

**HAVAYOLU KARGO TAŞIMACILIĞINDA  
ANA DAĞITIM ÜSSÜ YERLEŞİM PROBLEMİNE  
TAMSAYILI MODEL YAKLAŞIMI**

Asuman ÖZGER  
Doktora Tezi

Sivil Havacılık Anabilim Dalı  
Şubat-2008

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

**Asuman ÖZGER'in “Havayolu Kargo Taşımacılığında Ana Dağıtım Üssü Yerleşim Problemine Tamsayılı Model Yaklaşımı”** başlıklı **Sivil Havacılık** Anabilim Dalındaki, Doktora Tezi 29.01.2008 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	<b>Adı-Soyadı</b>	<b>İmza</b>
Üye (Tez Danışmanı) :	<b>Yard. Doç. Dr. HAKAN OKTAL</b>	.....
Üye :	<b>Prof. Dr. MUSTAFA CAVCAR</b>	.....
Üye :	<b>Prof. Dr. NİMETULLAH BURNAK</b>	.....
Üye :	<b>Doç. Dr. MUZAFFER KAPANOĞLU</b>	.....
Üye :	<b>Yard. Doç. Dr. AYDIN SİPAHİOĞLU</b>	.....

**Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun**  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

**Doktora Tezi**

### **HAVAYOLU KARGO TAŞIMACILIĞINDA ANA DAĞITIM ÜSSÜ YERLEŞİM PROBLEMİNE TAMSAYILI MODEL YAKLAŞIMI**

**Asuman ÖZGER**  
**Anadolu Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Sivil Havacılık Anabilim Dalı**

**Danışman: Yard. Doç. Dr. Hakan OKTAL**  
**2008, 144 sayfa**

Ana Dağıtım Üssü yerleşim problemleri ve topla-dağıt ağ yapıları üzerine geliştirilen modeller son 20 yıldır özellikle ulaştırma ve telekomünikasyon alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Topla-dağıt ağ yapısında, merkezi konumda olan bir tesis, ana dağıtım üssü (ADÜ) olarak hizmet verir. Diğer tesislerden çıkan akışlar ADÜ’de toplanır ve gruplandırılır. Akışların tamamı ya diğer ADÜ’lere, ya da doğrudan varış noktalarına gönderilmek üzere bu merkezden ayrılır. Bu merkezileştirme ve operasyon ağını genişletme ölçek ekonomisinden yararlanma avantajını getirir. Havayolu işletmeleri açısından topla-dağıt yapısındaki uçuş ağı havayolu işletmelerinin kârını arttırmakta, maliyetlerde önemli ölçüde tasarruf sağlamaktadır.

Çalışmada temel olarak ADÜ yerleşim problemlerine yeni boyut kazandırılması amaçlanmıştır. Uçak tiplerinin ve sektörel özelliklerin ADÜ yerleşimleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Uçakların performansları ve hava taşımacılığının sektörel özelliklerinden yola çıkılarak çok atamalı p-ADÜ medyan ve sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemlerine yönelik karma tamsayılı doğrusal modeller ile çok atamalı p-ADÜ medyan ve güzergâhlarda kullanılacak uygun uçak tipi seçimi problemine yönelik karma tamsayılı doğrusal olmayan model geliştirilmiştir. Modeller GAMS yazılımı kullanılarak kodlanmış ve çok atamalı p-ADÜ medyan ve sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemlerinin çözümünde CPLEX çözücüsü, çok atamalı p-ADÜ medyan ve güzergâhlarda kullanılacak uygun uçak tipi seçimi modelinin çözümünde DICOPT çözücüsü kullanılmıştır. Modellerde kullanılan kısıt ve parametrelerin ADÜ yer seçimi ve atamalarında önemli etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Geliştirilen modellerin havayolu işletmelerinin farklı uçuş güzergâhlarına göre en uygun uçağın belirlenmesi probleminin çözümünde de kullanılabileceği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hava Kargo Taşımacılığı, Topla-Dağıt Ağ Yapısı, Ana Dağıtım Üssü Yerleşim Problemleri

## **ABSTRACT**

**PhD Dissertation**

### **INTEGER MODEL APPROACH FOR HUB LOCATION PROBLEM IN AIR CARGO TRANSPORTATION**

**Asuman ÖZGER**

**Anadolu University  
Graduate School of Sciences  
Civil Aviation Program**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakan OKTAL  
2008, 144 pages**

The models that are developed for hub location problems and hub and spoke networks have been widely used over the past two decades. In the hub and spoke network structure, a facility which has the central location serves as a hub. Flows outgoing from other facilities are collected and grouped in the hub. All of the flows depart from this hub either to other hubs or directly to their destinations. This centralization and expansion of operational network provide the benefits of economies of scale. Hub and spoke networks increase the profits and decrease the costs of airlines.

In this study, it is aimed to develop a new aspect about hub location problems. The effects of aircraft types and characteristics of the sector over the hub locations have been investigated. Starting from the characteristics of the air transportation and the aircraft performance mixed integer linear models related with the multiple allocation p-hub median and hub location problems with fixed costs; and also a mixed integer non-linear model to be used in the problem of selection of aircraft types in p-hub median have been developed. Models were coded in GAMS software. CPLEX solver was used in the solution of multiple allocation p-hub median and hub location problems with fixed costs. DICOPT solver was used in the solution of the multiple allocation p-hub median and the corresponding selection of the appropriate aircraft types. It was found that the constraints and parameters have an important effect on the hub location and allocation. It was shown that the models may also be used in the problem of selection of the most appropriate aircraft corresponding to different flight routes.

**Keywords:** Air Cargo Transportation, Hub and Spoke Networks, Hub Location Problems

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın hazırlanmasında değerli katkılarından dolayı danışmanım Sayın Yard. Doç. Dr. Hakan OKTAL'a teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmamın yönlendirilmesi ve değerlendirilmesinde görüşleriyle bana yol gösteren Sayın Prof. Dr. Mustafa CAVCAR'a, Sayın Yard. Doç. Dr. Aydın SİPAHİOĞLU'na, Sayın Doç. Dr. Bahar YETİŞ KARA'ya, Sayın Doç. Dr. Müjgan ÖZDEMİR'e ve Arş. Grv. Sibel ALUMUR'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca görüş ve önerileriyle her zaman destek olan değerli arkadaşım Sayın Beytullah AKKAYA'ya teşekkür ederim.

Çalışmada kullanılan verilerin sağlanmasında Türk Hava Yolları yetkililerine ve MNG Hava Kargo İşletmesi Genel Müdür Yardımcısı Sayın Hakkı ÖZTEKİN'e ve Performans Departmanı çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca bana her anlamda destek olan değerli aileme, desteğini her zaman hissettiğim sevgili eşim Mehmet ÖZGER'e sonsuz teşekkürler.

Asuman ÖZGER

Şubat 2008

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. ANA DAĞITIM ÜSSÜ YERLEŞİM PROBLEMİ</b>	<b>5</b>
2.1. Ana Dağıtım Üssü Yerleşim Problemi Tanımı ve Sınıflandırılması .....	5
2.2. p-ADÜ Medyan Problemi Konusunda Literatür Araştırması .....	9
2.2.1. Tek atamalı p-ADÜ medyan problemi literatür araştırması .....	9
2.2.2. Çok atamalı p-ADÜ medyan problemi literatür araştırması .....	16
2.3. Sabit Maliyetli ADÜ Yerleşim Problemi Literatür Araştırması .....	20
2.3.1. Kapasite sınırı olmayan ADÜ yerleşim problemi literatür araştırması. ....	20
2.3.2. Kapasite sınırı olan ADÜ yerleşim problemi literatür araştırması.....	22
2.4. ADÜ Yerleşim Problemi Havayolu Taşımacılığı Uygulamaları Literatür Araştırması .....	24
<b>3. HAVAYOLU KARGO TAŞIMACILIĞINDA ADÜ YERLEŞİM     PROBLEMİ MODELLERİ</b>	<b>30</b>
3.1. Araştırma Problemi .....	30
3.2. Araştırmanın Amacı .....	33
3.3. Araştırmanın Önemi.....	33
3.4. Araştırma Yöntemi.....	33
3.5. Geliştirilen Modellerde Kullanılan Parametreler .....	34
3.5.1. Havaalanı alt yapı maliyetleri .....	34
3.5.1.1. Pist alt yapı maliyeti .....	35

3.5.1.2. Havaalanı kargo tesisi maliyeti .....	35
3.5.2. Uçak tipine göre birim taşıma maliyetleri.....	35
3.6. Geliştirilen Kısıtlar .....	36
3.6.1. Menzil kısıtı .....	36
3.6.2. Kargo trafiği süreklilik kısıtı .....	36
3.7. Geliştirilen Modeller .....	36
3.7.1. Çok atamalı p-ADÜ medyan ve sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemleri modelleri .....	37
3.7.2. Çok atamalı p-ADÜ medyan ve güzergâhlar arası kullanılacak uçak tipi seçimi problemi modeli .....	39
<b>4. MODELLERİN TÜRK HAVA SAHASINDA UYGULANMASI</b>	<b>43</b>
4.1. Çalışmada Kullanılan Uçak Tipleri ve Havaalanları .....	43
4.1.1. Türkiye’de kullanılan kargo uçakları .....	43
4.1.2. Çalışmada değerlendirmeye alınan havaalanları ve özellikleri.....	44
4.2. Havaalanı Alt Yapı Maliyetlerinin Belirlenmesi .....	45
4.2.1. Uçak tiplerine göre pist gerekliliklerinin belirlenmesi.....	45
4.2.1.1. Pist uzunluğu yeterliliğinin değerlendirilmesi .....	46
4.2.1.2. Pist genişliği yeterliliğinin değerlendirilmesi .....	52
4.2.1.3. Pist mukavemeti yeterliliğinin değerlendirilmesi.....	56
4.2.2. Pist yapım maliyetleri .....	66
4.2.3. Kargo geçiş terminali maliyeti .....	66
4.2.4. Havaalanı alt yapı maliyetlerinin sınıflandırılması .....	67
4.3. Birim Taşıma Maliyetlerinin Belirlenmesi .....	72
4.4. Mesafelerin Belirlenmesi .....	73
4.5. Modellerin Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler .....	74
4.5.1. Çok atamalı p-ADÜ medyan problemi analiz sonuçları ve değerlendirmeler .....	74
4.5.1.1. Akış trafiğinin etkisi.....	75
4.5.1.2. Alt yapı maliyetlerinin etkisi.....	75
4.5.1.3. Birim taşıma maliyetlerinin etkisi .....	76
4.5.1.4. Menzil kısıtının etkisi.....	76

4.5.1.5. Kargo trafiği s¼reklilik kısıtının etkisi .....	77
4.5.1.6. AD¼ sayısının etkisi .....	81
4.5.2. Kapasite sınırı olmayan çok atamalı AD¼ yerleşim problemi analiz sonuçları ve değerlendirmeler.....	86
4.5.2.1. Akış trafiğinin etkisi.....	86
4.5.2.2. Birim taşıma maliyetlerinin etkisi .....	87
4.5.2.3. Menzil kısıtının etkisi.....	87
4.5.2.4. Kargo trafiği s¼reklilik kısıtının etkisi .....	87
4.5.3. Kapasite sınırı olan çok atamalı AD¼ yerleşim problemi analiz sonuçları ve değerlendirmeler.....	91
4.5.3.1. Kapasite kısıtının etkisi .....	91
4.5.3.2. Birim taşıma maliyetlerinin etkisi .....	92
4.5.3.3. Menzil kısıtının etkisi.....	93
4.5.3.4. Kargo trafiği s¼reklilik kısıtının etkisi .....	93
4.5.4. Çok atamalı p-AD¼ medyan ve güzergâhlar arası kullanılacak uçak tipi seçimi problemi analiz sonuçları ve değerlendirmeler .....	101
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER</b>	<b>102</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>106</b>
<b>Ek-1. 2001-2005 İç Hat Kargo Trafiği .....</b>	<b>113</b>
<b>Ek-2. Çalışmada Değerlendirmeye Alınan Havaalanları ve Özellikleri .....</b>	<b>114</b>
<b>Ek-3. Beton Pist Yapım Maliyetleri.....</b>	<b>123</b>
<b>Ek-4. Birim Taşıma Maliyetleri.....</b>	<b>124</b>
<b>Ek-5. Çok Atamalı p-AD¼ Medyan Problemi GAMS Kodu .....</b>	<b>126</b>
<b>Ek-6. Çok Atamalı p-AD¼ Medyan ve Güzergâhlar Arası Kullanılacak Uçak Tipi Seçimi Problemi Analiz Sonuçları.....</b>	<b>129</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

2. 1. Tek atamalı ve çok atamalı ADÜ yerleşim problemi örnek ağ yapıları .....	6
4. 1. LCN/LCG değeri belirleme diyagramı .....	59
4. 2. Beton pist referans kalınlığı belirleme diyagramı .....	65
4. 3. A300-B4 uçağı verilerine göre ADÜ sayısı ve maliyet arasındaki ilişki.....	81
4. 4. F27-500 uçağı verilerine göre ADÜ sayısı ve maliyet arasındaki ilişki .....	81

## ÇİZELGELER DİZİNİ

4. 1. A300-B4 ve F27-500 tipi kargo uçaklarının özellikleri.....	44
4. 2. A300-B4 uçağı pist uzunluğu değerlendirme tablosu.....	50
4. 3. F27-500 uçağı pist uzunluğu değerlendirme tablosu .....	51
4. 4. Pist genişlikleri sınıflandırma tablosu.....	52
4. 5. A300-B4 ve F27-500 uçakları için havaalanı referans kodu ve veriler .....	52
4. 6. A300-B4 uçağı için pist genişliği değerlendirme tablosu.....	54
4. 7. F27-500 uçağı için pist genişliği değerlendirme tablosu .....	55
4. 8. A300-B4 uçağı pist sınıflandırma tablosu .....	57
4. 9. F27-500 uçağı pist sınıflandırma tablosu.....	58
4. 10. A300-B4 uçağı pist mukavemeti değerlendirme tablosu.....	61
4. 11. F27-500 uçağı pist mukavemeti değerlendirme tablosu .....	62
4. 12. A300-B4 uçağına göre havaalanı alt yapı maliyetleri.....	69
4. 13. F27-500 uçağına göre havaalanı alt yapı maliyetleri .....	70
4. 14. A300-B4 uçağı alt yapı maliyetleri gruplandırma tablosu .....	71
4. 15. F27-500 Uçağı alt yapı maliyetleri gruplandırma tablosu .....	71
4. 16. UMApHMP analiz sonuçları 1 .....	78
4. 17. UMApHMP analiz sonuçları 2 .....	79
4. 18. UMApHMP analiz sonuçları 3 .....	80
4. 19. UMApHMP analiz sonuçları 4 .....	83
4. 20. UMAHLP analiz sonuçları 1.....	89
4. 21. UMAHLP analiz sonuçları 2.....	90
4. 22. CMAHLP analiz sonuçları 1 .....	94
4. 23. CMAHLP analiz sonuçları 2.....	96
4. 24. CMAHLP analiz sonuçları 3 .....	98
4. 25. CMAHLP analiz sonuçları 4.....	100

## KISALTMALAR DİZİNİ

ACMI	: Aircraft Crew Maintenance Insurance
ACN	: Aircraft Classification Number
ADÜ	: Ana Dağıtım Üssü
AIP	: Aeronautical Information Publication
AP	: Australia Post
CAB	: Civil Aeronautics Board
CBR	: California Bearing Ratio
CHLP	: Capacitated Hub Location Problem
CMAHLP	: Capacitated Multiple Allocation Hub Location Problem
CSAHL P	: Capacitated Single Allocation Hub Location Problem
DHMİ	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi
DİG	: Doğrudan İşletme Gideri
DİG <sub>TUP</sub>	: Doğrudan İşletme Gideri (Teknik Uçucu Personel Gideri)
DİG <sub>Y</sub>	: Doğrudan İşletme Gideri (Yakıt)
DİG <sub>B</sub>	: Doğrudan İşletme Gideri (Bakım)
DİG <sub>S</sub>	: Doğrudan İşletme Gideri (Sigorta)
DİG <sub>A</sub>	: Doğrudan İşletme Gideri (Amortisman)
DLHİ	: Demiryolları Limanlar ve Havaalanları İnşaatı
DOİG	: Dolaylı İşletme Giderleri
DOİG <sub>B-R</sub>	: Dolaylı İşletme Gideri (Bilet Satış ve Reklâm)
DOİG <sub>M</sub>	: Dolaylı İşletme Gideri (Meydan İşletme)
DOİG <sub>S</sub>	: Dolaylı İşletme Gideri (Yolcu Servis)
DOİG <sub>İ</sub>	: Dolaylı İşletme Gideri (İdari)
ESWL	: Equivalent Single Wheel Load
F	: Flexible
FTK	: Freight Tonne Kilometer
GAMS	: General Algebraic Modeling System
ICAO	: International Civil Aviation Organization
LCG	: Load Classification Group
LCN	: Load Classification Number
MAW	: Maximum Apron Weight

MZFW	: Maximum Zero Fuel Weight
NM	: Nautical Miles
PCN	: Pavement Classification Number
p-HM	: p-Hub Median
R	: Rigid
RTK	: Revenue Tonne Kilometer
SIWL	: Single Isolated Wheel Load
TİG	: Toplam İşletme Gideri
UHLP	: Uncapacitated Hub Location Problem
UMAHLP	: Uncapacitated Multiple Allocation Hub Location Problem
USAHLP	: Uncapacitated Multiple Allocation Hub Location Problem
UMApHMP	: Uncapacitated Multiple Allocation p-Hub Median Problem
USApHMP	: Uncapacitated Single Allocation p-Hub Median Problem
USA2HMP	: Uncapacitated Single Allocation 2-Hub Median Problem
USA3HMP	: Uncapacitated Single Allocation 3-Hub Median Problem

## SİMGELER DİZİNİ

- $\alpha$  : ADÜ-ADÜ arasındaki taşımalarda kullanılan maliyet azaltma katsayısı
- $\mathcal{Z}$  : Düğüm-ADÜ arasındaki taşımalarda kullanılan maliyet azaltma katsayısı
- $\delta$  : ADÜ-düğüm arasındaki taşımalarda kullanılan maliyet azaltma katsayısı
- $C_{ij}$  : i'den j'ye taşımalarda birim taşıma maliyeti
- $C_{ij}^u$  : u uçağı ile i'den j'ye taşımalarda birim taşıma maliyeti
- $d_{ij}$  : i ve j düğümleri arasındaki mesafe
- $D_i$  : i düğümüne gelen toplam akış miktarı
- $E_A$  : Meydan irtifası
- $F_j$  : j düğümünde ADÜ açma maliyeti
- $H_k$  : ADÜ atama karar değişkeni (0/1)
- $i$  : Akışın başlangıç noktası
- $h$  : Potansiyel ADÜ noktası
- $j$  : Akışın varış noktası
- $k$  : Potansiyel ADÜ noktası
- $KM_k$  : k havaalanının kargo tesisi maliyeti
- $L$  : Bir ana dikme üzerine düşen yük oranı
- $l$  : Potansiyel ADÜ noktası
- $M$  : Büyük bir tamsayı
- $m$  : Potansiyel ADÜ noktası
- $N$  : Düğümler kümesi/Havaalanları kümesi
- $n$  : Düğüm sayısı/Havaalanı sayısı
- $n_T$  : Tekerlek sayısı
- $O_i$  : i düğümünden çıkan toplam akış miktarı
- $p$  : Açılacak ADÜ sayısı
- $R_k$  : k havaalanının alt yapı maliyeti
- $S$  : Maksimum menzil
- $S_1$  : Deniz seviyesinde standart atmosfer koşullarında kalkış için gerekli pist uzunluğu
- $S_2$  : İrtifaya göre düzeltilmiş pist uzunluğu
- $S_3$  : İrtifa ve sıcaklığa göre düzeltilmiş pist uzunluğu

- $S_4$  : İrtifa, sıcaklık ve pist eğimine göre düzeltilmiş pist uzunluğu  
 $S_R$  : Pist eğimi  
 $T$  : Kargo miktarı  
 $T_{AR}$  : Meydan referans sıcaklığı  
 $T_{AS}$  : Meydan irtifasının standart atmosfer koşullarındaki sıcaklığı  
 $T$  : Pist kalınlığı  
 $u$  : Uçak tipi kümesi  
 $W_a$  : a havaalanının aylık toplam kargo trafiği  
 $W_{ij}$  : i'den j'ye akış miktarı  
 $X_{ik}$  : ADÜ atama karar değişkeni (0/1)  
 $X_{ij}^i$  : i başlangıç noktasından çıkıp l ADÜ üzerinden geçen ve j noktasına ulaşan akış miktarı (karar değişkeni)  
 $X_{ij}^{i u}$  : i başlangıç noktasından çıkıp l ADÜ üzerinden geçen ve j noktasına u uçağı ile ulaşan akış miktarı (karar değişkeni)  
 $X_{ijkm}$  : i noktasından j noktasına gitmekte olan akışın k ve m ADÜ'lerini kullanım oranı (karar değişkeni)  
 $Y_k$  : ADÜ atama karar değişkeni (0/1)  
 $Y_{kl}^i$  : i düğümünden çıkarak k ve l ADÜ'lerinden geçen akış miktarı (karar değişkeni)  
 $Y_{kl}^{i u}$  : i başlangıç noktasından çıkan k ve l ADÜ'leri üzerinden u uçağı ile geçen akış miktarı (karar değişkeni)  
 $Z_{ik}$  : i başlangıç noktasından çıkıp k ADÜ'ye yönlenen akış miktarı (karar değişkeni)  
 $Z_{ik}^u$  : i başlangıç noktasından çıkıp k ADÜ'ye u uçağı ile geçen akış miktarı (karar değişkeni)

## 1. GİRİŞ

Havayolu taşımacılığı, çok uzak iki noktayı ve ülkeyi birbirine yakınlaştırmakta, böylece bir yandan ülkelerin turizm ve iş sektörlerine fayda sağlamakta bir yandan da sosyo-kültürel gelişimlerine katkıda bulunmaktadır. İşletmelerin küresel piyasalara erişimlerini kolaylaştırmakta ve bu sayede sadece ülke ekonomisinin değil, uluslararası ve küresel ekonominin gelişiminde de önemli rol oynamaktadır. Günümüzde çok sayıda işletme müşterilerine kaliteli hizmet sunmak ve zamanında üretim yapabilmek için özellikle hava kargodan yararlanmaktadır. Coğrafik olarak ulaşımı zor olan bölgelere kolay ve hızlı ulaşım imkânı sağlaması, havayolu taşımacılığını bu alanda benzersiz kılmaktadır.

Liberalleşme, özelleşme ve küreselleşme havacılık sektörünün önünü açmış ve hava kargo endüstrisi, dünya ekonomisinde yaşanan bu eğilimler doğrultusunda nitelikli değişikliğe uğramıştır. Kargo taşımacılığı; ticareti teşvik eden, yeni pazar fırsatları yaratan, endüstriyel ve zirai ürünlerin üretiminde verimliliği artırıcı rol oynayan önemli bir unsur haline gelmiştir. Havayolu ile taşınan kargonun önümüzdeki 20 yıllık süreçte yılda %6.5 oranıyla artacağı tahmin edilmektedir. Bağımsız Devletler Topluluğu ve Baltık ülkeleri dışında hava kargo trafiğinin önümüzdeki 20 yılda 137.1 milyar RTK (Revenue Tonne Kilometer)'dan 470.00 milyar RTK'ya çıkararak yaklaşık üç katına ulaşması beklenmektedir. Dünya ticaretinin parasal değer olarak %40'ı hava kargo ile taşınmaktadır. Hava kargo endüstrisi yılda 200 Milyar \$'lık ciro yapmakta ve yıllık yaklaşık 60 milyon ton mal taşınmaktadır. Hava kargo endüstrisi doğrudan ve dolaylı olarak iş ve istihdam yaratmaktadır. Ticaretin artmasına ve sanayileşmiş ekonomilerin gelişimine katkıda bulunmaktadır [1, 2].

Bütün işletmeler devamlı olarak kısa ya da uzun vadeli bir takım kararlar almak durumundadır. İşletmelerin kaynaklarını planlaması önemli bir süreçtir ve uzun vadeli stratejik kararlar alınmasını gerektirir. Bu kararların doğru yönde alınması işletmenin sektörde kalmasını ve büyümesini doğrudan etkiler. Ulaşım sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin en önemli kararlarından biri hizmet sisteminin tasarımıdır. Sistem tasarımı; hizmet verilecek şehirlerin, güzergâhların seçimi, hizmet frekansı ve araçların kapasitesi gibi konuları kapsar. Bu kararlar,

maliyetin azaltılmasında ve sunulan hizmetin müşteriler tarafından tercih edilmesinde önemli rol oynar [3].

Bir havayolu işletmesinin karar verme süreci uçuş ağı ve filo planlama, uçak ve mürettebat çizelgeleme aşamalarından oluşur. Uçak çizelgeleme; filo atama ve uçak rotalama, mürettebat çizelgeleme ise mürettebat eşleştirme ve nöbet çizelgesi oluşturma aşamalarını kapsar [4]. Bu süreçte işletmenin stratejik kararlar almasını gerektiren en önemli problemler, uçuş ağı ve filo planlama problemleridir. Uçuş ağı planlama, ulaşım hizmetinin yapılacağı başlangıç-varış noktalarının seçimi ve bu noktalar arasında uçakların güzergâhını planlamayı kapsar [5].

ABD’de 1978 yılında yaşanan serbestleşme hareketi ile havayolu şirketleri, hizmet verecekleri güzergâhlar ve fiyat belirleme konusunda serbest bırakılmıştır. Bu serbestleşme; havayolu operasyonları, fiyatlar, kalite ve güvenlik yönünden yeni oluşumlara ve değişikliklere sebep olmuştur. ABD’de yaşanan serbestleşme dünya genelinde etkisini göstermiş, 1980’lerin ortalarından itibaren dünya havayolu endüstrisi önemli yapısal, kurumsal ve yasal değişikliklere sahne olmuştur. Pek çok ülke iç hatlarda serbestleşmeye gitmiş, bunun yanında ülkeler arasında ikili anlaşmalar imzalanmıştır. Avrupa ve Kuzey Amerika’da açık semalar projeleri uygulamaya konmuştur. Çok sayıda havayolu şirketi serbestleşme ve liberalleşme süreçlerinin etkisi altında kalmıştır. Bu süreçte artan rekabet ortamı ve ekonomik durgunluk, uluslararası havayolu endüstrisinde büyük zararlara ve kayıplara neden olmuştur. Taşıyıcılar verimliliği artırmak ve maliyetleri azaltmak amacıyla yeniden yapılanmaya gitmek zorunda kalmıştır [6]. Bu süreçte en önemli değişiklik hava yolu uçuş ağı yapısında meydana gelmiş ve havayolu şirketleri topla-dağıt ağı yapısını geliştirerek uçuş güzergâhlarını bu yapıya göre düzenlemiştir. Bu durum diğer havayolu hizmetlerini ve operasyonlarını da etkilemiştir. Benzer şekilde hızlı dağıtım yapan kargo şirketleri de topla-dağıt ağı yapısını geliştirmiştir. Havacılıkta topla-dağıt ağı yapısının gelişimi serbestleşmeden sonra en önemli yeniliklerden biri olmuştur. Topla-dağıt ağı yapısı havayolu yolcu ve kargo taşımacılığında başarılı uygulamalarla gündeme gelmesine rağmen karayolu ulaşımında, haberleşme ağlarında ve lojistik sistemlerde de başarıyla uygulanmaktadır [7].



Topla-dağıt ağ yapısında merkezi konumda olan bir tesis ana dağıtım üssü (ADÜ) olarak hizmet verir. Diğer tesislerden çıkan akışlar ana dağıtım üssüne gelir ve gruplandırılır. Akışların tamamı ya diğer ana dağıtım üsslerine ya da doğrudan varış noktalarına gönderilmek üzere bu merkezden ayrılır. Bu merkezileştirme ve operasyon ağını genişletme ölçek ekonomisinden yararlanma avantajını getirir [7]. Bunun yanında havayolu şirketleri açısından topla-dağıt yapısındaki uçuş ağı havayolu işletmelerinin kârını arttırmakta, maliyetlerde önemli ölçüde tasarruf sağlamaktadır [8]. Ayrıca farklı sektörlerdeki firmalar, kargo ağı içerisindeki bir ADÜ'nün yakınında olması durumunda, maliyetlerin azalması yönünden fayda sağlar [9].

Güzergâh kararlarının, ADÜ yerleşiminden ve ADÜ yerleşimlerinin de güzergâh kararlarından etkileneceği açıktır. Dolayısıyla topla-dağıt ağ yapılarının tasarımında ADÜ yerleşimi ve güzergâh problemleri birlikte ele alınmalıdır [7]. Bu bağlamda ADÜ yerleşim problemi, ADÜ'lerin yerlerinin belirlenmesi ve akışların rotalanması amacıyla düğümlerin ADÜ'lere atanması problemi olarak tanımlanabilir.

Çalışmada temel olarak ADÜ yerleşim problemlerine yeni boyut kazandırılması amaçlanmış, bu kapsamda uçak tiplerinin ve sektörel özelliklerin ADÜ yerleşim problemi üzerine etkileri araştırılmıştır. Uçakların performans özelliklerinden ve taşımacılık sektörünün özelliklerinden yola çıkılarak kısıtlar geliştirilmiş ve mevcut çok atamalı p-ADÜ medyan ve sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemlerinin amaç fonksiyonu ve kısıtları ile birlikte kullanılarak yeni tamsayı modeller geliştirilmiştir. Bununla birlikte eşzamanlı olarak ADÜ yer seçimi ve ataması yapmak ve güzergâhlarda kullanılacak uygun uçak tipini belirlemek amacıyla karma tamsayı doğrusal olmayan model geliştirilmiştir.

Çalışmada uçak tiplerinin ADÜ yerleşim problemine etkisini gözlemlemek amacıyla 2 farklı uçak tipi referans alınmıştır. Modellerin uygulaması Türkiye'de yoğunlukla kullanılan 18 havaalanı için yapılmıştır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, havaalanlarının ADÜ olması durumunda ortaya çıkabilecek alt yapı ve uçakların birim taşıma maliyetlerinin teorik olarak yer almasına rağmen uygulamalarda veri yetersizliği nedeniyle kullanılamadığı görülmüştür. Çalışma kapsamında alt yapı ve birim taşıma maliyetleri, gerçek verilere dayanarak

hesaplanmıştır. Benzer şekilde günümüze kadar yapılan ADÜ yerleşim problemlerinin havayolu taşımacılığı alanına uygulamalarında, mesafeler öklit kuralına göre hesaplanmış ve uygulamalarda bu şekilde kullanılmıştır. Çalışmada havaalanları arasındaki mesafeler, Türk hava sahası dikkate alınarak aslına uygun şekilde belirlenmiştir. Kargo trafiği ve uçaklara ait veriler Türk Hava Yolları Anonim Ortaklığı ve MNG Hava Kargo İşletmesinden alınmıştır.

Çalışmanın 2. Bölümünde ADÜ yerleşim problemleri hakkında genel bilgi verildikten sonra bu problem tiplerinden, p-ADÜ medyan ve sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemleri ile ilgili günümüze kadar yapılan çalışmalara değinilmiştir. p-ADÜ medyan problemine yönelik çalışmalar tek ve çok atamalı yapılar olarak ele alınmıştır. Sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemleri, kapasite sınırı olmayan ve kapasite sınırı olan problemler olmak üzere iki ayrı başlıkta incelenmiştir. Ayrıca bu bölümde ADÜ yerleşim problemlerinin havayolu taşımacılığına yönelik yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Çok atamalı p-ADÜ medyan ve sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemleri için geliştirilen karma tamsayı doğrusal modeller ile çok atamalı p-ADÜ medyan ve güzergâhlar arası kullanılacak uçak tipi seçimi problemi için geliştirilen karma tamsayı doğrusal olmayan model 3. Bölüm’de sunulmuştur. Modeller, havayolu taşımacılığının önemli unsurları olan menzil ve kargo trafiği sürekliliği kısıtları yanında birim taşıma ve havaalanı alt yapı maliyeti parametreleri göz önüne alınarak geliştirilmiştir.

4. Bölüm’de örnek bir uygulama olmak üzere, geliştirilen modeller Türk Hava Yolları ve MNG Hava Kargo İşletmesinden alınan gerçek veriler kullanılarak denenmiş, modele eklenen kısıt ve parametrelerin çözüm sonuçlarına etkileri analiz edilmiştir.

5. Bölümde ise yapılan analizler doğrultusunda elde edilen genel sonuçlara ve önerilere yer verilmiştir.

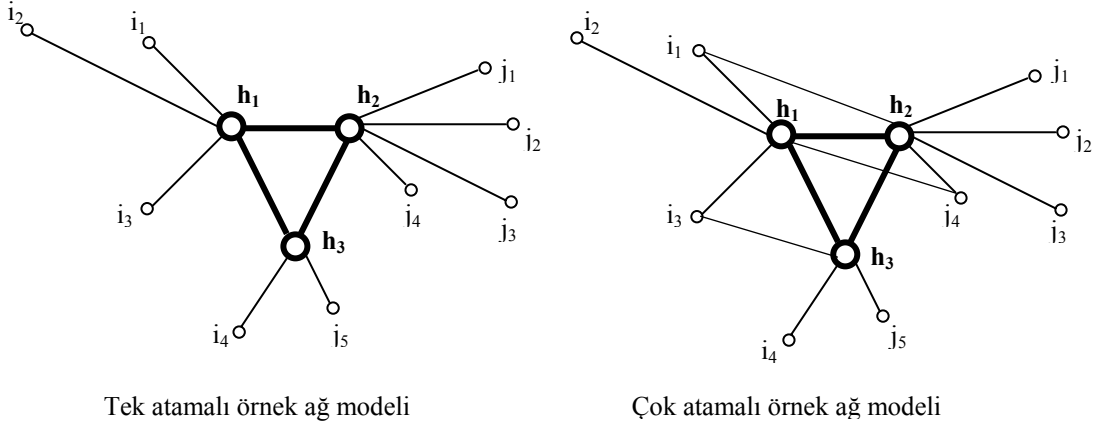
## 2. ANA DAĞITIM ÜSSÜ YERLEŞİM PROBLEMİ

“ADÜ yerleşim problemleri” son 20 yıldır yerleşim teorisinin önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bunda modern taşımacılık ve telekomünikasyon sistemlerinde topla-dağıt ağ yapılarının kullanımının büyük rolü vardır. Topla-dağıt ağ yapısında merkezi konumda olan bir tesis, toplama ve dağıtma noktası olarak hizmet verir. Toplama ve dağıtma noktası olarak kullanılan bu merkez “ana dağıtım üssü” olarak isimlendirilir. Topla-dağıt ağ sistemlerinde tüm başlangıç-varış noktası arasındaki akışlar doğrudan bağlantı hatları ile değil, ölçek ekonomisinden yararlanmak amacıyla ADÜ’lerde toplanır ve yine ADÜ’ler üzerinden varış noktalarına gönderilir. Böylece daha az sayıda bağlantı hattı ile daha düşük maliyetlerle daha çok noktaya erişim sağlamak mümkün olur. ADÜ yerleşim problemlerinin pek çok sektörde uygulaması görülmektedir. Özellikle havayolu taşımacılığı, posta ve kargo dağıtım hizmetleri, acil hizmetler sektörü ve telekomünikasyon alanlarında kullanılmaktadır [10].

