenleri aşağıdaki gibidir.

$R_{pij}$ : i yerel deposundan j birinci aktarma merkezine kara yolu ile taşınan p ürünü miktarı

$S_{pij}$ : i yerel deposundan j birinci aktarma merkezine deniz yolu ile taşınan p ürünü miktarı

$T_{pjk}$ : j birinci aktarma merkezinden k ikinci aktarma merkezine demir yolu ile taşınan p ürünü miktarı

$R_{pkl}$ : k ikinci aktarma merkezinden l talep noktasına kara yolu ile taşınan p ürünü miktarı

**Amaç Fonksiyonu:** Çalışmada taşıma süreleri ile aktarma ve istifleme süreleri toplamının minimizasyonu amaçlanmıştır. Bu amaç fonksiyonlarının matematiksel ifadeleri aşağıda verilmiştir.

**Taşıma Süreleri Minimizasyonu:** İlgili matematiksel ifade, tüm rota boyunca toplam taşıma süresini minimize eder. Taşıma süreleri, denklem (1)'deki gibi hesaplanıp minimize edilmiştir. Toplam taşıma süresi, birim taşıma zamanı ile belirlenen zaman içerisinde taşınacak tüm yük miktarının çarpımı sonucunda elde edilir.

$$\begin{aligned}
 & \min z \\
 & = \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (Rt_{pij} R_{pij}) + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (St_{pij} S_{pij}) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (Tt_{pjk} T_{pjk}) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L (Rt_{pkl} R_{pkl}) \tag{1}
 \end{aligned}$$

**Aktarma-İstifleme Süreleri Minimizasyonu:** Aktarma merkezleri ve yerel depolarda yüklerin boşaltılması, bu alanlarda depolanması ve tekrar yüklenmesi sırasında geçen yük başına birim zamanlar ile bu işlemlere tabi tutulan yük miktarlarının çarpımı sonucu elde edilen toplam süredir (2).

$$\begin{aligned}
 & \min z \\
 & = \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J ( Ra_{pi}^{I,bos} + Rd_{pi}^I ) R_{pij} \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J ( Sa_{pi}^{I,bos} + Sd_{pi}^I ) S_{pij} + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J ( Ra_{pi}^{I,yuk} R_{pij} ) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J ( Sa_{pi}^{I,yuk} S_{pij} ) \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J ( Ra_{pj}^{J,bos} + Rd_{pj}^J ) R_{pij} \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J ( Sa_{pj}^{J,bos} + Sd_{pj}^J ) S_{pij} + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Ta_{pj}^{J,yuk} T_{pjk} \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K ( Ta_{pk}^{K,bos} + Td_{pk}^K ) T_{pjk} \\
 & + \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L Ra_{pk}^{K,yuk} R_{pkl}
 \end{aligned}$$

Çalışma kapsamında denklem (1) ve (2)'deki süreler birleştirilip toplam süre için

minimum değer bulunmaya çalışılmıştır.

**Matematiksel Modelin Kısıtları:** Modelin amaç fonksiyonlarının optimizasyonu sırasında dikkate alınması gereken kısıtlar aşağıda sıralanmıştır.

**Birinci Aktarma Merkezine Gelen-Giden Yük Miktarının Eşitliği Kısıtı:** Birinci aktarma merkezleri olan Trieste limanı ve Halkalı demir yolu istasyonuna gelen ve giden yük miktarları eşit olmalıdır. Ancak Trieste limanına kara yolu ile Halkalı demir yolu istasyonuna ise deniz yolu ile ulaşım yoktur. Bu nedenle kısıt deniz yolu ulaşımı kısıtı (3) ve kara yolu kısıtı (4) olarak iki kısımda incelenmiştir.

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I S_{pi1} = \sum_{p=1}^P T_{p13} \quad \forall p$$

$\in P$

Deniz yolu ile birinci aktarma merkezine (Trieste) taşınan her ürün miktarı Trieste limanından demir yolu ile taşınan ürün miktarına eşit olmalıdır (3).

