

## YÜK TAŞIMACILIĞINDA HETEROJEN FİLOLU HAVA ARAÇLARININ ROTALANMASI

Ömer Osman DURSUN<sup>1</sup>  
Anadolu Üniversitesi/ Havacılık ve Uzay Bil.  
Fak., Eskişehir

Asuman ÖZGER<sup>2</sup>  
Anadolu Üniversitesi / Havacılık ve Uzay Bil.  
Fak., Eskişehir

### ÖZET

*Küreselleşme ile birlikte artan rekabet ortamında firmalar kârlarını arttırmak ve maliyetlerini azaltmak için başvurdukları bir faktör olarak lojistik gittikçe önem kazanan bir faaliyet alanıdır. Lojistik faaliyeti içerisinde en önemli yeri taşımacılık oluşturmaktadır. Son yıllarda özellikle yüklerin bir yerden bir yere ulaştırılmasında hız, zaman ve güvenlik önem kazanmıştır. Çalışmanın amacı genellikle karayolu araçlarında kullanılan matematiksel modellerin havacılık alanına uygulanarak heterojen filolu hava araçlarının yük taşımacılığında en küçük maliyetle rotalanmasını sağlamaktır. Yük taşımacılığını kapsayan bu çalışma ile genel itibarıyla; lojistik ve kargo işletmelerinin kaynaklarını etkin ve verimli bir şekilde kullanmalarının sağlanması, dolayısıyla kargo işletmelerinin maliyetlerinin azaltılmasının yanı sıra ülke kaynaklarının tasarruflu bir şekilde kullanılması amaçlanmaktadır. Sözü edilen kapsamda yapılacak bu çalışma ile maliyetin en küçüklenmesi amacı altında bir kargo ağında birden fazla hava aracı türü kullanılarak taşınacak yükün hızlı ve güvenilir bir şekilde alıcılara ulaştırılmasını esas alan araç rotalama problemine yönelik bir matematiksel modelin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Araç Rotalama Problemleri (ARP) genelde belirleyici polinom zamanlı çözümü zor (NP hard) olan problemlerdir. Araştırılan problemin matematiksel model çözümünde genel matematiksel modelleme sistemi programı GAMS (General Algebraic Modelling System) kullanılacaktır. Oluşturulan matematiksel modelin çözümünde üç tip uçak kullanılmıştır. Yük miktarına ve maliyetlere göre matematiksel model kullanılarak uçak tipinin belirlendiği görülmüştür.*

### GİRİŞ

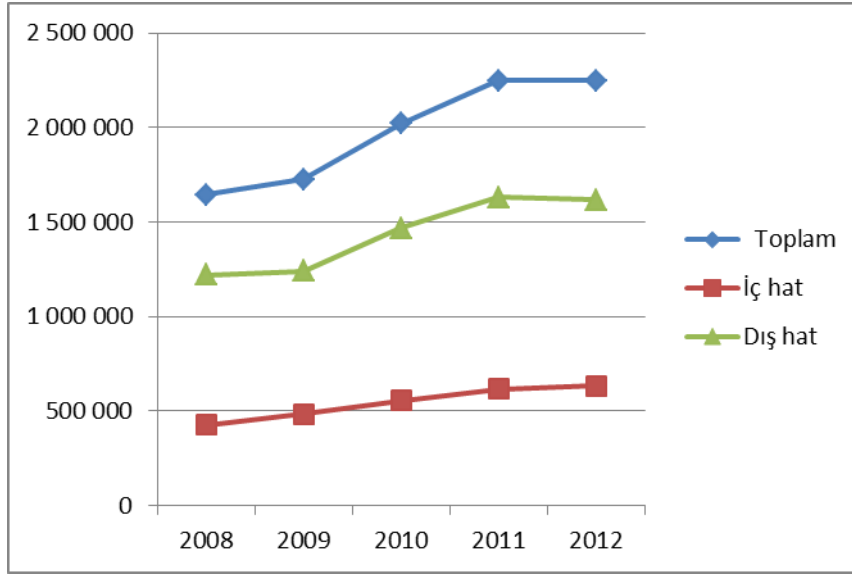
Küreselleşme ile birlikte artan rekabet ortamında firmalar maliyetlerini aza maliyetlerini azaltıp kazançlarını arttırmak için başvurdukları bir faktör olarak lojistik, gittikçe önem kazanan bir faaliyet alanıdır. Lojistik, müşterilerin taleplerini karşılayacak şekilde ürünün, başlangıç noktasından tüketilme noktasına kadar olan depolama, taşıma, dağıtım, eğer uluslararası ticaret söz konusuysa gümrükleme, sigortalama ve teslim faaliyetlerinin tümü olarak adlandırılmaktadır. Lojistik hem yerel hem de özel sektörde yönetim bilgisiyle ilişkili olan malzeme ya da yük akışının kontrolü veya planlanması ile ilişkilidir. Lojistiğin görevi doğru malzeme ile doğru yer ve zamanda en uygun performans ölçütleri ve en uygun maliyetle yerine getirmektir [Ghiani, Laporte, Musmanno 2004]. Genellikle lojistik kavramı ile karıştırılan taşımacılık, lojistiğin en önemli faaliyet alanını oluşturmaktadır.