### 2.1. Ana Dağıtım Üssü Yerleşim Problemi Tanımı ve Sınıflandırılması

“Ana dağıtım üssü yerleşim problemi” genel anlamıyla ADÜ’lerin yerlerinin belirlenmesi ve düğümlerin ADÜ’lere atanmasını kapsayan yerleşim-atama problemidir [11]. Ana dağıtım üssü yerleşim problemi, iki alt problemi kapsar: 1. problem ADÜ yer seçimi, 2. problem ise düğüm noktalarının belirlenen ADÜ’lere atanmasıdır. Bazı araştırmacılar problemin sadece atama yönünü ele almışlardır. En iyi atamalar ADÜ yer seçimlerinden, en iyi ADÜ yer seçimleri de atama kararlarından etkileneceğinden ADÜ ağ yapısı tasarımında yer seçimi ve atama problemleri birlikte ele alınmalıdır [12, 13]. ADÜ yerleşim probleminde tek ve çoklu atama olmak üzere iki farklı atama yapısı söz konusudur. Tek atamalı yapılarda her düğüm noktasının gelen ve giden trafiği, tek bir ADÜ üzerinden gönderilir. Bu da bir düğüm noktasının bir ADÜ’ye atanması demektir ve “tek atamalı ADÜ yerleşim” olarak isimlendirilir. Çok atamalı yapılarda ise her düğüm noktası, gelen ve giden akışları birden fazla ADÜ üzerinden gönderir veya alır. Bu yapıdaki problemler “çok atamalı ADÜ yerleşim” olarak isimlendirilir [10]. Şekil 2.1’de tek atamalı ve çok atamalı ADÜ problemine örnek ağ yapıları

görülmektedir. Tek atamalı yapıda örneğin  $i_1$  düğümü tek bir ADÜ'ye atanırken çok atamalı yapıda  $i_1$  düğümü 1'den fazla ADÜ'ye atanmaktadır.



Şekil 2. 1. Tek atamalı ve çok atamalı ADÜ yerleşim problemi örnek ağ yapıları

Campbell [14] ADÜ yerleşim problemlerini tesis problemlerine benzer şekilde “p-ADÜ medyan”, “p-merkez ADÜ”, “ADÜ kapsama” ve “kapasite sınırı olmayan ADÜ yerleşim” problemi olmak üzere 4 farklı şekilde gruplandırmıştır [14].

- **p-ADÜ medyan problemi;** toplam taşıma maliyetini enküçükleyecek şekilde p sabit sayıdaki ana dağıtım üslerinin yerlerini belirleme ve başlangıç-varış noktaları arasındaki trafiğin rotalanması amacıyla düğüm noktalarını bu üslere atama problemidir [14].

- **p-merkez ADÜ problemi;** p-merkez yerleşim problemine benzerdir. Amaç p sayıdaki ana dağıtım üssünün, maksimum seyahat maliyetini enküçükleyecek şekilde ADÜ'lerin yerleşimi ve atamaların yapılması problemidir. Seyahat maliyeti olarak; başlangıç-varış noktaları arasındaki seyahat maliyeti veya her bir bağlantı hattının seyahat maliyeti ele alınabilir [14].

- **Ana dağıtım üssü kapsama problemi;** tüm düğüm noktalarını kapsamak üzere seyahat maliyetinin belirli bir değere eşit veya altında olmasını sağlayacak ve ADÜ sayısını enküçükleyecek şekilde ana dağıtım üslerinin yerleşimi problemidir [14].

- **Kapasite sınırı olmayan ADÜ yerleşim problemi;** toplam maliyeti enküçükleyecek şekilde ana dağıtım üslerinin sayısını, yerlerini belirleme ve

başlangıç-varış noktaları arasındaki trafiğin rotalanması amacıyla düğüm noktalarını bu üslere atama problemi [14].

Kapasite sınırı olmayan ADÜ yerleşim probleminde ADÜ sayısını belirleyici temel parametre ADÜ açma maliyetidir. Campbell [14], ADÜ'ler için kapasite sınırı kullanılarak "kapasite sınırı olan ADÜ yerleşim problemi" ortaya koymuştur. Problem; ADÜ kapasite kısıtı altında, kapasite sınırı olmayan ADÜ yerleşim problemine benzer şekilde ana dağıtım üslerinin sayısının, yerlerinin ve atamalarının belirlenmesi problemidir. Bu iki problem yapısı arasında sadece kapasite kısıtı açısından farklılık söz konusudur. Dolayısıyla çalışmanın sonraki bölümlerinde kapasite sınırı olan ve kapasite sınırı olmayan ADÜ yerleşim problemleri "sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemi" olarak tek bir başlık altında ele alınmıştır.

ADÜ yerleşim problemlerinde üç kabul söz konusudur:

- Her ADÜ çifti arasında bağlantı vardır.
- ADÜ olmayan talep noktaları arasında doğrudan bağlantıya izin verilmez.
- ADÜ'ler arasında yapılan taşımalarda ölçek ekonomisinden yararlanılır ve ADÜ'ler arasındaki birim taşıma maliyeti maliyet azaltma katsayısı ( $\alpha$ ) ile çarpılarak elde edilir.

Bazı çalışmalarda bu kabuller gevşetilmiş olmakla birlikte aksi belirtilmedikçe bu kabuller geçerlidir.

ADÜ yerleşim problemleri kesikli ve sürekli uzaylar için tanımlıdır. Kesikli uzayda talep noktalarının yani başlangıç-varış noktalarının yeri bellidir. Sürekli uzayda ise talep noktaları koordinat düzleminde herhangi bir noktada tanımlıdır. Çalışmada kesikli ADÜ yerleşim problemleri dikkate alınmıştır ve kısaca "ADÜ yerleşim problemi" şeklinde kullanılmıştır.

ADÜ yerleşim problemleri,  $n$  adet başlangıç-varış noktası ve potansiyel ADÜ'lerin yer aldığı ağlar için tanımlıdır. Problemin temel parametreleri; her başlangıç-varış çiftine ait akış verileri, birim taşıma maliyeti (zaman, mesafe, parasal maliyet) ve iki ADÜ arasındaki taşımalarda ölçek ekonomisinden yararlanmak amacıyla kullanılan maliyet azaltma katsayısıdır [15].

ADÜ yerleşim problemi ilk olarak O’Kelly [16] tarafından ortaya konmuştur. O’Kelly [16] bu çalışmasında düzlemsel yerleşim problemlerine yönelik model geliştirmiştir. Yazar çalışmasında bir ve iki ADÜ bulunan temel modelleri ortaya koymuştur. O’Kelly [16] her başlangıç-varış çifti için doğrudan atamalarla  $\binom{n}{2}$  kadar bağlantı hattı kullanılması yerine akışların ana dağıtım üsleri üzerinden gönderilmesi durumunda bunun (n-1)’e düşeceğine dikkat çekmiş ve ADÜ oluşturmada maliyet parametrelerini incelemiştir [16]. O’Kelly [17] problemin ilk modelini geliştirmiştir. Problem, tek atamalı p-ADÜ medyan problemidir. Model kareli amaç fonksiyonuna sahip ikil modeldir. Amaç, toplam taşıma maliyetini enküçükmektir [17]. Kareli tamsayı modeli, ADÜ yer seçimi problemlerinin temeli olarak kabul edilmektedir.

O’Kelly [17]’nin modelinde N düğümler kümesini, i akışın başlangıç noktasını, j akışın varış noktasını, k potansiyel ADÜ noktasını, p açılacak ADÜ sayısını,  $W_{ij}$  i’den j’ye akış miktarını,  $C_{ij}$  birim taşıma maliyetini ve  $\alpha \in (0,1)$  olmak üzere maliyet azaltma katsayısını göstermektedir.  $X_{ik}$  i düğümü k ADÜ’ye atanmışsa 1, diğer durumlarda 0 (sıfır) değerini alan ikil değişkendir.  $X_{kk}=1$  olması k düğümünün ADÜ olduğunu,  $X_{kk}=0$  olması ise k düğümünün ADÜ olmadığını ifade eder. Buna göre O’Kelly [17]’nin geliştirdiği model aşağıdaki gibidir:

$$\sum_k X_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (2.1)$$

$$\sum_k X_{kk} = p \quad (2.2)$$

$$X_{ik} \leq X_{kk} \quad \forall i, k \in N \quad (2.3)$$

$$X_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i, k \in N \quad (2.4)$$

kısıtları altında

$$\text{Enk} \sum_{i,j} W_{ij} \left[ \sum_k C_{ik} \cdot X_{ik} + \sum_k \sum_m \alpha \cdot C_{km} \cdot X_{ik} \cdot X_{jm} + \sum_m C_{jm} \cdot X_{jm} \right] \quad (2.5)$$

(2.1) ve (2.4) numaralı kısıtlar her düğümün sadece bir ADÜ’ye atanmasına, (2.3) kısıtı ise atamaların sadece ana dağıtım üslerine yapılmasına izin verir. ADÜ sayısı, (2.2) kısıtı ile sınırlandırılmıştır. Amaç fonksiyonu (2.5),

toplam taşıma maliyetini enküçükler. Çalışmada ayrıca “en yakın tesise (ADÜ’ye) atama” yaklaşımına göre bir sezgisel geliştirilmiştir [17].

Çalışmaların etkinliğini değerlendirmek amacıyla çoğunlukla CAB (Civil Aeronatics Board) ve AP (Australia Post) verilerinin kullanıldığı görülmektedir. CAB verileri 1970 yılında ABD’de 25 şehrin havayolu yolcu akışı verilerini içermektedir. CAB verileri ilk defa O’Kelly [17] tarafından kullanılmıştır. AP veri kümesi ise Avustralya’da 200 düğüm noktasını kapsayan posta dağıtım hizmetlerine ait verilerdir [11].

Bundan sonraki bölümde çalışmanın kapsamı doğrultusunda p-ADÜ medyan, sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemleri ve havayolu taşımacılığı uygulamaları ele alınmıştır. İlk olarak “tek atamalı”, ardından “çok atamalı” problemlere yönelik çalışmalara değinilmiştir. Çalışmalar ilk önce model yönünden sonra da çözüm yöntemlerine göre incelenmiştir.

## **2.2. p-ADÜ Medyan Problemi Konusunda Literatür Araştırması**

**p-ADÜ medyan probleminde** (p-HM: p-Hub Median), atamalar, tek ve çok atamalı olmak üzere 2 farklı yapıda olabilir. Aşağıda konu ile ilgili çalışmalar incelenmiştir.

### **2.2.1. Tek atamalı p-ADÜ medyan problemi literatür araştırması**

Tek atamalı p-ADÜ medyan (USApHMP: Uncapacitated Single Allocation p-Hub Median Problem) problemine yönelik ilk doğrusal tamsayı modelini Campbell [14] geliştirmiştir. Modelin doğrusallaştırılması önemli bir gelişmedir. Bu sayede “en iyi” çözümlerin belirlenmesinde doğrusal programlamadan yararlanılır. Modelde kullanılan karar değişkenleri aşağıda tanımlanmıştır. Diğer parametre ve değişkenler yukarıda tanımlandığı gibidir.

$$Y_k = \begin{cases} 1, & k \text{ düğümü ADÜ olarak belirlenmişse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$Z_{ik} = \begin{cases} 1, & i \text{ düğümü } k \text{ ADÜ'ye atanmışsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$X_{ijkm}$ : i noktasından j noktasına gitmekte olan akışın k ve m ADÜ'lerini kullanım oranını

göstermek üzere Campbell [14]'in tek atamalı p-ADÜ medyan problemine yönelik geliştirdiği model aşağıdaki gibidir:

$$\sum_k Y_k = p \quad (2.6)$$

$$0 \leq Y_k \leq 1 \quad \forall k \quad (2.7)$$

$$0 \leq X_{ijkm} \leq 1 \quad \forall i, j, k, m \quad (2.8)$$

$$\sum_k \sum_m X_{ijkm} = 1 \quad \forall i, j \quad (2.9)$$

$$0 \leq Z_{ik} \leq 1 \quad \forall i, k \quad (2.10)$$

$$Z_{ik} \leq Y_k \quad \forall i, k \quad (2.11)$$

$$\sum_j \sum_m (W_{ij} X_{ijkm} + W_{ji} X_{jimk}) = \sum_j (W_{ij} + W_{ji}) Z_{ik} \quad \forall i, k \quad (2.12)$$

kısıtları altında

$$\text{Enk} \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m W_{ij} \cdot X_{ijkm} \cdot C_{ijkm} \quad (2.13)$$

(2.6) kısıtı ADÜ sayısını p ile sınırlı olmaya zorlar. (2.7) kısıtı ile  $Y_k$ , (2.10) kısıtı ile  $Z_{ik}$  karar değişkenlerinin 0 ya da 1 değerini alması sağlanır. (2.8) kısıtı ile  $X_{ijkm}$  karar değişkeni 0 ile 1 arasında bir değer alır. (2.9) kısıtı ile akışların sadece ADÜ'ler üzerinden gönderilmesi sağlanır. (2.11) ve (2.12) kısıtları ile bir düğüm sadece bir ADÜ'ye atanır. Amaç fonksiyonu (2.13) ile toplam taşıma maliyeti enküçüklenmektedir. Campbell [14]'in modelinde  $(n^2+n)$  sayıda ikil olmak üzere toplam  $(n^4+n^2+n)$  değişken ve  $(n^4+2n^2+n+1)$  sayıda doğrusal kısıt yer almaktadır. Çalışmada ayrıca talep noktası-ADÜ bağlantıları arasında bir bağlantı hattının açılması için minimum akış eşik değeri ve sabit maliyetler dikkate alınmıştır. Akış eşik değeri i-j arasında bağlantı hattının



açılması için gerekli olan en az akış değerini ifade etmektedir. Bu sayede bağlantı hattı sayısı kısıtlanmıştır. İdeal durumda doğrusallaştırılmış tamsayı modeli ile tamsayı çözümler elde edilir (bu problemde tamsayı değişkenler ADÜ'lerin seçiminde kullanılmaktadır). Ancak problemin boyutu büyüdükçe tamsayı çözüm elde etmek zorlaşır. Bu amaçla “tamsayı gevşetmesi” uygulanır. Campbell [14]'in modeline tamsayı gevşetmesi uygulandığında tamsayı olmayan sonuçlar elde edilmekte ve çok sayıda kısmi ADÜ ortaya çıkmaktadır [13, 18]. Bunu gidermek amacıyla Skorin-Kapov ve ark. [18] yeni bir matematiksel model geliştirmiştir. Yukarıda tanımlanan parametre ve değişkenler aynı şekilde kullanılmıştır. i-j-k-m arasındaki birim taşıma maliyeti (2.14) ile belirlenmektedir [18].

$$C_{ijkm} = C_{ik} + \alpha.C_{km} + C_{mj} \quad (2.14)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Skorin-Kapov ve ark.[18], (2.1)-(2.4) kısıtları yanında aşağıdaki amaç fonksiyonu ve kısıtları kullanmıştır.

$$\sum_m X_{ijkm} = X_{ik} \quad \forall i, j, k \quad (2.15)$$

$$\sum_k X_{ijkm} = X_{jm} \quad \forall i, j, m \quad (2.16)$$

$$X_{ijkm} \geq 0 \quad \forall i, j, k, m \quad (2.17)$$

kısıtları altında

$$\text{Enk} \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m W_{ij} \cdot X_{ijkm} \cdot C_{ijkm} \quad (2.18)$$

(2.15) ve (2.16) kısıtları, tüm akışların ADÜ'ler üzerinden gönderilmesini sağlar. Skorin-Kapov ve ark. [18]'nin geliştirdiği modelde ( $n^2$ ) ikil olmak üzere ( $n^4+n^2$ ) değişken ve ( $2n^3+n^2+n+1$ ) doğrusal kısıt ortaya çıkmaktadır. Yazarlar, örnek problem sonuçlarına göre tamsayı gevşetmesi uygulandığında amaç fonksiyonunun %1 oranında daha düşük bir değer elde ettiklerini ifade etmiştir [18]. Bu çalışma, tek atamalı p-ADÜ medyan problemi için “en iyi” çözümün elde edildiği ilk model olarak kabul edilmektedir.

O’Kelly ve ark. [19] akışların simetrik olduğu kabulü ve toplam mesafeye göre pratik görünmeyen bazı güzergâhları çıkarmak amacıyla yeni tanımlamalar yaparak, kesin çözüm veren matematiksel model geliştirmiştir. Bundan başka O’Kelly ve ark. [19] ADÜ'ler arası taşımada kullanılan maliyet azaltma

katsayısının çözüm sonuçları üzerine etkisini araştırmış ve ideal ADÜ sayısının belirlenmesinde sabit maliyet ve maliyet azaltma katsayısı arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur [19]. Sohn ve Park [20], birim maliyeti ve bağlı olarak mesafeyi simetrik olarak daha ileri boyutta değişken ve kısıt sayısının azaldığı bir model önermiştir.

O’Kelly [17]’nin modeli üzerinde yapılan doğrusallaştırmalar ile ancak küçük boyutlu problemlerde kesin çözümün belirlenebilmesi, araştırmacıları farklı yönde doğrusallaştırma geliştirmeye itmiştir. Ernst ve Krishnamoorthy [21], Skorin Kapov ve ark. [18] ve O’Kelly [19]’nin çalışmalarına göre daha az sayıda değişken ve kısıtın yer aldığı farklı doğrusal tamsayı modeli ortaya koymuştur [21]. Çalışmada  $X_{ijkm}$  yerine ADÜ’ler arası akışlar için 3 indisli karar değişkeni tanımlanmıştır. Önceki modellerde kullanılan diğer değişken ve parametreler aynı şekilde bu modelde de kullanılmıştır. Modelde  $O_i$  i düğümünden çıkan toplam akışı ( $O_i = \sum_j W_{ij}$ ),  $D_i$  i düğümüne gelen toplam akışı ( $D_i = \sum_j W_{ij}$ ) göstermektedir.  $Y_{kl}^i$  karar değişkeni, i düğümünden çıkarak k ve l ADÜ’lerinden geçen akış miktarı olarak tanımlanmıştır.  $\chi \in (0,1)$  ve  $\delta \in (0,1)$  olmak üzere sırasıyla düğüm-ADÜ ve ADÜ-düğüm arasındaki taşımalarındaki maliyet azaltma katsayısını göstermektedir. Modelde (2.1)-(2.4) kısıtları ile birlikte aşağıdaki amaç fonksiyonu ve kısıtlar kullanılmıştır.

$$\sum_l Y_{kl}^i - \sum_l Y_{lk}^i = O_i \cdot X_{ik} - \sum_j W_{ij} \cdot X_{jk} \quad \forall i,k \quad (2.19)$$

$$Y_{kl}^i \geq 0 \quad \forall i,k,l \quad (2.20)$$

kısıtları altında

$$\text{Enk} \sum_i \sum_k C_{ik} \cdot X_{ik} (\chi \cdot O_i + \delta \cdot D_i) + \sum_i \sum_k \sum_l \alpha \cdot C_{kl} \cdot Y_{kl}^i \quad (2.21)$$

(2.19) kısıtı akış dengeleme kısıtıdır. (2.20) kısıtı  $Y_{kl}^i$  değişkeninin 0’dan büyük pozitif değer almasını sağlar. Amaç fonksiyonu (2.21) toplam taşıma maliyetini enküçüklemektedir. Bu modelde  $n^2$  0/1 tamsayı olmak üzere  $(n^3+n^2)$  değişken ve  $(2n^2+n+1)$  doğrusal kısıt yer almaktadır [21].

Ebery [22] daha az sayıda karar değişkeni olan yeni bir karma tamsayılı doğrusal model geliştirmiştir. Yazar geliştirdiği modelin sonuçlarını, Ernst ve

Krishnamoorthy'nin [29] geliştirdiği en kısa yola dayalı sezgiselin sonuçları ile karşılaştırmış, yeni modelin daha etkin olduğunu ancak daha uzun çözümler zamanını gerektirdiğini vurgulamıştır [22].

p-ADÜ medyan problemlerinin en iyi çözümlerini belirlemek zordur. Küçük boyutlu problemlerin, optimizasyon yazılımları ile çözümlerini mümkün olmakla birlikte büyük boyutlu problemleri çözümlerinde yetersiz kalmaktadır. Bu amaçla sezgisel ve metasezgisel çözümler yöntemleri geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonunun alt ve üst sınırlarının belirlenmesi ve bu sınırların mümkün olduğu kadar dar aralıklarda olması "en iyi" çözümlerine ulaşılmakta çözümler süresini kısaltan etkidir. Bu nedenle çalışmalarda özellikle alt ve üst sınırların belirlenmesine yönelik sezgiseller de geliştirilmiştir. Aşağıdaki bölümde problemin çözümlerine yönelik yapılan çalışmalar ele alınmıştır.

Tek atamalı p-ADÜ medyan problemine yönelik olarak ilk sezgiseller (HEUR1 ve HEUR2) O'Kelly [17] tarafından ortaya konmuştur. Sezgiseller tüm ihtimallerin sıralanması ve düğüm noktalarının en yakın tesise atanması yaklaşımına dayanmaktadır. HEUR1, ADÜ olmayan düğüm noktalarını en yakın ADÜ'ye atar. HEUR2 ise bir düğüme en yakın 2 ADÜ'yü değerlendirir ve düğümü en düşük toplam maliyeti sağlayan ADÜ'ye atar [17]. Ancak bu yaklaşım, ADÜ yer seçimi ve ataması problemlerinde en iyi sonucu vermez. Bu nedenle Aykın [23] akışa dayalı atama yaklaşımını önermiştir. Klincewicz [24, 25] tek atamalı p-ADÜ medyan probleminin çözümlerine yönelik sezgisel yöntemler ortaya koymuştur. Klincewicz [24], O'Kelly [17]'nin ortaya koyduğu üst sınır yaklaşımını iyileştirmek amacıyla sadece mesafeye bağlı değil, hem akışlara hem mesafeye dayalı atama prosedürü geliştirmiştir. Bu yaklaşım, atamalarda akışların önemini göstermiştir. Klincewicz [24]'in geliştirdiği değiştirme sezgiselinde, düğüm noktaları ADÜ'ler kümesi ve ADÜ olmayan düğümler kümesi olmak üzere 2 kümeye ayrılır. İlk olarak düğümler ADÜ'lere atanır ve amaç fonksiyonu değeri belirlenir. Bundan sonraki aşamada ADÜ olmayan düğümlerle ADÜ'ler arasında değiştirme yapılır, amaç ilk aşamada elde edilen amaç fonksiyonu değerinden daha düşük maliyet elde etmektir. En iyi ADÜ kümesi en düşük amaç fonksiyonu değerini sağlayan ADÜ'lerden oluşur. Bu yaklaşım ile en iyi çözümler veren ADÜ yer seçimi ve atamaları gerçekleştirilir.

O'Kelly [17]'nin sezgiselinden daha iyi sonuçlar elde etmiştir [24]. Bundan sonra Klinecicz [25] yasaklı arama ve GRASP sezgiseli geliştirmiştir. Atamalar en yakın ADÜ'ye atama kuralıyla yapılır. Bu sezgiselin değiştirme yöntemine göre avantajı yerel en iyiden kolay bir şekilde kurtulmaktır [25].

Skorin-Kapov ve Skorin-Kapov [26] yasaklı arama sezgiseli geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlar O'Kelly (1987) ve Klinecicz [24, 25]'in sonuçları ile karşılaştırılmış ve daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ancak sezgiselin daha uzun çözüm zamanı gerektirdiği gözlenmiştir [26].

O'Kelly ve ark. [27] amaç fonksiyonundaki kareli yapıyı doğrusallaştırarak alt sınırı belirlemek amacıyla bir yaklaşım ortaya koymuştur. Doğrusallaştırmada mesafelerin üçgen eşitsizliğini desteklediği kabulü yapılmıştır. Bilinen sezgisel yaklaşımların çözüm sonuçlarını kullanarak, yapılan çalışma ile alt ve üst sınırlar arasındaki farkın azaldığı belirlenmiştir. Küçük problemlerde ortalama farkın %3.3 büyük problemlerde %5.9'a düştüğü belirtilmiştir [27].

Campbell [28] çok atamalı p-ADÜ medyan problemi çözümünün tek atamalı p-ADÜ medyan probleminin en iyi çözümünün alt sınırını sağladığını belirtmiştir. Bu yaklaşımdan yola çıkarak modele gevşetme uygulamış ve buna göre ADÜ yer seçimlerini belirlemek amacıyla açgözlü-değiştirme sezgiselini geliştirmiştir. Atamalar için, maksimum akış ve toplam taşıma maliyetinin enküçüklenmesi yaklaşımlarına göre yeni sezgisel algoritmalar (MAXFLO ve ALLFLO) ortaya koymuştur [28].

Ernst ve Krishnamoorthy [21] tavlama benzetimi sezgiseli ile dal ve sınır algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma ortaya koymuştur. Dal ve sınır algoritmasında kullanılacak üst sınırlar tavlama benzetimi sezgiseli ile belirlenmektedir. Geliştirilen sezgisel küçük boyutlu problemlerde etkindir ( $n \leq 50$ ), büyük boyutlu problemlerde etkin değildir [21].

Ernst ve Krishnamoorthy [29] dal ve sınır algoritmasını kullanarak kesin çözümü bulan algoritma geliştirmiştir. Çalışmada dal ve sınır algoritmasında kullanılacak alt sınırları belirlemede en kısa yol yaklaşımından yararlanılmıştır. Çalışmanın sonuçları daha önceki çalışmanın (Ernst ve Krishnamoorthy [21]) sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve yeni algoritmanın p'nin küçük değerleri için daha

hızlı olduğu vurgulanmıştır. Ancak  $p > 3$  iken 100 veya 200 düğümlü problemlerin çözümünde çözüm zamanının kabul edilebilir düzeyde olmadığı belirtilmiştir [29].

Ebery [22] ADÜ'lerin konumları belli olan ve  $p=2$  ve  $p=3$  değerlerine göre (USA2HMP, USA3HMP) doğrusal model geliştirmiştir. Yazar geliştirdiği modelin sonuçlarını, Ernst ve Krishnamoorthy [29]'nin en kısa yola dayalı geliştirdiği sezgiselin sonuçları ile karşılaştırmış, yeni modelin daha etkin olduğunu vurgulamıştır [22].

Pirkul ve Schilling [30] alt ve üst sınırları belirleyen lagrange gevşetmesi yöntemini ortaya koymuştur. Bunun yanında altproblemlerin biri için kesme kısıtı geliştirilmiştir. Bu yaklaşımla daha sıkı alt sınırlar belirlenmesi sağlanmıştır. Çözüm kalitesinin Ernst ve Krishnamoorthy [21]'nin kesin çözümü belirleyen çalışması ile kıyaslanabilir düzeyde olduğu belirtilmiştir [30].

Smith ve ark. [31] modifiye edilmiş Hopfield yapay sinir ağları yöntemini geliştirmiştir. Çalışmada daha az sayıda değişken ve kısıt gerektirmesinden dolayı O'Kelly [17]'nin kareli tamsayı modelini kullanılmıştır. Yazarlar, CAB veri kümesini kullanarak Ernst ve Krishnamoorthy [21]'nin tavlama benzetimi yönteminin sonuçları ile geliştirdikleri yöntemin sonuçlarını karşılaştırmıştır. Hopfield yapay sinir ağı yönteminin tavlama benzetimi yöntemi ile kıyaslanabilir düzeyde olduğu belirtilmiştir [31].

Sohn ve Park [32]  $p=2$  ve ADÜ'lerin konumları belli olan ağ yapıları için tek atamalı  $p$ -ADÜ medyan problemi üzerine çalışmış ve doğrusal model ortaya koymuştur. Problemin minimum kesme problemine dönüştürülebileceği gösterilmiştir [32]. Sohn ve Park [20] sonraki çalışmalarında ADÜ'lerin konumları belli iken karma tamsayılı model geliştirmiştir. Yazarlar, bu çalışmada bağlantı hattı açma maliyetini göz önüne almıştır [20]. Sohn ve Park [33] konumları belli olan 3 ADÜ'nün yer aldığı tek atamalı  $p$ -ADÜ medyan problemine yönelik karma tamsayılı model ortaya koymuştur [33]. Ebery [22], ADÜ'lerin konumları belli olan tek atamalı  $p$ -ADÜ medyan problemlerine yönelik yeni bir karma tamsayılı model geliştirmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre Sohn ve Park [32, 33]'in çalışmalarından daha etkin çözümler elde edilmiştir [22].

Elhedhli ve Hu [34] ADÜ'lerdeki tıkanıklığı göz önüne almış ve tek atamalı p-ADÜ medyan problemi için doğrusal olmayan konveks amaç fonksiyonu geliştirmişlerdir. Kısmi doğrusal fonksiyonlar kullanarak modeli doğrusallaştırmış ve Lagrange gevşetmesi uygulamıştır [34]. Bu çalışma ile topladağıt ağ yapısına yeni ve daha gerçekçi bir yaklaşım ortaya konmuştur.

Değişken ve kısıt sayısı yönünden Ebery [22] en iyi matematiksel modeli geliştirmiştir. Ernst ve Krishnamoorthy [21]'nin ortaya koyduğu model çözüm süresi yönünden en iyi modeldir. Kesin çözümü veren en etkin yöntem Ernst ve Krishnamoorthy'nin [29] geliştirdiği en kısa yola dayalı dal ve sınır algoritmasıdır. Günümüze kadar çözülen en büyük boyutlu problem 100 düğümlüdür. En etkin sezgisel lagrange gevşetmesine dayalı Pirkul ve Schilling [30]'in geliştirdiği sezgiseldir. Skorin-Kapov ve Skorin-Kapov [26]'un geliştirdiği yasaklı arama sezgiseli ve Ernst ve Krishnamoorthy [21]'nin ortaya koyduğu tavlama benzetimi sezgiseli en iyi metasezgisellerdir [35].

### 2.2.2. Çok atamalı p-ADÜ medyan problemi literatür araştırması

Çok atamalı p-ADÜ medyan problemine (UMApHMP: Uncapacitated Multiple allocation p-Hub Median Problem) yönelik doğrusal tamsayılı model ilk olarak Campbell [36] tarafından geliştirilmiştir. Campbell [36] modelde (2.2), (2.4), (2.17) kısıtları ve (2.18) amaç fonksiyonu yanında aşağıdaki kısıtları kullanmıştır. Modelde yukarıda tanımlanan parametre ve karar değişkenleri aynı şekilde kullanılmıştır.

$$\sum_k \sum_m X_{ijkm} = 1 \quad \forall i, j \quad (2.22)$$

$$X_{ijkm} \leq X_{kk} \quad \forall i, j, k, m \quad (2.23)$$

$$X_{ijkm} \leq X_{mm} \quad \forall i, j, k, m \quad (2.24)$$

(2.22) kısıtı akışların bir ADÜ çifti üzerinden gönderilmesini sağlar. (2.23) ve (2.24) kısıtları akışların ADÜ'ler üzerinden gönderilmesini garantiler. 20 düğümlü ve en fazla 5 ADÜ'lü ağlar için en iyi çözümler sayımlama yöntemi ile bulunmuştur [36].

Campbell [14] çok atamalı p-ADÜ medyan probleminde akış eşik değerlerini ve bağlantı hatları için sabit maliyetleri dikkate alan model önermiştir.

Campbell [36]'in modeli 0/1 karma tamsayılı doğrusal modeldir.  $(n^4+n)$  sayıda değişken ve  $(2n^4+n^2+1)$  sayıda kısıt söz konusudur. Bu modelin çözümü boyutunun büyüklüğü ve  $X_{ik}$  değişkenin 0/1 tamsayı olması nedeniyle zordur. Campbell [36]'in modeline tamsayı gevşetmesi uygulandığında tamsayı olmayan sonuçlar elde edilmektedir ve çok sayıda kısmi ADÜ ortaya çıkmaktadır. Bunu gidermek amacıyla Skorin-Kapov ve ark. [18] yeni bir karma tamsayılı model geliştirmiştir. Modelde (2.2), (2.4), (2.17), (2.22) kısıtları ve (2.18) amaç fonksiyonu yanında Campbell [36]'in modelinde yer alan (2.23) ve (2.24) kısıtları yerine (2.25) ve (2.26) kısıtları kullanılmıştır [18].

$$\sum_{m=1}^n X_{ijkm} \leq Y_k \quad \forall i, j, k \in N \quad (2.25)$$

$$\sum_{k=1}^n X_{ijkm} \leq Y_m \quad \forall i, j, m \in N \quad (2.26)$$

(2.25) ve (2.26) kısıtları ile akışların bir ADÜ üzerinden gönderilmesi sağlanır. Modelde  $(2n^3+n^2+1)$  doğrusal kısıt,  $n$  sayıda 0/1 tamsayı olmak üzere  $(n^4+n)$  sayıda değişken ortaya çıkmaktadır. Modele doğrusal programlama gevşetmesi uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre doğrusal programlama gevşetmesi ile elde edilen amaç fonksiyonu değerinin, en iyi amaç fonksiyonu değerinden %1 daha düşük çıktığı görülmüştür [18].

O'Kelly ve ark. [19] tek atamalı p-ADÜ medyan problemi için yaptıkları çalışmaya benzer bir çalışmayı çok atamalı p-ADÜ medyan problemi için de yapmıştır. Akışların simetrik olduğu kabulü ve toplam mesafeye göre pratik görünmeyen bazı güzergâhları çıkarmak amacıyla yeni tanımlamalar yaparak, kesin çözüm veren matematiksel model geliştirmiştir. Çalışmada kısıt ve değişken sayısı azalmıştır [19].

Skorin-Kapov ve ark [18]'nin geliştirdiği matematiksel modelde düğüm sayısı arttıkça değişken ve kısıt sayısı kontrol edilemez şekilde büyür. Ernst ve Krishnamoorthy [37], tek atamalı p-ADÜ medyan problemine yönelik yaptıkları çalışmanın (Ernst ve Krishnamoorthy [21]) benzerini çok atamalı p-ADÜ medyan problemi için de yapmış ve daha az sayıda değişken ile kısıtın yer aldığı model geliştirmiştir. Çalışmada akışların belirlenmesinde, akış oranları değil akış miktarı karar değişkenleri kullanılmıştır [37]. Modelde kullanılan karar değişkenleri aşağıdaki gibidir. Diğer parametre ve değişkenler yukarıda tanımlandığı gibidir.

$$H_k = \begin{cases} 1, & k \text{ düğümü ADÜ olarak belirlenmişse} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$Y_{kl}^i$ : i başlangıç noktasından çıkan k ve l ADÜ'leri üzerinden geçen akış miktarı.

$Z_{ik}$ : i başlangıç noktasından çıkıp k ADÜ'ye yönelen akış miktarı.

$X_{lj}^i$ : i başlangıç noktasından çıkıp l ADÜ üzerinden geçen ve j noktasına ulaşan akış miktarı

olmak üzere model aşağıdaki gibidir.

$$\sum_{k \in N} H_k = p \quad (2.27)$$

$$\sum_{k \in N} Z_{ik} = O_i \quad \forall i \in N \quad (2.28)$$

$$\sum_{l \in N} X_{lj}^i = W_{ij} \quad \forall i, j \in N \quad (2.29)$$

$$\sum_{l \in N} Y_{kl}^i + \sum_{j \in N} X_{kj}^i - \sum_{l \in N} Y_{lk}^i - Z_{ik} = 0 \quad \forall i, k \in N \quad (2.30)$$

$$Z_{ik} \leq O_i \cdot H_k \quad \forall i, k \in N \quad (2.31)$$

$$X_{lj}^i \leq W_{ij} \cdot H_l \quad \forall i, j, l \in N \quad (2.32)$$

$$H_k \in \{0,1\} \quad \text{tamsayı ve } \forall k \quad (2.33)$$

$$X_{lj}^i, Y_{kl}^i, Z_{ik} \geq 0 \quad \forall i, j, k, l \in N \quad (2.34)$$

kısıtları altında

$$\text{Enk} \sum_{i \in N} \left[ \chi \cdot \sum_{k \in N} d_{ik} \cdot Z_{ik} + \alpha \cdot \sum_{k \in N} \sum_{l \in N} d_{kl} \cdot Y_{kl}^i + \delta \cdot \sum_{l \in N} \sum_{j \in N} d_{lj} \cdot X_{lj}^i \right] \quad (2.35)$$

(2.27) kısıtı, ADÜ sayısının p ile sınırlanmasını sağlamaktadır. (2.28), (2.29) ve (2.30) kısıtları, her i başlangıç noktasının akışlarını gösteren kısıtlardır. (2.31) kısıtı, ADÜ olmayan bir noktaya akışın yönlendirilmesini engellemektedir. (2.32) kısıtı ise ADÜ olmayan bir noktadan diğer noktalara akışın dağılmasını engellemektedir. (2.33) tamsayı kısıtıdır. (2.34) kısıtı ile akış miktarı karar değişkenlerinin pozitif değer alması sağlanmaktadır. Amaç fonksiyonu (2.35) toplam taşıma maliyetini enküçükmektedir. Bu modelle n sayıda 0/1 tamsayı değişkeni olmak üzere  $(2n^3+n^2+n)$  değişken,  $(4n^2+n+1)$  sayıda kısıt söz konusudur. Problemin boyutu önceki modellere göre azalmıştır [37].