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I R_{pi2}$$
$$= \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^2 T_{p2k} \quad \forall p$$

$\in P$

Karayolu ile birinci aktarma merkezine (Halkalı) taşınan her ürün miktarı Halkalı demir yolu istasyonundan demir yolu ile taşınan ürün miktarına eşit olmalıdır (4).

**İkinci Aktarma Merkezine Gelen-Giden Yük Miktarının Eşitliği Kısıtı:** Birinci aktarma merkezlerinden çıkan toplam ürünler ikinci merkezlerine gelen toplam ürün miktarına eşit olmalıdır. Ancak Trieste limanından Sopron ve Viyana demir yolu istasyonlarına gönderim yoktur. Aynı şekilde Halkalı demir yolu istasyonundan Lüksemburg demir yolu istasyonuna gönderim yoktur. Bu sebeple ikinci aktarma merkezlerine gelen ve giden yük miktarlarının eşitliği kısıtları ayrı ayrı ele alınmıştır.

Demir yolu ile Sopron istasyonuna gelen yük miktarı kara yolu ile talep noktalarına gönderilen yük miktarlarına eşit olması kısıtı denklem (5)'te gösterilmektedir.

$$\sum_{p=1}^P T_{p21} = \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L R_{p1l} \quad \forall p$$

$\in P$

Demir yolu ile Viyana istasyonuna gelen yük miktarı karayolu ile talep noktalarına gönderilen yük miktarlarına eşit olmalıdır (6).

$$\sum_{p=1}^P T_{p22} = \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L R_{p2l} \quad \forall p$$

$\in P$

Demir yolu ile Lüksemburg istasyonuna gelen yük miktarı buradan kara yolu ile talep noktalarına gönderilen yük miktarlarına eşit olması kısıtı denklem (7)'de gösterilmektedir.

$$\sum_{p=1}^P T_{p13} = \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L R_{p3l} \quad \forall p$$

$\in P$

**Birinci Aktarma Merkezinin Kapasitesi Kısıtı:** Birinci aktarma merkezlerine gönderilen ürünlerin tamamı aynı taşıma modu ile taşınmamaktadır. Bir kısmı deniz yolu bir kısmı kara yolu ile taşınmaktadır. Bu yüzden farklı taşıma modları ile taşınan ürün miktarları farklı kapasite alanlarına göre değerlendirilmiştir.

Deniz yolu ile taşınan ürünlerin miktarı Trieste limanının kapasitesini geçemez (8).

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I S_{pi1} \leq A1 \quad \forall p \in P \quad \text{ve} \quad \forall i$$

$\in I$

(8)

Kara yolu ile taşınan ürün miktarı Halkalı demir yolu istasyonunun kapasitesini geçemez (9).

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I R_{pi2} \leq A2 \quad \forall p \in P \quad \text{ve} \quad \forall i$$

$\in I$

(9)

**İkinci Aktarma Merkezinin Kapasitesi Kısıtı:** İkinci aktarma merkezlerine taşınan ürünlerin hepsi aynı rotayı kullanmamaktadır. Bu nedenle ikinci aktarma merkezlerinin kapasite kısıtları farklı durumlarda incelenmiştir.



Demir yolu ile Halkalı demir yolu istasyonundan Sopron demir yolu istasyonuna gelen ürün miktarı Sopron demir yolu istasyonunun kapasitesini geçemez (10).

$$\sum_{p=1}^P T_{p21} \leq B1 \quad \forall p$$

$\in P$

Demir yolu ile Halkalı demir yolu istasyonundan Viyana demir yolu istasyonuna gelen ürün miktarı Viyana demir yolu istasyonunun kapasitesini geçemez (11).

$$\sum_{p=1}^P T_{p22} \leq B2 \quad \forall p$$

$\in P$

Demir yolu ile Trieste limanından Lüksemburg demir yolu istasyonuna gelen ürün miktarı Lüksemburg demir yolu istasyonunun kapasitesini geçemez (12).

$$\sum_{p=1}^P T_{p13} \leq B3 \quad \forall p$$

$\in P$

**Arz Miktarlarının Yerel Depolardan Her Bir Ürün Tipi için Gönderilen Miktarla Eşit Olması Kısıtı:** Müşteriler tarafından yerel depolara getirilip teslim edilen ürün miktarları yerel depolardan deniz yolu ve kara yolu ile taşınacak olan toplam ürün miktarına eşit olmalıdır (13).