Taşımacılık, yolcuların ya da yüklerin bir yerden başka bir yere ulaşımını sağlayan sektördür. Taşımacılık sektörünün temel amacı, taşıma talebini, mümkün olan en kısa zamanda ve en az maliyetle, güvenilir bir şekilde sunmaktır. Taşımacılık sektörü, diğer sektörlerle yakın ilişkisi olan ve bu sektörlerin üretkenliği üzerinde önemli rol oynayan hizmet sektörüdür. Bütün sektörlerle iç içe olması ve onları etkilemesi sebebiyle çok önemlidir. Taşımacılık, kullanılan taşıma araçlarına göre

<sup>1</sup> Doktora Öğrencisi, Havacılık Elek.-Elektoniği ABD., E-posta: omerod@anadolu.edu.tr

<sup>2</sup> Yrd. Doç. Dr., Havacılık Elek.-Elektoniği Böl., E-posta: asaracoglu@anadolu.edu.tr

karayolu, demiryolu, denizyolu, havayolu, nehir yolu ve boru hattı taşımacılığı şeklinde sınıflandırılmaktadır [Kurt, 2010].



Şekil 1: Türkiye’de 2008-2012 yılları arasındaki havayolu ile taşınan yük miktarı (ton)

Özellikle ülkemizde ve dünyada havayolu taşımacılığı gittikçe artan bir grafik sergilemektedir (Şekil 1). Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) 2012 yılından 2016 yılına kadar, ülkemizde havayolu ile iç hat yük taşımacılığında %39, dış hat yük taşımacılığında ise % 45 oranında artış yaşanacağını tahmin etmektedir [DHMI, 2013]. Airbus, 2012-2032 yılları arasında hava kargonun çekim gücünün doğruya doğru kayacağını ifade etmektedir. Bu tahminlere göre dünya genelinde havayolu trafiği artacaktır. Çin’in bulunduğu Doğu Asya’da hava trafiğinin %6,6 artacağı, yük trafiğinin ise %15’den %22’ye çıkacağı tahmin edilmektedir. Buna paralel olarak yaşanacak gelişmelerden ülkemizin de konumu itibari ile hava taşımacılığında payını alacağı düşünülmektedir [Airbus, 2013].

Lojistik ve kargo şirketlerinde firmanın geleceği açısından mevcut kaynakları asgari ölçüde kullanarak kârlılık oranının artırılması, müşteri memnuniyetinin sağlanması ancak iyi bir filo planlama ve araç rotalama gibi karar destek sistemlerinin kullanılması ile mümkündür.

Çalışma temel olarak, lojistik ve kargo taşımacılığında araç rotalama problemine (ARP) yönelik karar vericilere kararlarında yardımcı olabilecek, havayolu taşımacılığını kullanan lojistik ve kargo firmalarının karar destek sistemlerine yeni bir boyut kazandıracak matematiksel modeli ve çözümünü oluşturmayı hedeflemektedir.

### Araç Rotalama Problemi

Araç rotalama; bir depodan başlayıp yine aynı depoda sonlanan maliyetleri en küçükmeyi amaçlayan, bunu yerine getirirken müşterilerin isteklerini ve operasyonel kısıtları dikkate alan problem biçimidir.