Boland ve ark. [38], Ernst ve Krishnamoorthy [37]'nin modelinde yer alan (2.27)-(2.31), (2.33), (2.34) kısıtları ve (2.35) amaç fonksiyonu yanında (2.36), (2.37) ve (2.38) kısıtını ortaya koyarak bir model geliştirmiştir [38].

$$Z_{hh} = O_h \cdot H_h \quad \forall h \quad (2.36)$$

$$X_{hh}^i = W_{ih} \cdot H_h \quad \forall i, h \quad (2.37)$$

$$\sum_i X_{ij}^i \leq \sum_i W_{ij} \cdot H_i \quad \forall j, l \in N \text{ ve } j \neq l \quad (2.38)$$

(2.36) kısıtı, bir ADÜ'nün başka bir ADÜ'den çıkan akışı toplayamamasını, (2.37) kısıtı ise bir ADÜ'de biten akışın başka bir ADÜ tarafından dağıtılamamasını sağlar. Eklenen bu kısıtlarla problemin boyutu küçülmüştür. Modelde n adedi 0/1 tamsayı değişken olmak üzere  $(2n^3+n^2+n)$  değişken ve  $(5n^2+2n+1)$  kısıt söz konusudur. Özellikle alt sınırların belirlenmesinde Ernst ve Krishnamoorthy [37]'nin modeline göre daha zayıf olduğu belirtilmiştir.

Campbell [28], p-medyan probleminin çözümünde kullanılan açgözlü-değiştirme sezgiselini çok atamalı p-ADÜ medyan probleminin çözümüne uyarlamıştır. Yazar, açgözlü değiştirme sezgiselinin etkin bir çözüm yöntemi olduğunu belirtmiştir [28].

Ernst ve Krishnamoorthy [37], en kısa yol problemi çözüm tekniklerine dayanan sezgisel ortaya koymuştur. Bunun yanında kesin çözümü belirlemek amacıyla doğrusal programlama gevşetmesine dayalı sayımlama algoritması geliştirmiştir [37].

Ernst ve Krishnamoorthy [39], kesin çözümü belirleyen dal ve sınır algoritmasını ortaya koymuştur. Çalışmada alt sınırlar, en kısa yol problemi çözüm tekniklerine dayanarak belirlenmektedir. Bu sayede büyük boyutlu problemler kolaylıkla çözülebilmektedir. Geliştirilen yöntemle düğüm sayısı (n) 200 ve ADÜ sayısı (p) 3 olan ağlar için çok kısa zamanda kesin çözüm elde edilebilmektedir. Ancak  $n=100$  ve  $p>5$  ile  $n=200$  ve  $p>3$  ağlar için kabul edilebilir zamanda çözüm elde edilememiştir [39]. Literatürde bugüne kadar en büyük boyutlu problem çözümü bu algoritma ile elde edilmiştir.

Sohn ve Park [20] en kısa yol probleminin çözüm tekniğine dayalı algoritma geliştirmiştir. Algoritmanın p sayısının küçük değerlerinde (en fazla p=4) etkin olduğu belirtilmiştir [20].

### 2.3. Sabit Maliyetli ADÜ Yerleşim Problemi Literatür Araştırması

p-ADÜ medyan probleminde ADÜ sayısı p ile ifade edilmekte ve kullanıcı tarafından belirlenen bir parametredir. Sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemlerinde ise ADÜ sayısı karar değişkeni olarak yer almakta ve çözüm sonucunda belirlenmektedir. ADÜ sayısının belirlenmesinde ADÜ açma maliyeti dikkate alınmaktadır. Literatürde p-ADÜ medyan problemine göre ADÜ yerleşim problemine yönelik daha az sayıda çalışma yer almaktadır. Sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemleri “kapasite sınırı olan” ve “kapasite sınırı olmayan” ADÜ yerleşim problemleri olmak üzere iki ayrı başlıkta ele alınmaktadır. Aşağıdaki bölümde öncelikle kapasite sınırı olmayan ADÜ yerleşim problemleri (UHLP: Uncapacitated Hub Location Problem) ardından kapasite sınırı olan ADÜ yerleşim problemleri (CHLP: Capacitated Hub Location Problem) incelenmiştir. p-ADÜ medyan problemine benzer şekilde bu problem tipleri için de tek ve çok atamalı yapılar söz konusudur. Aşağıda her problem tipi için ilk olarak tek atamalı ardından çok atamalı yapılardan bahsedilmiştir.

#### 2.3.1. Kapasite sınırı olmayan ADÜ yerleşim problemi literatür araştırması

O’Kelly [40] kapasite sınırı olmayan sabit maliyetli tek atamalı ADÜ yerleşim problemine (USAHLP: Uncapacitated Single Allocation Hub Location Problem) yönelik kareli tamsayı modeli geliştirmiştir.  $F_j$  j düğümünde ADÜ açma maliyetini ifade etmekte, modelde kullanılan diğer parametre ve değişkenler yukarıda tanımlandığı gibidir. O’Kelly [40]’nin geliştirdiği modelde (2.1), (2.3) ve (2.4) kısıtları altında amaç fonksiyonu (2.39) enküçüklenmektedir.

$$\text{Enk} \sum_i \sum_k X_{ik} \cdot C_{ik} \cdot (O_i + D_i) + \sum_j \sum_m X_{jm} \sum_i \sum_k X_{ik} (\alpha \cdot W_{ij} C_{km}) + \sum_j X_{ij} F_j \quad (2.39)$$

Amaç fonksiyonunun (2.39) bu şekilde düzenlenmesiyle  $j$  düğümünün ADÜ olması durumunda ADÜ açma maliyeti de hesaba katılmış olur. Çalışmalarda ADÜ açma maliyeti “sabit maliyet (fixed cost)” olarak yer almaktadır. Campbell [14] tek/çok atamalı ve kapasite sınırlı/kapasite sınırı olmayan problemler için doğrusal modeller geliştirmiştir. Kapasite sınırı olmayan tek atamalı ADÜ yerleşim problemine yönelik geliştirilen doğrusal modelde (2.4), (2.22) ve (2.24) kısıtları yanında (2.40) kısıtı ve (2.41) amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

$$0 \leq X_{ijkm} \leq 1 \quad \forall i, j, k, m \quad (2.40)$$

$$\text{Enk} \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m W_{ij} X_{ijkm} C_{ijkm} + \sum_K F_k X_{kk} \quad (2.41)$$

Bu modelde amaç, toplam maliyeti enküçükleyecek şekilde ADÜ sayısının, yerlerinin ve atamalarının belirlenmesidir.

Abdinnour-Helm ve Venkataramanan [41], sabit maliyetli kapasite sınırı olmayan tek atamalı ADÜ yerleşim probleminin çözümüne yönelik olarak dal ve sınır ile genetik algoritmaya dayalı sezgisel ortaya koymuştur [41].

Abdinnour-Helm [42], genetik algoritma ve yasaklı arama sezgisellerine dayanan bir melez sezgisel ortaya koymuştur. Genetik algoritma; problemin ADÜ sayısının ve konumlarının belirlenmesinde, yasaklı arama ise ADÜ olmayan düğümlerin ADÜ'lere atanmasında kullanılmaktadır. Atamalar “mesafeye dayalı” olarak yapılmaktadır. Yani ADÜ olmayan düğümler buldukları konuma en yakın ADÜ'ye atanmaktadır [42].

Topçuoğlu ve ark. [43] tek atamalı ADÜ yerleşim probleminin çözümüne yönelik olarak genetik algoritmaya dayalı sezgisel geliştirmiştir. Abdinnour-Helm [42]'in ortaya koyduğu melez sezgiselden çözüm süresi ve toplam taşıma maliyeti yönünden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir [43].

Chen [44] tavlama benzetimi ve yasaklı aramaya dayalı bir melez sezgisel ortaya koymuştur. Topçuoğlu ve ark [43]'nin geliştirdiği sezgisele göre çözüm süresi ve kalitesi yönünden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir [44].

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde kapasite sınırı olmayan çok atamalı ADÜ yerleşim problemleri (UMAHLP: Uncapacitated Multiple Allocation Hub Location Problem) için yapılan çalışmalar incelenmiştir. Kapasite sınırı olmayan

çok atamalı ADÜ yerleşim probleminin çözümüne yönelik olarak Klincewicz [45] dal ve sınır algoritması ve eşlenik artışa dayalı algoritma geliştirmiştir.

Mayer ve Wagner [11] dal ve sınır algoritmasına dayalı bir prosedür ortaya koymuştur. Yazarlar, geliştirdikleri prosedürün Klincewicz [45]'in ortaya koyduğu algoritmaya göre daha iyi çözümler verdiğini vurgulamıştır [11].

Canovas ve ark [46] eşlenik artış tekniğine dayalı bir sezgisel geliştirmiştir. Geliştirilen sezgisel, dal ve sınır algoritması ile birlikte kullanılmıştır ve dal ve sınır algoritmasında kullanılmak üzere alt sınırları belirlemektedir. Yazarlar çalışmada 120 düğümlü ağlar için çözüm bulunabildiğini belirtmiştir [46].

Camargo ve ark. [47] Benders ayrışım algoritmasını ortaya koymuştur. 200 düğümlü problemler için kabul edilebilir süre içerisinde çözüm bulunabildiği belirtilmiştir.

Marin ve ark. [48] çok atamalı ADÜ yerleşim problemine yönelik tamsayılı doğrusal modeller geliştirmiştir. Modelde akışların 1 ya da 2 ADÜ üzerinden gönderildiği kabul edilmiş ve maliyet fonksiyonunun üçgen eşitsizliğini desteklediği prensibi gevşetilmiştir. Bunun yanında problem ön işleme tabi tutulmuştur. Ön işlem problemin boyutunu küçültmüştür. Yazarlar geliştirilen modelleri CAB ve AP verilerini kullanarak test etmiştir. Modellerin, önceki modellere göre özellikle orta ve küçük boyutlu ( $n \leq 30$ ) problemlerin çözümünde etkin olduğu vurgulanmıştır [48].

### **2.3.2. Kapasite sınırı olan ADÜ yerleşim problemi literatür araştırması**

Aykın [49] kapasite sınırı olan ADÜ yerleşim problemini ortaya koymuştur. Problemden başlangıç-varış noktası arasındaki akışların en fazla 2 ADÜ, tek ADÜ veya doğrudan gönderilmesine izin verilmektedir. Bu problemin çözümüne yönelik olarak alt sınırların lagrange gevşetmesine dayalı olarak belirlendiği dal ve sınır algoritması ile açgözlü karşılıklı değiştirme sezgiselleri geliştirilmiştir [49].

Ernst ve Krishnamoorthy [50], daha önce p-ADÜ medyan problemi için geliştirdikleri karma tamsayılı doğrusal modele benzer çalışmayı kapasite sınırı olan tek atamalı ADÜ yerleşim problemi (CSAHLPP: Capacitated Single

Allocation Hub Location Problem) için de yapmış ve karma tamsayı doğrusal model geliştirmiştir [50].

$\Gamma_k$ : k ADÜ'nün kapasitesini göstermek üzere Ernst ve Krishnamoorthy [50]'nin geliştirdiği modelde (2.1), (2.3), (2.4), (2.19), (2.20) kısıtları yanında aşağıdaki kısıt (2.42) ve amaç fonksiyonu (2.43) kullanılmıştır.

$$\sum_i O_i \cdot X_{ik} \leq \Gamma_k \cdot X_{kk} \quad \forall k \quad (2.42)$$

$$\text{Enk} \sum_i \sum_k c_{ik} \cdot X_{ik} (\chi \cdot O_i + \delta \cdot D_i) + \sum_i \sum_k \sum_l \alpha \cdot c_{kl} \cdot Y_{kl}^i + \sum_k F_k \cdot X_{kk} \quad (2.43)$$

(2.42) kapasite kısıtıdır ve bu kısıt ile ADÜ olmayan düğümlerden ADÜ'ye gelen akışların toplamının ADÜ'nün kapasitesinden daha düşük olması sağlanmaktadır. Amaç fonksiyonu (2.43), toplam maliyeti enküçükmektedir. Geliştirilen modelle 50 düğümlü ağlar için en iyi çözümün kolaylıkla bulunabildiği vurgulanmıştır [50].

Ernst ve Krishnamoorthy [50] kapasite sınırı olan tek atamalı ADÜ yerleşim problemlerinin çözümüne yönelik olarak tavlama benzetimine dayalı sezgiseller geliştirmiştir. Üst sınırları belirlemede doğrusal programlama tabanlı dal ve sınır çözüm yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca dal ve sınır algoritmasının performansını artırmak üzere önışlem süreci ortaya konmuştur. Geliştirdikleri sezgiseli AP verilerini kullanarak test etmişlerdir. Büyük boyutlu problemlerde ise tavlama benzetimi yönteminin etkin olduğu belirtilmiştir [50].

Labbe ve ark. [51] problemin çokyüzlü özelliklerini incelemiş ve bu sonuçlara dayalı olarak dallandırma ve kesme algoritması ortaya koymuştur. Çalışmada her düğümün kapasitesinin o düğüme gelen ve düğümden çıkan trafiğin toplamına eşit olduğu kabul edilmiştir [51].

Ebery ve ark. [52] kapasite sınırı olan çok atamalı ADÜ yerleşim problemlerine (CMAHLP: Capacitated Multiple Allocation Hub Location Problem) yönelik olarak bir karma tamsayı model geliştirmiştir. Bu model Ernst ve Krishnamoorthy [37]'nin daha önce p-ADÜ medyan problemi için geliştirdikleri modelin benzeridir ancak modelde ADÜ sayısını sınırlayan kısıt kullanılmamıştır. Modelde (2.28)-(2.34) kısıtları ile birlikte (2.44) kısıtı ve (2.45) amaç fonksiyonu yer almaktadır.

$$\sum_i Z_{ik} \leq \Gamma_k H_k \quad \forall k \quad (2.44)$$

$$\text{Enk} \sum_{i \in N} \left[ \chi \cdot \sum_{k \in N} d_{ik} \cdot Z_{ik} + \alpha \cdot \sum_{k \in N} \sum_{l \in N} d_{kl} \cdot Y_{kl}^i + \delta \cdot \sum_{l \in N} \sum_{j \in N} d_{lj} \cdot X_{lj}^i \right] + \sum_k F_k H_k \quad (2.45)$$

(2.44) kısıtı ile ADÜ'ye gelen akışların toplamının ADÜ'nün kapasitesine eşit veya daha düşük olması sağlanmaktadır. Amaç fonksiyonu (2.45) toplam maliyeti enküçükmektedir. Model daha az sayıda değişken ve kısıt gerektirmektedir [52].

Boland ve ark. [38], problemin en iyi çözümlerinin karakteristiklerini inceleyerek önişlem teknikleri ve sıkılaştırma kısıtları geliştirmiştir. Problemin daha kısa sürede çözülebildiği belirtilmiştir [38].

Marin [53], üçgen eşitsizliği prensibini gevşeterek karma tamsayılı doğrusal model geliştirmiştir. Yazar, 50-75 düğümlü problemlerin çözülebildiğini vurgulamıştır. [53].

Ebery ve ark. [52], doğrusal programlamaya dayalı dal ve sınır çözüm prosedürü sunmuştur. Çalışmada ayrıca üst sınırların belirlenmesinde en kısa yol problemi çözüm tekniklerine dayanan bir sezgisel ortaya konmuştur [52].

Marin [53] dal ve sınır algoritmasına dayalı bir sezgisel geliştirmiştir. Çalışmada alt ve üst sınırları belirlemek için doğrusal programlama gevşetmesi uygulanmıştır. Sezgisel ile kabul edilebilir sürede çözümler elde edildiği belirtilmiştir [53].

#### **2.4. ADÜ Yerleşim Problemi Havayolu Taşımacılığı Uygulamaları Literatür Araştırması**

Topla-dağıt ağ yapılarının önemli bir uygulama alanı havayolu ile yolcu/kargo ve hızlı paket taşımacılığıdır. Hızlı paket taşımacılığında havayolu ile de taşıma yapıldığından çalışmanın bu bölümünde havayolu yolcu ve kargo taşımacılığı yanında hızlı paket taşımacılığı konusunda günümüze kadar yapılmış ulaşılabilen çalışmalar incelenerek aşağıda verilmiştir.

ADÜ yerleşim problemlerinde kullanılan “talep” veya “akış” terimleri; taşımacılık sektörü uygulamalarında bir şehir çifti arasında uçak, tren, kamyon vb.

taşıma araçları ile taşınan yolcu sayısını veya yük miktarını, “düğüm noktaları” ise havaalanları ve terminaller gibi tesisleri ifade etmektedir.

Flynn ve Ratick [54] Essential Air Services programına yönelik bir çalışma yapmıştır. Bu programda topla-dağıt ağ yapısında küçük gruplara havayolu ile taşıma hizmeti sunulmaktadır. Duraklama noktaları ADÜ'lere varmadan önce 1 ya da daha fazla duraklamaların yapıldığı küçük şehirlerdir. Havayolu ulaşım sisteminde akışların ADÜ'ler üzerinden gönderilmesi kabulünü gevşeterek, maksimum noktaya ulaşımı sağlamak ve havayolu maliyetlerini enküçüklemek amaçlarını kapsayan bir model ortaya koymuştur [54].

Kuby ve Gray [55] Flynn ve Ratick (1988)'in çalışmasını geliştirerek “besleyici” ve “duraklama noktalarını” dikkate almıştır. Temel topla-dağıt ağ yapısında düğümler doğrudan ADÜ'lere atanmakta ve başlangıç noktasından çıkan yükler bir ADÜ'ye gönderilmektedir. Bu çalışmada ise diğer çalışmalardan farklı olarak küçük şehirler duraklama noktaları olarak kullanılmakta ve bu şehirler arasındaki talepler besleyiciler ile taşınmaktadır. Besleyiciler küçük şehirlerden yükleri almakta ve büyük uçaklara aktarmaktadır. Yükler büyük uçaklarla ADÜ'lere taşınmaktadır. Kuby ve Gray [55] bu sistemde, yük faktörü, ölçek ekonomisi, süre kısıtları ve mesafe arasındaki ilişkileri ele almıştır. Batı Amerika'da paket taşımacılığı yapan Federal Express şirketi için toplam ağ maliyetini enküçükleyen karma tamsayılı model ortaya koymuştur. Modelde konumu belli olan bir ADÜ kullanılmaktadır. Orijinal topla-dağıt ağ yapısı ile karşılaştırıldığında ağ yapısında duraklama noktaları ve besleyiciler kullanılması durumunda; ağ maliyetlerinin azaldığını, yük katsayısının arttığını, daha az mesafe kat edildiğini ve daha az uçak gerektiğini ortaya koymuştur [55].

Federal Express gibi hızlı paket taşımacılığı yapan şirketler büyük ADÜ yanında küçük ya da bölgesel ADÜ'ler de kullanırlar. Bu tip bir topla-dağıt ağ yapısını Hall [56] modellemiştir. Hall [56] hızlı paket taşımacılığında süre kısıtının ağ tasarımı üzerine etkisini incelemiştir. Hall [56], çalışmasının sonucunda bölgesel ve küçük ADÜ'ler arasında akışları göndermek amacıyla bir büyük ADÜ kullanımını önermiştir. Büyük ve küçük ADÜ'lerin yer aldığı ağ tasarımlarında önemli olan nokta, ADÜ'ler arası bağlantı olması ve süre kısıtının bu tür bağlantıları sınırlamasıdır [56].

Daskin ve Panayotopoulos [57], mevcut bir topla-dağıt ağ yapısında kârı enbüyükleyecek şekilde güzergâhlara uçak atama modeli ortaya koymuştur. Çalışmada Lagrange gevşetmesine dayalı sezgisel geliştirilmiştir. Sezgisel, amaç fonksiyonunun üst sınırını belirler. Modelde güzergâhın başlangıç noktası bir ADÜ'dür ve güzergâhlar, uçaklar 1 ya da daha fazla şehri geçtikten sonra tekrar ADÜ'ye dönecek şekilde modellenmiştir [57].

Dobson ve Lederer [58], Daskin ve Panayotopoulos [57]'un çalışmasını “müşterinin seçimini” de ekleyerek genişletmiştir. Bir havayolu şirketinin mevcut bir topla-dağıt ağ yapısında kârını enbüyükleyecek şekilde uçuş çizelgesi ve güzergâh fiyatlarını belirleyen model ortaya konmuştur. Müşteri talebi, hizmet kalitesi ve fiyatların bir fonksiyonudur. Hizmet kalitesi, uçuş kalitesi ve uçuş uzunluğu ile ilişkilidir. Çalışmada bir sezgisel de ortaya konmuştur [58].

Yukarıda ele alınan çalışmalarda, topla dağıt ağ yapısı içerisinde yer alan ADÜ'lerin konumları bellidir ve çalışmalarda bu yapılara yeni karakteristikler eklenmiştir. Bununla beraber atamaların ADÜ yer seçimlerinden, ADÜ yer seçimlerinin de atamalardan etkilendiği bilinmektedir. Bunu dikkate alan araştırmacılar ADÜ'lerin sayısı ve konumunun çözümlerle birlikte belirlendiği modeller ortaya koymuştur. Ayrıca ADÜ olmayan düğümler arasında doğrudan bağlantıların kullanımı, ADÜ'leri kurmak için sabit maliyetler, ADÜ'lerde tıkanıklığı azaltmak için kapasite kısıtları, belli bir kullanımın altındaki bağlantı hatlarının açılmasını engelleyen kısıtlar ve ADÜ'ler arasındaki bağlantı hatlarında iyileştirilmiş maliyet fonksiyonlarının eklenmesi suretiyle yeni modeller geliştirilmiştir.

Temel ADÜ yerleşim probleminde ADÜ sayısı kullanıcı tarafından belirlenir. ADÜ'lerin açılma maliyeti hesaba katıldığında ADÜ sayısı çözümlerle belirlenebilir. Açılacak ADÜ sayısı doğrudan açma maliyetine bağlıdır. Bu maliyet arttıkça ağ içerisindeki ADÜ sayısı azalır. Aykın [7] havayolu taşımacılığına yönelik yaptığı çalışmada sabit maliyetleri kullanmıştır.

Bir diğer farklı çalışma ADÜ'lerdeki toplam akış miktarı ile ilgilidir. Çok sayıda araştırmacı bazı hatlarda taşınan akışların büyük miktarlarda olduğunu ve bunun sonucu olarak ADÜ'lerde tıkanıklık probleminin ortaya çıktığını belirtmiştir. Kuby ve Gray [55] gerçekte bu problemin hızlı paket



taşımacılığında çok yolcu taşımacılığında ortaya çıktığını vurgulamıştır. Çalışmalarda tıkanıklık sorununun üstesinden gelebilmek amacıyla ADÜ'ye gelen trafiği sınırlayan bir kısıt eklenerek ADÜ'ye gelen trafiğin ADÜ'nün kapasitesini aşan kısmı engellenmekte ve buna göre topla-dağıt ağ yapısı belirlenmektedir. Aykın [49] havayolu taşımacılığına yönelik kapasite sınırlı ilk modeli geliştirmiştir. Aykın [49]'ın çalışmasında kapasite kısıtı doğrusal değildir. Çalışmada dal ve sınır algoritması kullanılmış ve kümelere ayırma yöntemine dayalı bir sezgisel geliştirmiştir [49].

Kapasite kısıtının bir başka alternatifi ADÜ'ler arasında gönderilen akış miktarının sınırlandırılmasıdır. Bu şekildeki bir kapasite kısıtı, büyük miktarlarda taşıma yapılmasını sınırlar ve aynı güzergâh üzerinde 2. bir ADÜ açılmasını destekler. Çok atamalı modellerde bağlantı hatlarındaki akış miktarının kısıtlanması bazı hatlarda çok az akışın taşınmasına sebep olur.

Marianov ve Serra [59] problemi benzer yönüyle ele alarak, ADÜ olarak kullanılan havaalanlarında ortaya çıkan tıkanıklık problemini dikkate alan topla-dağıt ağ yapısı modeli geliştirmiştir. İniş için bekleyen uçak sayısı bir kısıt ile sınırlandırılarak kuyruk teorisine göre bir model geliştirilmiştir. Çalışmada ayrıca her ADÜ için gerekli pist sayısının belirlenmesi de amaçlardan biridir. Modelin karmaşıklığı nedeniyle yasaklı aramaya dayalı bir sezgisel ortaya konmuştur [59].

O'Kelly [60] hızlı paket taşımacılığı için ADÜ'lerin konumlarının belli olmadığı topla-dağıt ağ yapısında büyük ve küçük ADÜ'lerin kullanıldığı yapıları ele almıştır [60].

Taşıma maliyeti, hatlardan gönderilen akış miktarının bir fonksiyonudur. Temel ADÜ yer seçimi modelinde ADÜ'ler arasındaki taşımalarda maliyet azaltma katsayısı kullanılır ve akış miktarına bağlı olmaksızın kullanıcı tarafından belirlenir. O'Kelly ve Bryan [61] taşıma maliyetlerinin akış miktarına bağlı olduğu model geliştirmiştir. Yazarlar temel ADÜ yer seçimi ve ataması problemlerinde ADÜ'ler arası taşıma maliyetlerinin akış miktarından bağımsız olarak ele alınması durumunda sadece toplam maliyetin hesaplanmasında değil belki de en iyi ADÜ yer seçimi ve atamalarının da yanlış olacağını ortaya koymuştur. Bu nedenle ADÜ'ler arasındaki ölçek ekonomisini yansıtmak üzere parçalı doğrusal fonksiyon kullanarak bir model geliştirmiştir Bununla beraber bu

modelin güzergâha bağlı olmaksızın yük faktörünü maksimize etmesinden dolayı daha çok havayolu ile kargo taşımacılığına uygun olduğunu belirtilmiştir [61]. O’Kelly ve Bryan [61], geliştirdikleri model önerilerinin yolcu taşımacılığına yönelik çalışmalar için modifiye edilmesi ve yolcunun yaşayacağı zahmeti en aza indirmek ve toplam maliyeti en küçüklemek arasındaki dengenin kurulması gerektiğini belirtmiştir.

Aykın [7] havayolu ile yolcu taşımacılığına yönelik düğüm noktaları arasında doğrudan bağlantıların, 1-ADÜ ve 2-ADÜ’nün kullanıldığı 3 farklı topladağıt ağ yapısını incelemiştir. Aykın [7] maliyet azaltma katsayısı kullanmıştır. Çalışmada ayrıca modellerin çözümüne yönelik bir sezgisel de ortaya koymuştur. Çözüm sonuçları karşılaştırıldığında ADÜ olmayan düğümler arasında doğrudan güzergâhlara izin veren yapıların toplam ağ maliyetinin her zaman tek ADÜ’lü yapıda elde edilen maliyete eşit veya daha küçük olduğu sonucuna varmıştır [7].

Jaillet, Song ve Yu [62] Aykın [7]’in çalışmasını geliştirerek bir topladağıt ağ modeli ortaya koymuştur. Çalışmada, topladağıt ağ yapısının önceliği olmadığı kabulü yapılmıştır. Bu kabule göre maliyetin daha düşük çıkması durumunda ortaya çıkan ağ yapısı ADÜ’lerin var olmasını önerir [62].

Sasaki ve ark. [63] havayolu ile yolcu taşımacılığına yönelik tek-duraklı p-ADÜ yer seçimi problemi ortaya koymuştur. Çalışmada tüm talep noktalarının ADÜ’lere bağlantılı olduğu ancak her güzergâhta sadece bir ADÜ’nün kullanılabileceği kabullerini yapmıştır. Amaç kat edilen toplam mesafeyi en küçükmektir. Çözüme yönelik olarak bir kesin çözüm yöntemi ve 2 sezgisel geliştirilmiştir [63].

Sasaki ve ark. [64] daha önceki çalışmalarına benzer şekilde tek-duraklı çok atamalı p-ADÜ medyan problemi üzerine çalışmıştır. Problem p-medyan problemine benzer şekilde modellenmiştir. Çalışmada dal ve sınır ile ağgözlü algoritmaya dayalı 2 sezgisel ortaya konmuştur [64].

Drezner ve Drezner [65] havayolu taşımacılığında yolcunun kat edeceği toplam mesafeyi en küçükmemeyi amaçlayan tek-duraklı p-ADÜ yer seçimi problemi ortaya koymuştur. Çalışmada çekim yasasına göre yeni bir model geliştirilmiştir [65].

Havayolu yolcu taşımacılığında bir başka önemli yön de fiyatların ve rekabet ortamının etkileridir. Fiyatlama ve topla-dağıt ağ yapısı arasındaki ilişki üzerine sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Marianov ve ark. (1999) havayolu ve kargo taşımacılığına uygulanabilir, rekabet ortamında müşteri kazanma odaklı p-ADÜ yer seçimi ve ataması problemine yönelik model ortaya koymuştur. Modelde başlangıç-varış noktaları arasındaki akışlar 1 ya da 2 ADÜ üzerinden gönderilmekte ve düğüm noktaları 1'den fazla ADÜ'ye atanabilmektedir [66].

### 3. HAVAYOLU KARGO TAŞIMACILIĞINDA ADÜ YERLEŞİM PROBLEMİ MODELLERİ

#### 3.1. Araştırma Problemi

Kargo taşımacılığının tarihi, ticaretin tarihi kadar eskilere dayanmaktadır. Artan nüfus ve buna bağlı olarak ülkelerin varlıklarını idame ettirebilmek için birbirlerine bağımlı hale gelmesiyle, bir hizmet pazarlaması alt disiplini olan taşımacılık sektörü her geçen gün daha fazla önem kazanmaya başlamıştır. Taşımacılık sektörünün bir bölümünü oluşturan hava taşımacılığı da bu gelişmeye paralel olarak sektördeki payını artırmaktadır. Özellikle deniz aşırı ve uzak mesafelerdeki pazarlara yapılan taşımacılıkta, hava taşımacılığının kargo potansiyeli devamlı olarak artış göstermektedir [67].

Dünya ekonomisinin küreselleşmesi sonucu, müşterilerin daha hızlı ve güvenilir teslimat beklentileri, raf ömrü kısa olan ürünlerin hava kargoyla taşınmasına yönelik eğilimler, yük ve hızlı taşımacılık alanında rekabetin artmasına ve hava kargonun gelişimine yol açmıştır. Hava kargodan elde edilen gelirin yolcu trafiğinden elde edilen geliri aşmasa da gelecekte aradaki farkın kapanacağı tahmin edilmektedir [68].

Boeing'e göre önümüzdeki 20 yılda dünya hava kargo taşımacılığı yılda %6.2'lik artış gösterecektir. Aynı dönemde posta taşımacılığında %2.9 RTK ile sabit bir büyüme beklenmektedir. Bu arada dünya hava trafiğinin 2003'te 156.5 trilyon RTK iken 2023'de 518.7 trilyon RTK ile yaklaşık üç katı artış göstereceği tahmin edilmektedir [69].

Uluslararası piyasadaki büyümenin, iç hatlardaki büyümeyi geride bırakarak 2023'ün sonlarında toplam RTK'nın %83.7'sini aşacağı tahmin edilmektedir. Havayolu kargo taşımacılığında asıl büyümenin Asya pazarında olacağı tahminler arasındadır [68]. Asya hava kargo pazarında Çin'in %10,6'lık, Orta Asya'nın %8.5'lik büyüme oranıyla dünya hava kargo taşımacılığında önderliği sürdürecekleri tahminler arasındadır. Doyuma ulaşan Kuzey Amerika ve Avrupa pazarının daha yavaş büyüme göstereceği ve buna bağlı olarak da Asya ve Güneybatı Asya bağlantıları haricinde daha düşük büyüme oranı görüleceği beklenmektedir [70].

Airbus, hava kargo taşımacılığının yolcu taşımacılığına göre daha hızlı büyüyeceğini tahmin etmektedir. Her yıl bir önceki yıla göre yük ton-kilometre (FTK-Freight Tonne Kilometer) olarak yıllık %5.9 artış olacağı ve bunun da 700'den fazla yeni ve 2400'den fazla da dönüştürülmüş kargo uçağı ihtiyacını doğuracağı tahminleri arasındadır [71].

1983 yılına kadar, Türkiye'deki havayolu taşımacılığı faaliyetleri devlet sahipliğindeki THY tarafından yürütülmüştür. Türk havayolu taşımacılığı sektöründe 1980'li yılların ortasına kadar dikkat çeken önemli bir gelişme yoktur. 14.10.1983 tarihinde kabul edilen 2920 Sayılı Sivil havacılık Kanunu ile özel sektörün de havayolu taşımacılığı faaliyetlerinde bulunmasına izin verilmiş ve havayolu taşımacılığı sektörü, özellikle 1980'lerin ikinci yarısından itibaren, belirgin bir gelişme içine girmiştir. Ancak sektör tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de 1990 körfez krizinden etkilenmiştir. Kriz sonrası yine dünya havayolu taşımacılığına paralel olarak Türkiye'deki havayolu taşımacılığında da 1990'lı yılların sonuna kadar büyüme eğilimi devam etmiştir. 1983-1998 yılları arasındaki 15 yıllık zaman dilimi içinde sektörün %600 oranında büyüdüğü belirtilmektedir. 2000 yılının sonlarında ve 2001 yılının başlarında yaşanan ekonomik kriz havayolu sektöründe bir küçültme yaratmıştır. 11 Eylül saldırıları bu krizin etkilerini daha da arttırmıştır.

1990'lı yılların ikinci yarısında Türk Hava Yolları'nın (THY) özelleştirilmesi çalışmalarına hız verilince, bir bakanlık genelgesi ile THY'nin uçtuğu hatlarda özel havayolu işletmelerinin uçmalarına izin verilmemiş, bu bakanlık genelgesi ile özel havayolu işletmelerinin pazara girişlerini engellemiştir. Fakat 2003'ün sonlarına gelinirken bu genelge kaldırılarak özel havayolu işletmelerinin tarifeli iç hat pazarına girmelerinin önü açılmıştır. İç hat taşımacılığına özel havayollarının da girmesi ve ekonomik gelişmeler nedeniyle havayolu taşımacılığında özellikle 2004 yılından itibaren hızlı bir artış yaşanmıştır. Havayolu kargo taşımacılığı güvenli, hızlı ve teknolojiyi yakından takip eden bir ulaşım modu olarak tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemli bir noktaya ulaşmıştır. İç ve dış hat kargo taşımacılığında genel olarak sürekli bir artış olduğu gözlenmektedir. 2004 yılında bir önceki yıla göre iç hat kargo trafiğinde %31.23, 2005 yılında ise %1.7 oranında artış olduğu gözlenmektedir

[72]. Ancak yine de Türkiye'nin jeopolitik konumu ve ekonomik gelişimi göz önüne alındığında bu artış oranları olması gereken düzeyde değildir.