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J R_{pij} + \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J S_{pij} = X_{pi} \quad \forall p \in P \text{ ve } \forall i \in I \quad (13)$$

**Her Talep Noktasının Her Ürün Tipi İle İlgili Toplam Talebinin Karşlanması Kısıtı:** Talep noktalarının her ürün tipi için talebi ikinci aktarma merkezinden kara yolu ile taşınan toplam ürün miktarına eşit olmalıdır (14).

$$\sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L R_{pkl} = D_{pl} \\ \in L$$

$$\forall p \in P \text{ ve } \forall l$$

(14)

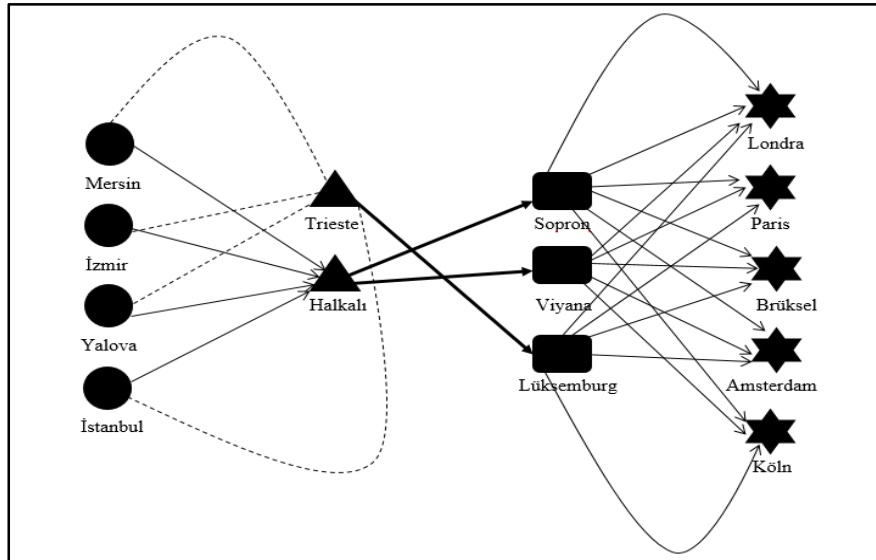
### Uygulama

Bu çalışmada uluslararası modlar arası taşımacılık yapan bir işletmede uygulama gerçekleştirilmiştir. Firmanın belirlenen hat üzerindeki mevcut rotasına ve modlarına alternatif yollar aranmaya çalışılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

Firma, farklı işletmelerin parsiyel yüklerini toplayarak taşımalarını gerçekleştirmektedir. Mevcut durumda Mersin, İzmir, Yalova ve İstanbul'daki yerel depolarda yükler teslim alınıp deniz yolu ile ilk aktarma merkezi olan Trieste'ye getirilir. Trieste'ye gelen ürünler demir yolu ile Lüksemburg'a getirilir ve buradan kara yolu ile Londra, Paris, Brüksel, Amsterdam ve Paris'teki talep noktalarına dağıtımı yapılır.

Çalışmada mevcut rotaya alternatif iki tane ek rota belirlenmiştir. Ürünler, yerel depolardan kara yolu ile Halkalı demir yolu istasyonuna getirilip buradan demir yolu ile Avrupa'daki aktarma merkezleri olan Sopron ve Viyana'ya gönderilebilir. Son aşama olarak bu merkezlerden kara yolu ile talep noktalarına ürün dağıtımı yapılabilir. Arz noktalarından talep noktalarına kadar her aşamadaki taşıma ağları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çalışmada belirlenen üç farklı rotaya ve üç farklı talep miktarına göre model, Gams paket programı ile kodlanıp çözdürülmüş ve çıkan sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmıştır.