Araç Rotalama Problemi (ARP), Gezgin Satıcı Probleminin (GSP) birden fazla araç ve eklenmiş kısıtlar ile geliştirilmiş halidir. ARP’nin çözümü, aynı sayıda müşteri veya şehre sahip GSP problemine kıyasla, çok daha zordur. Şekil 1.3’de görüldüğü üzere ARP’de araçlar bir noktadan başlayarak müşteriye hizmet verdikten sonra yine aynı noktaya dönmek zorundadır. ARP ilk defa Dantzig ve Ramser tarafından 1959 yılında tanımlanmıştır. Klasik ARP’ye eklenen yeni kısıtlar yeni ARP türlerini oluşturmaktadır. Toth ve Vigo yeni ARP türlerini ve kısıtlarını detaylı olarak ele almışlardır.

Dantzig ve Ramser 1959'da kamyon teslimat problemini ele almışlar. Problem petrol yüklü kamyonların terminal noktasından istasyonlara en kısa hangi yolları izleyerek dağıtım yapacağını belirlemesidir [Dantzig, Ramser, 1959].

Temel araç rotalama problemleri türleri:

- Kapasiteli Araç Rotalama Problemi (KARP): ARP'nin temel versiyonudur. Her aracın kapasitesi bellidir ve aracın kapasitesi aşılamaz. KARP'nin iki türü vardır. Maliyet matrisi asimetrik olduğunda AKARP, maliyet matrisi simetrik olduğunda SKARP adını alır. Diğer ARP türleri KARP'nin geliştirilmesiyle elde edilmiştir.
- Mesafe Kısıtlı ve Kapasiteli Araç Rotalama Problemi (MKARP): KARP'nin değişik bir biçimidir. Hem araç kapasite kısıtı hem de menzil kısıtı olan ARP türüdür.
- Zaman Pencere Araç Rotalama Problemi (ZPARP): KARP'nin yaygın kullanılan genişletilmiş bir versiyonudur. Her müşteriye verilmesi gereken hizmet süresi bir zaman aralığıyla belirlenir ve problemin çözümü ile belirlenen rotada araçlar söz konusu zaman aralığı içerisinde müşteriye hizmet vermek zorundadır.
- Önce Dağıt Sonra Topla Araç Rotalama Problemi (ÖDSTARP): KARP'nin genişletilmiş bir türüdür. Bu problemde hem müşteri talepleri hem de müşterilerden toplanacak yük dikkate alınır. Problem, öncelikle dağıtım sonra ise toplama yapan araç rotalama problemidir.
- Eş Zamanlı Dağıtım ve Toplamalı Araç Rotalama Problemi (EZDTARP): Genellikle heterojen araç tipinin kullanıldığı eş zamanlı toplama dağıtım işleminin yapıldığı problem tipidir. Müşterilerin taleplerine göre belirli toplama ve dağıtım noktaları ağında araç rotalama yapılır. ÖDSTARP'deki gibi önce toplayıp sonra dağıtım olayı yoktur [Danehzand, 2011].

Heterojen sabit filolu araç rotalama ya da filo boyutlandırılması ve karışık araç rotalama problemleri gibi diğer araç rotalama problemleri genellikle yukarıdaki ARP türlerinin geliştirilmesiyle elde edilmiştir. Aşağıda genel olarak farklı araç rotalama problemleri konusunda son yıllarda yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

Shetty ve ark., insansız savaş hava araç filosunun önceden belirlenen hedefler için stratejik rotalamasına yönelik bir çalışma yapmıştır. Çalışmada hedeflerin önceliğe göre sıralanması ve hava aracına mühimmat yüklenmesi esas alınmıştır. Problem, hedef atama problemi ve araç rotalama problemi olmak üzere iki kapsamlı olarak ele alınmıştır. Çalışmada tabu arama sezgisel yaklaşımı kullanılmış olup Solomon (1987) veri kümesi ile test edilmiştir [Shetty, Sudit, Nagi, 2008].

Kritikos ve Ioannou, dengeli kargo yük dağılımlı araç rotalama problemi için matematiksel model geliştirmiştir. Modelin çözümü için FDH (free disposal hull method of data envelopment analysis)'ya dayalı yaklaşım önerilmiştir. Söz konusu model ve yaklaşım Ioannou (2001)'nin ortaya koyduğu veri kümesi kullanılarak test edilmiştir [Kritikos, Ianno, 2010].