Türk sivil hava ulaştırma sektörünü gelecekte etkilemesi beklenen en önemli faktörler; nüfus artış hızı ve nüfus yapısı, kişi başına düşen milli gelir miktarı, turizm sektöründeki gelişmeler, Avrupa'da yaşanan serbestleşme hareketlerinin ülkemize yansımalarıdır. Bunun dışında AB'ye adaylık sürecinin Türkiye ekonomisinin canlanmasına yardımcı olması, Avrupa-Türkiye arasındaki iş bağlantılarının bu sayede artması ve bunun da özellikle iş amaçlı yolcu trafiğini ve kargo trafiğini artırması beklenmektedir. Gelecekte Gümrük Birliği ve Avrupa Birliği'ne üye olan bir Türkiye'nin tarihi, kültürel ve etnik bağlarının bulunduğu Türk Cumhuriyetlerine açılacak bir kapı durumuna geleceği düşünülmektedir. Son yıllarda bu ülkelerle yapılan enerji anlaşmalarının hem bu ülkelerin hem de Türkiye'nin ekonomik ve jeopolitik konumlar üzerinde olumlu etkiler yaratacağı tahmin edilmektedir. Bunun Türkiye ile bu ülkeler arasındaki direkt ve bağlantılı havayolu trafiğini artıracacağı, özellikle kargo trafiğinde önemli artışlara neden olacağı beklentiler arasındadır [73].

Son yıllarda büyüme eğilimi içine giren Türkiye'deki sivil havacılık sektörü, IATA (Uluslararası Hava Taşıyıcıları Birliği) tahminlerine göre yolcu trafiği olduğu kadar kargo trafiği açısından da en hızlı büyüyen ülkeler listesinin ön sıralarındadır. IATA 2005-2009 yılları arasında Türkiye havalimanlarını kullanan yolcu sayısının yılda %8.9, kargo miktarının ise yılda ortalama %8.6 oranında artacağını tahmin etmektedir. Artış hızı bakımından Türkiye'nin dünyada yolcu açısından beşinci, yük bakımından ise onbirinci sırada yer alacağı diğer tahminler arasındadır [74].

Dünyada havayolu taşımacılığına giderek artan talep, ulusal ve uluslar arası hava trafiğinin de artmasına yol açacaktır. Trafik artış hacmi; nüfus yoğunluğu, endüstriyel faaliyetler ve fiyatların azaltılmasıyla beraber daha da ivme kazanacaktır. Bu neticede havayolu işletmeleri açısından yeni güzergâhların oluşturulması ve bu aşamada ağ yapılarının yeniden yapılandırılması kaçınılmazdır. Havayollarının doğru bir ağ yapısını kurması, şirketin sektörde kalmasını ve büyümesini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Özellikle topladağıt ağ yapısı ile hizmet veren havayollarının ana dağıtım üslerinin, doğru

şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu sayede müşteri ve havayolu işletmesi açısından zaman ve maliyet faydası sağlamak mümkün olacaktır. Bu çalışmada hava taşımacılığının kendine özgü karakteristikleri göz önüne alınarak maliyeti enküçükleyecek şekilde ana dağıtım üssü yerleşim problemine çözüm aranmıştır.

### **3.2. Araştırmanın Amacı**

Çalışmada temel olarak hava taşımacılığına yönelik ADÜ yerleşim problemlerine yeni boyut kazandırılması amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk kısmında uçakların performans özellikleri ve taşımacılık sektörünün özelliklerinden yola çıkılarak kısıtlar geliştirilmiş, mevcut ADÜ yerleşim modellerindeki amaç fonksiyonu ve kısıtlar ile birlikte kullanılarak yeni modeller önerilmiştir. Çalışmanın diğer kısmında toplam maliyeti enküçükleyecek şekilde ADÜ yer seçimi-ataması yapmak ve güzergâhlarda kullanılacak uygun uçak tipi seçimini yapmak amacıyla bir model önerilmiştir.

### **3.3. Araştırmanın Önemi**

Günümüze kadar ADÜ yerleşim problemi konusunda ulaşılabilen çalışmalarda hava taşımacılığının kendine özgü karakteristiklerinin çalışmada dikkate alınan yönü ile değerlendirilmediği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda hava kargo taşımacılığının kendine özgü karakteristikleri dikkate alınarak ana dağıtım üssü yerleşim problemlerinin daha gerçekçi bir yapıya ve tüm havayolu işletmeleri tarafından kullanılabilir bir niteliğe kavuşturulması amaçlanmıştır. Bu sayede hava kargo taşımacılığının daha sağlıklı ve planlı gelişmesi yönünde, katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

### **3.4. Araştırma Yöntemi**

2. Bölümde ayrıntılı olarak sözü edilen Ernst ve Krishnamoorthy [37]'nin geliştirdiği p-ADÜ medyan problemi ile Ebery ve ark. [52]'nin ortaya koyduğu sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemi modelleri, hava taşımacılığının sektörel

özellikleri dikkate alınarak yeniden düzenlenmiş, bu doğrultuda aşağıda sözü edilen ve doğrudan hava taşımacılığına özgü kısıtların ADÜ seçimini ne ölçüde etkilediği araştırılmıştır. Ayrıca havayolu işletme ve havaalanı alt yapı maliyetleri dikkate alınarak farklı uçak tiplerinin ADÜ yerleşim problemlerine etkisi ortaya konmuştur. Geliştirilen model ile havayolu işletmeleri için uçuş hatlarına göre en uygun uçak tipinin seçilmesi problemi de çözülmeye çalışılmıştır.

Hesaplamalarda havaalanları arasındaki kargo trafiği verileri, Türk Hava Yolları Anonim Ortaklığından alınmıştır. Şirketin gizlilik politikası gereği bu veriler modelde kullanılmış ancak raporda verilmemiştir. Aynı zamanda uçak tiplerine göre birim taşıma maliyetlerinin hesaplanmasında MNG Hava Kargo İşletmesinden yardım alınmıştır.

Modeller GAMS yazılımı kullanılarak programlanmış ve p-ADÜ medyan ve sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemi modelleri CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür. p-ADÜ medyan ve güzergâhlara göre kullanılacak uçak tipi seçimi problemi modeli karma tamsayılı doğrusal olmayan yapıda olduğu için çözücü olarak DICOPT çözücü kullanılmıştır.

Çalışmada referans alınan modellerin çözümünde kuş uçuşu mesafeler, akış miktarları, maliyet azaltma katsayısı temel belirleyici parametreler olarak kullanılmıştır. Bu bölümde daha önceki çalışmalarda göz önüne alınmayan, hava kargo taşımacılığına özgü, ADÜ yer seçimini etkileyebileceği düşünülen parametre ve kısıtlar aşağıda açıklanmıştır. Daha sonra da tanımlanan parametre ve kısıtlar modele dahil edilerek ADÜ'lerin yerleri, düğüm noktalarının atamaları ve hatlar arasındaki akış miktarları ile maliyetler belirlenmiştir.

### **3.5. Geliştirilen Modellerde Kullanılan Parametreler**

Diğer çalışmalarda göz önüne alınmayan ve ortak olarak kullanılan parametreler dışında çalışmaya özgü parametreler aşağıda açıklanmıştır.

#### **3.5.1. Havaalanı alt yapı maliyetleri**

Hava kargo taşımacılığında ADÜ yerleşim problemini etkileyebilecek havaalanı ile ilgili alt yapı maliyetleri aşağıda açıklanmıştır.



### **3.5.1.1. Pist alt yapı maliyeti**

Bir uçağın herhangi bir pistten kalkış-iniş yapabilmesi; uçağın performans özelliklerine, ağırlığına, meteorolojik koşullara ve pistin özelliklerine bağlıdır. Örneğin bir uçak yüksüz durumda ve düşük hava sıcaklığında bir pistten kalkış yapabilirken, aynı uçak tam yükte dolu iken yüksek hava sıcaklığında aynı pistten kalkış yapamayabilir. Bu durum, ana dağıtım üssü olmaya aday havaalanlarının kullanılacak uçaklara göre pistlerinin uygunluğunun değerlendirilmesi gereğini ortaya çıkarmaktadır. Çalışmada havaalanlarının ADÜ olarak atanması durumunda pistlerin uygunluğu ve yeterliği iki farklı uçak tipi (A300-B4 ve F27-500) için incelenmiştir. Uygun ve yeterli olmayan havaalanları için gerekli yatırım maliyetleri ( $R_k$ ) hesaplanmıştır.

### **3.5.1.2. Havaalanı kargo tesisi maliyeti**

Ana dağıtım üssü oluşturma yaklaşımına göre ADÜ'ye gelen ve ADÜ'den giden yük miktarı diğer düğüm noktalarına göre daha fazla olacaktır. Bu nedenle özellikle ADÜ olmaya aday havaalanlarının, gelen ve giden yükleri depolama ve kontrol etmek amacıyla kullanılan depolama alanlarının ve cihazlarının yeterli olması gerekir. Çalışmada havaalanları bu yönden de incelenmiş, yeterli olmayan havaalanları için gerekli yatırım maliyetleri ( $KM_k$ ) belirlenmiştir.

### **3.5.2. Uçak tipine göre birim taşıma maliyetleri**

Havayolu taşımacılığına uygulanan ADÜ yerleşim problemi ile ilgili bugüne kadar yapılan çalışmalarda, birim taşıma maliyetlerinin teorik olarak yer aldığı, ancak uygulamalarda veri yetersizliği nedeniyle kullanılmadığı görülmüştür. Diğer alanlardan (telekomünikasyon, posta dağıtımı vb) farklı olarak havacılıkta birim taşıma maliyetlerinin kullanılacak uçak tipine ve her güzergâha göre değişiklik göstermesi, bunun yanında yüksek maliyetli olmasından dolayı, doğru sonuçlara ulaşabilmek açısından birim taşıma maliyetlerinin belirlenmesi ve modelde kullanılmasının gerekli olduğu belirlenmiştir. Çalışmada referans olarak alınan uçak tipleri ve her güzergâh için birim taşıma maliyetleri ( $c_{ij}$ ) ayrı ayrı

belirlenmiş ve modelde kullanılmıştır. Birim taşıma maliyetlerinin belirlenmesi konusuna ileriki bölümlerde değinilmiştir.

### **3.6. Geliştirilen Kısıtlar**

#### **3.6.1. Menzil kısıtı**

Mesafe, ADÜ yer seçimi ve atamalarını gerçekleştirmede önemli belirleyicilerden biridir. Havacılık uygulamalarında düğümler arası bağlantı hattı olarak uçak kullanıldığından düğüm-ADÜ, ADÜ-ADÜ bağlantıları arasındaki mesafenin, uçağın menziline büyük olmaması gereklidir. Dolayısıyla bu problemlerde uçakların menzili de dikkate alınmalıdır. Bu amaçla çalışmada menzille ilgili bir kısıt kullanılmıştır.

#### **3.6.2. Kargo trafiği süreklilik kısıtı**

Havayolu taşımacılığı mevsimsel dalgalanmalardan etkilenen bir sektördür. Havaalanlarının kargo trafiği verileri incelendiğinde bazı havaalanlarının bazı aylarda yoğun olarak kullanıldığı bazı aylarda ise hiç kullanılmadığı görülür. Yıl içerisinde düzenli trafiği olmayan ve yoğun olarak kullanılmayan ancak ADÜ olmaya aday havaalanlarına yatırım yapmak maliyetin artmasına neden olabilir. Bu amaçla çalışmada kargo trafiği sürekli olan havaalanlarının ADÜ olarak atanabilmesi için kargo trafiğinin sürekliliğini kontrol eden bir kısıt ortaya konmuştur.

### **3.7. Geliştirilen Modeller**

Çalışmanın ilk kısmında çok atamalı p-ADÜ medyan ve sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemine yönelik karma tamsayılı doğrusal modeller, çalışmanın diğer kısmında ise toplam maliyeti enküçükleyecek şekilde ADÜ yer seçimi-atamasını ve güzergâhlara göre kullanılacak uçak tipi seçimini gerçekleştiren karma tamsayılı bir model geliştirilmiştir. Aşağıda geliştirilen modeller hakkında bilgi verilmiştir.

### 3.7.1. Çok atamalı p-ADÜ medyan ve sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemleri modelleri

Çalışmada p-ADÜ medyan ve sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemlerine yönelik olarak kısıtlar ve amaç fonksiyonu geliştirilmiştir. Öncelikle geliştirilen kısıtlar ve amaç fonksiyonu anlatılmış, ardından modeller verilmiştir.

Bir uçağın herhangi bir pistten kalkış-iniş yapabilmesi; uçağın performans özelliklerine, ağırlığına, meteorolojik koşullara ve pistin özelliklerine bağlıdır. ADÜ yerleşim problemlerinin uygulandığı telekomünikasyon, posta dağıtımı vb. alanlardan farklı olarak, havayolu taşımacılığında bağlantı hattı olarak uçakların kullanılması ve bu uçakların kalkış-iniş yapacağı havaalanlarının kurulması veya iyileştirilmesi çok yüksek maliyet gerektirmektedir. Bunun yanında ADÜ olarak atanacak havaalanları yoğun olarak kullanılacağından tesislerin bu yoğun trafiği karşılayacak yeterlikte olması gereklidir. Tesisleri yetersiz olan havaalanlarına ek yatırım yapmak gerekecektir. Dolayısıyla, ADÜ yer seçimlerinin ve atamalarının gerçekçi ve doğru bir şekilde yapılabilmesi için hem bağlantı hatlarıyla ilgili maliyetlerin yani birim taşıma maliyetlerinin, hem de havaalanları ile ilgili ortaya çıkabilecek maliyetlerin dikkate alınması gerektiği görülmüştür. Bu nedenle amaç fonksiyonu, taşıma ve havaalanı alt yapı maliyetlerini de hesaba katacak şekilde aşağıdaki gibi düzenlenmiştir. Burada daha önce tanımlanan parametre, karar değişkenleri aynen kullanılmaktadır. Farklı olarak aşağıdaki parametreler kullanılmıştır.

$R_k$ : k havaalanının pist alt yapı maliyetini

$KM_k$ : k havaalanının kargo tesisi maliyetini

göstermek üzere amaç fonksiyonu denklem (3.1)'de verilmiştir.

$$\text{Enk} \sum_{i \in N} \left[ \sum_{k \in N} \chi \cdot c_{ik} \cdot d_{ik} \cdot Z_{ik} + \sum_{k \in N} \sum_{l \in N} \alpha \cdot c_{kl} \cdot d_{kl} \cdot Y_{kl}^i + \sum_{l \in N} \sum_{j \in N} \delta \cdot c_{lj} \cdot d_{lj} \cdot X_{lj}^i \right] + \sum_k (R_k + KM_k) \cdot H_k \quad (3.1)$$

Amaç fonksiyonunun 1. bölümünde taşıma maliyeti, 2. bölümde havaalanının ADÜ olarak atanması durumunda ortaya çıkabilecek toplam alt yapı maliyeti yer almaktadır. Amaç fonksiyonu (3.1) toplam maliyeti en küçüklemektedir.

Uçak performans karakteristiği, uçağın belirli koşullar altında beklenen görevi yerine getirebilme kabiliyetidir. Uçakların performans özellikleri birbirinden farklılık göstermektedir ve bu karakteristiklerden biri de uçağın menzildir. ADÜ yerleşim problemlerinde mesafe, ADÜ yer seçimleri ve atamalarını belirlemede önemli faktörlerden biridir. Havacılıkta bağlantı hattı olarak uçaklar kullanıldığından, kullanılacak uçağın menzilin etkisi de hesaba katılmalıdır. Uçağın menzilin ağ yapısında ADÜ-ADÜ ve düğüm-ADÜ arasındaki mesafeden daha fazla olması gereklidir. Bu nedenle problemde kullanılacak uçağın menzilin de dikkate alınması gereği görülmüş ve bu amaçla bir menzil kısıtı geliştirilmiştir. S uçağın menzilin göstermek üzere kısıt aşağıdaki gibidir.

$$d_{ik} \cdot H_k \leq S \quad \forall i, k \quad (3.2)$$

(3.2) kısıtı ile uçağın menzili dikkate alınarak, ADÜ yer seçimi ve atamaların belirlenmesinde, iki düğüm arasındaki mesafenin uçağın menziline göre daha düşük mesafelerde olması sağlanmış olur.

Uçağın menzili; uçak boşken ve tam yüklü iken olmak üzere 2 durum için belirlenir. ADÜ yerleşim problemlerinde amaçlardan biri de özellikle ADÜ'ler arasında yüksek doluluk oranında taşımacılık yapmak olduğundan, uçağın 2 düğüm noktası arasında tam yükte dolu iken uçuşu gerekebilir. Dolayısıyla uçakların menzil kısıtında “maksimum kalkış ağırlığına göre belirlenmiş olan menzilin” dikkate alınması gerekir.

Havaalanlarının kargo trafiği verileri incelendiğinde bazı havaalanlarının bazı aylarda yoğun olarak kullanıldığı bazı aylarda ise hiç kullanılmadığı görülür. Buradaki mevcut trafiğin düzensiz ve az olması sebebiyle diğer taşıma modlarına kayması söz konusu olabilir. Bu havaalanlarına yatırım yapmak yerine mevcut havaalanlarını daha etkin kullanmak doğru bir yaklaşım olacaktır. Bunun yanında bazı havaalanları da trafik talebi yüksek olmasına rağmen sağlıksız alt yapıya sahip olmaları sebebiyle kapasitelerinin altında kullanılmaktadır. Yıl içerisinde düzenli trafiği olmayan ve yoğun olarak kullanılmayan ancak ADÜ olmaya aday havaalanlarına yatırım yapmak maliyetin artmasına neden olabilir. Oysa kargo trafiği düzenli ve belirli bir miktarın üzerinde olan ancak alt yapısı yetersiz olan havaalanlarına yatırım yapmak daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu amaçla

kargo trafiği sürekliliğini kontrol eden bir kısıt geliştirilmiştir. Daha önce tanımlanan ADÜ karar değişkeni aynı şekilde kullanılmıştır. T kargo miktarını,  $W_a$  a havaalanının aylık toplam kargo trafiği akışını ifade etmek üzere kısıt aşığıdaki gibidir:

$$T.H_k \leq W_{a_{(ay,k)}} \quad \forall k \quad (3.3)$$

(3.3) kısıtı, aylık kargo trafiği belirli bir miktarın (T) üzerinde olan havaalanlarının ADÜ olarak atanmasına izin vermektedir. Kısıt, yılın tüm aylarındaki akışları dikkate alacak şekilde düzenlenmiş olup yılın belli aylarını kapsayacak şekilde de düzenlenmesi mümkündür.

Geliştirilen kısıtlar ADÜ yerleşim problem tiplerinin tümünde uygun şekilde düzenlenerek kullanılabilir. Çalışmada kısıtlar çok atamalı p-ADÜ medyan ve sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemlerine uygulanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Çok atamalı p-ADÜ medyan problemine yönelik geliştirilen tamsayılı doğrusal modelde (2.27)-(2.34), (3.2)-(3.3) kısıtları altında (3.1) amaç fonksiyonu yer almaktadır.

Yukarıda sözü edilen kısıtlar sabit maliyetli çok atamalı ADÜ yerleşim problemlerine de uygulanmıştır. Kapasite kısıtı olmayan sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemi için geliştirilen modelde (2.28)-(2.34), (3.2), (3.3) kısıtları altında (3.1) amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

Benzer şekilde kapasite kısıtı olan sabit maliyetli çok atamalı ADÜ yerleşim problemi için geliştirilen modelde (2.28)-(2.34), (2.44), (3.2), (3.3) kısıtları ve (3.1) amaç fonksiyonu yer almaktadır.

### **3.7.2. Çok atamalı p-ADÜ medyan ve güzergâhlar arası kullanılacak uçak tipi seçimi problemi modeli**

Birim taşıma maliyetlerinin uçak tipine ve güzergâhlara göre farklılık gösterdiği daha önce belirtilmişti. Benzer şekilde önceki bölümlerde, pist gerekliliklerinin kullanılacak uçak tipine göre farklılık gösterdiği konusuna değinilmiş ve pist maliyetlerinin hesaplanması konusu hakkında bilgi verilmişti. Yapılan çalışmada bu maliyetlerin ADÜ yer seçimi ve atamalarında önemli rol

oynadığı görülmüştür. Bu nedenle maliyeti enküçükleyecek şekilde ADÜ yerleşiminin ve güzergâhlar arasında kullanılacak uçak tipi seçiminin birlikte ele alınabileceği tespit edilmiştir.

Literatürde yer alan filo atama problemleri, uygun amaç fonksiyonu ve kısıtlar altında her tür taşıma modu ve aracına uygulanmaktadır. Havayolu taşımacılığına uygulanan filo atama problemlerinde bir havayolu şirketinin filo atamasına yönelik olarak “uçak seçimi” gerçekleştirilmektedir. Bu problemlerde, çalışmanın kapsamına göre uçakların ekonomiklik, performans gibi özellikleri geniş kapsamda değerlendirilmekte ve uçak seçimine gidilmektedir. Bu çalışmada ise hem ADÜ yer seçimi ve atamasının yapılması hem de güzergâhlar arasında kullanılacak uygun uçak tipinin belirlenmesi problemleri birleştirilmeye çalışılmıştır. Ancak burada uçak tipi seçimi filo atama problemleri kadar geniş kapsamda ele alınmamıştır. Çalışmada, güzergâha ve uçağa göre birim taşıma maliyetlerinin farklı olması yaklaşımından yola çıkılarak “her güzergâh için mümkün olan en düşük taşıma maliyetinin” elde edilmesi amaçlanmıştır. Buna göre toplam taşıma maliyetini enküçükleyecek şekilde “ADÜ yer seçimi ve atamalarının yapılması ve güzergâhlarda kullanılacak uygun uçak tipinin belirlenmesi” hedeflenmiş ve bu amaçla aşağıdaki model geliştirilmiştir.

Modelde önceki modellerde kullanılan ve akışları gösteren  $Z_{ik}$ ,  $Y_{kl}^i$  ve  $X_{ij}^i$  karar değişkenlerine u uçak indisi eklenmiş ve bu karar değişkenleri 4 indisli hale gelmiştir. Bunun dışında  $A_{kl}^u$  karar değişkeni tanımlanmıştır.  $A_{kl}^u$  karar değişkeni kl güzergâhında u uçağı kullanılıyorsa 1, diğer durumlarda 0 değerini almaktadır.  $C_{ij}^u$  i-j arasında u uçağı kullanılması halinde ortaya çıkan birim taşıma maliyetini göstermektedir. M büyük bir sayıyı temsil etmektedir. Aşağıda modelde kullanılan sembol, karar değişkenleri, parametrelerin tamamı havayolu taşımacılığı uygulamasına özel açıklamalarla yer almaktadır.

### **Semboller**

N: Havaalanları kümesi

n: Havaalanı sayısı

p: Açılacak ADÜ sayısı

u: Uçak tipi kümesi

i: Başlangıç noktası

j: Varış noktası

k: Potansiyel ADÜ noktası

l: Potansiyel ADÜ noktası

M: Büyük bir sayı

### Karar değişkenleri

$$H_k = \begin{cases} 1, & k \text{ havaalanı ADÜ olarak belirlenmişse} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$$A_{kl}^u = \begin{cases} 1, & k \text{ ve } l \text{ arasında } u \text{ uçağı kullanılıyorsa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases}$$

$Y_{kl}^{i,u}$ : i başlangıç noktasından çıkan k ve l ADÜ'leri üzerinden u uçağı ile geçen akış miktarı.

$Z_{ik}^u$ : i başlangıç noktasından çıkıp k ADÜ'ye u uçağı ile geçen akış miktarı.

$X_{lj}^{i,u}$ : i başlangıç noktasından çıkıp l ADÜ üzerinden geçen ve j noktasına u uçağı ile ulaşan akış miktarı.

### Parametreler

$W_{ij}$ : i noktasından j noktasına olan akış miktarı (Ton)

$C_{ij}^u$ : i noktasından j noktasına u uçağı ile taşımalarda birim taşıma maliyeti (\$/Ton-NM)

$d_{ij}$ : i noktasından j noktasına olan mesafe (NM)

$\alpha$ : ADÜ'ler arası taşımalarda maliyet azaltma katsayısı ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )

$\chi$ : Düğüm-ADÜ arası taşımalarda maliyet azaltma katsayısı ( $0 \leq \chi \leq 1$ )

$\delta$ : ADÜ-Düğüm arası taşımalarda maliyet azaltma katsayısı ( $0 \leq \delta \leq 1$ )

olmak üzere geliştirilen modelde (2.27) kısıtı yanında aşağıdaki kısıtlar ve amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

$$\sum_u \sum_k Z_{ik}^u \leq \sum_j W_{ij} \quad \forall i, u \quad (3.4)$$

$$\sum_u \sum_l X_{lj}^{i,u} = W_{ij} \quad \forall u, i, j \quad (3.5)$$

$$\sum_u \sum_l Y_{lk}^{i,u} + \sum_u \sum_j X_{lj}^{i,u} = \sum_u \sum_l Y_{lk}^{i,u} + \sum_u Z_{ik}^u \quad \forall u, i, k \quad (3.6)$$

$$Z_{ik}^u \leq \sum_j W_{ij} \cdot H_k \quad \forall u, i, k \quad (3.7)$$

$$X_{lj}^{i,u} \leq W_{ij} \cdot H_l \quad \forall u, i, l, j \quad (3.8)$$

$$\sum_u A_{kl}^u \leq 1 \quad \forall u, k, l \quad (3.9)$$

$$Z_{ik}^u \leq M \cdot A_{ik}^u \quad \forall u, i, k \quad (3.10)$$

$$Y_{kl}^{i,u} \leq M \cdot A_{kl}^u \quad \forall u, k, l \quad (3.11)$$

$$X_{lj}^{i,u} \leq M \cdot A_{lj}^u \quad \forall u, l, j \quad (3.12)$$

$$A_{kl}^u = \{0,1\} \quad \forall u, k, l \quad (3.13)$$

$$H_k = \{0,1\} \quad \forall k \quad (3.14)$$

$$X_{lj}^{i,u}, Y_{kl}^{i,u}, Z_{ik}^u \geq 0 \quad \forall i, j, k, l \in N, \forall u \quad (3.15)$$

kısıtları altında

$$\text{Enk} \sum_i \left[ \gamma \cdot \sum_u \sum_k C_{ik}^u \cdot d_{ik} \cdot Z_{ik}^u \cdot A_{ik}^u + \alpha \cdot \sum_u \sum_k \sum_l C_{kl}^u \cdot d_{kl} \cdot Y_{kl}^{i,u} \cdot A_{kl}^u + \delta \cdot \sum_u \sum_l \sum_j C_{lj}^u \cdot d_{lj} \cdot X_{lj}^{i,u} \cdot A_{lj}^u \right] \quad (3.16)$$

(3.4), (3.5) ve (3.6) kısıtları akış dengeleme kısıtlarıdır. (3.7) ve (3.8) kısıtlar ise ADÜ olmayan düğüm noktaları arasında doğrudan akış olmasını engellemektedir. (3.9) kısıtı ile kl arasına tek bir uçak tipi atanması sağlanır. (3.10), (3.11), (3.12) kısıtları, güzergâhlar arasındaki akış miktarlarını kullanarak  $A_{kl}^u$  değişkenini 0 ya da 1 değerine yaklaştırır. (3.13) ve (3.14) kısıtları karar değişkenlerinin ikil tamsayı değerini almasını sağlayan kısıtlardır. (3.15) kısıtı standart tamsayı kısıtıdır, akış değerlerinin 0 (sıfır)'dan büyük değerler almasını sağlar. Amaç fonksiyonu toplam taşıma maliyetini enküçükmektedir. Model karma tamsayılı doğrusal olmayan modeldir.



## **4. MODELLERİN TÜRK HAVA SAHASINDA UYGULANMASI**

Bu bölümde öncelikle Türkiye’de kullanılan kargo uçağı tiplerinden bahsedilmiş ve çalışmada referans alınan A300-B4 ve F27-500 tipi kargo uçakları hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Sonraki bölümde çalışmada değerlendirmeye alınan havaalanlarına değinilmiştir. Havaalanları pistlerinin, A300-B4 ve F27-500 tipi kargo uçaklarının pist gerekliliklerine göre uygunluğunun incelenmesi ve pist yatırım maliyetlerinin hesaplanması konusu ise daha sonraki bölümde ele alınmıştır. Aynı bölümde birim taşıma maliyetleri hakkında bilgi verilmiştir.

### **4.1. Çalışmada Kullanılan Uçak Tipleri ve Havaalanları**

#### **4.1.1. Türkiye’de kullanılan kargo uçakları**

Türkiye’de Türk Hava Yolları Anonim Ortaklığı 1 adet A310-304F, MNG Havayolları ve Taşımacılık Anonim Şirketi 4 adet A300-B4, 2 adet A300-F4, 1 adet A300-C4 ve 5 adet F27-500, Orbit Express Havayolları Anonim Şirketi 1 adet A300-B4 ve 1 adet A300-C4, Kuzu Havayolları Kargo Taşımacılık Anonim Şirketi 2 adet A300-B4, ACT Havayolları ise 1 adet A300 kargo uçağı ile kargo taşımacılığı yapmaktadır. Toplamda 11 adet A300, 1 adet A310 ve 6 adet F27-500 olmak üzere toplam 18 kargo uçağı, havayolu ile kargo taşımacılığında kullanılmaktadır. Bu uçakların toplam kargo kapasiteleri 559.411 kg’ı bulmaktadır [75]. Çalışmada bu uçaklar arasında en fazla pist uzunluğu gerektiren ve yoğunlukla kullanılan geniş gövdeli uçak kategorisine giren A300-B4 uçağı ile dar gövdeli uçak kategorisinde yer alan F27-500 tipi kargo uçakları referans alınmıştır.

A300-B4 uçağı kısa-orta menzilli dünyanın ilk çift motorlu geniş gövdeli uçağı olup, F27-500 ise turboprop motorludur. Seçilen uçakların bazı özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4. 1.** A300-B4 ve F27-500 tipi kargo uçaklarının özellikleri [76, 77]

Uçak tipi	A300-B4F203	F27 MK 500
Uçak Boş Ağırlığı (kg)	80.949	11.505
İşletme Boş Ağırlığı (kg)	81.781	11.775
Maksimum Kalkış Ağırlığı (kg)	165.000	20.412
Maksimum Yakıtsız Ağırlık (kg)	126.000	17.917
Maksimum İniş Ağırlığı (kg)	134.000	19.051
Maksimum Faydalı Yük (kg)	44.219	6.142

Çalışmada iki farklı uçak tipi seçilmesinin nedenlerinden biri, seçilen uçak tiplerinin farklı kategorilerde yer alması, dolayısıyla gerek pist gereklilikleri gerekse birim taşıma maliyeti yönünden ciddi farklılıklar göstermeleridir. Ayrıca geliştirilen modelin uygulamasının Türkiye’de havayolu kargo taşımacılığı üzerine yapılması ve Türkiye’de en çok kullanılan kargo uçak tiplerinin A300-B4 ve F27-500 uçakları olması nedeniyle bu uçak tipleri seçilmiştir. A300-B4, 44 ton yük alabilen bir kargo uçağıdır. F27-500 uçağı ise en fazla 6 ton yük alabilen, maksimum kalkış ağırlığında menzili 700NM ile sınırlı olan bir uçak tipidir. Maliyetlerin bu iki farklı uçak tipine göre hesaplanması ve modellerde kullanılması; ADÜ yer seçimi ve atamalarında uçak tipinin etkisini belirleme ve uçaklar arasında kıyaslama olanağı da sağlamış olur.

#### **4.1.2. Çalışmada değerlendirmeye alınan havaalanları ve özellikleri**

Türkiye’deki hava kargo ağının belirlenmesi amacıyla DHMİ (Devlet Hava Meydanları İşletmesi)’nin 2005 yılı istatistik yıllığı incelenmiş ve buna göre kargo taşımacılığında yoğunlukla kullanılan 17 havaalanı belirlenmiştir [72]. Bu havaalanları; İstanbul Atatürk, Ankara Esenboğa, İzmir Adnan Menderes, Antalya, Dalaman, Adana, Trabzon, Bodrum Milas, Çorlu, Diyarbakır, Elazığ, Erzurum, Gaziantep Oğuzeli, Kars, Kayseri, Malatya Erhaç, Van Feritmelen havaalanlarıdır. Bu havaalanlarının yıllara göre kargo trafiğı istatistiğı Ek 1’de yer almaktadır. İstatistik yıllığında yer almayan ancak Atatürk Havalimanının yoğunluğunun kaydırılabileceğı düşünülerek bu havaalanlarına İstanbul Sabiha Gökçen havaalanı da eklenmiştir. Sözü edilen havaalanlarının özellikleri AIP

(Aeronautical Information Publication) dokümanlarından alınmış ve Ek 2’de sunulmuştur. Ek 2’de genel olarak havaalanlarının pist sayısı, pist uzunluğu, pist genişliği, pist rakımı, pist mukavemeti vb bilgiler yer almaktadır.

## **4.2. Havaalanı Alt Yapı Maliyetlerinin Belirlenmesi**

Havaalanı alt yapı maliyetleri; pist maliyetleri ve kargo geçiş terminali maliyeti olmak üzere iki ayrı başlık altında ele alınmıştır. Öncelikle pistlerin A300-B4 ve F27-500 uçaklarının kalkış-iniş yapabilmesi için yeterli olup olmadığı incelenmiş, daha sonra bu inceleme sonuçlarına göre pistlerin uzatma, genişletme veya mukavemet artırma maliyetlerinin hesaplanmasına değinilmiştir.

### **4.2.1. Uçak tiplerine göre pist gerekliliklerinin belirlenmesi**

Bir uçağın bir pistten kalkış-iniş yapabilmesi; uçağın performans karakteristiklerine, ağırlığına, meteorolojik koşullara ve pistin özelliklerine bağlıdır [78]. Bir uçağın bir pistten kalkış-iniş yapabilmesi; değişken olan uçak ağırlığı ve meteorolojik koşullar dışında pistin aşağıdaki fiziksel özelliklerine de bağlıdır.

- Pist uzunluğu
- Pist genişliği
- Pist mukavemeti

Bir uçağın kalkış-iniş yapabileceği referans pist uzunluğu, genişliği ve mukavemeti uçak tasarımı sırasında standart atmosfer koşulları ve deniz seviyesi şartlarına göre belirlenir ve uçağın uçuş el kitabında bu bilgiler yer alır. Yine bu kitaplarda uçağın çeşitli ağırlık ve konfigürasyonları, çeşitli rakım değerlerine ve farklı hava koşullarına (sıcaklık ve rüzgâr durumu) ve pistin fiziksel özelliklerine göre gerekli pist uzunluğu, mukavemeti tablo veya diyagramlar halinde yer alır. Buna rağmen uçuş el kitapları uygun pist uzunluğunu belirlemede yeterli olmayabilir. Gerekli pist uzunluğunun bu veriler dikkate alınarak hesaplanması gerekir.

Uçuş el kitapları yanında bir uçağın kalkış-iniş yapması için pistlerin uygunluğunun belirlenmesinde Havaalanı Tasarım El Kitabından (Aerodrome

Design Manual) da yararlanılır. Havaalanı Tasarım El Kitabı, ICAO (International Civil Aviation Organisation)'nun yayınladığı bir dokümandır. Bu dokümanda pistlerin, pist uzunluğu ve genişliğine göre sınıflandırılması yer almaktadır. Sınıflandırma, standart atmosfer koşulları ve deniz seviyesi şartlarına göre yapılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre havaalanları referans kodu belirlenir. Bir uçağın kalkış-iniş yapabileceği havaalanının referans kodu belirlidir. Örneğin bir A300-B4 uçağının kalkış-iniş yapabileceği havaalanı referans kodu 4D'dir. 4 rakamı A300-B4 uçağı için minimum pist uzunluğunu, D harfi ise minimum pist genişliğini ifade etmektedir. Buna göre A300-B4 uçağı en az 4D veya daha üst sınıfta yer alan havaalanlarından kalkış-iniş yapabilir.

Sınıflandırmanın, standart atmosfer koşulları ve deniz seviyesi şartlarına göre yapıldığı belirtilmişti. Bu koşullar dışındaki durumlar için uçak tipine göre gerekli pist uzunluğu, pist genişliği ve mukavemet hesaplama yöntemi Havaalanı Tasarım El Kitabında ayrıntılı olarak yer almaktadır. Çalışmada daha önce belirlenen havaalanlarının pistlerinin, A300-B4 ve F27-500 tipi uçakların kalkış ve iniş yapabilmeleri için uygunluğu; ağırlık, rakım, sıcaklık koşulları dikkate alınarak Havaalanı Tasarım El Kitabındaki bilgiler doğrultusunda incelenmiştir. Pist eğimlerinin etkisi ihmal edilmiştir. Belirlenen özelliklere sahip olmayan pistler için gerekli pist uzunluğu, genişliği ve mukavemeti hesaplanmıştır.