**Şekil 1.** Alternatif Taşıma Ağları Yapısı

Firmanın bu rotada taşıdığı ürün miktarının %50'si otomotiv sektörü ürünleridir. Otomotiv ürünleri içerisinde ise taşıma yoğunluğu en fazla olan dört ürün çeşidi seçilmiştir. Ürünlerin taşınma yüzdeleri Tablo-1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Ürünlerin Taşınma Yüzdeleri

Ürün	Taşınma Yüzdesi
1	45
2	30
3	15
4	10

Her ürünün fiziksel özellikleri farklıdır. Bu özelliklere göre 1 konteynere yüklenebilecek ürün miktarı Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Talep Edilen Ürünlerin Özellikleri

Ürün	Ağırlık	Konteynere Yüklenebilecek Ürün Miktarı
1	1 ton	10
2	1,5 ton	5
3	0,5 ton	15
4	0,4 ton	20

Trieste limanının konteyner kapasitesi 2000 adet, Halkalı istasyonunun konteyner kapasitesi 500 adet, Sopron istasyonunun konteyner kapasitesi 1000 adet, Viyana istasyonunun konteyner kapasitesi 1000 adet ve Lüksemburg istasyonunun konteyner kapasitesi ise 1000 adettir.

Ürünlerin talep miktarları çeşitli sebeplerden farklılık gösterebilmektedir. Mevcut talep miktarına (1.senaryo), mevcut talep miktarının arttığı (2.senaryo) ve azaldığı (3.senaryo) durumlara göre model Gams paket programında kodlanmış ve çözdürülmüştür. Farklı senaryolardaki arz miktarları Tablo 3'te, talep miktarları ise Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Farklı Senaryolarda Arz Miktarları (Konteyner)

Arz Noktaları	1.Ürün			2.Ürün			3.Ürün			4.Ürün		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mersin	41	50	30	30	40	20	24	35	30	11	25	5

İzmir	61	70	40	50	50	20	20	30	10	20	35	15
Yalova	50	60	30	60	60	10	26	45	25	18	40	10
İstanbul	100	220	50	84	100	50	44	90	35	23	50	20
<b>Toplam (adet)</b>	<b>252</b>	<b>400</b>	<b>150</b>	<b>224</b>	<b>250</b>	<b>100</b>	<b>114</b>	<b>200</b>	<b>100</b>	<b>72</b>	<b>150</b>	<b>50</b>

**Tablo 4.** Farklı Senaryolarda Talep Miktarları (Konteyner)

Talep Noktaları	1.Ürün			2.Ürün			3.Ürün			4.Ürün		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>Senaryo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Londra	100	200	20	24	30	15	35	35	5	18	25	5
Paris	64	65	30	80	90	5	21	80	15	25	50	6
Brüksel	23	30	30	60	70	25	22	35	20	12	20	4
Amsterdam	35	35	20	40	40	35	20	30	25	8	10	16
Köln	30	70	50	20	20	20	16	20	35	9	45	19
<b>Toplam (adet)</b>	<b>252</b>	<b>400</b>	<b>150</b>	<b>224</b>	<b>250</b>	<b>100</b>	<b>114</b>	<b>200</b>	<b>100</b>	<b>72</b>	<b>150</b>	<b>50</b>

Birinci senaryoda arz noktalarından talep noktalarına haftada toplam 662 adet konteyner taşınmaktadır. 662 adet konteyner talebine göre model kodlanıp çözdürülmüş ve optimal sonuç bulunmuştur. Optimal çözüme göre belirlenen talep miktarının talep noktalarına ulaştırılmasında hem kara yolu hem de deniz yolu kullanılmıştır. Mersin ve Yalova şehirlerinden sadece kara yolu ile taşıma olurken İzmir ve İstanbul şehirlerinden ise hem kara yolu hem deniz yolu ile taşıma olmuştur. Ürünlerin birinci aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine taşınmasında demir yolu kullanılmış, Halkalı-Sopron hattı kullanılmamıştır. Ürünlerin ikinci aktarma merkezlerinden talep noktalarına dağıtımını kara yolu ile yapılmış, dağıtımın tamamı Viyana ve Lüksemburg şehirlerinden gerçekleştirilmiştir.