Repoussis ve Tarantilis, tarafından zaman pencere heterojen ve filo boyutlu araç rotalama problemi için yarı sezgisel yapıda olan uyarlamalı hafıza programlama çözüm yaklaşımı tabu arama algoritmasının kısa dönemli hafıza yapısı kullanılarak geliştirilmiştir. Çalışmanın amacı uygun filo boyutunun ve maliyetin belirlenmesidir. Geliştirilen çözüm yöntemi, Solomon (1987) tarafından türetilen Liu ve Shen (1999) tarafından önerilen veri kümesi kullanılarak test edilmiştir. Çözüm yönteminin diğer yöntemlere göre daha etkili sonuçlar verdiği ifade edilmiştir [Repoussis, Tarantilis, 2010].

Derigs ve ark., hava kargoyu destekleyen yol araçları (traktör ve römorklar) için araç rotalama problemini çözen iki çözüm algoritması geliştirmiştir. Çalışma, Georgi Transporte firmasına ait gerçek veri kümesi kullanılarak test edilmiştir [Derigs, Kurowsky, Vogel, 2011].

Çetin ve ark., heterojen araç filolu eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi için sezgisel bir algoritma önermiş ve önerilen algoritmaya dayalı bir karar destek sistemi geliştirmiştir. Çalışmada veri kümesi olarak karayolunda taşımacılık yapan bir firmanın altı haftalık verileri kullanılmıştır. Önerilen sezgisel algoritmaya uygun literatürde karşılaştırma yapacak bir algoritma

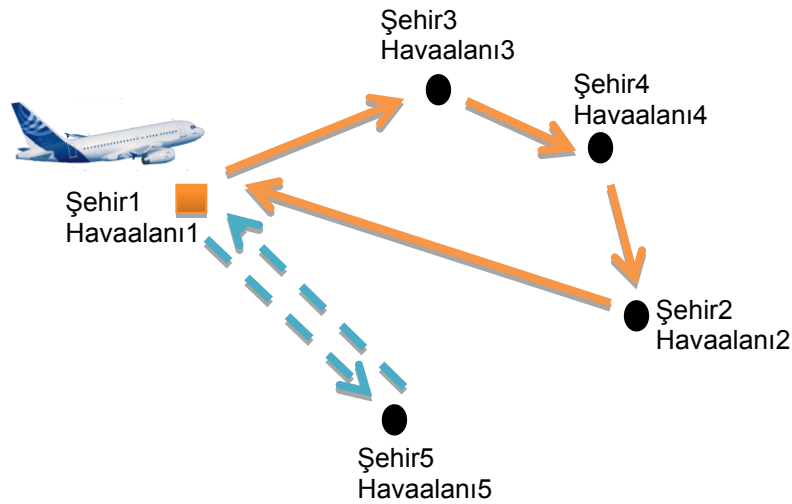
bulunmadığı için mevcut durumla karşılaştırılmış ve mevcut durumdan daha iyi sonuç verdiği ifade edilmiştir [Çetin, Özkütük, Gencer, 2011].

Aksoy ve Kapanoğlu Türk Hava Kuvvetleri'nde mevcut kargo uçakları ile personel ve parçaların talep edilen üslere taşınması probleminin çözümünü hedeflemiştir, modelde bütün taleplerin karşılandığı en küçük maliyetli rotanın bulunması amaçlanmıştır. Model Türk Hava Kuvvetleri'nden elde edilen veriler ile test edilmiştir [Aksoy, Kapanoğlu, 2012].

Qu ve Bard tarafından yapılan çalışmada farklı tiplerdeki araçlar kullanılarak medikal tedavi ve rehabilitasyon için hastaların bir yerden bir yere farklı kapasitelerdeki araçlar ile taşınması hedeflenmiştir. Problemin amacı kapasitesi ayarlanabilir heterojen topla-dağıt probleminde maliyeti azaltmaktır. Model kurulmuş ve sezgisel yaklaşımla çözülmüş ve 35-50 dk. içerisinde %30-40 maliyetin iyileştiği görülmüştür. Geliştirilen model Parragh (2011) tarafından kullanılan DARP veri kümesi ile test edilmiştir. Çalışmada ayrıca Kansas Wichita'da bulunan PACE şirketi tarafından sağlanan gerçek veriler kullanılarak analizler yapılmıştır [Qu, Bard, 2013].