Ana dağıtım üssü oluşturma yaklaşımına göre ana dağıtım üssüne gelen ve ana dağıtım üssünden ayrılan uçaklar, diğer düğüm noktalarından gelen veya diğer düğüm noktalarına giden uçaklara göre daha yüksek dolulukta yüke sahip olacaktır. Dolayısıyla gerekli pist uzunluğu ve mukavemet değeri hesaplanırken uçakların maksimum kalkış ağırlığı dikkate alınmıştır.

#### **4.2.1.1. Pist uzunluğu yeterliliğinin değerlendirilmesi**

Gerekli pist uzunluğunun hesaplanmasında ilk adım uçağın operasyonel gereklerine uygun referans pist uzunluğunun belirlenmesidir. Referans pist uzunluğu; standart atmosfer koşullarında sıfır irtifada, sıfır rüzgâr ve sıfır pist eğimi koşullarında kalkış ve iniş için gerekli pist uzunluğudur. Bu bilgi uçakların ilgili dokümanlarında veya ICAO dokümanlarında yer almaktadır [78].

Referans pist uzunluğu, pistin bulunduğu yerin irtifasına göre her 300m irtifa için %7 oranında artırılmalıdır. İrtifaya göre artırılan pist uzunluğu meydan referans sıcaklığını aşan her 1°C için, %1 oranında tekrar artırılmalıdır. İrtifa ve sıcaklığa göre toplam artırma oranı %35'i geçtiğinde gerekli düzeltme özel bir çalışma ile elde edilir. Bazı uçakların operasyonel karakteristikleri, irtifa ve sıcaklık için düzeltme katsayılarına uygun değildir ve bu tür uçakların gerekli pist uzunluğunu belirlemek için işletme gereklilikleri ile bölgenin mevcut koşullarına göre ayrı bir çalışma yapmak gerekir [78].

Kalkış gerekliliklerine göre 900m ve daha fazlasını gerektiren pist uzunluklarında; pist uzunluğu, pist eğiminin her %'1'i için %10 oranında artırılmalıdır [78].

Yukarıda anlatılan gerekli pist uzunluğunu belirleme işlemleri aşağıda formüller halinde verilmiştir.

$S_1$  : Deniz seviyesinde standart atmosfer koşullarında kalkış için gerekli pist uzunluğu (m)

$E_A$  : Meydan irtifası (m)

$T_{AR}$  : Meydan referans sıcaklığı (°C)

$T_{AS}$  : Meydan irtifasının standart atmosfer koşullarındaki sıcaklığı (°C)

$S_R$  : Pist eğimi (%)

$S_2$  : İrtifaya göre düzeltilmiş pist uzunluğu (m)

$S_3$  : İrtifa ve sıcaklığa göre düzeltilmiş pist uzunluğu (m)

$S_4$  : İrtifa, sıcaklık ve pist eğimine göre düzeltilmiş pist uzunluğu (m)

$$T_{AS} = -1 \times \left[ \left( \frac{6.5}{1000} \times E_A \right) - 15 \right] \quad (4.1)$$

$$S_2 = \left[ S_1 \times 0.07 \times \frac{E_A}{300} \right] + S_1 \quad (4.2)$$

$$S_3 = [S_2 \times (T_{AR} - T_{AS}) \times 0.01] + S_2 \quad (4.3)$$

$$S_4 = [S_3 \times S_R \times 0.01] + S_3 \quad (4.4)$$

Örneğin; A300-B4 uçağının maksimum kalkış ağırlığı ile standart atmosfer koşullarında bir pistten kalkış yapabilmesi için gerekli referans pist uzunluğu Havaalanı Tasarımı El Kitabında 2605m olarak belirtilmiştir. Buna göre havaalanı

rakımı 952.2 m, havaalanı referans sıcaklığı 25°C ve pist eğimi 0° olan bir pistten, A300-B4 uçağının maksimum kalkış ağırlığı ile kalkış yapabilmesi için gerekli pist uzunluğu aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_1=2605 \text{ m}$$

$$E_A=952.2 \text{ m}$$

$$T_{AR}=25^\circ\text{C}$$

$$T_{AS} = -1 \times \left[ \left( \frac{6.5}{1000} \times 952.2 \right) - 15 \right]$$

$$T_{AS} = 8.8086^\circ\text{C}$$

$$S_2 = \left( 2605 \times 0.07 \times \frac{952.2}{300} \right) + 2605$$

$$S_2 = 3183.7789 \text{ m}$$

$$S_3 = [3183.7789 \times (25 - 8.8086) \times 0.01] + 3183.7789$$

$$S_3 = 3699.2772 \text{ m}$$

Bu örneğe göre bir A300-B4 uçağının, rakımı 952.2 m ve havaalanı referans sıcaklığı 25°C olan bir pistten maksimum kalkış ağırlığı ile kalkış yapabilmesi için gerekli olan pist uzunluğu 3699.2772 m'dir. Pist eğimi 0° olduğundan eğimle ilgili düzeltme yapılmamıştır.

A300-B4 ve F27-500 tipi uçakların maksimum kalkış ağırlıklarıyla kalkış yapabilmeleri için gerekli olan pist uzunluklarının belirlenmesi için havaalanlarının bulunduğu yerlerin, referans sıcaklık veya en yüksek ortalama sıcaklık bilgilerine ihtiyaç vardır. AIP (Aeronautical Information Publication)'de uluslararası havaalanlarının referans sıcaklıkları yer almaktadır. Diğer havaalanlarına ait en yüksek ortalama sıcaklık değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır.

Çalışmada ele alınan havaalanlarının pist rakımı ve referans sıcaklık değerleri ile uçakların maksimum kalkış ağırlığı dikkate alınarak "gerekli pist uzunlukları" hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerden mevcut pistlerin uzunluk değerleri çıkarılarak eklenmesi gereken pist uzunlukları belirlenmiştir. Çalışmada pist eğimleri ihmal edilmiştir. A300-B4 uçağının maksimum kalkış ağırlığı 165000 kg, F27-500 uçağının maksimum kalkış ağırlığı ise 20412 kg'dır. A300-

B4 uçağının referans pist uzunluğu 2605 m, F27-500 uçağının referans pist uzunluğu ise 1670 m'dir. Sonuçlar Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de yer almaktadır.

Çizelge 4. 2. A300-B4 uçağı pist uzunluğu değeriendirme tablosu

HAVAALANLARI	Rakım (m)	Referans sıcaklık (°C)	Gerekli pist uzunluğu (m)	Mevcut pist uzunluğu (m)	Eklenmesi gereken pist uzunluğu (m)	Pist uzunluğunun uygunluğu	Kaplama yapısı
ATATÜRK	49.7	25	2908	3000	0	Uygun	Beton
ESENBOĞA	952.52	25	3700	3750	0	Uygun	Asfalt
A.MENDERES	125.5	28.1	3055	3240	0	Uygun	Beton
ANTALYA	54	34	3149	3400	0	Uygun	Beton
DALAMAN	6.15	34	3106	3000	106	Uygun Değil	Beton
ADANA	19.74	35	3144	2750	394	Uygun Değil	Asfalt
TRABZON	31.8	26.2	2924	2640	284	Uygun Değil	Beton
MİLAS-BODRUM	6.45	34	3106	3000	106	Uygun Değil	Beton
ÇORLU	175	23.6	2976	3000	0	Uygun	Beton
DİYARBAKIR	686	31.1	3644	3549	95	Uygun Değil	Beton
ELAZIĞ	892	27.3	3717	1720	1997	Uygun Değil	Asfalt
ERZURUM	1757	19.3	4251	3810	441	Uygun Değil	Beton
GAZİANTEP	706	27.9	3565	3000	565	Uygun Değil	Beton
KARS	1795	17.7	4227	3500	727	Uygun Değil	Beton
KAYSERİ	1068.64	22.4	3722	3000	722	Uygun Değil	Beton
MALATYA	861.68	27.4	3692	3350	342	Uygun Değil	Asfalt
FERİTMELEN	1669	22.5	4284	2750	1534	Uygun Değil	Asfalt
SABİHA GÖKÇEN	95	25	2946	3000	0	Uygun	Beton



Çizelge 4. 3. F27-500 uçağı pist uzunluğu değeriendirme tablosu

HAVAALANLARI	Rakım (m)	Referans sıcaklık (°C)	Gerekli pist uzunluğu (m)	Mevcut pist uzunluğu (m)	Eklenmesi gereken pist uzunluğu (m)	Pist uzunluğunun uygunluğu	Kaplama yapısı
ATATÜRK	49.7	25	1864	3000	0	Uygun	Beton
ESENBOĞA	952.52	25	2372	3750	0	Uygun	Asfalt
A.MENDERES	125.5	28.1	1959	3240	0	Uygun	Beton
ANTALYA	54	34	2019	3400	0	Uygun	Beton
DALAMAN	6.15	34	1991	3000	0	Uygun	Beton
ADANA	19.74	35	2016	2750	0	Uygun	Asfalt
TRABZON	31.8	26.2	1875	2640	0	Uygun	Beton
MİLAS-BODRUM	6.45	34	1991	3000	0	Uygun	Beton
ÇORLU	175	23.6	1908	3000	0	Uygun	Beton
DİYARBAKIR	686	31.1	2336	3549	0	Uygun	Beton
ELAZIĞ	892	27.3	2383	1720	663	Uygun Değil	Asfalt
ERZURUM	1757	19.3	2725	3810	0	Uygun	Beton
GAZİANTEP	706	27.9	2286	3000	0	Uygun	Beton
KARS	1795	17.7	2710	3500	0	Uygun	Beton
KAYSERİ	1068.64	22.4	2386	3000	0	Uygun	Beton
MALATYA	861.68	27.4	2367	3350	0	Uygun	Asfalt
FERİTMELEN	1669	22.5	2747	2750	0	Uygun	Asfalt
SABİHA GÖKÇEN	95	25	1889	3000	0	Uygun	Beton

#### 4.2.1.2. Pist genişliği yeterliliğinin değerlendirilmesi

Uçakların güvenli kalkış-iniş yapabilmeleri için pist genişliğinin de yeterli olması gerekir. Havaalanı referans kodunda yer alan 2. karakter bir harftir ve uçağın kanat açıklığı ve ana iniş takımı tekerlekleri arası mesafesine bağlı olarak A, B, C, D, E ve F karakterlerinden birini alır. Pist genişlikleri ile ilgili sınıflandırma aşağıdaki çizelgede yer almaktadır. Çizelgede görülen pist genişlikleri minimum genişlik değerleridir. Bir pistin genişliği Çizelge 4.4’de belirtilen genişlik değerinden daha az olamaz [78].

Çizelge 4. 4. Pist genişlikleri sınıflandırma tablosu

Kod Numarası	Harf Kodu					
	A	B	C	D	E	F
1 <sup>a</sup>	18 m	18 m	23 m	-	-	-
2 <sup>a</sup>	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m

a: Kod numarası 1 ve 2 olan pistlerin hassas yaklaşma için pist genişliği 30 m’den az olamaz.

Çizelge 4.4’e göre havaalanı referans kodu 4D olan bir uçağın bir pistten kalkış ve iniş yapabilmesi için gerekli pist genişliğinin en az 45 m olması gereklidir. Çizelge 4.5’de A300-B4 ve F27-500 uçakları için havaalanı referans kodu ile en kısa pist uzunluğu ve genişliği bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 4. 5. A300-B4 ve F27-500 uçakları için havaalanı referans kodu ve veriler

Üretici Firma	Model	Havaalanı referans kodu	Uçak referans pist uzunluğu (m)	Kanat açıklığı (m)
Airbus	A300-B4	4D	2605	44.8
Fokker	F27-500	3C	1670	29

Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'e göre A300-B4 uçağı için gerekli pist genişliğı en az 45m, F27-500 uçağı için ise en az 30m olmalıdır. Bu bilgilere göre seçilen havaalanlarının pistleri değerlendirilmiş ve gerekli pist genişlikleri belirlenmiştir. Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'de sırasıyla, A300-B4 ve F27 uçakları için gerekli pist genişlikleri ortaya konmuştur. Bu çizelgelere göre sadece Elazığ havaalanı pistinin genişliğı A300-B4 uçağı için yetersizdir ve pist genişliğini 13m arttırmak gerekmektedir.

Çizelge 4. 6. A300-B4 uçağı için pist genişliğı değerlendirme tablosu

NO	HAVAALANLARI	Pist boyutları (m)	Mevcut pist genişliğı (m)	A300-B4 Uçağı için havaalanı referans kodu	Eklenmesi gereken pist genişliğı (m)	Pist genişliğinin uygunluğu
1	ATATÜRK	3000x45	45	4D	0	Uygun
2	ESENBOğA	3750x45	45	4D	0	Uygun
3	A.MENDERES	3240x45	45	4D	0	Uygun
4	ANTALYA	3400x45	45	4D	0	Uygun
5	DALAMAN	3000x45	45	4D	0	Uygun
6	ADANA	2750x45	45	4D	0	Uygun
7	TRABZON	2640x45	45	4D	0	Uygun
8	MİLAS-BODRUM	3000x45	45	4D	0	Uygun
9	ÇORLU	3000x45	45	4D	0	Uygun
10	DİYARBAKIR	3549x45	45	4D	0	Uygun
11	ELAZIğ	1720x32	32	4D	13	Uygun Değil
12	ERZURUM	3810x45	45	4D	0	Uygun
13	GAZİANTEP	3000x45	48	4D	0	Uygun
14	KARS	3500x45	45	4D	0	Uygun
15	KAYSERİ	3000x45	45	4D	0	Uygun
16	MALATYA	3350x45	45	4D	0	Uygun
17	FERİTMELEN	2750x45	45	4D	0	Uygun
18	SABİHA GÖKÇEN	3000x45	45	4D	0	Uygun

Çizelge 4. 7. F27-500 uçağı için pist genişliğı değerlendirme tablosu

NO	HAVAALANLARI	Pist boyutları (m)	Mevcut pist genişliğı (m)	F27-500 Uçağı için havaalanı referans kodu	Eklenmesi gereken pist genişliğı (m)	Pist genişliğinin uygunluğu
1	ATATÜRK	3000x45	45	3C	0	Uygun
2	ESENOĞA	3750x45	45	3C	0	Uygun
3	A.MENDERES	3240x45	45	3C	0	Uygun
4	ANTALYA	3400x45	45	3C	0	Uygun
5	DALAMAN	3000x45	45	3C	0	Uygun
6	ADANA	2750x45	45	3C	0	Uygun
7	TRABZON	2640x45	45	3C	0	Uygun
8	MİLAS-BODRUM	3000x45	45	3C	0	Uygun
9	ÇORLU	3000x45	45	3C	0	Uygun
10	DİYARBAKIR	3549x45	45	3C	0	Uygun
11	ELAZIĞ	1720x32	32	3C	0	Uygun
12	ERZURUM	3810x45	45	3C	0	Uygun
13	GAZİANTEP	3000x45	45	3C	0	Uygun
14	KARS	3500x45	45	3C	0	Uygun
15	KAYSERİ	3000x45	45	3C	0	Uygun
16	MALATYA	3350x45	45	3C	0	Uygun
17	FERİTMELEN	2750x45	45	3C	0	Uygun
18	SABİHA GÖKÇEN	3000x45	45	3C	0	Uygun

#### 4.2.1.3. Pist mukavemeti yeterliliğinin değerlendirilmesi

Uçakların bir pistten güvenli kalkış-iniş yapabileceğini belirleyen pist fiziksel özelliklerinden biri de pist mukavemetidir. Pistlerin mukavemeti iki farklı yöntemle ölçülebilir. Yük sınıflandırmasına göre yapılan değerlendirmede uçağın piste uygulayacağı yük ve pistin mukavemeti LCN (Load Classification Number) değerleri ile ifade edilir. Pist kaplamasına göre yapılan değerlendirmede ise uçağın piste uygulayacağı yük ACN (Aircraft Classification Number) değerleri ile, pist kaplamasının mukavemeti ise PCN (Pavement Classification Number) değerleri ile ifade edilir. Her havaalanının LCN veya PCN değeri AIP dokümanında yer alır. Uçakların bir pistten kalkış-iniş yapabilmeleri için uçağın ACN veya LCN değerlerinin pistin PCN veya LCN değerine eşit veya küçük olması gerekir.

Bir uçak, farklı ağırlıklar ve farklı pist özelliklerine göre pist kaplamasına farklı değerde yük uygular. Dokümanlarda farklı ağırlık ve pist özelliğine göre uçağın LCN veya ACN değerlerini belirleme ile ilgili hesaplama yöntemleri verilir veya doğrudan tablolar halinde yer alır.

Aşağıda LCN/LCG ve ACN değerlerinin belirlenmesi konusunda bilgi verilmiştir. Ardından pistlerin PCN (veya LCN) değerleri ile uçakların ACN (veya LCN) değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre pistin mukavemeti yetersizse mukavemet artırmak için gerekli hesaplamalar yapılarak maliyetler belirlenmiştir. Çalışmada pist uzunluklarının belirlenmesinde olduğu gibi uçakların “maksimum kalkış ağırlığı” dikkate alınmıştır.

**ACN değerinin belirlenmesi:** Uçağın ACN değeri; pist kaplamasının özellikleri ve uçağa ait verilerin birlikte değerlendirilmesiyle belirlenir. Pist kaplamasının özelliklerinden yola çıkılarak uçağın o uçuştaki ağırlığı, lastik basıncına göre ACN değeri tespit edilir. Örneğin bir pistin, pist kaplama sınıflandırma sayısı PCN 100 R/A/W/T şeklinde olsun. 100 rakamı, pist mukavemetini belirtir. İlk harf (R) pistin kaplama tipini gösterir, R veya F olabilir. R pist kaplamasının sert (rigid), F ise esnek (flexible) yapıda olduğunu ifade eder. 2. harf (A) alt zeminin dayanıklılık kategorisini gösterir. A, B, C ve D kategorisinde olabilir. A zeminin yüksek dayanıklılıkta, B orta dayanıklılıkta, C

düşük dayanıklılıkta ve D ise çok düşük dayanıklılıkta olduğunu belirtir. 3. Harf (W) ise lastik basıncı kategorisini gösterir. W, X, Y ve Z kategorileri mevcuttur. W lastik basıncı limitinin olmadığını, X 1.5 MPa (217 psi)'ya kadar limitli olduğunu, Y 1.00 MPa (145 psi) ve Z ise 0.5 MPa (73 psi)'ya kadar limit olduğunu gösterir. Uçağın lastik basıncının bu değerden küçük olması gerekir. 4. harf (T) ise pist kaplamasının belirlenme yöntemini gösterir. T harfi teknik değerlendirmeyi, U harfi uçak kullanılarak yapılan değerlendirmeyi ifade eder. Pist kaplamasının özelliklerini ve değerlendirme yöntemini ifade eden bu rakam ve harflere ve uçağın ağırlık ve lastik basıncı değerlerine göre ilgili tablodan ya da hesaplama yöntemi ile uçağın ACN değeri belirlenir [79].

Örneğin; Pist Sınıflandırma Sayısı PCN 100 R/A/X/T olan bir pistten A300-B4 uçağının maksimum kalkış ağırlığı ile kalkış yapıp yapamayacağı Çizelge 4.8'deki A300-B4 uçağının ACN tablosu kullanılarak belirlenebilir [79].

**Çizelge 4. 8.** A300-B4 uçağı pist sınıflandırma tablosu [79]

Ağırlık Değerleri (kg) (Maks. Apron Ağırlığı kg) (İşletme Boş Ağırlığı kg)	Standart Uçak Lastik Basıncı (MPa)	Sert Kaplama (R)				Esnek Kaplama (F)			
		A	B	C	D	A	B	C	D
165900	1,49	48	57	67	75	50	56	68	86
90000		22	25	29	33	23	25	28	37

Uçağın en yüksek ACN değerini belirlemek için maksimum apron ağırlığına göre değerlendirme yapılır. Buna göre 165900kg'a karşılık gelen satırlardaki değerler incelenir. 1. harf R olduğundan sert kaplama sütunlarındaki değerlere göre inceleme yapılır. 2. harf A'dır. Buna göre 165900 kg ve sert kaplama bölümündeki A sütunu kesiştirilir. Bulunan değer uçağın ACN değeridir. Bu örnekte uçağın ACN değeri 48'dir. 3. harf kısmında yer alan X, lastik basıncının en fazla 1.5MPa olması gerektiğini ifade etmektedir. ACN tablosundaki standart uçak lastik basıncı değeri 1,49 MPa'dır.  $1.49\text{MPa} < 1.5\text{MPa}$  olduğundan A300-B4 uçağı maksimum kalkış ağırlığı ile bu pistten kalkış yapabilir.

Uçağın en yüksek ve en düşük ağırlığı dışındaki bir ağırlıkla bir pistten kalkış yapıp yapamayacağını belirlemek için hesaplama yöntemi de kullanılabilir.

Sonuçta uçağın en yüksek ve en düşük ağırlığında elde edilen değerlerin arasında bir sonuç elde edilecektir. Benzer şekilde F27-500 tipi kargo uçağının Çizelge 4.9'da yer alan pist sınıflandırma tablosu kullanılarak incelenecek pistin özelliklerine göre ACN değeri belirlenebilir.

**Çizelge 4. 9.** F27-500 uçağı pist sınıflandırma tablosu [79]

Ağırlık Değerleri (kg) (Maks. Apron Ağırlığı kg) (İşletme Boş Ağırlığı kg)	Standart Uçak Lastik Basıncı (MPa)	Sert Kaplama (R)				Esnek Kaplama (F)			
		A	B	C	D	A	B	C	D
20412	0,55	10	11	12	13	8	10	12	14
11340		5	5	6	6	4	5	6	7

**Uçak LCN/LCG değerinin belirlenmesi:** Yukarıda da belirtildiği gibi bazı havaalanların pist kaplamalarının dayanıklılığı LCN/LCG değerinde belirlenmiştir. Uçağın ilgili pistten kalkış yapıp yapamayacağını tespiti için uçağın LCN/LCG değerlerinin belirlenmesi gerekir.

Uçağın LCN ve LCG değerinin belirlenmesi için öncelikle izole edilmiş tek tekerlek yükü veya eşdeğer tek tekerlek yükü (SIWL/ESWL) bilgisine ihtiyaç vardır. SIWL veya ESWL Uçuş El Kitabından, mevcut değilse SIWL veya ESWL değeri aşağıdaki şekilde belirlenir [79].

MAW: Maksimum apron ağırlığı

L: Bir ana dikme üzerine düşen yük oranı

$n_T$ : Tekerlek sayısı

olmak üzere,

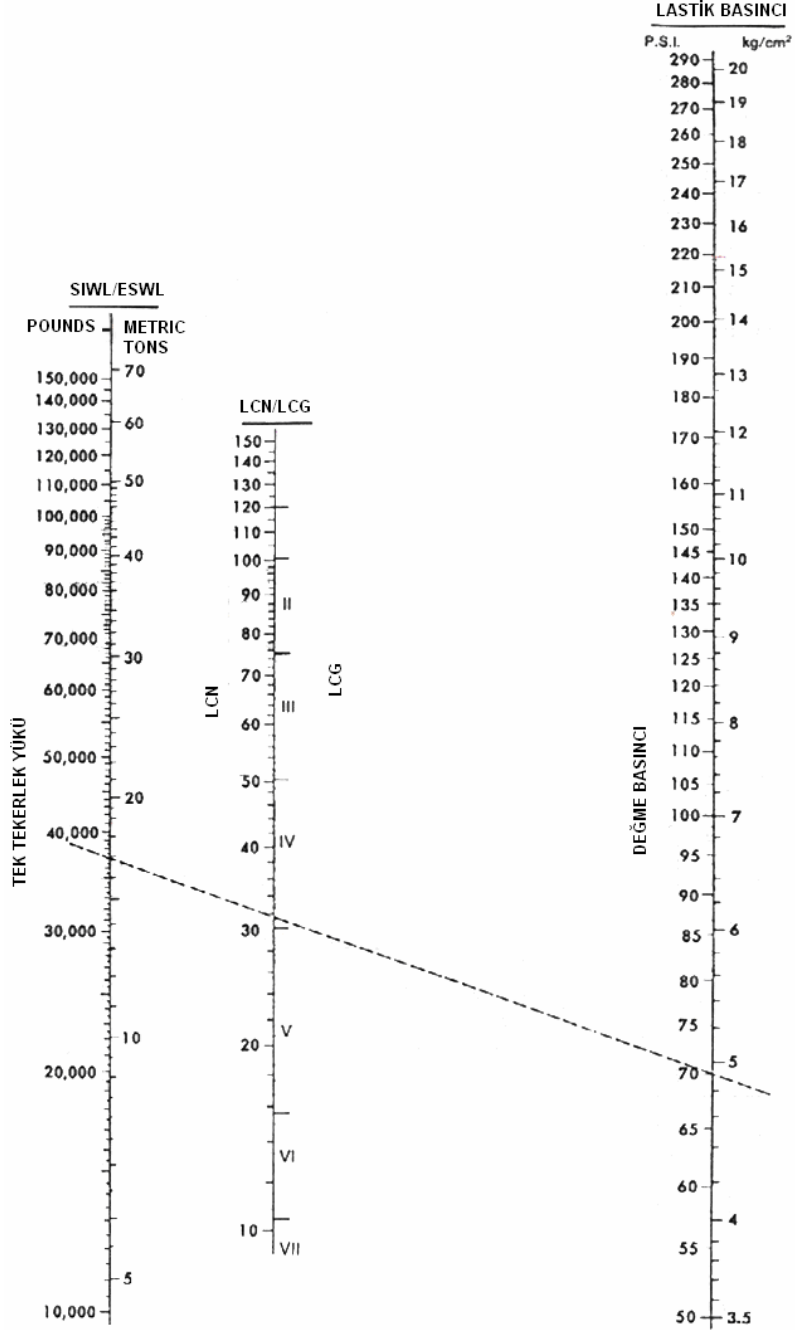
$$ESWL = (MAW \times L) / n_T \quad (4.5)$$

SIWL veya ESWL değeri hesaplandıktan sonra uçağın LCN/LCG değeri aşağıdaki gibi belirlenir.

- Hesaplanan ESWL (veya SIWL) değeri Şekil 4.1'de SIWL/ESWL doğrusu üzerine işaretlenir.
- Şekil 4.1'de lastik basıncını gösteren doğru üzerinde uçağın lastik basıncı değeri işaretlenir.



- Doğrular üzerinde işaretlenen bu noktalar düz bir çizgiyle birleştirilir. Ortada bulunan doğruyu kesen noktaya karşılık gelen değerler, uçağın LCN/LCG değerleridir.



Şekil 4. 1. LCN/LCG değeri belirleme diyagramı [79]

Örneğin A300 B4 uçağının LCN/LCG değeri aşağıdaki gibi hesaplanır. İlk aşamada ESWL değeri belirlenir.

$$MAW= 165.9 \text{ ton}$$

$$L=0.47$$

$$n_T=4$$

$$ESWL=(165.9 \times 0.47)/4$$

$$ESWL=19.49325 \text{ ton}$$

Bundan sonra LCN/LCG değeri belirlenir.

$$\text{Uçak lastik basıncı}=15.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$ESWL=19.49325 \text{ ton}$$

olmak üzere ESWL ve uçak lastik basıncı değerleri doğrular üzerinde işaretlenir. SIWL/ESWL ve lastik basıncı doğruları üzerinde işaretlenen bu noktalar bir doğru ile birleştirildiğinde ortada LCN/LCG grafiğini kesen noktaya göre A300-B4 uçağının LCN değeri 73, LCG değeri ise III'dür.

Belirlenen havaalanlarının pistlerinin A300-B4 ve F27-500 tipi uçakların kalkış-iniş yapabilmesi için yeterli mukavemete sahip olup olmadıkları değerlendirilerek sonuçlar Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4. 10. A300-B4 uçağı pist mukavemeti değerlendirme tablosu

NO	HAVAALANLARI	Pist No	Pist Kaplama /Yük Sınıflandırma Sayısı (PCN/LCN)	Uçak/Yük Sınıflandırma Sayısı (ACN/LCN)	Pist Lastik Basıncı Sınırı (Mpa)	Uçak ve Pist Lastik Basıncı Karşılaştırması (MPa)	ACN-PCN/LCN Karşılaştırması	Pist Mukavemet Uyguluğu	Havaalanı Uygunluğu
1	ATATÜRK	1.	PCN 100 R/A/W/T	48	Limit yok		48<100	Uygun	Uygun
		2.	PCN 100 R/A/W/T	48	Limit yok		48<100	Uygun	
		3.	PCN 100 R/A/X/T	48	1.5 Mpa	1.49<1.50	48<100	Uygun	
2	ESENBOĞA	1.	LCN 100	73			73<100	Uygun	Uygun
		2.	LCN 95	73			73<95	Uygun	
3	A.MENDERES	1.	PCN 120 R/D/W/T	75	Limit yok		75<120	Uygun	Uygun
		2.	PCN 88 F/C/W/T	68	Limit yok		68<88	Uygun	
4	ANTALYA	1.	PCN 110 R/A/W/T	48	Limit yok		48<80	Uygun	Uygun
		2.	PCN 80 R/A/X/T	48	1.5 Mpa	1.49<1.50	48<110	Uygun	
		3.	PCN 33 F/B/X/T	56	1.5 Mpa		72>45	U. değil	
5	DALAMAN	1.	PCN 100 R/A/W/T	48	Limit yok		48<100	Uygun	Uygun
6	ADANA	1.	PCN 115 F/A/X/T	50	1.5 Mpa	1.49<1.50	50<115	Uygun	Uygun
7	TRABZON	1.	PCN 75 R/A/X/T	48	1.5 Mpa	1.49<1.50	48<75	Uygun	Uygun
8	MİLAS-BODRUM	1.	PCN 105 R/D/W/T	75	Limit yok		75<105	Uygun	Uygun
9	ÇORLU	1.	PCN 52 R/D/X/T	75	1.5 Mpa	1.49<1.50	75>52	U. değil	U. değil
10	DİYARBAKIR	1.	PCN 110 R/A/W/T	48	Limit yok		48<110	Uygun	Uygun
11	ELAZIĞ	1.	PCN 76 F/A/W/T	50	Limit yok		50<76	Uygun	Uygun
12	ERZURUM	1.	LCN 65	73			73>65	U. değil	U. değil
		2.	PCN 62 R/D/X/T	75	1.5 Mpa	1.49<1.50	75>62	U. değil	
13	GAZİANTEP	1.	PCN 110 R/A/W/T	48	Limit yok		48<110	Uygun	Uygun
14	KARS	1.	PCN 68 R/A/X/T	48	1.5 Mpa	1.49<1.50	48<68	Uygun	Uygun
15	KAYSERİ	1.	PCN 80 R/D/W/T	75	Limit yok		75<80	Uygun	Uygun
16	MALATYA	1.	PCN 33 F/B/X/T	56	1.5 Mpa	1.49<1.50	56>33	U. değil	U. değil
17	FERİTMELEN	1.	PCN 80 F/A/X/T	50	1.5 Mpa	1.49<1.50	50<80	Uygun	Uygun
18	S. GÖKÇEN	1.	PCN 100 R/A/X/T	48	1.5 Mpa	1.49<1.50	48<100	Uygun	Uygun

**Çizelge 4. 11.** F27-500 uçağı pist mukavemeti değerlendirme tablosu

NO	HAVAALANLARI	Pist No	Pist Kaplama /Yük Sınıflandırma Sayısı (PCN/LCN)	Uçak /Yük Sınıflandırma Sayısı (ACN/LCN)	Pist Lastik Basıncı Sınırı (Mpa)	Uçak ve Pist Lastik Basıncı Karşılaştırması (Mpa)	ACN-PCN/LCN Karşılaştırması	Pist Mukavemeti Uygunluğu	Havaalanı Uygunluğu
1	ATATÜRK	1.	PCN 100 R/A/W/T	10	Limit yok	Sınırsız	10<100	Uygun	Uygun
		2.	PCN 100 R/A/W/T	10	Limit yok	Sınırsız	10<100	Uygun	
		3.	PCN 100 R/A/X/T	10	1.5 Mpa	0.55 <1.5	10<100	Uygun	
2	ESENBOĞA	1.	LCN 100	21			21<100	Uygun	Uygun
		2.	LCN 95	21			21<100	Uygun	
3	A.MENDERES	1.	PCN 120 R/D/W/T	13	Limit yok	Sınırsız	13<120	Uygun	Uygun
		2.	PCN 88 F/C/W/T	12	Limit yok	Sınırsız	12<120	Uygun	
4	ANTALYA	1.	PCN 110 R/A/W/T	10	Limit yok	Sınırsız	10<100	Uygun	Uygun
		2.	PCN 80 R/A/X/T	10	1.5 Mpa	0.55 <1.5	10<100	Uygun	
		3.	PCN 33 F/B/X/T	10	1.5 Mpa			Uygun	
5	DALAMAN	1.	PCN 100 R/A/W/T	10	Limit yok	Sınırsız	10<100	Uygun	Uygun
6	ADANA	1.	PCN 115 F/A/X/T	8	1.5 Mpa	0.55 <1.5	8<115	Uygun	
7	TRABZON	1.	PCN 75 R/A/X/T	10	1.5 Mpa	0.55 <1.5	10<75	Uygun	Uygun
8	MİLAS-BODRUM	1.	PCN 105 R/D/W/T	13	Limit yok	Sınırsız	13<105	Uygun	Uygun
9	ÇORLU	1.	PCN 52 R/D/X/T	13	1.5 Mpa	0.55 <1.5	13<52	Uygun	Uygun
10	DİYARBAKIR	1.	PCN 110 R/A/W/T	10	Limit yok	Sınırsız	10<110	Uygun	Uygun
11	ELAZIĞ	1.	PCN 76 F/A/W/T	8	Limit yok	Sınırsız	8<76	Uygun	Uygun
12	ERZURUM	1.	PCN 62 R/D/X/T	13	1.5 Mpa	0.55 <1.5	13<62	Uygun	Uygun
		2.	LCN 65	21			21<65	Uygun	Uygun
13	GAZİANTEP	1.	PCN 110 R/A/W/T	10	Limit yok	Sınırsız	10<110	Uygun	Uygun
14	KARS	1.	PCN 68 R/A/X/T	10	1.5 Mpa	0.55 <1.5	10<68	Uygun	Uygun
15	KAYSERİ	1.	PCN 80 R/D/W/T	13	Limit yok	Sınırsız	13<80	Uygun	Uygun
16	MALATYA	1.	PCN 33 F/B/X/T	10	1.5 Mpa	0.55 <1.5	10<33	Uygun	Uygun
17	FERİTMELEN	1.	PCN 80 F/A/X/T	8	1.5 Mpa	0.55 <1.5	8<80	Uygun	Uygun
18	S. GÖKÇEN	1.	PCN 100 R/A/X/T	10	1.5 Mpa	0.55 <1.5	10<100	Uygun	Uygun

Çizelge 4.10 ve 4.11'e göre; belirlenen havaalanları pistlerinin F27-500 tipi kargo uçağının maksimum kalkış ağırlığı ile kalkış-iniş yapabilmesi için yeterli mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak A300-B4 tipi kargo uçağının maksimum kalkış ağırlığı ile kalkış-iniş yapabilmesi için Çorlu, Erzurum ve Malatya havaalanlarındaki pistlerin yeterli mukavemete olmadığı belirlenmiştir.