İkinci senaryoda haftalık taşıma miktarının arttığı ve 1000 konteyner olduğu duruma göre model, Gams paket programı ile kodlanıp çözdürülmüştür. Çıkan optimal çözüme göre ürünler, birinci aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine taşınırken hem deniz yolu hem kara yolu kullanılmıştır. Mersin ve Yalova illerinden kara yolu ile taşıma yapılırken İzmir'den sadece deniz yoluyla, İstanbul'dan ise hem deniz yolu hem kara yolu ile taşıma yapılmıştır. Ürünlerin birinci aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine taşınmasında demir yolu kullanılmış, Halkalı-Sopron hattı kullanılmamıştır. Ürünlerin ikinci aktarma merkezlerinden talep noktalarına dağıtımını kara yolu ile yapılmış, dağıtımın tamamı Viyana ve Lüksemburg şehirleri üzerinden gerçekleştirilmiş Sopron şehrinden taşıma olmamıştır.

Üçüncü senaryoda haftalık taşıma miktarının azaldığı ve 400 konteyner olduğu

varsayılmış ve model, Gams paket programı ile kodlanıp çözdürülmüştür. Çıkan optimal sonuca göre ürünler, birinci aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine taşınırken sadece kara yolu kullanılmıştır. Ürünler, tüm şehirlerden kara yolu ile Halkalı demir yolu istasyonuna getirilmiştir. Birinci aktarma merkezi olan Halkalı demir yolu istasyonundan ikinci aktarma merkezlerine ürün taşımada demir yolu kullanılmış, ürünlerin taşınmasında sadece Halkalı-Viyana hattı kullanılmıştır. Ürünlerin tamamı kara yolu ile Viyana üzerinden talep noktalarına dağıtılmıştır.

### **Sonuç ve Tartışma**

Taşımacılık ve lojistik sistemleri, üretim ve hizmet sektörünün önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Toplam maliyetler açısından ciddi bir bölüme sahip olan taşımacılık faaliyetlerinde yapılacak en ufak bir iyileştirme büyük maliyet tasarruflarını getirecektir.

Bu çalışmada, Türkiye ve dünyada her geçen gün daha da gelişen taşımacılık sektörünü yakından ilgilendiren çok modlu taşımacılık ağları ile ilgilendirilmiştir. Özellikle uluslararası ve geniş bir coğrafi alanda yapılan uzun taşımalarda ürünlerin taşınması yapılırken birçok problemle karşılaşmaktadır. Ürünler birçok aşamadan geçerken farklı kriterlere göre farklı taşıma modları seçilebilmektedir. Taşıma ağlarının oluşturulmasında etkili olan avantaj ve dezavantajlar göz önüne alınarak bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir.

Modelin geliştirilme sürecinde modların avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurulurken aynı zamanda talep noktalarının talep miktarları da dikkate alınmıştır. Artan ve azalan talep miktarlarına göre ağı yoğunluğu değişebilmektedir. Bu sebeple mevcut, artan ve azalabilecek talep miktarlarına göre farklı durumlar incelenmiştir.

Çalışmada lojistik firması için tasarlanan model, talep miktarlarının değiştiği üç farklı senaryo için Gams paket programı ile kodlanıp çözümlenerek üç farklı senaryo için optimal sonuca ulaşılmıştır. Talep miktarının haftada 662 konteyner olduğu ilk senaryoda ve 1000 konteyner olan ikinci senaryoda, ürünler yerel depolardan birinci aktarma merkezlerine taşınırken hem kara yolu hem de deniz yolu kullanılmıştır. Ürünlerin birinci aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine taşınmasında demir yolu kullanılmış ancak Halkalı-Sopron hattı kullanılmamıştır. İkinci aktarma merkezlerinden talep noktalarına ürünlerin taşınmasında kara yolu kullanılmış, dağıtımın tamamı Viyana ve Lüksemburg şehirlerinden gerçekleştirilmiştir. Üçüncü senaryoda ise haftalık taşıma miktarının azaldığı ve 400 konteyner olduğu varsayılmıştır. Ürünler, birinci aktarma merkezlerinden ikinci aktarma merkezlerine taşınırken sadece kara yolu kullanılmıştır. Birinci aktarma merkezi olan Halkalı demir yolu istasyonundan ikinci aktarma merkezlerine ürün taşımada demir yolu kullanılmış, ürünlerin taşınmasında sadece Halkalı-Viyana hattı kullanılmıştır. Ürünlerin tamamı kara yolu ile Viyana üzerinden talep noktalarına dağıtılmıştır.