Literatür incelendiğinde araç rotalama konusunda özellikle hava taşımacılığı konusunda sınırlı sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir. Bunun yanında birden fazla taşıma türü ve farklı (heterojen) araç tiplerinin kullanıldığı araç rotalama problemi konularında neredeyse yok denecek kadar az sayıda çalışma olduğu tespit edilmiştir.

**Problem:** Yük talepleri ve gönderecekleri yük miktarları belli olan beş şehir vardır. Üç farklı uçak tipi kullanılarak bu şehirler arasında en küçük birim maliyet ve mesafe amacı altında, yükün anlık olarak dağıtılıp toplandığı ve hangi uçağın nereye gitmesi gerektiği problemimizin temelini oluşturmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: Problemin genel gösterimi

## YÖNTEM

Anlık topla-dağıt heterojen filolu araç rotalama problemi için kullanılan matematiksel modelin mevcut probleme göre düzenlenmiş hali aşağıda görülmektedir.

### Matematiksel Model

#### Kümeler:

- J : Havaalanları kümesi
- $J_0$  : Depo olarak belirlenen havaalanı dahil tüm noktalar kümesi
- V : Uçaklar kümesi

#### Parametreler:

- $Cap_v$  : v. tip uçağın kapasitesi  
 $d_{ij}$  : Havaalanları arasındaki mesafe  
 $D_j$  : Havaalanları arasındaki yük talep miktarı  
 $P_j$  : Havaalanlarından gönderilecek yük miktarı  
 $F_{vj}$  : v. tip uçağın j havaalanındaki sabit maliyeti  
 $S_v$  : v. tip uçağın hızı  
 $T_{ij}$  :Yükün depo olarak belirlenen havaalanından diğer müşterilere teslim zamanı  
 $n$  : Bütün noktaların sayısı  
 $M$  : Büyük bir sayı

#### Karar Değişkenleri:

- $x_{ijv}$  : Binary karar değişkeni. i. havaalanından j. havaalanına v. tip uçakla gidilmişse 1, diğer durumda 0 değerini alır.  
 $I1_v$  : v. tip uçağın ilk andaki (havaalanındaki) yük miktarı  
 $I2_{vj}$  : v. tip uçağın j noktasındaki yük durumu  
 $s_j$  : Alt turlardan kaçınmak için kullanılan karar değişkeni

#### Varsayımlar:

- Hava araçlarının havalandıkları bir ana üs olarak düşünülen bir ana havaalanı vardır.
- Havaalanlarının yeri önceden bellidir. Ana havaalanından kalkan bir uçak yine aynı ana havaalanına döner. Ana havaalanı aynı zamanda depodur.
- Talepler önceden bellidir.
- Talepler tek yönlüdür.
- Talepler bölünemez (i den j noktasına olan talep tek bir araçla taşınır).
- Uçaklar önceden tanımlanmıştır.
- Uçakların kapasitesi aşılamaz.
- Depo olarak belirlenen havaalanına birden fazla uçak girebilir ve birden fazla uçak çıkabilir. Diğer düğüm noktalarına bir uçak girebilir ve çıkabilir.

#### Matematiksel Model:

$$Enk Z = \sum_{i=J_0} \sum_{j=J_0} \sum_{v=V} C_{ij} d_{ij} x_{ijv} + \sum_{v=V} \sum_{j=J_0} F_{vj} x_{ijv} \quad (1)$$

$$\sum_{i=J_0} \sum_{v=V} x_{ijv} = 1 \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{i=J_0} x_{iav} = \sum_{j=J_0} x_{ajv} \quad \forall a \in J, v \in V \quad (3)$$

$$I1_v = \sum_{i=J_0} \sum_{j=J} D_j x_{ijv} \quad \forall v \in V \quad (4)$$

$$l2_{vj} \geq l1_v - D_j + P_j - M(1 - x_{1jv}) \quad \forall v \in V, j \in J \quad (5)$$

$$l2_{bj} \geq l2_{bi} - D_j + P_j - M\left(1 - \sum_{v=V} x_{ijv}\right) \quad \forall b \in V, i \in J, j \in J, i \neq j \quad (6)$$

$$l1_v \leq Cap_v \quad \forall v \in V \quad (7)$$

$$l2_{vj} \leq Cap_v \quad \forall v \in V, j \in J \quad (8)$$

$$s_j \geq s_i + 1 - n\left(1 - \sum_{v=V} x_{ijv}\right) \quad \forall i \in J, j \in J, i \neq j \quad (9)$$

$$\left(\frac{d_{ij}}{S_v}\right)x_{ijv} \leq T_{ij} \quad \forall i \in J, j \in J, v \in V, i \neq j \quad (10)$$

$$s_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$x_{ijv} \in \{0,1\} \quad \forall i \in J_0, j \in J_0, v \in V \quad (12)$$