Çorlu ve Erzurum havaalanlarının pist kaplaması betondur. A300-B4 uçağının maksimum kalkış ağırlığı ile güvenli kalkış-iniş yapabilmesi için, Çorlu pistinin mukavemeti 52 iken 75'e, Erzurum pistinin mukavemeti 62 iken 75'e çıkarmak gerekmektedir. Malatya havaalanının pist kaplaması ise asfaltdır. Bu pistin mukavemeti de 33 iken 56 değerine çıkarılmalıdır. Mukavemeti artırmak için farklı yöntemler mevcuttur, ancak çalışmada beton kaplama üzerine beton kaplama, asfalt kaplama üzerine de asfalt kaplama uygulama yöntemi seçilmiştir. Bu amaçla öncelikle, pistlerin üzerine ne kadar kalınlıkta beton veya asfalt kaplama yapılması gerektiği aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

**Asfalt pistlerin mukavemetini artırmak için gerekli asfalt kaplama kalınlığının belirlenmesi:** Asfalt pistlerin pist referans kalınlığı (4.6) formülü kullanılarak belirlenir.

$$t = \sqrt{1000.PCN \left( \frac{0,878}{CBR} - 0,01249 \right)} \quad (4.6)$$

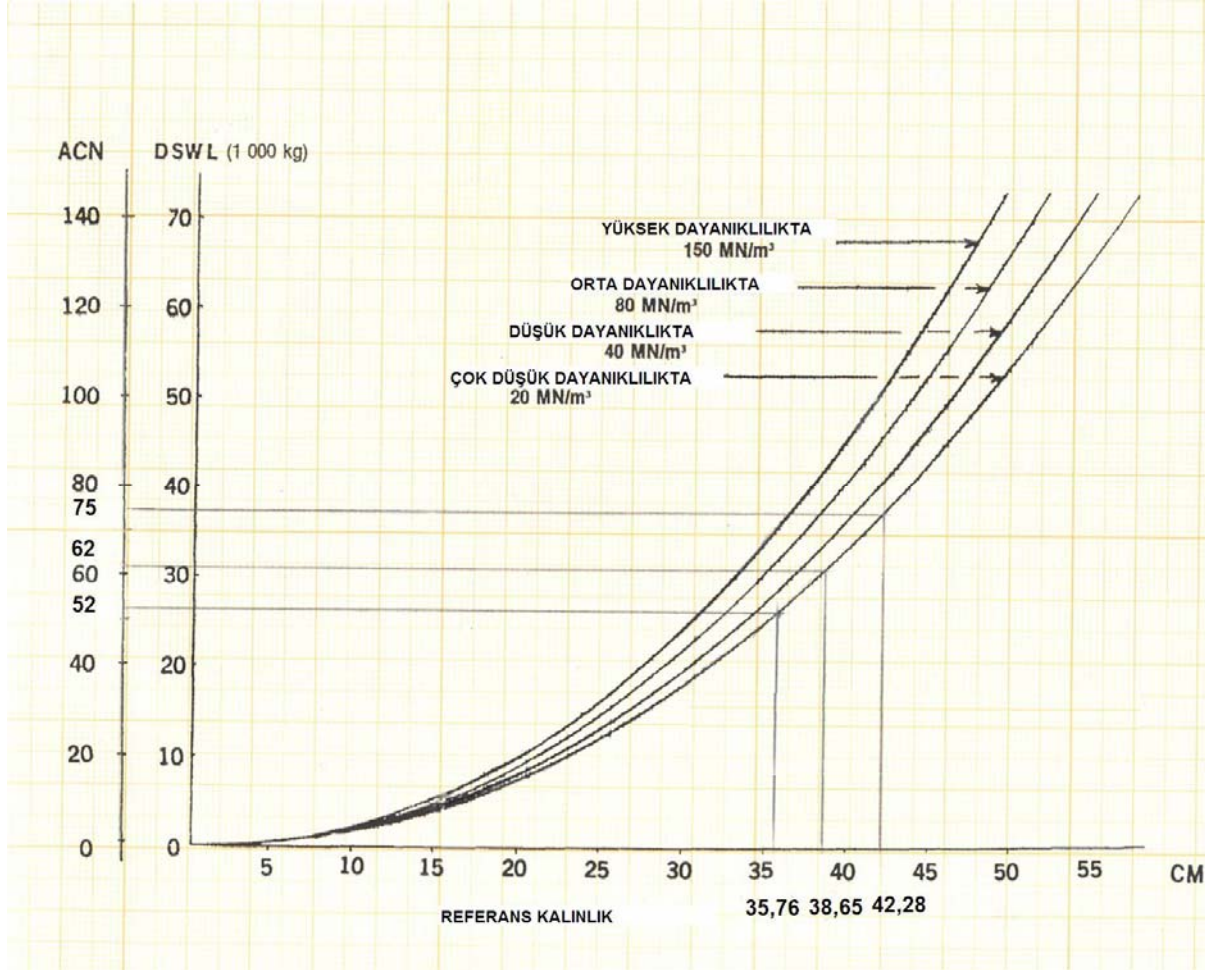
Bu formülde t referans kalınlık (cm), PCN pist kaplama sınıflandırma sayısı ve CBR (California Bearing Ratio) da zemin yapısı ile ilgili bir katsayıdır. CBR; yüksek dayanıklılıktaki zeminler için 15, orta dayanıklılıktaki zeminler için 10, düşük dayanıklılıktaki zeminler için 6, çok düşük dayanıklılıktaki zeminler için 3 değerini alır [80].

Asfalt pistlerin mukavemetini artırmak için gerekli asfalt kaplama kalınlığının belirlenmesi amacıyla; öncelikle mevcut durum için (mevcut PCN ve CBR değeri için) pist kalınlığı ( $t_1$ ), daha sonra da yeni durum (yeni PCN değeri) için gerekli pist kalınlığı ( $t_2$ ) belirlenmiştir. Bu iki kalınlık değeri arasındaki fark eklenmesi gereken asfalt kaplamanın kalınlığını verecektir.

$$t_{\text{fark}} = t_2 - t_1 \quad (4.7)$$

Yapılan hesaplamalara göre Malatya (Erhaç) pisti için 15 cm kalınlığında asfalt kaplama yapılması gerektiği belirlenmiştir. Maliyet hesaplamaları buna göre yapılmıştır.

**Beton pistlerin mukavemetini artırmak için gerekli beton kaplama kalınlığının belirlenmesi:** Beton pistlerin mukavemetini artırmak için gerekli beton kaplama kalınlığını belirlemek için Şekil 4.2’de yer alan ACN Sert Kaplama Dönüşüm Grafiğinden yararlanılmıştır [80]. Grafikten öncelikle mevcut PCN değeri için referans kalınlık ( $t_1$ ), daha sonra da artırılmak istenen PCN değeri için gerekli referans kalınlığı ( $t_2$ ) belirlenmiştir. Bu iki değer arasındaki fark mukavemeti artırmak için gerekli beton kaplamasının kalınlığını verir. Buna göre Çorlu pisti için 6.52cm’lik; Erzurum pisti için ise 3.63cm’lik beton kaplama yapmak gerektiği hesaplanmıştır. Ancak DLHİ ile yapılan görüşmede beton blokların özelliği nedeniyle en düşük 15cm kalınlığında beton kaplama yapılması gerektiği bilgisi alınmıştır. Buna göre Çorlu ve Erzurum pistleri için 15cm kalınlığında beton kaplama için gerekli olan maliyetler sonraki bölümde hesaplanmıştır.



Şekil 4. 2. Beton pist referans kalınlığı belirleme diyagramı [80]

#### 4.2.2. Pist yapım maliyetleri

Pistlerin yapımında zemin yapısı çok önemlidir. Zemin yapısı çok zayıf, zayıf, orta ve sağlam dayanıklılıkta zeminler olarak sınıflandırılır. DLHİ (Demiryolları Limanlar ve Havaalanları İnşaatı) zeminleri sağlam, orta ve zayıf dayanıklılıkta zeminler olarak sınıflandırılarak, beton pistler için pist yapımı maliyetleri belirlemiştir. DLHİ'den alınan maliyet verileri Ek 3'de sunulmuştur. Asfalt pist uzatma maliyetleri Anadolu Üniversitesi Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığı'ndan alınmıştır.

Alınan verilere göre 1m<sup>2</sup> asfalt pist uzatma maliyeti ortalama 55.20YTL'dir. 15 cm kalınlığında 1m<sup>2</sup> taş kırma beton pistin maliyeti ise ortalama 24.71YTL, 15 cm kalınlığında 1m<sup>2</sup>'lik asfalt pistin maliyeti ise ortalama 37.11YTL'dir.

Pistlerin uzatma, genişletme veya mukavemet değerlendirmelerine ve yukarıdaki birim maliyetlere göre gerekli pist maliyetleri hesaplanmıştır. Pist uzatma ve genişletme çalışmalarında havaalanı etrafındaki engeller ve yapılaşma dikkate alınmamıştır. Bu hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13'de sunulmuştur.

#### 4.2.3. Kargo geçiş terminali maliyeti

Ana dağıtım üssü oluşturma yaklaşımına göre ADÜ'ye gelen ve ADÜ'den giden yük miktarı diğer düğüm noktalarına göre daha fazla olacaktır. Bu nedenle özellikle ADÜ olmaya aday havaalanlarının gelen ve giden yükleri depolama ve kontrol etmek amacıyla kullanılan depolama alanlarının ve cihazlarının yeterli olması gerekir.

Yurt içinde havayolu ile kargo taşımacılığı yapan şirket yetkilileriyle yapılan görüşmelerde gelen kargolarını kargo depolarında tutmadıklarını ve uçak iniş yaptıktan bir süre sonra kargolarını aldıklarını veya kargolarının uçak kalkış yapmadan bir süre önce uçağa alındığını belirtmişlerdir. Dolayısıyla yurt içinde yapılan taşımalarda havaalanlarında kargo deposuna ihtiyaç bulunmamaktadır.

Yurt içi, yurt dışı taşımalarda olsun tüm kargolar güvenlik cihazlarından geçirilmektedir. Özellikle kargo trafiği açısından yoğun olan havaalanlarında



kargolar için özel bölümler bulunmaktadır. Ancak bazı havaalanlarında bu tür özel bölümler bulunmamakta ve kargolar yolcu terminallerindeki cihazlardan geçirilmektedir. Kargo talebi az olan havaalanları için kargoları güvenlik cihazlarından bu şekilde geçirmek yeterli olabilir ancak ADÜ olmaya aday havaalanlarının kargo trafiği yoğun olacağından mutlaka kargo geçiş terminaline ihtiyaç olacaktır.

Çalışma kapsamında belirlenen havaalanlarının, yetkilileriyle yapılan görüşmelerde Dalaman, Elazığ, Gaziantep, Kars, Malatya ve Trabzon havaalanlarında kargo geçiş terminallerinin ve X-Ray cihazlarının bulunmadığı öğrenilmiştir. Çalışmada bu havaalanları için sadece X-Ray cihazı maliyetinin dikkate alınması uygun görülmüştür. Yapılan araştırmalarda kargolar için kullanılacak ortalama bir X-Ray cihazının maliyetinin \$75000 olduğu belirlenmiştir. Seçilen X-Ray cihazının boyutları 6494mm x 2150mm x 2810mm olup, tünel boyutu da 1500mm x 1650mm'dir. En fazla yük miktarı 3000kg'dır. Konveyör hızı 0.1m/sn'dir. Büyük boyutlu paletli kargolar için tasarlanmış bir cihazdır [81].

#### **4.2.4. Havaalanı alt yapı maliyetlerinin sınıflandırılması**

Çizelge 4.12'de A300-B4 uçağı, Çizelge 4.13'de F27-500 uçağı için hesaplanan maliyet sonuçları yer almaktadır. ADÜ yerleşim problemlerinde yıllık veriler kullanılmaktadır. Dolayısıyla çalışmada bir havaalanına yapılacak toplam yatırım maliyetinin yıllık olarak ele alınması uygun görülmüştür. Bu amaçla modelde yıllık maliyetler kullanılmıştır. DLHİ'den alınan bilgi doğrultusunda asfalt pist ömrünün 15 yıl, beton pistin ise 20 yıl olduğu göz önüne alınarak yıllık pist maliyetleri pist asfaltsa maliyetlerin 15'e, pist betonsa maliyetlerin 20'ye bölünmesi suretiyle hesaplanmıştır. X-Ray cihazının kullanım ömrünün de 15 yıl olduğu kabulü yapılmıştır. Çizelge 4.12 ve 4.13'de son sütunda yıllık alt yapı maliyetleri bulunmaktadır.

İnşaat maliyetlerinin esnek bir yapıda olmasından dolayı hesaplanan maliyetlerin gruptandırılmasına gerek görülmüştür. Gruplama yaparken Eurocontrol'ün (European Organisation For The Safety of Air Navigation) Hava

Tarafı Kapasite Planlama dokümanından yararlanılmıştır [82]. Bu dokümana göre maliyetlerin sınıflandırılması Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15’de verilmiştir.

Çizelge 4. 12. A300-B4 uçağına göre havaalanı alt yapı maliyetleri

HAVAALANLARI	Pist Uzatma Maliyeti (\$)	Pist Genişletme Maliyeti (\$)	Pist Mukavemetini Arttırma Maliyeti (\$)	Toplam Pist Maliyeti (\$)	Toplam Pist Maliyeti (\$/Yıl)	X-Ray Cihazı Maliyeti (\$/Yıl)	Toplam Alt Yapı Maliyeti (\$/Yıl)
ATATÜRK	0	0	0	0	0	0	0
ESENBOĞA	0	0	0	0	0	0	0
A.MENDERES	0	0	0	0	0	0	0
ANTALYA	0	0	0	0	0	0	0
DALAMAN	327481	0	0	327481	16374	5000	21374
ADANA	1002216	0	0	1002216	66814	0	66814
TRABZON	877402	0	0	877402	43870	5000	48870
MİLAS-BODRUM	424913	0	0	424913	21246	0	21246
ÇORLU	0	0	3415867	3415867	170793	0	170793
DİYARBAKIR	293497	0	0	293497	14675	0	14675
ELAZIĞ	5079762	1604225	0	6683986	445599	5000	450599
ERZURUM	1767800	0	4840283	6608083	330404	0	330404
GAZİANTEP	1861904	0	0	1861904	93095	5000	98095
KARS	2246025	0	0	2246025	112301	5000	117301
KAYSERİ	2894221	0	0	2894221	144711	0	144711
MALATYA	869944	0	6313733	7183677	478912	5000	483912
FERİTMELEN	3902030	0	0	3902030	260135	0	260135
SABİHA GÖKÇEN	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 4. 13. F27-500 uçağına göre havaalanı alt yapı maliyetleri

HAVAALANLARI	Pist Uzatma Maliyeti (\$)	Pist Genişletme Maliyeti (\$)	Pist Mukavemetini Arttırma Maliyeti (\$)	Toplam Pist Maliyeti (\$)	Toplam Pist Maliyeti (\$/Yıl)	X-Ray Cihazı Maliyeti (\$/Yıl)	Toplam Maliyet (\$/Yıl)
ATATÜRK	0	0	0	0	0	0	0
ESENBOĞA	0	0	0	0	0	0	0
A.MENDERES	0	0	0	0	0	0	0
ANTALYA	0	0	0	0	0	0	0
DALAMAN	0	0	0	0	0	5000	5000
ADANA	0	0	0	0	0	0	0
TRABZON	0	0	0	0	0	5000	5000
MİLAS-BODRUM	0	0	0	0	0	0	0
ÇORLU	0	0	0	0	0	0	0
DİYARBAKIR	0	0	0	0	0	0	0
ELAZIĞ	1068098	0	0	1068098	71207	5000	76207
ERZURUM	0	0	0	0	0	0	0
GAZİANTEP	0	0	0	0	0	5000	5000
KARS	0	0	0	0	0	5000	5000
KAYSERİ	0	0	0	0	0	0	0
MALATYA (ERHAÇ)	0	0	0	0	0	5000	5000
FERİTMELEN	0	0	0	0	0	0	0
SABİHA GÖKÇEN	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 4. 14. A300-B4 uçağı alt yapı maliyetleri gruplandırma tablosu

Havaalanı	Alt Yapı Maliyeti (\$)	Grup	Aralık (\$)
ATATÜRK	0	1. Grup	0
ESENBOĞA	0	1. Grup	0
A.MENDERES	0	1. Grup	0
ANTALYA	0	1. Grup	0
SABİHA GÖKÇEN	0	1. Grup	0
DİYARBAKIR	14675	2. Grup	1-50000
BODRUM-MİLAS	21246	2. Grup	1-50000
DALAMAN	21374	2. Grup	1-50000
TRABZON	48870	2. Grup	1-50000
ADANA	66814	3. Grup	50001-100000
GAZİANTEP	98095	3. Grup	50001-100000
KARS	117301	4. Grup	100001-150000
KAYSERİ	144711	4. Grup	100001-150000
ÇORLU	170793	5. Grup	150001-200000
FERİTMELEN	260135	6. Grup	200001-300000
ERZURUM	330404	7. Grup	300001-400000
ELAZIĞ	450599	8. Grup	400001-500000
MALATYA	483912	8. Grup	400001-500000

Çizelge 4. 15. F27-500 Uçağı alt yapı maliyetleri gruplandırma tablosu

Havaalanı	Alt Yapı Maliyeti (\$)	Grup	Aralık (\$)
ATATÜRK	0	1. Grup	0
ESENBOĞA	0	1. Grup	0
A.MENDERES	0	1. Grup	0
ANTALYA	0	1. Grup	0
ADANA	0	1. Grup	0
MİLAS-BODRUM	0	1. Grup	0
ÇORLU	0	1. Grup	0
DİYARBAKIR	0	1. Grup	0
ERZURUM	0	1. Grup	0
KAYSERİ	0	1. Grup	0
FERİTMELEN	0	1. Grup	0
SABİHA GÖKÇEN	0	1. Grup	0
DALAMAN	5000	2. Grup	1-50000
TRABZON	5000	2. Grup	1-50000
GAZİANTEP	5000	2. Grup	1-50000
KARS	5000	2. Grup	1-50000
MALATYA	5000	2. Grup	1-50000
ELAZIĞ	76207	3. Grup	50001-100000

### 4.3. Birim Taşıma Maliyetlerinin Belirlenmesi

Birim maliyet 1 birimlik ürünü üretmek için sarf edilen maliyet olup çalışmada birim taşıma maliyetleri uçuş başına toplam işletme giderinin arzedilen ton-mile bölünmesiyle hesaplanmıştır. Birim taşıma maliyeti; havayolu şirketine, kullanılan uçak tipine ve güzergâhlara göre farklılık gösterir. Çalışmada birim taşıma maliyetleri, A300-B4 ve F27-500 tipi kargo uçakları için her güzergâha göre ayrı ayrı belirlenmiştir. Birim taşıma maliyetleri MNG Hava Kargo İşletmesinin istatistiksel verileri referans alınarak hesaplanmıştır.

Birim taşıma maliyetinin hesaplanmasında kullanılan toplam işletme gideri, doğrudan ve dolaylı işletme giderlerinin toplamından oluşmaktadır. Doğrudan işletme giderleri (DİG); uçağın doğrudan kendisine veya performansına bağlı giderlerdir. Dolayısıyla uçağın performans karakteristikleri ile ilişkilidir. Dolaylı işletme giderleri (DOİG) ise uçakla taşıma hizmeti yapılmasından dolayı havayolu işletmesinin yapmış olduğu giderlerdir [83].

DİG; uçuş giderleri, bakım giderleri, sigorta ve amortisman giderlerinin toplamından oluşur. Uçuş giderleri teknik uçucu personel ve yakıt giderlerini kapsamaktadır. Teknik uçucu personel; kaptan pilot, yardımcı pilot, uçuş teknisyeni gibi kokpitte görev yapan ekiptir. Bakım giderleri; doğrudan uçağın kendisine ait bakım giderleri ile uçağa bağlı olmayan bakım giderlerinin toplamından oluşur. Uçağa bağlı olmayan bakım giderleri bakımı yapan işletmeye aittir. Eğer havayolu işletmesi bakımı kendisi yapıyorsa bu giderler dolaylı işletme giderleri içerisinde yer alır [83].

Aşağıdaki denklemde doğrudan işletme giderlerinin hesaplanmasında kullanılan gider başlıkları ayrı ayrı gösterilmiştir.

$$\sum DIG = DIG_{TUP} + DIG_Y + DIG_B + DIG_S + DIG_A \quad (4.8)$$

Dolaylı işletme giderleri; bilet satış ve reklâm, meydan işletme, yolcu servis ve idari giderlerin toplamından oluşur.

$$\sum DOIG = DOIG_{B-R} + DOIG_M + DOIG_S + DOIG_I \quad (4.9)$$

Doğrudan işletme giderleri (DİG) uçuş yapıldıktan sonra hesaplanabilir. Ancak önemli olan uçuş yapılmadan tahmin edilebilmesidir. Bunun herhangi bir

uçak için hesaplanması, işletmenin masraflarını ortaya koyacaktır. Uçakların seçilme kriterlerinden biri DİG'nin düşük olmasıdır. Uçağın satılabilirliğı açısından da yatırımcı firmanın muhtemel hatlar için doğrudan işletme giderini tahmin edebilmesi gerekir [83].

MNG Hava Kargo İşletmesi, yukarıda anlatılan maliyet başlıklarını ACMI (Aircraft, Crew, Maintenance, Insurance), yakıt ve diğer giderler olmak üzere 3 ayrı başlık altında ele almaktadır. ACMI giderleri uçuş başına; uçak, mürettebat, bakım ve sigorta giderlerinden oluşmaktadır. Yakıt gideri o uçuşta sarf edilen yakıt gideridir. Yakıt sarfiyatı, uçağın her uçuş fazındaki konfigürasyonuna, hızına, ağırlığına, gaz kolunun konumuna, irtifaya, meteorolojik koşullara ve uçuş süresi gibi çok sayıda parametreye bağlıdır. Havayolu şirketlerinin uçuş planlarını hazırlamak için kullandığı Graflight programı uçağın ağırlığı, başlangıç-varış noktaları ve meteorolojik koşullar ile ilgili veriler girildiğinde seçilen uçak tipine göre en ekonomik yakıt sarfiyatını belirleyebilmektedir. Çalışmada yakıt sarfiyatı hesaplanırken bu programdan elde edilen sonuçlar ile havayolu şirketinin istatistiksel yakıt sarfiyatı verilerinden yararlanılmıştır. Uçak maksimum kalkış ağırlığında kabul edilmiştir. Diğer giderlerin içinde o uçuşa ait Eurocontrol'e ödenen yol ücreti ve diğer sabit giderler yer almaktadır.

Birim taşıma maliyetleri; hesaplanan giderlerin mesafelere ve ilgili uçağın maksimum faydalı yük ağırlığına bölünerek hesaplanmıştır. A300-B4 uçağının maksimum faydalı yük ağırlığı 44 ton, F27-500 uçağının ise 6 tondur. Birim taşıma maliyetleri Ek 4'de sunulmuştur. Çalışmada birim taşıma maliyetinin birimi \$/arzedilen ton-deniz milidir.

#### **4.4. Mesafelerin Belirlenmesi**

Mesafe verilerini belirlemede, yukarıda da bahsi geçen "Graflight" programından yararlanılmıştır. Bu programa; uçak tipi, başlangıç-varış meydanları, alternatif meydan ile hava durumu gibi veriler girilmektedir. Program; girilen bilgi ve verileri değerlendirerek uçuşla ilgili uçuş mesafesi, uçuş süresi, yüklenmesi gereken yakıt miktarı gibi pek çok bilgiyi sonuç olarak vermektedir. Bu programla çalışmada kullanılmak üzere düğümler arasındaki mesafeler ve uçuş süreleri gerçeğine yakın olarak belirlenmiştir.

#### 4.5. Modellerin Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler

Modelin parametrelerinde veya yapısında meydana gelebilecek farklılaşmalar halinde eniyi çözümün nasıl etkileneceğinin incelenmesine “duyarlılık analizi” denir. Duyarlılık analizi doğrusal karar modellerinde uygulanabilir. Çalışmada kullanılan ADÜ yerleşim problemi modelleri karma tamsayılı doğrusal ve doğrusal olmayan karar modeli yapısında olduğundan duyarlılık analizi yöntemleri uygulanamaz. Bu nedenle çalışmanın bu aşamasında ADÜ yerleşim problemlerinde parametrelerin ve modellerin yapısının değişmesi ile birlikte sonuçların nasıl değiştiğini gözlemlemek amacıyla parametrelerin farklı değerleri ile yeni geliştirilen kısıtlar modellere uygulanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. ADÜ’ler arası maliyet azalma katsayısı  $\alpha=0,9$ ; düğüm-ADÜ, ADÜ-düğüm maliyet azaltma katsayıları  $\chi=1$  ve  $\delta=1$  olarak alınmıştır. Modeller GAMS yazılımı kullanılarak programlanmış ADÜ yerleşim problemleri CPLEX ve p-ADÜ medyan ve güzergâhlara göre kullanılacak uçak tipi seçimi modeli ise DICOPT çözücü ile çözülmüştür. Çok atamalı p-ADÜ medyan problemi GAMS kodu Ek 5’de verilmiştir.

##### 4.5.1. Çok atamalı p-ADÜ medyan problemi analiz sonuçları ve değerlendirmeler

Çok atamalı p-ADÜ medyan problemi hakkında yukarıda bilgi verilmiştir. Bu bölümde modelde yer alan parametrelerin ve yeni geliştirilen kısıtların ADÜ yer seçimi ve ataması üzerine etkileri ayrı ayrı analiz edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

ADÜ sayısı, yıllık akış trafiği, düğümler arası mesafeler, maliyet azaltma katsayıları, birim taşıma maliyetleri, havaalanı alt yapı maliyetleri modelin parametreleridir. Menzil ve kargo trafiği süreklilik kısıtları modele eklenen yeni kısıtlardır. Aşağıda yıllık akış trafiği, alt yapı maliyetlerinin, birim taşıma maliyetlerinin ve ADÜ sayısının etkileri incelenmiştir. Ardından menzil ve kargo trafiği süreklilik kısıtlarının etkileri ele alınmıştır. Son analizlerde tüm parametre ve kısıtlar birlikte kullanılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 4.16, 4.17 ve 4.18’de sunulmuştur.



#### 4.5.1.1. Akış trafiğinin etkisi

Tüm başlangıç-varış noktaları arasındaki akış trafiği değerleri sabitken ( $W_{ij}=sbt$  ve  $W_{ii}=0$ );  $p=2$  için Dalaman ve Malatya;  $p=3$  için Dalaman, Esenboğa, Elazığ;  $p=4$  için Dalaman, Erzurum, Malatya ve Sabiha Gökçen havaalanlarının ADÜ olarak belirlenmesi; (Çizelge 4.16, 4.17 ve 4.18'de sırasıyla 1, 13 ve 25. analizler) akış trafiğinin göz ardı edildiği durumlarda, ADÜ'lerin mesafelere göre belirlendiğini göstermektedir. Özellikle taşımacılık sektöründe bir güzergâhın açılmasının o iki şehir arasındaki talebe bağlı olduğu düşünüldüğünde, bu tür problemlerde akış trafiğinin göz ardı edilmesinin doğru bir yaklaşım olmayacağı açıkça ortadadır.

Gerçek akış verilerinin parametre olarak girildiği Çizelge 4.16, 4.17 ve 4.18'de sırasıyla 2, 14 ve 26. analizler incelendiğinde ADÜ yerlerinin değiştiği görülmektedir.  $p=2$  için Esenboğa ve Atatürk;  $p=3$  için Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk;  $p=4$  için Adana, Adnan Menderes, Esenboğa ve Atatürk havaalanlarının ADÜ olarak belirlenmesi; ADÜ'lerin yerlerinin belirlenmesinde, kargo akış trafiğinin ve düğümler arasındaki mesafelerin temel belirleyiciler olduğunu göstermektedir.

#### 4.5.1.2. Alt yapı maliyetlerinin etkisi

Alt yapı maliyetlerinin çözüm sonuçlarına etkisini gözlemlemek amacıyla modelin amaç fonksiyonunda değişiklik yapılarak, bir havaalanının ADÜ olması durumunda ortaya çıkabilecek alt yapı maliyetlerinin ( $R(k)$ ) hesaba katılmıştır (3, 4, 15, 16, 27 ve 28. analizler). Havaalanı alt yapı maliyetleri A300-B4 ve F27-500 uçakları için ayrı ayrı belirlenmiş ve modele bu şekilde dahil edilmiştir. ADÜ sayısının 2, 3 ve 4 değerleri için yapılan analiz sonuçlarına göre her iki uçak tipi için de aynı havaalanları ADÜ olarak belirlenmiştir. Bahsi geçen havaalanlarının ADÜ olarak belirlenmesinde ortak yan, belirlenen havaalanlarının ya alt yapı maliyeti gerektirmemesi ya da çok az alt yapı maliyeti gerektirmesidir.  $p=4$  olması durumunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde A300-B4 uçağı kullanıldığında daha yüksek maliyetin ortaya çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni ADÜ olarak belirlenen havaalanlarından Adana Havaalanının alt yapı maliyetinin olmasıdır.

Dolayısıyla alt yapı maliyetinin toplam maliyeti etkilediği açıkça görülmektedir. Bu da ADÜ problemlerinde alt yapı maliyetlerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

#### **4.5.1.3. Birim taşıma maliyetlerinin etkisi**

5. ve 6., 17. ve 18., 29. ve 30. analizlerde sırasıyla  $p=2$ ,  $p=3$  ve  $p=4$  olması durumlarında; amaç fonksiyonunda A300-B4 ve F27-500 uçaklarının birim taşıma maliyetleri kullanılmıştır. Bu analizlere göre ADÜ'lerin yerlerinin değişmediği ancak maliyetin çok farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Örneğin A300-B4 uçağının birim taşıma maliyetlerinin kullanıldığı 5. analizde toplam maliyet 7.080.939 olarak elde edilirken, F27-500 uçağının birim taşıma maliyetlerinin kullanıldığı 6. analizde toplam maliyet 28.194.300 olarak elde edilmiştir. Her iki maliyet arasında yaklaşık 4 kat fark vardır. Dolayısıyla maliyet yönünden karşılaştırma yapıldığında, F27-500 tipi uçağı uygun görünmemektedir. Analiz sonuçları özellikle maliyet açısından değerlendirmelerde birim taşıma maliyetlerinin kullanılmasının önemini göstermektedir.

#### **4.5.1.4. Menzil kısıtının etkisi**

F27-500 uçağının maksimum yükü taşıyabileceği en uzak mesafe 700NM'dir. Çalışmada menzil kısıtında S değeri 700NM olarak kullanılmıştır.

$p=2$  olması durumunda menzil kısıtının kullanılmadığı 6. analizde Esenboğa ve Atatürk havaalanları ADÜ olarak belirlenirken, menzil kısıtının kullanıldığı 8. analizde Adana ve Esenboğa havaalanları ADÜ olarak belirlenmiştir. Toplam maliyetler de oldukça farklılık göstermiştir. Bu durum ADÜ yer seçimi yapacak bir havayolu şirketinin envanterindeki uçak tipine göre menzil karakteristiğini de değerlendirmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. ADÜ sayısının 3 ve 4 olması durumuna göre 20 ve 32 analiz sonuçları elde edilmiştir. Benzer durumlar bu analizler için de gözlenmiştir.

#### 4.5.1.5. Kargo trafiği süreklilik kısıtının etkisi

Çalışmada aylık kargo trafiği sınırı 2 ton olarak belirlenmiştir. AD sayısının 2, 3 ve 4 değeri için analizler yapılmış, 9, 10, 21, 22, 32 ve 33 numaralı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre aylık kargo trafiği kısıtının kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda aynı havaalanlarının AD olarak belirlendiği grlmştir (9 ile 5, 10 ile 6, 21 ile 17, 22 ile 18, 32 ile 28, 33 ile 29. analizlerde aynı sonuçlar elde edilmiştir). Bunun nedeni AD olarak belirlenen havaalanlarının 12 aylık kargo trafiğinin düzenli ve belirli miktarın üzerinde olmasıdır. Yani mevcut yıllık ve aylık kargo trafiği akış verileri bu kısıta uygunluk göstermektedir. Farklı verilerle farklı sonuçlar elde edilecektir.

Sonuncu analizde tüm kısıtlar, parametreler ve yeni amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Buna göre  $p=2$  için 11 ve 12,  $p=3$  için 23 ve 24,  $p=4$  için 35 ve 36. analiz sonuçları elde edilmiştir.