Bu çalışmanın bir yandan firmalara zaman tasarrufu sağlaması beklenirken bir yandan da bundan sonra bu alanlarda gerçekleştirilecek olan bilimsel çalışmalara referans olması umulmaktadır. Önerilen model esnek yapıdadır. Model, uygulamada bahsi geçen firmanın özel durumları ve rotaları için düzenlenmiştir. Aynı model başka bir işletmenin kendi özel

durumları, rotaları, amacı, değişkenleri ve kısıtlarına göre uyarlanarak kullanılabilir.

### **Kaynaklar**

- Alattar, M.A., (2003). Multiobjective optimization for intermodal container freight terminals: mathematical modeling of transport and operations. University of Southern California.
- Bazzazi, M., Safaei, N., Javadian, N. (2009). A genetic algorithm to solve the storage space allocation problem in a container terminal. *Computers & Industrial Engineering*, 56, 44–52
- Bish, E.K., Chen, F.Y., Leong, Y.T., Nelson, B.L., Cheong, J.W., Levi, D.S. (2005). Dispatching vehicles in a mega container terminal. *OR Spectrum* 27, 491-506.
- Bruzzone, A. and Signorille, R. (1998). Simulation and genetic algorithms for ship planning and shipyard layout. *Simulation*, No: 71 (2), 74-83.
- Castilho, B. D. Daganzo, C. F. (1993). Handling strategies for import containers at marine terminals. *Transportation Research*, 27 (2), 151-166.
- Chen, L., Bostel, N., Dejax, P., Cai, J., Xi, L. (2007). A tabu search algorithm for the integrated scheduling problem of container handling systems in a maritime terminal. *European Journal of Operational Research*, Volume 181, Issue 1, 40-58.
- CSCMP (2020). <https://cscmp.org/> (Ziyaret Tarihi: 20.01.2020)
- Guo, X., Huang, S. Y., Hsu, W. J., Low, M. H. Y. (2011). Dynamic yard crane dispatching in container terminals with predicted vehicle arrival information. *Advanced Engineering Informatics*, 25, 472–484.
- Kim, K.H., Bae, J.W. (2004). A look-ahead dispatching method for automated guided vehicles in automated port container terminals. *Transportation Science* 38, 224–234.
- Lehmann, M., Grunow, M., Günther, H.O. (2006). Deadlock handling for real-time control of AGVs at automated container terminals. *OR Spectrum* 28, 631-657.
- Newman, A.M., Araiyo, C., (2000). Scheduling direct and indirect trains and containers in an intermodal setting. *Transportation Science*, 34(3), 256–270.
- Ng, W. C., Mak, K. L. (2005). Yard crane scheduling in port container terminals. *Applied Mathematical Modelling*, 29, 263–276
- Wilson, I. D., Roach, P. A., Ware, J. A. (2001). Container stowage pre-planning: using search to generate solutions a case study. *Elsevier, Knowledge Based Systems*, 14, 137-145.
- Zhang, C., Wan, Y., Liu, J., Linn, R. J. (2002). Dynamic crane deployment in container storage yards, *Transportation Research Part B*, 36, 537–555.
- Zhang C., Liu J., Wan Y., Murty K. G., Linn R. J. (2003). Storage space allocation in container terminals. *Transportation Research Part B: Methodological*, 37(10), 883- 903.