Amaç fonksiyonu (1), mesafe başına düşen birim taşıma maliyetlerinin ve havaalanlarında uçak tiplerine göre olan sabit maliyetlerin en küçüklenmesidir. Kısıt (2), her bir havaalanına, diğer havaalanlarından en az bir uçak tipiyle bir defa gelinmesini sağlar. Kısıt (3), her bir havaalanına bir uçak tipiyle ulaşıp aynı uçak tipiyle çıkılmasını sağlar. Kısıt (4), Kısıt (5), Kısıt (6) yük denge kısıtlarıdır. Kısıt (4), her bir uçağın başlangıç yükünü gösterir. Kısıt (5), ilk havaalanı ziyaret edildikten sonra o noktadaki uçağın yükünü gösterir. Kısıt (6) ilk havaalanından sonraki havaalanları için uçağın yükünü hesaplar. Kısıt (7), uçağın kapasitesinin aşılması için olan kısıttır. Kısıt (8) uçağın herhangi bir havaalanında kapasitesinin aşılmasını sağlayan kısıttır. Kısıt (9) alt turları önlemek için olan kısıttır. Kısıt (10), yükün belirlenen süre içerisinde teslim edilmesini sağlamak için olan kısıttır. Kısıt (11)  $s_j$ , karar değişkeninin pozitif olmasını sağlayan kısıt ve Kısıt (12)  $x_{ijv}$  karar değişkeninin 0 ya da 1 olmasını sağlayan kısıttır.

### UYGULAMALAR

Çalışmada farklı yük kapasiteleri ve taşıma hızları olan SAAB340, B737, MD11F üç uçak tipi kullanılmıştır (Çizelge 1).

Yük Bakımından Uçak Özelliği	Uçak Tipi	Taşınan Yük miktarı (Ton)	Maksimum Hız (km/sa)
Küçük Ölçekli Yük Taşıyan	SAAB340	3,7	460
Orta Ölçekli Yük Taşıyan	B737	19	850
Geniş Gövdeli Yük Taşıyan	MD11F	80	945

Çizelge 1: Uçak tipleri ve özellikleri

Beş havaalanı için beş farklı şehir ve havaalanları arasındaki gerçek mesafeler kullanılmıştır. Her bir havaalanına ait yük verileri senaryosal olarak kullanılmıştır.

Toplam yük talebi 80 tondan büyük olduğunda ve matematiksel modelde Kısıt (10) hesaba katılmadığında, SAAB340 uçağının Havaalanı1-Havaalanı2-Havaalanı1 şeklinde rotalandığı, aynı şekilde MD11F uçağının Havaalanı1-Havaalanı4- Havaalanı3- Havaalanı5- Havaalanı1 şeklinde rotalandığı görülmüştür (Çizelge 2).

Kullanılan Uçak Tipi	Rotalamanın yapıldığı havaalanı sırası	İterasyon Sayısı	Amaç Fonksiyonun Değeri
SAAB340	Havaalanı1 (Depo) Havaalanı2 Havaalanı1 (Depo)	90	46350
MD11F	Havaalanı1 (Depo) Havaalanı4 Havaalanı3 Havaalanı5 Havaalanı1 (Depo)		

Çizelge 2: Yük 80 tonun üzerinde olduğunda Kısıt (10) dikkate alınmadığında elde edilen sonuçlar

Toplam yük talebi 80 tondan büyük olduğunda ve matematiksel modele Kısıt (10) dâhil edildiğinde, B737 uçağının Havaalanı1-Havaalanı2-Havaalanı1 şeklinde rotalandığı, aynı şekilde MD11F uçağının Havaalanı1-Havaalanı5- Havaalanı3- Havaalanı4- Havaalanı1 şeklinde rotalandığı görülmüştür (Çizelge 3).