Çizelge 4. 16. UMAPHMP analiz sonuçları 1

ADÜ S.	Özellikler	Uçak tipi	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	
p=2	$W_{ij}=sbt$ $d_{ij}$ $R(k)=0$	-	1450434	Dalaman, Malatya <sup>1</sup>	Model ADÜ yer seçimi ve atamalarını coğrafik konumlara göre yapmaktadır.
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)=0$	-	9430877	Esenboğa, Atatürk <sup>2</sup>	Akış verilerinin girilmesiyle ADÜ yer seçimi ve atamaları değişmiştir.
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$	A300-B4	9430877	Esenboğa, Atatürk <sup>3</sup>	ADÜ olarak belirlenen havaalanlarının alt yapı maliyetleri R(k) 0 (sıfır)'dır.
		F27-500	9430877	Esenboğa, Atatürk <sup>4</sup>	
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$ $C_{ij}$	A300-B4	7080939	Esenboğa, Atatürk <sup>5</sup>	A300-B4 uçağının birim taşıma maliyetleri, F27-500 uçağının birim taşıma maliyetlerine göre daha düşük olduğundan aynı ADÜ'ler belirlenmesine rağmen toplam maliyetler farklı çıkmıştır.
		F27-500	28194300	Esenboğa, Atatürk <sup>6</sup>	
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$ $C_{ij}$ $S$	A300-B4	7080939	Esenboğa, Atatürk <sup>7</sup>	A300-B4 uçağının menzili F27-500 uçağına göre daha yüksek olduğundan önceki analiz sonucuna göre ADÜ yer seçiminde değişiklik olmamıştır. Ancak F27-500 uçağının menzili düşük olduğundan ADÜ'ler değişmiş, maliyet artmıştır.
		F27-500	44975940	Adana, Esenboğa <sup>8</sup>	
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$ $C_{ij}$ $Wa(ay,i)(2)$	A300-B4	7080939	Esenboğa, Atatürk <sup>9</sup>	Modelin ADÜ olarak belirlediği havaalanlarının kargo trafiği süreklilik göstermektedir.
		F27-500	28194300	Esenboğa, Atatürk <sup>10</sup>	
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$ $C_{ij}$ $S$ $Wa(ay,i)(2)$	A300-B4	7080939	Esenboğa, Atatürk <sup>11</sup>	Bu analizde tüm parametre ve kısıtlar kullanılmıştır. Uçak tipine göre farklı havaalanlarının ADÜ olarak belirlendiği ve farklı maliyetlerin elde edildiği görülmektedir.
		F27-500	44975940	Adana, Esenboğa <sup>12</sup>	

**Çizelge 4. 17. UMAPHMP analiz sonuçları 2**

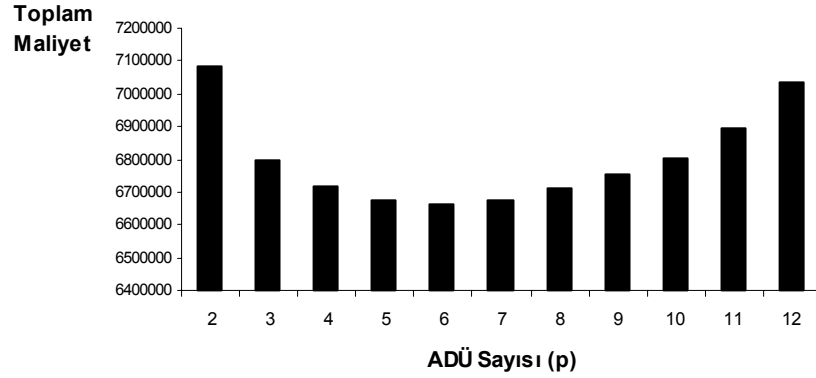
ADÜ S.	Özellikler	Uçak tipi	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	Açıklama
p=3	$W_{ij}=sbt$ $d_{ij}$ $R(k)=0$	-	1318046	Dalaman, Esenboğa, Elazığ <sup>13</sup>	Model ADÜ yer seçimi ve atamalarını coğrafik konumlara göre yapmaktadır.
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)=0$	-	9162437	Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>14</sup>	Akış verilerinin girilmesiyle ADÜ yer seçimi ve atamaları değişmiştir.
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$	A300-B4	9162437	Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>15</sup>	ADÜ olarak belirlenen havaalanlarının alt yapı maliyetleri R(k) 0 (sıfır)'dır.
		F27-500	9162437	Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>16</sup>	
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$ $C_{ij}$	A300-B4	6797079	Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>17</sup>	A300-B4 uçağının birim taşıma maliyetleri, F27-500 uçağının birim taşıma maliyetlerine göre daha düşük olduğundan aynı ADÜ'ler belirlenmesine rağmen toplam maliyetler farklı çıkmıştır.
		F27-500	27295170	Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>18</sup>	
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$ $C_{ij}$ $S$	A300-B4	6797079	Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>19</sup>	A300-B4 uçağının menzili F27-500 uçağına göre daha yüksek olduğundan önceki analiz sonucuna göre ADÜ yer seçiminde değişiklik olmamıştır. Ancak F27-500 uçağının menzili düşük olduğundan ADÜ'ler değişmiş, maliyet artmıştır.
		F27-500	44354090	Adana, Esenboğa, Trabzon <sup>20</sup>	
$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$ $C_{ij}$ $W_a(ay,i)(2)$	A300-B4	6796079	Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>21</sup>	Modelin ADÜ olarak belirlediği havaalanlarının kargo trafiği süreklilik göstermektedir.	
	F27-500	27295170	Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>22</sup>		
$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$ $C_{ij}$ $S$ $W_a(ay,i)(2)$	A300-B4	6797079	Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>23</sup>	Bu analizde tüm parametre ve kısıtlar kullanılmıştır. Uçak tipine göre farklı havaalanlarının ADÜ olarak belirlendiği ve farklı maliyetlerin elde edildiği görülmektedir.	
	F27-500	44354090	Adana, Esenboğa, Trabzon <sup>24</sup>		

**Çizelge 4. 18.** UMAPHMP analiz sonuçları 3

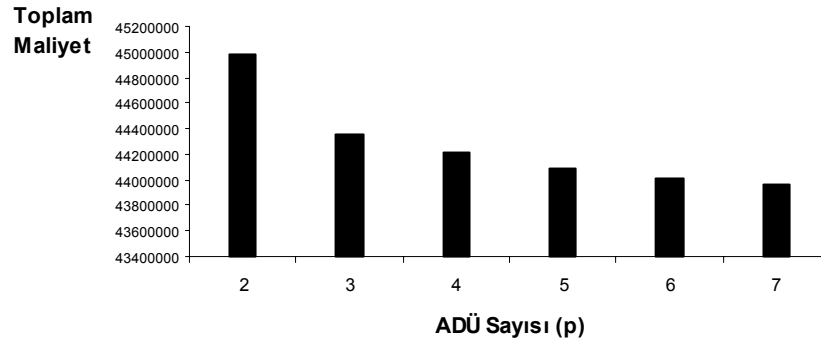
ADÜ S.	Özellikler	Uçak tipi	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	Açıklama
p=4	$W_{ij}$ =sbt $d_{ij}$ $R(k)=0$	-	1257791	Dalaman, Erzurum, Malatya, Sabiha Gökçen <sup>25</sup>	Model ADÜ yer seçimi ve atamalarını coğrafik konumlara göre yapmaktadır.
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)=0$	-	8940920	Adana, Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>26</sup>	Akış verilerinin girilmesiyle ADÜ yer seçimi ve atamaları değişmiştir.
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$	A300-B4	9040920	Adana, Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>27</sup>	A300-B4 uçağının Adana havaalanını kullanabilmesi için alt yapı maliyeti gerekmektedir. Bu yüzden maliyet önceki analize göre yüksek çıkmıştır. ADÜ olarak belirlenen diğer havaalanlarının $R(k)=0$ 'dır.
		F27-500	8940920	Adana, Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>28</sup>	
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$ $C_{ij}$	A300-B4	6716333	Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk <sup>29</sup>	A300-B4 uçağının birim taşıma maliyetleri, F27-500 uçağının birim taşıma maliyetlerine göre daha düşük olduğundan aynı ADÜ'ler belirlenmesine rağmen toplam maliyetler farklı çıkmıştır.
		F27-500	26672690	Adana, Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>30</sup>	
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$ $C_{ij}$ $S$	A300-B4	6716333	Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk <sup>31</sup>	Menzil kısıtı ADÜ yerlerinin seçimini ve maliyetleri değiştirmiştir.
		F27-500	44220110	Adana, Diyarbakır, Esenboğa, Trabzon <sup>32</sup>	
	$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$ $C_{ij}$ $Wa(ay,i)(2)$	A300-B4	6716333	Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk <sup>33</sup>	Modelin ADÜ olarak belirlediği havaalanlarının kargo trafiği süreklilik göstermektedir.
		F27-500	26672690	Adana, Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>34</sup>	
$W_{ij}$ $d_{ij}$ $R(k)$ $C_{ij}$ $S$ $Wa(ay,i)(2)$	A300-B4	6716333	Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk <sup>35</sup>	Bu analizde tüm parametre ve kısıtlar kullanılmıştır. Uçak tipine göre farklı havaalanlarının ADÜ olarak belirlendiği ve farklı maliyetlerin elde edildiği görülmektedir.	
	F27-500	26672690	Adana, Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>36</sup>		

#### 4.5.1.6. ADÜ sayısının etkisi

ADÜ sayısının (p) etkisini gözlemleyebilmek amacıyla model, farklı p değerleri için programlanmış ve çalıştırılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 4.19’da verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; A300-B4 uçağı için ADÜ sayısının 2’den 6’ya kadar olan değerlerinde maliyetler giderek azalmakta, 6 ADÜ olması durumunda en düşük değerine ulaşmaktadır. 6’dan daha fazla ADÜ olması durumunda maliyetler tekrar artış göstermektedir. Bu durumda A300-B4 uçağı için ideal ADÜ sayısının 6 olacağı açıktır. Benzer şekilde F27-500 uçağı için p’ye 2’den 7’ye kadar değerler verilmiş ve p=7 değeri için toplam maliyetin minimum değerine ulaştığı görülmüştür. p’ye 7’den yüksek değerler verilmesi durumunda en iyi çözümlere ulaşılamamıştır. Buna göre F27-500 uçağı için ideal ADÜ sayısı 7 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 3. A300-B4 uçağı verilerine göre ADÜ sayısı ve maliyet arasındaki ilişki



Şekil 4. 4. F27-500 uçağı verilerine göre ADÜ sayısı ve maliyet arasındaki ilişki

Analiz sonuçlarına göre ideal ADÜ sayısı uçak tipine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu farklılığın menzil kısıtından ve uçakların faydalı yük kapasitelerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bundan başka, akış trafiğinin sabit olarak kabul edildiği analizler dışındaki tüm sonuçlarda Esenboğa Havaalanının ortak ADÜ olarak yer aldığı görülmektedir.



Çizelge 4. 19. UMAPHMP analiz sonuçları 4

ADÜ S.	Özellikler	Uçak tipi	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	Açıklama
p=2	W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) (2)	A300-B4	7080939	Esenboğa, Atatürk <sup>37</sup>	- Birim taşıma maliyetlerinin farklı olması ve menzil kısıtı nedeniyle farklı havaalanları ADÜ olarak belirlenmektedir.
		F27-500	44975940	Adana, Esenboğa <sup>38</sup>	
p=3	W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) (2)	A300-B4	6797079	Adnan Menderes, Esenboğa, Atatürk <sup>39</sup>	- F27-500 uçağının birim taşıma maliyetinin yüksek olması sebebiyle toplam maliyet daha yüksek çıkmaktadır.  - Tüm analizlerde Esenboğa havaalanı ADÜ olarak yer almaktadır.
		F27-500	44354090	Adana, Esenboğa, Trabzon <sup>40</sup>	
p=4	W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) (2)	A300-B4	6716333	Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk <sup>41</sup>	- ADÜ sayısı arttıkça toplam maliyet azalmaktadır.
		F27-500	44220110	Adana, Diyarbakır, Esenboğa, Trabzon <sup>42</sup>	
p=5	W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) (2)	A300-B4	6677273	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk <sup>43</sup>	
		F27-500	44089291	Adana, Diyarbakır, Esenboğa, Gaziantep, Trabzon <sup>44</sup>	

Çizelge 4.19. UMAPHMP analiz sonuçları 4 (devam)

ADÜ Sayısı	Özellikler	Uçak tipi	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	Açıklama
p=6	W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) (2)	A300-B4	6661330	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>45</sup>	- A300-B4 uçağının verilerine göre p=6 için en düşük toplam maliyet değeri elde edilmiştir.
		F27-500	44010081	Adana, Kayseri, Diyarbakır, Esenboğa, Gaziantep, Trabzon <sup>46</sup>	
p=7	W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) (2)	A300-B4	6675304	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Trabzon <sup>47</sup>	-F27-500 uçağının verilerine göre ise en düşük toplam maliyet p=7iken elde edilmiştir.
		F27-500	43961794	Adana, Kayseri, Diyarbakır, Esenboğa, Gaziantep, Malatya, Trabzon <sup>48</sup>	
p=8	W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) (2)	A300-B4	6714424	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Diyarbakır, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Trabzon <sup>49</sup>	- A300-B4 uçağının verilerine göre p=6 değerinden daha büyük değerler toplam maliyet değeri giderek artış göstermektedir.  - F27-500 uçağının verilerine göre p=7 den sonraki değerler için model uygun çözüm bulamamaktadır.
		F27-500	Çözüm bulunamadı.	Çözüm bulunamadı. <sup>50</sup>	
p=9	W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) (2)	A300-B4	6756684	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Diyarbakır, Dalaman, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Trabzon <sup>51</sup>	
		F27-500	Çözüm bulunamadı.	Çözüm bulunamadı. <sup>52</sup>	

**Çizelge 4. 19.** UMAPHMP analiz sonuçları 4 (devam)

ADÜ Sayısı	Özellikler	Uçak tipi	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	
p=10	W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) (2)	A300-B4	6802289	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Bodrum-Milas, Diyarbakır, Dalaman, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Trabzon <sup>53</sup>	-Maliyet değeri artış göstermektedir.
		F27-500	Çözüm bulunamadı.	Çözüm bulunamadı. <sup>54</sup>	- F27-500 uçağının verilerine göre p=7 den sonraki değerler için model uygun çözüm bulamamaktadır
p=11	W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) (2)	A300-B4	6892449	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Bodrum Milas, Diyarbakır, Dalaman, Esenboğa, Gaziantep, Atatürk, Sabiha Gökçen, Trabzon <sup>55</sup>	Maliyet değeri artış göstermektedir.
		F27-500	Çözüm bulunamadı.	Çözüm bulunamadı. <sup>56</sup>	- F27-500 uçağının verilerine göre p=7 den sonraki değerler için model uygun çözüm bulamamaktadır
p=12	W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) (2)	A300-B4	7037580	Adana, Adnan Menderes, Kayseri, Antalya, Bodrum Milas, Diyarbakır, Dalaman, Esenboğa, Gaziantep, Atatürk, Sabiha Gökçen, Trabzon <sup>57</sup>	Maliyet değeri artış göstermektedir.
		F27-500	Çözüm bulunamadı.	Çözüm bulunamadı. <sup>58</sup>	F27-500 uçağının verilerine göre uygun çözüm bulamamaktadır

#### **4.5.2. Kapasite sınırı olmayan çok atamalı ADÜ yerleşim problemi analiz sonuçları ve değerlendirmeler**

Kapasite sınırı olmayan çok atamalı ADÜ yerleşim problemlerinde ADÜ sayısı belli değildir ve bununla ilgili bir kısıt yer almamaktadır. Model; amaç fonksiyonu ve kısıtlar altında maliyeti enküçükleyecek şekilde, açılması gereken ADÜ sayısını, ADÜ'lerin yerlerini ve atamalarını belirlemektedir. Model ADÜ'lerin sayısını ve yerini belirlerken sabit maliyeti düşük olan düğüm noktalarını ADÜ olarak atamaktadır. Aşağıda modelde kullanılan parametre ve kısıtların etkisi ayrı ayrı incelenmiş ve yorumlanmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 4.20 ve 4.21'de yer almaktadır.

##### **4.5.2.1. Akış trafiğinin etkisi**

UMAHLP problemine yönelik yapılan analizlerde, başlangıç-varış noktaları arasındaki akış trafiği değerleri sabitken ( $W_{ij}=sbt$ ,  $W_{ii}=0$ ) A300-B4 uçağının alt yapı maliyetlerine göre 6, F27-500 uçağının alt yapı maliyetlerine göre 12 havaalanı ADÜ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.20'de 59. ve 60. analizler). Bu analiz sonuçları, akış trafiğinin göz ardı edildiği durumlarda ADÜ'lerin mesafelere ve alt yapı maliyetlerine göre belirlendiğini göstermektedir. Belirlenen ADÜ'lerin alt yapı maliyetleri incelendiğinde tamamının 0 (sıfır) maliyetli olduğu dikkat çekmektedir. Model; alt yapı maliyeti gerektirmeyen havaalanlarını ADÜ olarak belirlemekte ve akışları bir ADÜ üzerinden göndermek yerine en kısa yolu kullanarak doğrudan göndermektedir. Dolayısıyla F27-500 uçağı için belirlenen ADÜ sayısı, A300-B4 uçağı için belirlenen ADÜ sayısından fazla çıkmıştır.

$W_{ij}$ 'nin etkisini belirleyebilmek amacıyla 61 ve 62. analizler yapılmıştır. Buna göre akış verileri girildiğinde ADÜ'lerin sayısının ve yerlerinin değiştiği görülmektedir. Akış trafiği sabit kabul edildiğinde A300-B4 tipi uçak için 6 ADÜ, gerçek akış verileri kullanıldığında ise 7 havaalanı ADÜ olarak belirlenmektedir. Benzer şekilde akış trafiği sabit kabul edildiğinde F27-500 tipi uçak için 12 ADÜ, gerçek akış verileri kullanıldığında ise 13 havaalanı ADÜ olarak belirlenmektedir.

Bu sonuçtan da akış trafiğinin etkisi ortaya çıkmaktadır. p-ADÜ medyan problemlerinde de belirtildiği gibi, özellikle taşımacılık sektöründe bir güzergâhın açılması, iki şehir arasındaki talebe bağlı olduğu düşünüldüğünde, bu tür problemlerde de akış trafiğinin göz ardı edilmesinin doğru bir yaklaşım olmadığı açıkça ortadadır.

#### **4.5.2.2. Birim taşıma maliyetlerinin etkisi**

63 ve 64. analizlerde modelin amaç fonksiyonunda uçakların birim taşıma maliyetleri kullanılmıştır. A300-B4 uçağının alt yapı ve birim taşıma maliyetlerine göre 6 ADÜ, F27-500 uçağının alt yapı ve birim taşıma maliyetlerine göre ise 14 ADÜ belirlenmiştir. Önceki analizlerle karşılaştırıldığında ADÜ sayısının, yerlerinin ve toplam maliyetlerin; birim taşıma maliyetlerinin eklenmesiyle birlikte değiştiği gözlenmektedir. Buradan hareketle; açılacak ADÜ sayısının ve ADÜ'lerin yerlerinin belirlenmesinde, birim taşıma maliyetlerinin önemli rol oynadığı sonucu çıkmaktadır.

#### **4.5.2.3. Menzil kısıtının etkisi**

p-ADÜ medyan konusunda açıklandığı gibi uçağın önemli performans karakteristiklerinden biri de menzildir. UMAHLP probleminde de menzil kısıtı kullanılmıştır. Menzil kısıtının kullanılmadığı 64. analizde 14 havaalanı ADÜ olarak belirlenirken, menzil kısıtının kullanıldığı 66. analizde 7 havaalanı ADÜ olarak belirlenmiştir. ADÜ sayısında yarı yarıya azalma, toplam maliyette ise ciddi bir artış söz konusudur. Bu da ADÜ'lerin belirlenmesinde uçağın performans karakteristiklerinin ve bu karakteristikler arasından menzil kısıtının ADÜ seçimini doğrudan etkileyebilecek önemli bir kısıt olduğunu göstermektedir.

#### **4.5.2.4. Kargo trafiği süreklilik kısıtının etkisi**

Aylık kargo trafiği kısıtının eklenmesi durumunda sonuçların değişimini gözlemlemek amacıyla 67 ve 68. analizler yapılmıştır. A300-B4 uçağının birim taşıma ve alt yapı maliyeti verileriyle aylık kargo trafiği kısıtının kullanıldığı 67.

analizde Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen havaalanları ADÜ olarak belirlenmiştir. Aylık kargo trafiği kısıtının kullanılmadığı 63. analizde de aynı havaalanları ADÜ olarak belirlenmiş ve aynı değerlerde toplam maliyet elde edilmiştir. ADÜ olarak atanan havaalanlarının aylık kargo trafiği incelendiğinde, belirlenen havaalanlarının aylık kargo trafiklerinin 2 tondan daha yüksek olması sebebiyle bu kısıtı daha başlangıçta sağladığı görülmektedir.

F27-500 uçağının alt yapı ve birim taşıma maliyetlerinin kullanıldığı ve aylık kargo trafiği kısıtının kullanılmadığı 64. analizde ise; Adana, Adnan Menderes, Kayseri, Antalya, Bodrum Milas, Diyarbakır, Erzurum, Esenboğa, Gaziantep, Atatürk, Sabiha Gökçen, Tekirdağ, Trabzon, Van olmak üzere 14 havaalanı belirlenmişti. Aylık kargo trafiği kısıtının kullanıldığı 68. analizde ise 64. analizden farklı olarak “Tekirdağ” havaalanı ADÜ olarak atanmamıştır. Çünkü Tekirdağ havaalanının aylık kargo trafiği düşüktür ve dalgalanma göstermektedir. Dolayısıyla model Tekirdağ havaalanını ADÜ olarak belirlememektedir.

69 ve 70. analizlerde modelde tüm kısıtlar kullanılmıştır. 69. analiz sonucunu 67. analiz ile aynı çıkmıştır. 70. analizde ise 66. analizle aynı sonuç elde edilmiştir.

Çizelge 4. 20. UMAHLP analiz sonuçları 1

Özellikler	Uçak tipi	ADÜ sayısı	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	
W <sub>ij</sub> =sbt d <sub>ij</sub> R (k)	A300-B4	6	1325941	Adnan Menderes, Antalya, Diyarbakır, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>59</sup>	Model coğrafik konumlara ve alt yapı maliyetlerine göre ADÜ sayısını belirlemekte, ADÜ yer seçimlerini ve atamalarını yapmaktadır. F27-500 uçağı için gerekli olan alt yapı maliyeti A300-B4 uçağından daha düşük olduğu ve doğrudan gitmek daha düşük maliyetli olduğundan çok sayıda ADÜ belirlemektedir.
	F27-500	12	1131354	Adana, Adnan Menderes, Kars, Antalya, Bodrum Milas, Diyarbakır, Erzurum, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Tekirdağ, Van <sup>60</sup>	
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k)	A300-B4	7	8898028	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Trabzon <sup>61</sup>	Gerçek akış verilerinin girilmesiyle birlikte bazı ADÜ'lerin yerleri değişmiştir.
	F27-500	13	8741853	Adana, Adnan Menderes, Kayseri, Antalya, Bodrum Milas, Diyarbakır, Erzurum, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Tekirdağ, Trabzon, Van <sup>62</sup>	
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub>	A300-B4	6	6661330	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>63</sup>	A300-B4 uçağının birim taşıma maliyetleri daha düşük olduğundan A300-B4 uçağının toplam maliyeti daha düşük çıkmaktadır.
	F27-500	14	25981651	Adana, Adnan Menderes, Kayseri, Antalya, Bodrum Milas, Diyarbakır, Erzurum, Esenboğa, Gaziantep, Atatürk, Sabiha Gökçen, Tekirdağ, Trabzon, Van <sup>64</sup>	
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S	A300-B4	6	6661330	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>63</sup>	Menzil kısıtı ADÜ yerlerinin seçimini ve maliyetleri değiştirmiştir.
	F27-500	7	43961794	Adana, Kayseri, Diyarbakır, Esenboğa, Gaziantep, Malatya, Trabzon <sup>66</sup>	

**Çizelge 4. 21.** UMAHLP analiz sonuçları 2

Özellikler	Uçak tipi	ADÜ Sayısı	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> Wa (ay,i) (2)	A300-B4	6	6661330	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>67</sup>	Modelin ADÜ olarak belirlediği havaalanlarının kargo trafiği süreklilik göstermektedir.
	F27-500	13	25981651	Adana, Adnan Menderes, Kayseri, Antalya, Bodrum Milas, Diyarbakır, Erzurum, Esenboğa, Gaziantep, Atatürk, Sabiha Gökçen, Trabzon, Van <sup>68</sup>	
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) (2)	A300-B4	6	6661330	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>69</sup>	Bu analizde tüm parametre ve kısıtlar kullanılmıştır. Uçak tipine göre farklı havaalanlarının ADÜ olarak belirlendiği ve farklı maliyetlerin elde edildiği görülmektedir.
	F27-500	7	43961794	Adana, Kayseri, Diyarbakır, Esenboğa, Gaziantep, Malatya, Trabzon <sup>70</sup>	



### **4.5.3. Kapasite sınırı olan çok atamalı ADÜ yerleşim problemi analiz sonuçları ve değerlendirmeler**

Kapasite sınırı olan çok atamalı ADÜ yerleşim probleminde ADÜ sayısı belli değildir ve kapasite ile p sayısını belirleyen kısıtlar dışında UMapHMP ve UMAHLP probleminin kısıtları ile aynı kısıtlar söz konusudur. Bu problemlerin amaç fonksiyonunda; UMapHMP modelindeki amaç fonksiyonundan farklı olarak, havaalanlarının sabit maliyeti yer almaktadır. ADÜ'lerin veya bağlantı hatlarının kapasitesi bir kısıtla sınırlandırılır. Bu amaç fonksiyonu ve kısıtlar altında model; ADÜ sayısını, ADÜ'lerin yerlerini belirlemekte ve düğümlerin ADÜ'lere atamalarını yapmaktadır. Bu bölümde modelde kullanılan parametre ve kısıtların çözüm sonuçlarına etkisini incelemek amacıyla modeller farklı kapasite değerleri için programlanmış ve çalıştırılmıştır. Kapasite değerleri keyfi olarak belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.22, 4.23, 4.24 ve 4.25'de sunulmuştur.

#### **4.5.3.1. Kapasite kısıtının etkisi**

Çalışmada ilk analizlerde havaalanları yüksek kapasiteli olarak kabul edilmiştir. Sonraki analizlerde Atatürk havaalanının kapasitesi 10.000 tonla, sonuncu analizlerde ise Atatürk havaalanının kapasitesi 10.000 ton, Esenboğa havaalanının kapasitesi ise 5.000 tonla sınırlı tutulmuştur. Bu analizler incelendiğinde, farklı kapasite değerlerine rağmen modelin, aynı havaalanlarını ADÜ olarak belirlediği, ancak düğüm-ADÜ, ADÜ-ADÜ ve ADÜ-düğüm noktaları arasındaki akış miktarlarında ve toplam maliyet de değişiklik olduğu gözlenmektedir. Bunun dışında havaalanlarının düşük kapasiteli olması durumunda ADÜ yer seçimi ve atamalarında oluşabilecek değişiklikleri gözlemek amacıyla, değerlendirmelerde ADÜ olarak belirlenen havaalanlarının kapasite sınırı düşük miktarda tutulmuş ve sonuçlar Çizelge 4.25'de 93, 94 ve 95. analizler olarak sunulmuştur. A300-B4 uçağının verilerine göre yapılan analiz sonucuna göre aynı havaalanları ADÜ olarak belirlenmiştir ancak akış miktarlarında ve toplam maliyette değişiklikler olduğu gözlenmiştir. 94. analizde daha önceki kabullerde ADÜ olarak belirlenen havaalanlarının

toplam kapasiteleri, toplam talebin altında tutulmuş ve çözüm sonunda uygun yerlere yeni ADÜ'ler açıldığı, ancak toplam maliyetin artış gösterdiği belirlenmiştir. F27-500 uçağının verilerine göre yapılan analizde ise uygun çözüm bulunamamıştır.

#### 4.5.3.2. Birim taşıma maliyetlerinin etkisi

Çalışmada birim taşıma maliyetinin bu problem için etkisini belirleyebilmek amacıyla 71, 72, 73, 74, 75 ve 76. analizler yapılmıştır. 71 ve 72. analizlerde ADÜ'lere kapasite sınırı yüksek tutulmuştur. 73 ve 74. analizlerde Atatürk havaalanının kapasitesi 10.000 tonla sınırlandırılmıştır. 75. ve 76. analizlerde ise Atatürk havaalanının kapasitesi 10.000 ton, Esenboğa havaalanının kapasitesi ise 5.000 tonla sınırlı tutulmuştur. Bu analizler incelendiğinde kapasite sınırının farklı değerlerine rağmen model, A300-B4 uçağının alt yapı ve birim taşıma maliyetlerine göre aynı 6 havaalanını ADÜ (Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen havaalanları), F27-500 uçağının alt yapı ve birim taşıma maliyetlerine göre ise aynı 14 havaalanını (Adana, Adnan Menderes, Kayseri, Antalya, Bodrum Milas, Diyarbakır, Erzurum, Esenboğa, Gaziantep, Atatürk, Sabiha Gökçen, Tekirdağ, Trabzon, Van) ADÜ olarak belirlemiştir. Burada kapasite sınırının değişmesiyle düğüm-ADÜ, ADÜ-ADÜ ve ADÜ-düğüm noktaları arasındaki akış miktarlarında ve dolayısıyla toplam maliyet de değişiklik gözlenmektedir. Çizelgelerde  $Z_{ik}$  düğüm-ADÜ,  $Y_{kl}^i$  ADÜ-ADÜ ve  $X_{ij}^i$  ADÜ-düğüm noktası arasındaki akış miktarlarını göstermektedir. Örneğin Atatürk havaalanının diğer havaalanlarına gönderilmek üzere 20.172 tonluk akışı vardır. 71. ve 72. analizler incelendiğinde; Atatürk havaalanının kapasite sınırı yüksek tutulduğunda (analizde 50.000 tonla sınırlandırılmıştır) Atatürk havaalanı ADÜ olarak atanmakta ve akışlar doğrudan gönderilmektedir. Atatürk havaalanının kapasitesi 10.000 tonla sınırlandırıldığında Atatürk havaalanının akışı önce diğer ADÜ'lere, bu ADÜ'ler üzerinden de gerçek varış noktalarına gönderilmektedir (73. ve 74. analizler). Her iki analiz için de aynı havaalanları ADÜ olarak atanmaktadır. Bundan başka havaalanlarının kapasitesi azaldıkça toplam maliyetin arttığı görülmektedir.

#### 4.5.3.3. Menzil kısıtının etkisi

Önceki modellerde olduğu gibi bu aşamada da modele F27-500 uçağı için menzil kısıtı eklenmiş ve sonuçlar sunulmuştur (84, 86, 88. analizler). Sonuçlara göre menzil kısıtı eklenince UMAHLP’de olduğu gibi belirlenen ADÜ sayısının azaldığı ancak toplam maliyetin arttığı gözlenmiştir. Bu arada aynı zamanda kapasite kısıtının kullanılmasıyla da düğümler ve ADÜ’ler arasında akış miktarlarında değişiklikler olmuştur.

#### 4.5.3.4. Kargo trafiğı süreklilik kısıtının etkisi

CMAHLP probleminde UMAHLP problemlerinde de olduğu gibi aylık kargo trafiğinin etkisi özellikle F27-500 uçağının verilerine göre yapılan değerlendirmelerde ortaya çıkmaktadır. Çünkü F27-500 uçağının verilerine göre model fazla sayıda ADÜ belirlemektedir. Aylık kargo trafiğı kısıtının kullanılmadığı durumlarda 14 havaalanı belirlenirken (82. analiz), aylık kargo trafiğı kısıtı kullanıldığında 13 havaalanı ADÜ olarak belirlenmektedir (90. analiz). A300-B4 uçağının verilerine göre analizler incelendiğinde belirlenen havaalanlarının aylık kargo trafiğini desteklediğı bu yüzden bir değişiklik olmadığı görülmektedir.

Tüm kısıt ve parametreler 91. ve 92. analizlerde ele alınmıştır. Yeni kısıt ve parametrelerle birlikte ADÜ yer seçimlerinin ve atamalarının değişiklik gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4. 22. CMAHLP analiz sonuçları 1

Özellikler	Kapasite Sınırı	Uçak tipi	ADÜ Sayısı	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	Akışlar		
						Z <sub>ik</sub>	Y <sub>kl</sub> <sup>i</sup>	X <sub>jl</sub> <sup>i</sup>
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) Ka (k)	Ka(IST)=50000 Ka(k)=20000	A300-B4	7	8898028	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Trabzon <sup>71</sup>	IST-IST 20172	IST IST ADA 3036 IST IST ADB 6012 IST IST AYT 2649 IST IST ESB 6850	
		F27-500	13	8741853	Adana, Adnan Menderes, Kayseri, Antalya, Bodrum Milas, Diyarbakır, Erzurum, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Tekirdağ, Trabzon, Van <sup>72</sup>	IST-ADB Atama yok. IST-ESB Atama yok. IST-IST 20172	IST IST ADB 6430 IST IST ESB 6074	
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) Ka (k)	Ka(IST)=10000 Ka(k)=20000	A300-B4	7	9105901	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Trabzon <sup>73</sup>	IST-ADB 6012 IST-ESB 4180 IST-IST 9978  GZT ADA 0 GZT ESB 114	IST IST ADA 3036 IST IST ADB 0 IST IST AYT 2649 IST IST ESB 2669  IST-SAW-ESB 0 (IST-SAW Atama yok)	
		F27-500	13	8949225	Adana, Adnan Menderes, Kayseri, Antalya, Bodrum Milas, Diyarbakır, Erzurum, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Tekirdağ, Trabzon, Van <sup>74</sup>	IST-ADB 6430 IST-ESB 3763 IST-IST 9978  EZS ESB 1	IST-IST-ADB Atama yok. IST- IST-ESB 2311  EZS-ESB-IST 0,052	

Çizelge 4. 22. CMAHLP analiz sonuçları 1 (devam)

Özellikler	Kapasite Sınırı	Uçak tipi	ADÜ Sayısı	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	Akışlar		
						Z <sub>ik</sub>	Y <sub>kl</sub> <sup>i</sup>	X <sub>ij</sub> <sup>i</sup>
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) Ka (k)	Ka(IST)=10000 Ka(ESB)=5000 Ka(k)=20000	A300-B4	7	9117865	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Trabzon <sup>75</sup>	IST-ADB 6012 IST-ESB 1817 IST-IST 9978 IST-SAW 2363  GZT ADA 110 GZT ESB 4	IST IST ADA 3036 IST IST ADB 0 IST IST AYT 2649 IST IST ESB 2669  IST-SAW-ESB 2363	
		F27-500	13	8957802	Adana, Adnan Menderes, Kayseri, Antalya, Bodrum Milas, Diyarbakır, Erzurum, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Tekirdağ, Trabzon, Van <sup>76</sup>	EZS-ASR 1 EZS-ESB Atama yok.  IST-ADB 6430 IST-ESB 2012 IST-IST 9978 IST-SAW 1750	EZS-ASR-ESB 1 EZS-ASR-IST 0,052  IST-SAW-ESB 1750	

**Not: 1.** Farklı uçak tiplerine göre farklı sayıda ve farklı konumlarda ADÜ'ler belirlenmektedir.

**2.** Kapasite sınırının azalmasıyla birlikte ADÜ olarak belirlenen havaalanları değişmemekte ancak Z<sub>ik</sub>, Y<sub>kl</sub><sup>i</sup> akışlarında ve toplam maliyette değişiklikler gözlenmektedir.

Çizelge 4. 23. CMAHLP analiz sonuçları 2

Özellikler	Kapasite sınırı	Uçak tipi	ADÜ Sayısı	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	Akışlar		
						Z <sub>ik</sub>	Y <sub>kl</sub> <sup>i</sup>	X <sub>ij</sub> <sup>i</sup>
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> Ka (k)	Ka(IST)=50000 Ka(k)=20000	A300-B4	6	6661330	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>77</sup>	IST-IST 20172	IST-IST-ADA 3036 IST-IST-ADB 5766 IST-IST-AYT 2649 IST-IST-ESB 5880	
		F27-500	14	25981651	Adana, Adnan Menderes, Kayseri, Antalya, Bodrum Milas, Diyarbakır, Erzurum, Esenboğa, Gaziantep, Atatürk, Sabiha Gökçen, Tekirdağ, Trabzon, Van <sup>78</sup>	IST-ADB Atama yok. IST-AYT Atama yok. IST-BJV Atama yok.	IST-IST-ADB 5766 IST-IST-ADA 3036 IST-IST-ASR 194 IST-IST-AYT 2649 IST-IST-BJV 246 IST-IST-DIY 280 IST-IST-ESB 5880	
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> Ka (k)	Ka(IST)=10000 Ka(k)=20000	A300-B4	6	6831121	Adana, Adnan Menderes, Antalya Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>79</sup>	IST- ADB 2160 IST- AYT 2649 IST- ESB 5880 IST- IST 9481	IST-IST-ADA 3036 IST-IST-ADB 3606	
		F27-500	14	26701916	Adana, Adnan Menderes, Kayseri, Antalya, B.Milas, Diyarbakır, Erzurum, Esenboğa, Gaziantep, Atatürk, Sabiha Gökçen, Tekirdağ, Trabzon, Van <sup>80</sup>	IST-ADB 5766 IST-AYT Atama yok. IST-BJV Atama yok. IST-ESB 4473	IST-IST-ADB Atama yok. IST-IST-ADA 3036 IST-IST-ASR 194 IST-IST-AYT 2649 IST-IST-BJV 246 IST-IST-DIY 280 IST-IST-ESB 1407	

Çizelge 4.23. CMAHLP Sonuçları 2 (devam)

Özellikler	Kapasite sınırı	Uçak tipi	ADÜ Sayısı	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	Akışlar		
						Z <sub>ik</sub>	Y <sub>kl</sub> <sup>i</sup>	X <sub>ij</sub> <sup>i</sup>
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> Ka (k)	Ka(IST)=10000 Ka(ESB)=5000 Ka(k)=20000	A300-B4	6	6839315	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>81</sup>	IST-ADA 369 IST-ADB 5766 IST-AYT 2649 IST-ESB 1905 IST-IST 9481	IST-IST-ADA 2667 IST-IST-ESB 3975	
		F27-500	14	26731095	Adana, Adnan Menderes, Kayseri, Antalya, B.Milas, Diyarbakır, Erzurum, Esenboğa, Gaziantep, Atatürk, Sabiha Gökçen, Tekirdağ, Trabzon, Van <sup>82</sup>	IST-ADB 5766  IST-AYT 2180 IST-BJV 246 IST-ESB 2046	IST-IST-ADB Atama yok.  IST-IST-ADA 3036 IST-IST-ASR 194 IST-IST-AYT 469 IST-IST-BJV 0 IST-IST-DIY 280 IST-IST-ESB 3834	

**Not: 1.** Birim taşıma maliyetlerinin eklenmesiyle birlikte farklı sayıda ve farklı konumlarda ADÜ'ler belirlenmektedir.

**2.** Kapasite sınırının azalmasıyla birlikte ADÜ olarak belirlenen havaalanları değişmemekte ancak Z<sub>ik</sub>, Y<sub>kl</sub><sup>i</sup> akışlarında ve toplam maliyette değişiklikler gözlenmektedir.