Kullanılan Uçak Tipi	Rotalamanın yapıldığı havaalanı sırası	İterasyon Sayısı	Amaç Fonksiyonun Değeri
B737	Havaalanı1 (Depo) Havaalanı2 Havaalanı1 (Depo)	121	48750
MD11F	Havaalanı1 (Depo) Havaalanı5 Havaalanı3 Havaalanı4 Havaalanı1 (Depo)		

Çizelge 3: Yük 80 tonun üzerinde olduğunda Kısıt (10) dikkate alındığında elde edilen sonuçlar

Toplam yük talebi 19 tonun altında olduğunda ve matematiksel modelde Kısıt (10) hesaba katılmadığında, B737 tipi uçağın Havaalanı1-Havaalanı5- Havaalanı3- Havaalanı4- Havaalanı2- Havaalanı1 şeklinde rotalandığı görülmektedir (Çizelge 4).

Kullanılan Uçak Tipi	Rotalamanın yapıldığı havaalanı sırası	İterasyon Sayısı	Amaç Fonksiyonun Değeri
B737	Havaalanı1 (Depo) Havaalanı5 Havaalanı3 Havaalanı4 Havaalanı2 Havaalanı1 (Depo)	364	34750

Çizelge 4: Yük 19 tonun altında olduğunda Kısıt (10) dikkate alınmadığında elde edilen sonuçlar

Toplam yük talebi 19 tonun altında olduğunda ve matematiksel modele Kısıt (10) dâhil edildiğinde, B737 tipi uçağın Havaalanı1-Havaalanı5- Havaalanı3- Havaalanı4- Havaalanı2- Havaalanı1 şeklinde rotalandığı görülmektedir (Çizelge 5).

Kullanılan Uçak Tipi	Rotalamanın yapıldığı havaalanı sırası	İterasyon Sayısı	Amaç Fonksiyonun Değeri
B737	Havaalanı1 (Depo) Havaalanı5 Havaalanı3 Havaalanı4 Havaalanı2 Havaalanı1 (Depo)	187	34750

Çizelge 5: Yük 19 tonun altında olduğunda Kısıt (10) dikkate alındığında elde edilen sonuçlar

Toplam yük talebi 3.7 tonun altında olduğunda ve matematiksel modelde Kısıt (10) hesaba katılmadığında, SAAB340 tipi uçağın Havaalanı1-Havaalanı4- Havaalanı3- Havaalanı5- Havaalanı2- Havaalanı1 şeklinde rotalandığı görülmektedir (Çizelge 6).

Kullanılan Uçak Tipi	Rotalamanın yapıldığı havaalanı sırası	İterasyon Sayısı	Amaç Fonksiyonun Değeri
SAAB340	Havaalanı1 (Depo) Havaalanı4 Havaalanı3 Havaalanı5 Havaalanı2 Havaalanı1 (Depo)	199	28750

Çizelge 6: Yük 3.7 tonun altında olduğunda Kısıt (10) dikkate alınmadığında elde edilen sonuçlar

Toplam yük talebi 3.7 tonun altında olduğunda ve matematiksel modele Kısıt (10) dâhil edildiğinde, SAAB340 tipi uçağın Havaalanı1-Havaalanı5- Havaalanı3- Havaalanı2- Havaalanı4- Havaalanı1 şeklinde rotalandığı görülmektedir (Çizelge 7).

Kullanılan Uçak Tipi	Rotalamanın yapıldığı havaalanı sırası	İterasyon Sayısı	Amaç Fonksiyonun Değeri
SAAB340	Havaalanı1 (Depo) Havaalanı5 Havaalanı3 Havaalanı2 Havaalanı4 Havaalanı1 (Depo)	336	31350

Çizelge 7: Yük 3.7 tonun altında olduğunda Kısıt (10) dikkate alındığında elde edilen sonuçlar

Çalışma iki tarzda ele alınmıştır. İlk olarak sadece yük miktarına göre matematiksel model değerlendirilmiştir. Daha sonra ise yük miktarı ile birlikte yükün teslim süreside dikkate alınmıştır. Yük miktarı ve yükün teslim zamanı dikkate alındığında matematiksel modelin iterasyon sayısının ve amaç fonksiyonu değerinin arttığı, uçak tipi seçiminin ve uçakların rotalanmasının bu kriterler gözetilerek yapıldığı görülmüştür. Çalışmaya bakıldığında uçakların mesafeye göre birim maliyetin ve sabit maliyetlerin en küçüklenmesi amacıyla uygun bir şekilde yük miktarını ve yükün teslim süresini esas alacak şekilde rotalandıkları görülmektedir.

### SONUÇ

Yük taşımacılığını kapsayan bu çalışma ile genel itibariyle, lojistik ve kargo işletmelerinin kaynaklarını etkin ve verimli bir şekilde kullanmalarının sağlanması, dolayısıyla kargo işletmelerinin maliyetlerinin azaltılmasının yanı sıra ülke kaynaklarının tasarruflu bir şekilde kullanılması



amaçlanmıştır. Çalışmada heterojen filolu hava araçlarının en küçük maliyet amacı altında rotalanması gerçekleştirilmiştir. Yük miktarı değiştirildiğinde ve teslim zamanı dikkate alındığında matematiksel modelin amaç fonksiyonunu da gözeterek uçak tipi seçimi yaptığı ve rotaladığı görülmüştür. Özellikle teslim zamanı hesaba katıldığında matematiksel modelin uçak seçimi için bilgisayar ortamında harcanan süresinin ve toplam iterasyon sayısının arttığı görülmektedir. Araç rotalama problemleri çözümü zor olan problem tiplerindedir. Beş havaalanını içeren küçük boyutlu olan problemler için modelin çözümü yeterli gelse de daha büyük boyutlu modellerin çözümü için genetik algoritma, tabu arama, karınca kolonisi ve yapay sinir ağları gibi sezgi ötesi çözüm yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Daha sonraki çalışmalarda hava araçlarının rotalanmasında büyük boyutlu problemlerin çözümü için sezgi ötesi yöntemlerin kullanılması hedeflenmektedir.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi'nin "Kargo Taşımacılığında Filo Planlama ve Araç Rotalama Problemine Yönelik Karar Destekleyici Model" isimli bilimsel araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.

### Kaynaklar

Airbus, 2013. [http://www.airbus.com/company/market/forecast/?eID=dam\\_frontend\\_push&docID=33976](http://www.airbus.com/company/market/forecast/?eID=dam_frontend_push&docID=33976)

Aksoy, Ö., Kapanoğlu, M., 2012. *Multi-commodity, multi-depot, heterogenous vehicle pickup and delivery problem for air transportation in the Turkish air force*, Journal of Aeronautics and Space Technologies, Cilt.5, s.53-57.

Çetin, S., Özkütük, E., Gencer, C., 2011. *Heterojen Araç Filolu Eş Zamanlı Dağıtım-Toplamalı Araç Rotalama Problemi İçin Bir Karar Destek Sistemi*, International Journal of Research and Development, Cilt.3 , s.11-18.

Daneshzand F., 2011. *The Vehicle Routing Problem*, Logistic Operations and Management, s.127-153.

Dantzig G. B. ve Ramser J. H., 1959. *The Truck Dispatching Problem.*, Manegement Science, Cilt.6 , s.80-91.

Derigs, U., Kurowsky, R., Vogel, U., 2011. *Solving a real-world vehicle routing problem with multiple use of tractors and trailers and EU-regulations for drivers arising in air cargo road feeder services*, European Journal of Operational Research Cilt.213, s.309-319.

Devlet Hava Meydanları İşletmesi, 2013. <http://www.dhmi.gov.tr/istatistik.aspx>

Ghiani, G., Laporte, G., Musmanno, R., 2004. *Introduction to logistic system planning and control.*, Wiley, İngiltere.

Kritikos, M. N., Ioannou, G., 2010. *The balanced cargo vehicle routing problem with time windows*, Int. J. Production Economics, Cilt.123 , s.42-51.

Kurt, C., 2010. *Türkiye'de ulaştırma sektörü içerisinde lojistiğin yeri ve önemi.*, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi.

Qu, Y., Bard, J. F., 2013. *The heterogeneous pickup and delivery problem with configurable vehicle capacity*, 2013., Transportation Research Part C, Cilt.32 , s.1-20.

Repoussis, P.P., Tarantilis, C.D., 2010. *Solving the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows via Adaptive Memory Programming*, Transportation Research Part C, Cilt.18, s.695-712.

Shetty, V. K., Sudit, M., Nagi, R., 2008. *Priority-based assignment and routing of a fleet of unmanned combat aerial vehicles*, Computers & Operations Research, Cilt.35 , s.1813-1828.