Çizelge 4. 24. CMAHLP analiz sonuçları 3

Özellikler	Kapasite sınırı	Uçak tipi	ADÜ Sayısı	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	Akışlar		
						Z <sub>ik</sub>	Y <sub>kl</sub> <sup>i</sup>	X <sub>li</sub> <sup>i</sup>
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Ka (k)	Ka(IST)=50000 Ka(k)=20000	A300-B4	6	6661330	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>83</sup>	Akış miktarlarında değişiklikler gözlenmiştir. Tüm akışlarda değişim gözleendiğinden bu bölümde belirtilmemiştir.		
		F27-500	7	45829494	Adana, Kayseri, Diyarbakır, Esenboğa, Gaziantep, Malatya, Trabzon <sup>84</sup>			
	Ka(IST)=10000 Ka(k)=20000	A300-B4	6	6661330	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>85</sup>			
		F27-500	7	45829494	Adana, Kayseri, Diyarbakır, Esenboğa, Gaziantep, Malatya, Trabzon <sup>86</sup>			

**Not: 1.** Menzil kısıtının eklenmesiyle birlikte F27-500 uçağı için daha önceki analizlere göre farklı sayıda ve farklı konumlarda ADÜ'ler belirlenmektedir.

**2.** Kapasite sınırının azalmasıyla birlikte ADÜ olarak belirlenen havaalanları değişmemekte ancak Z<sub>ik</sub>, Y<sub>kl</sub><sup>i</sup> akışlarında ve toplam maliyette değişiklikler gözlenmektedir.



**Çizelge 4.24.** CMAHLP analiz sonuçları 3 (devam)

Özellikler	Kapasite sınırı	Uçak tipi	ADÜ Sayısı	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	Akışlar		
						Z <sub>ik</sub>	Y <sub>ki</sub> <sup>i</sup>	X <sub>ij</sub> <sup>i</sup>
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Ka (k)	Ka (IST)=10000 Ka (ESB)=5000 Ka (k)=20000	A300-B4	6	6839315	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>87</sup>	Akış miktarlarında değişiklikler gözlenmiştir. Tüm akışlarda değişim gözleendiğinden bu bölümde belirtilmemiştir.		
		F27-500	7	54275671	Adana, Kayseri, Diyarbakır, Esenboğa, Gaziantep, Malatya, Trabzon <sup>88</sup>			
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> Wa (ay,i) Ka (k)	Ka (IST)=10000 Ka (ESB)=5000 Ka (k)=20000	A300-B4	6	6839315	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>89</sup>	Akış miktarlarında değişiklikler gözlenmiştir. Tüm akışlarda değişim gözleendiğinden bu bölümde belirtilmemiştir.		
		F27-500	13	26731095	Adana, Adnan Menderes, Kayseri, Antalya, B. Milas, Diyarbakır, Erzurum, Esenboğa, Gaziantep, Atatürk, Sabiha Gökçen, Trabzon, Van <sup>90</sup>			
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) Ka (k)	Ka (IST)=10000 Ka (ESB)=5000 Ka (k)=20000	A300-B4	6	6839315	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>91</sup>	88. analizle elde edilen sonuçların aynısı burada da elde edilmiştir.		
		F27-500	7	54275671	Adana, Kayseri, Diyarbakır, Esenboğa, Gaziantep, Malatya, Trabzon <sup>92</sup>			

**Not:** Menzil, kapasite ve kargo trafiği süreklilik kısıtlarının eklenmesiyle birlikte ADÜ yer seçimleri, atamaları ve toplam maliyetlerde değişiklik olmaktadır.

**Çizelge 4. 25.** CMAHLP analiz sonuçları 4

Özellikler	Kapasite sınırı	Uçak tipi	ADÜ Sayısı	Amaç Fonksiyonu	ADÜ Yerleşimleri	Açıklama
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) Ka (k)	Ka(ADA)=4000 Ka(ADB)=1000 Ka(AYT)=3000 Ka (ESB)=9000 Ka (IST)=30000 Ka(SAW)=300 Ka (TZX)=1000 Ka(k)=50000	A300-B4	6	52169460	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen <sup>93</sup>	91. analizde ADÜ olarak belirlenen havaalanlarının kapasite değerleri düşürülmüştür. Buna rağmen model aynı havaalanlarını ADÜ olarak belirlemiştir. Ancak akış miktarlarında değişiklik olmuştur.
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) Ka (k)	Ka(ADA)=3000 Ka(ADB)=3000 Ka(AYT)=3000 Ka (ESB)=3000 Ka (IST)=10000 Ka(SAW)=3000 Ka (TZX)=3000 Ka(k)=50000	A300-B4	9	7908507	Adana, Adnan Menderes, Antalya, Diyarbakır, Dalaman, Esenboğa, Atatürk, Sabiha Gökçen, Trabzon <sup>94</sup>	Daha önceki kabullerde ADÜ olarak atanan havaalanlarının toplam kapasiteleri toplam talebin altında tutulduğunda model uygun yerlere yeni ADÜ'ler atamakta, ancak toplam maliyetler artış göstermektedir.
W <sub>ij</sub> d <sub>ij</sub> R (k) C <sub>ij</sub> S Wa (ay,i) Ka (k)	Ka(ADA)=4000 Ka(ASR)=200 Ka(DIY)=400 Ka (ESB)=9000 Ka(GZT)=400 Ka(MLX)=200 Ka (TZX)=1000 Ka(k)=50000	F27-500			Uygun çözüm bulunamamıştır. <sup>95</sup>	Uygun çözüm bulunamamıştır.

#### 4.5.4. Çok atamalı p-ADÜ medyan ve güzergâhlar arası kullanılacak uçak tipi seçimi problemi analiz sonuçları ve değerlendirmeler

Modelde çalışmada belirlenen 18 düğüm noktası ve 2 uçak tipi için 643160 kısıt, 24643 değişken ve 1346167 0 (sıfır)'dan farklı değişken yer almaktadır. Model ADÜ yer seçimlerini ve atamalarını belirlemekte, bunun yanında güzergâhlara göre kullanılacak uçak tipi seçimini de gerçekleştirmektedir. Model ADÜ sayısının 2 olarak seçilmesi durumunda 18 havaalanı arasından Elazığ ve Sabiha Gökçen havaalanlarını ADÜ olarak belirlemiştir. Çözüm raporu Ek 6'da verilmiştir. ADÜ sayısının 3 olarak seçilmesi durumunda Adana, Adnan Menderes, Diyarbakır havaalanlarını ADÜ olarak belirlenmektedir. Kargo trafiği verilerininin 100 ton olarak sabit alınması ve ADÜ sayısının 2 olarak seçilmesi durumunda model Tekirdağ ve Malatya havaalanlarını ADÜ olarak belirlenmektedir. Çözüm süresi yaklaşık 3 saattir. ADÜ sayısının 4 ve üzeri olması durumunda çözüm bulunamamıştır. Bunun problemin boyutunun büyüklüğünden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ek 6'daki çözüm raporunda örneğin EZS-EZS ifadesi yer almaktadır. Bu ifade havaalanının kendi iç talebini göstermektedir. Benzer şekilde çözüm raporunda uçak atamaları bölümünde örneğin A300.EZS.EZS=1 ifadesi yer almakta ancak gerçekte bu tür bir uçak ataması olmamakla birlikte  $C_{ii}^u = 0$  olması nedeniyle toplam maliyete yansımamaktadır.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yeni havaalanı yapımı veya alt yapı iyileştirme çalışmaları yanında havayolu işletmeleri için uçak seçimi ve filo planlaması pahalı yatırımlar olup, bu konularda verilecek kararların bilimsel gerekçelere dayandırılması son derece önemlidir. Zira alınan kararlar doğrultusunda yapılacak yatırımların geri dönüşünün kısa sürede olması ve işletmenin başarısı bu kararların ne derece doğru olduğuna bağlıdır. Havayolu işletmesinin kaynaklarını iyi planlaması, geleceğe dönük yatırımlarını da bu doğrultuda şekillendirmesi gereklidir. Uçuş ağının oluşturulması ve filo planlaması, birlikte ele alınması gereken süreçlerdir. Bu süreçlerin değişen koşullarla birlikte güncellenmesi gerekir.

Çalışmanın, öncelikle ADÜ yerleşim problemlerine hava taşımacılığı yönünden yeni boyutlar katması ve özellikle havayolu ile kargo taşımacılığı için mevcut kaynakların optimum kullanılmasında yol gösterici olması hedeflenmiştir.

ADÜ yerleşim problemleri incelendiğinde temel olarak düğümler arası mesafelerin, akış miktarlarının ve birim taşıma maliyetlerinin dikkate alındığı görülmektedir. Ancak özellikle havacılık alanına yapılan uygulamalarda veri yetersizliği nedeniyle birim taşıma maliyetlerinin kullanılmadığı belirlenmiştir. Çalışmada özellikle havacılık sektörü için ADÜ yerleşiminde birim taşıma maliyetlerinin belirleyici temel faktörlerden biri olduğu ve mutlaka kullanılması gerektiği analizlerle ortaya konmuştur.

ADÜ yerleşim problem tipleri incelendiğinde; bu problem tiplerinden sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemlerinde; ADÜ sayısının ve ADÜ'lerin yerlerinin ve atamalarının belirlenmesinde alt yapı maliyetlerinin (sabit maliyetler olarak) dikkate alındığı, ancak p-ADÜ medyan problemlerinde dikkate alınmadığı görülmektedir. Oysa herhangi bir uçağın bir pistten kalkış-iniş yapabilmesi, pistin uygunluğuna ve yeterliğine bağlıdır. Modelin bir uçağın kalkış-iniş yapamayacağı bir havaalanını ADÜ olarak belirlemesi anlamsız olacaktır. Dolayısıyla alt yapının iyileştirilmesi gerekir ve bu da ek maliyet getirecektir. Çalışmada UMApHMP tipi problemler için amaç fonksiyonu, pistlerin alt yapı maliyetleri de dikkate alacak şekilde düzenlenmiştir. 4. Bölüm'de yapılan analizlerle alt yapı maliyetinin özellikle toplam maliyeti etkilediği görülmektedir.

Yukarıda belirtildiği gibi ADÜ yerleşim problemlerinde dikkate alınan temel parametrelerden biri de mesafedir. Model başlangıç-varış noktaları arasındaki mesafeye göre ADÜ yer seçimlerini ve atamasını yapmaktadır. Havacılıkta bağlantı hattı olarak uçak kullanıldığından, bu noktada uçağın menzili önem kazanmaktadır. Model sonucunda belirlenen düğüm-ADÜ ve ADÜ-ADÜ arası mesafeler, kullanılacak uçağın menzilinden daha yüksek ise belirlenen hatlarda bu uçak tipinin kullanılması mümkün değildir. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda ADÜ yerleşim problemlerinde uçakların menzil kısıtının dikkate alınmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle modelde uçakların menzil kısıtının da dikkate alınması gereği görülmüştür.

Havaalanlarının iyileştirilmesi için gerekli olan maliyetler oldukça yüksektir. Bu nedenle konumu itibarı ile modelde ADÜ adayı olabilecek, ancak kargo trafiği yıl içerisinde süreklilik göstermeyen havaalanlarının ADÜ olarak belirlenmesini engellemek amacı ile bir kargo trafiği süreklilik kısıtı eklenmiştir. Böylece sürekli kargo trafiği olmayan bir havaalanının ADÜ olarak belirlenmesi kısıtlanmıştır. Çalışmada kargo trafiği belli bir miktarın üzerinde ve sürekliliği olan havaalanlarının ADÜ olarak atanması ve bu havaalanlarına gerekiyorsa yatırım yapılmasının doğru bir yaklaşım olacağı görülmüştür.

Çalışmada, yukarıda da belirtildiği gibi uçakların birim taşıma maliyetlerinin ve bazı performans özelliklerinin ADÜ yer seçimi ve atamalarını etkilediği analiz sonuçlarıyla görülmüştür. Bunun yanında uçuş ağı ve filo planlamasının birlikte gerçekleştirilmesi gereken süreçler olduğu bilinmektedir. Buradan hareketle ADÜ yerleşim problemi ile uçak tipi seçimi (bir anlamda filo ataması) konularının tek bir problem olarak ele alınabileceği tespit edilmiştir. Bu amaçla yeni bir model önerilmiştir. Model, ADÜ yer seçimi ve atamalarını yapmakta, tüm düğüm-ADÜ ve ADÜ-ADÜ arasındaki akışları belirlemekte, ayrıca bu noktalar arasında kullanılacak uygun uçak tipini de seçebilmektedir. Kargo taşımacılığı yapan bir havayolu işletmesi, çalışmada önerilen 2. modeli kullanarak, hem ADÜ yer seçimi, hem de uçuş güzergâhlarına göre toplam maliyeti en küçükleyecek uçak seçimini aynı model ile gerçekleştirebilir. Aynı şekilde kargo taşımacılığı yapmayı planlayan bir havayolu işletmesi, uçak alımı

öncesinde bu analizleri gerçekleştirerek toplam maliyetlerini en küçükleyecek uygun uçağı belirleyebilir.

Sonuç olarak, çalışmada hava taşımacılığının dinamikleri dikkate alınarak daha önceki geliştirilmiş modellerin amaç fonksiyonunda yapılan değişiklik ve yeni eklenen kısıtlar ile problemin daha gerçekçi ve havayolu işlemleri tarafından kullanılabilir bir yapıya dönüştürülmesi sağlanmıştır. Bir başka deyişle, daha genel nitelik taşıyan ADÜ yerleşim problemi hava taşımacılığı için daha özgün hale getirilmiştir.

Doktora çalışmasının, ADÜ yerleşim problemlerine yönelik olarak bugüne kadar yapılan diğer çalışmalardan farklarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

- Uçak tipine göre havaalanlarının alt yapı maliyetlerinin hesaplanması,
- Uçak tipine göre her güzergâh için birim taşıma maliyetlerinin hesaplanması,
- Havaalanları arasındaki uçuş mesafelerinin irtifa değişkeni ve hava trafik yolları göz önüne alınarak hesaplanması,
- Gerçek hava kargo trafiğı verilerinin kullanılması,
- Uçakların menzil kısıtının dikkate alınması,
- Kargo trafiğı süreklilik kısıtının eklenmesi.

Sonraki çalışmalarda, p-ADÜ medyan ve güzergâhlar arası kullanılacak uçak tipi seçimi modelini kullanarak daha kapsamlı problemlerin en iyi çözümünü belirleyebilmek amacıyla meta sezgiseller kullanılarak bir çözüm algoritması geliştirilebilir. Bu konuda özellikle genetik algoritma, tavlama benzetimi ve yasaklı arama düşünülebilir.

Filo tasarımı konusunda 2'den fazla uçak seçilerek ve ilgili parametreler hesaplanarak ADÜ yer seçimi-ataması ve uçak seçimi modelinde kullanılarak değişiklikler incelenebilir.

Türkiye'nin nüfus ve kargo verilerinin değişimi önümüzdeki 20 yıllık süreç için tahmini yapılarak olası ADÜ yerleşimleri belirlenebilir. Bu konuda yönetimlere rapor verilebilir.

Önerilen modelin karayolu kargo taşımacılığında kamyon filosu belirleme, açılacak ADÜ'lerin kapasitesini belirleme gibi karar verme problemlerine uygulama şekli incelenebilir. Ayrıca karayolu veya kombine (havayolu-karayolu) kargo taşımacılığında uygulanabilirliği incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Senguttuvan, P. S., “Air Cargo: Engine For Economic Growth and Development-A Case Study of Asian Region”, *National Urban Freight Conference*, Metrans Transportation Centre, School of Policy, Planning and Development University of Southern California, Los Angeles, USA, 1-3rd February 2006.
- [2] *Air Cargo World Online*, 2007. [www.aircargoworld.com](http://www.aircargoworld.com)
- [3] Lederer, P. J., “A Competitive Network Design Problem with Pricing”, *Transportation Science*, **27** (1), 25-38, 1993.
- [4] Aydemir, Z. C., *Fleet Assignment and Aircraft Routing Problem in An Airline Company*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara, 2002.
- [5] Lederer, P. J., Nambimadom R. S., “Airline Network Design”, *Operations Research*, **46** (6), 1998.
- [6] Oum, T. H., Yu, C., “Cost Competitiveness of Major Airlines An International Comparison”, *Transportation Reserach*, **32** (6), 407-422, 1998.
- [7] Aykın, T., “Networking Policies for Hub-and-Spoke Systems with Application to the Air Transportation System”, *Transportation Science*, **29** (3), 1995.
- [8] Bania, N., Bauer, P.W., Zlatoper T.J., “U.S Air Passenger Service: A Taxonomy of Route Networks, Hub Locations, and Competition”, *Transportation Research E*, **34** (1), 53-74, 1998.
- [9] O’Kelly, M. E., “A Geographer’s Analysis of Hub and Spoke Networks”, *Journal of Transport Geography*, **6** (3), 171-186, 1998.
- [10] Campbell, J. F., Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., “Hub Location Problems”, *Facility Location Applications and Theory*, (Ed:Drezner, Z., Hamacher, H.), Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, Germany, 373-407, 2004.
- [11] Mayer, G., Wagner, B., “Hublocator: An Exact Solution Method For The Multiple Allocation Hub Location Problem”, *Computers&Operations Research*, **29**, 715–739, 2002.
- [12] Daskin, S. M., *Network and Discrete Location*, John Wiley&Sons Inc., Canada, 1995.



- [13] Bryan, D. L., O’Kelly, M. E., “Hub and Spoke Networks in Air Transportation: An Analytical Review”, *Journal of Regional Science* **39** (2), 275-295, 1999.
- [14] Campbell, J. F., “Integer Programming Formulations of Discrete Hub Location Problem”, *European Journal of Operations Research*, **72**, 387-405, 1994.
- [15] O’Kelly M.E., Miller H. J., “The Hub Network Design Problem: A Review and Synthesis”, *Journal of Transport Geography*, **2** (1), 31-40, 1994.
- [16] O’Kelly, M. E., “The Location of Interacting Hub Facilities”, *Transportation Science*, **20** (2), 92-106, 1986.
- [17] O’Kelly, M. E., “A Quadratic Integer Program For The Location Of Interacting Hub Facilities”, *European Journal of Operational Research*, **32**, 393-404, 1987.
- [18] Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., O’Kelly, M. E., “Tight Linear Programming Relaxations of Uncapacitated p-Hub Median Problems”, *European Journal of Operational Research*, **94**, 582-593, 1996.
- [19] O’Kelly, M. E., Bryan, D. L, Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., “Hub Network Design with Single and Multiple Allocation: A Computational Study”, *Location Science*, **4** (3), 125-138, 1996.
- [20] Sohn, J., Park, S., “Efficient Solution Procedure And Reduced Size Formulations For p-Hub Location Problems”, *European Journal of Operational Research*, **108**, 118-126, 1998.
- [21] Ernst, A. T., Krishnamoorthy, M., “Efficient Algorithms for The Uncapacitated Single Allocation p-Hub Median Problem”, *Location Science*, **4** (3), 139-154, 1996.
- [22] Ebery, J., “Solving Large Single Allocation p-Hub Problems with Two or Three Hubs”, *European Journal of Operational Research*, **128**, 447-458, 2001.
- [23] Aykin, T., “On A Quadratic Integer Program for The Location of Interacting Hub Facilities”, *European Journal of Operational Research*, **46**, 409-411, 1990.

- [24] Klincewicz, J. G., “Heuristics for p-Hub Location Problem”, *European Journal of Operational Research*, **53**, 25-37, 1991.
- [25] Klincewicz, J. G., “Avoiding Local Optima in A p-Hub Location Problem Using Tabu Search and GRASP”, *Annals of Operations Research*, **10**, 283-302, 1992.
- [26] Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., “On Tabu Search for The Location of Interacting Hub Facilities”, *European Journal of Operational Research*, **73**, 502-509, 1994.
- [27] O’Kelly, M. E., Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., “Lower Bounds for The Hub Location Problem”, *Management Science*, **41** (4), 713-721, 1995.
- [28] Campbell, J. F., “Hub Location and The p-Hub Median Problem”, *Operations Research*, **44** (6), 1-13, 1996.
- [29] Ernst, A. T., Krishnamoorthy, M., “An Exact Solution Approach Based on Shortest-Paths for p-Hub Median Problems”, *Informatics Journal and Computing*, **10** (2), 149-162, 1998.
- [30] Pirkul, H., Schilling, D. A., “An Efficient Procedure for Designing Single Allocation Hub and Spoke System”, *Management Science*, **44** (12), 235-242, 1998.
- [31] Smith, K., Krishnamoorthy, M., Palaniswami, M., “Neural Versus Traditional Approaches to The Location of Interacting Hub Facilities”, *Location Science*, **4** (3), 155-171, 1996.
- [32] Sohn, J., Park, S., “A Linear Program for The Two-Hub Location Problem”, *European Journal of Operational Research*, **100** (3), 617-622, 1997.
- [33] Sohn, J., Park, S., “The Single Allocation Problem in The Interacting Three Hub Network”, *Networks*, **35**, 17-25, 2000.
- [34] Elhedhli, S., Hu, F. X., “Hub-and-Spoke Network Design with Congestion”, *Computers&Operations Research*, **32**, 1615–1632, 2005.
- [35] Alumur, S., Kara Y. B., “Network Hub Location Problems: The State of The Art”, *European Journal of Operational Research*, 2007, doi:10.1016/j.ejor.2007.06.008.

- [36] Campbell, J. F., “Location and Allocation for Distribution Systems with Transshipments and Transportation Economies of Scale”, *Annals of Operations Research*, **40**, 77-99, 1992.
- [37] Ernst, A. T., Krishnamoorthy, M., “Exact and Heuristic Algorithms for The Uncapacitated Multiple Allocation p-Hub Median Problem”, *European Journal of Operational Research*, **104**, 100-112, 1998.
- [38] Boland, N., Krishnamoorthy, M., Ernst, A. T., Ebery, J., “Preprocessing and Cutting for Multiple Allocation Hub Location Problems”, *European Journal of Operational Research*, **155**, 638–653, 2004.
- [39] Ernst, A. T., Krishnamoorthy, M., “An Exact Solution Approach Based on Shortest-Paths for p-Hub Median Problems”, *Inform's Journal on Computing*, **10** (2), 149-162, 1998.
- [40] O’Kelly, M. E., “Hub Facility Location with Fixed Costs”, *Papers in Regional Science*, **71** (3), 293-306, 1992.
- [41] Abdinnour-Helm, S., Venkataramanan, M. A., “Solution Approaches to Hub Location Problems”, *Annals of Operations Research*, **78**, 31-50, 1998.
- [42] Abdinnour-Helm, S., “A Hybrid Heuristic for The Uncapacitated Hub Location Problem”, *European Journal of Operational Research*, **106**, 489-499, 1998.
- [43] Topçuoğlu, H., Corut, F., Ermis, M., Yılmaz, G., “Solving The Uncapacitated Hub Location Problem Using Genetic Algorithms”, *Computers&Operations Research*, **32**, 967–984, 2005.
- [44] Chen, J. F., “A Hybrid Heuristic For The Uncapacitated Single Allocation Hub Location Problem”, *Omega*, **35**, 211-220, 2007.
- [45] Klincewicz, J. G., “A Dual Algorithm for the Uncapacitated Hub Location Problem”, *Location Science*, **4** (3), 173-184, 1996.
- [46] Canovas, L., Garcia S., Marin A., “Solving The Uncapacitated Multiple Allocation Hub Location Problem by means of A Dual Ascent Technique”, *European Journal of Operational Research*, **179**, 990-1007, 2007.
- [47] Camargo, R. S., Miranda G., Luna, H. P., “Benders Decomposition for The Uncapacitated Multiple Allocation Hub Location Problem”, *Computers&Operations Research*, (2006), doi: 10.1016/j.cor.2006.07.002.

- [48] Marin. A., Canovas L., Landete, M., “New Formulations for The Uncapacitated Multiple Allocation Hub Location Problem”, *European Journal of Operational Research*, **172**, 274–292, 2006.
- [49] Aykin, T., “Lagrangian Relaxation Based Approaches to Capacitated Hub and Spoke Network Design Problem”, *European Journal of Operational Research*, **79** (3), 501-523, 1994.
- [50] Ernst, A. T., Krishnamoorthy, M., “Solution Algorithms for The Capacitated Single Allocation Hub Location Problem”, *Annals of Operations Research*, **86**, 141-159, 1999.
- [51] Labbe, M., Yaman, H., Gourdin, E., “A Branch and Cut Algorithm for Hub Location Problems with Single Assignment”, *Mathematical Programming*, **102**, 371–405, 2005.
- [52] Ebery, J., Krishnamoorthy, M., Ernst, A., Boland, N., “The Capacitated Multiple Allocation Hub Location Problem: Formulations and Algorithms”, *European Journal of Operational Research*, **120**, 614-631, 2000.
- [53] Marin, A., “Formulating And Solving Splittable Capacitated Multiple Allocation Hub Location Problems”, *Computers & Operations Research*, **32**, 3093–3109, 2005.
- [54] Flynn, J., Ratick, S., “A Multiobjective Hierarchical Covering Model for Essential Air Services Program”, *Transportation Science*, **22** (2), 139-147, 1988.
- [55] Kuby, M. E., Gray, R.G., “The Hub Network Design Problem with Stopovers and Feeders: The Case of Federal Express”, *Transportation Research A*, **27** (1), 1-12, 1993.
- [56] Hall, R. W., “Configuration of An Overnight Package Air Network” *Transportation Research A*, **23**, 139-149, 1989.
- [57] Daskin, M. S., Panayotopoulos, N. D., “A Lagrangian Relaxation Approach to Assigning Aircraft to Routes in Hub and Spoke Networks”, *Transportation Science*, **23** (2), 91-99, 1989.
- [58] Dobson, G., Lederer, P. J., “Airline Scheduling and Routing in A Hub-and-Spoke System”, *Transportation Science*, **27** (3), 281-297, 1993.

- [59] Marianov, V., Serra, D., “Location Models For Airline Hubs Behaving As M/D/C Queues”, *Computers&Operations Research*, **30**, 983–1003, 2003.
- [60] O’Kelly, M. E., “On The Allocation of A Subset of Nodes to A Mini Hub in A Package Delivery Network”, *Papers in Regional Science*, **77** (1), 77-98, 1998.
- [61] O’Kelly, M. E., Bryan, D., “Hub Location with Flow Economies of Scale”, *Transportation Research. B*, **32** (8), 605-616, 1998.
- [62] Jaillet, P., Song, G., Yu, G., “Airline Network Design and Hub Location Problems”, *Location Science*, **4** (3), 195-212, 1996.
- [63] Sasaki, M., Suzuki, A., Drezner, Z., “On The Selection Of Relay Points in a Logistics Systems”, *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, **14** (1), 39, 1997.
- [64] Sasaki, M., Suzuki, A., Drezner, Z., “On The Selection of Hub Airports for An Airline Hub-And-Spoke System”, *Computers&Operations Research*, **26**, 1411-1422, 1999.
- [65] Drezner, T., Drezner Z., “A Note on Applying The Gravity Rule to The Airline Hub Problem”, *Journal of Regional Science*, **41** (1), 67-73, 2001.
- [66] Marianov, V., Serra, D., Revelle, C., “Location of Hubs in A Competitive Environment”, *European Journal of Operational Research*, **114**, 363-371, 1999.
- [67] Doğan, A., *Hava Kargo Taşımacılığının Türkiye Ekonomisindeki Yeri*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 1993.
- [68] *Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu Raporu Havayolu Ulaştırması Alt Komisyonu Raporu*, VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT, Ankara, 2001.
- [69] *World Air Cargo Forecast World Air Cargo Growth Trend*, 2007.  
[http://www.boeing.com/commercial/cargo/01\\_06.html](http://www.boeing.com/commercial/cargo/01_06.html)
- [70] *World Air Cargo Forecast*, 2007.  
[http://www.boeing.com/commercial/cargo/01\\_01.html](http://www.boeing.com/commercial/cargo/01_01.html)
- [71] *Airbus Global Market Forecast*, 2007.  
[http://www.airbus.com/en/myairbus/global\\_market\\_forecast.html](http://www.airbus.com/en/myairbus/global_market_forecast.html)

- [72] *DHMI 2006 İstatistik Yıllığı*, Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, Ankara, 2007.
- [73] *Türkiye Vakıflar Bankası T.A.O. Planlama ve İktisadi Araştırmalar Grup Yönetmenliği (Mevzuatı İzleme, Değerlendirme ve Ekonomik Araştırmalar Yönetmenliği) Sektör Araştırmaları Serisi No:24*, 2007.  
<http://www.vakifbank.com.tr/earastirma/ulastirma.doc>
- [74] *İç Hat Kargo*, 2007. <http://www.transport.com.tr/ana101,27@2200.html>
- [75] *Havayolu İşletmeleri*, 2006. [www.shgm.gov.tr](http://www.shgm.gov.tr)
- [76] A300 Flight Manual, AIRBUS
- [77] Fokker F27 Flight Manual, FOKKER
- [78] ICAO, *Areodrome Design Manual Part 1 Runways*, Doc. 9157, Part 1, 31.08.2006.
- [79] *Airport Directory Jeppesen Airway Manual*, Jeppesen GmbH, Germany, 2006.
- [80] ICAO, *Areodrome Design Manual Part 3 Pavements*, Doc. 9157, Part 3, 31.08.2006.
- [81] Eurocontrol, *Airside Capacity Planning Method*, Draft Number 1.4, Eurocontrol, 17.05.2006.
- [82] *Rapiscan Systems Small Cargo and Pallet Systems Rapiscan 532H*, 10.07.2007. [www.rapiscansystems.com/rap532h.html](http://www.rapiscansystems.com/rap532h.html)
- [83] Buğdaycı, H., *Uçak Performanslarının Uçak İşletme Karakteristiklerine Etkisi*, Doktora Tezi, İTÜ, Makine Fakültesi, İstanbul, 1980.

**Ek-1. 2001-2005 İç Hat Kargo Trafiki**

<b>HAVAALANI</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>05/04 (%)</b>
<b>ATATÜRK</b>	13036	24528	24944	30239	29402	-2,8
<b>ESENBOĞA</b>	8266	7817	7885	14586	14032	-3,8
<b>A. MENDERES</b>	9131	10175	10591	11715	11525	-1,6
<b>ANTALYA</b>	2711	2855	2348	2754	3283	19,2
<b>DALAMAN</b>	170	213	178	336	346	3
<b>ADANA</b>	5378	4894	4692	5456	5370	-1,6
<b>TRABZON</b>	901	955	1236	1509	2531	67,7
<b>MİLAS BODRUM</b>	178	259	250	306	269	-12,1
<b>ARDAK</b>				3		
<b>DİYARBAKIR</b>	233	190	227	1285	1690	31,5
<b>ELAZIĞ</b>	0	9	18	16	20	
<b>ERZURUM</b>	101	106	81	1050	1115	6,2
<b>GAZİANTEP</b>	214	636	289	623	361	-42,1
<b>K. MARAŞ</b>	0				1	
<b>KARS</b>	75	611	622	28	34	21,4
<b>KAYSERİ</b>	83	139	159	181	149	-17,7
<b>KONYA</b>						
<b>MALATYA</b>	53	76	93	619	965	55,9
<b>MARDİN</b>			1	1	2	
<b>MUŞ</b>		3	100	9	4	-55,6
<b>SAMSUN-ARŞ.</b>						
<b>SİİRT</b>						
<b>FERİTMELEN</b>	172	174	390	282	1105	291,8
<b>TOPLAM</b>	40702	53640	54104	70998	72204	1,7

## Ek-2. Çalışmada Değerlendirmeye Alınan Havaalanları ve Özellikleri

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>ADANA (ADA)</b>
<b>Koordinatları</b>	365857N 0351659E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	65 ft 35°C
<b>Pist Sayısı</b>	1
<b>Pist Boyutları (m)</b>	2750x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Asfalt
<b>Pist Mukavemeti</b>	PCN 115 F/A/X/T
<b>Apron Boyutları</b>	296x100 104x98
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 100 R/A/X/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	18 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Asfalt
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 100 F/A/X/T

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>ADNAN MENDERES (ADB)</b>
<b>Koordinatları</b>	381721N 0270918E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	412 ft 28,1°C
<b>Pist Sayısı</b>	2
<b>Pist Boyutları (m)</b>	3240x45 3240x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Kompozit
<b>Pist Mukavemeti</b>	PCN 88 F/C/W/T PCN 120 R/D/W/T
<b>Apron Boyutları</b>	400x286 165x160 384x138
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 120 R/C/W/T (Kargo) PCN 110 R/C/W/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	45 m (1. Taksiyolu) 23 m (Diğer)
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Kompozit
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 120 R/C/W/T PCN 120 R/D/W/T



<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>KAYSERİ (ASR)</b>
<b>Koordinatları</b>	384613N 0352943E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	3506 ft 22,4°C
<b>Pist Sayısı</b>	1
<b>Pist Boyutları (m)</b>	3000x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Beton
<b>Pist Mukavemeti</b>	LCN 75 PCN 80 R/D/W/T
<b>Apron Boyutları</b>	102x204
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	LCN 75
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	110x22,5
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Beton
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	LCN 75

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>ANTALYA (AYT)</b>
<b>Koordinatları</b>	365401N 0304734E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	177 ft 34°C
<b>Pist Sayısı</b>	3
<b>Pist Boyutları (m)</b>	2990x45 3400x45 3400x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Asfalt Beton Beton
<b>Pist Mukavemeti</b>	PCN 33 F/B/X/T PCN 80 R/A/X/T PCN 110 R/A/W/T
<b>Apron Boyutları</b>	1240x225 77x88
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 84 R/A/X/T PCN 110 R/A/X/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	23 m 24 m 23 m 30 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Beton
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 84 R/A/X/T PCN 110 R/A/W/T LCN 45 PCN 110 R/A/W/T

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>BODRUM MİLAS (BJV)</b>
<b>Koordinatları</b>	371450N 0274053E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	21 ft 34°C
<b>Pist Sayısı</b>	1
<b>Pist Boyutları (m)</b>	3000x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Asfalt
<b>Pist Mukavemeti</b>	PCN 105 R/D/W/T
<b>Apron Boyutları</b>	800x200
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 105 R/D/W/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	30 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Beton
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 105 R/D/W/T

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>DİYARBAKIR (DIY)</b>
<b>Koordinatları</b>	375333N 0401204E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	2251 ft 31,1°C
<b>Pist Sayısı</b>	1
<b>Pist Boyutları (m)</b>	3549x45 m
<b>Pist Kaplaması</b>	Beton
<b>Pist Mukavemeti</b>	PCN 110
<b>Apron Boyutları</b>	165x155
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 110 R/A/W/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	15 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Beton
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	LCN 50

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>DALAMAN (DLM)</b>
<b>Koordinatları</b>	364245N 0284729E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	20 ft 34°C
<b>Pist Sayısı</b>	1
<b>Pist Boyutları (m)</b>	3000x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Beton
<b>Pist Mukavemeti</b>	PCN 100 R/A/W/T
<b>Apron Boyutları</b>	90x260 422x153
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 100 R/A/W/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	30 m 40 m 50 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Beton
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 100 R/A/W/T PCN 100 R/A/W/T PCN 110 R/A/W/T

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>ERZURUM (ERZ)</b>
<b>Koordinatları</b>	395719N 0411009E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	5764 ft 19,3°C
<b>Pist Sayısı</b>	2
<b>Pist Boyutları (m)</b>	3810x30 3810x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Beton
<b>Pist Mukavemeti</b>	LCN 65 PCN 62 R/D/X/T
<b>Apron Boyutları</b>	140x70 336x120 82x110 45x300
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton Asfalt
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 110 R/D/W/T PCN 110 R/D/W/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	22,5 m 24 m 12 m 24 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Beton Kompozit Beton Beton
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 110 R/D/W/T PCN 110 R/D/W/T PCN 110 R/D/W/T PCN 110 R/D/W/T

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>ESENBOĞA (ESB)</b>
<b>Koordinatları</b>	400741N 0325942E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	3125 ft 25°C
<b>Pist Sayısı</b>	2
<b>Pist Boyutları (m)</b>	3750x45 3750x60
<b>Pist Kaplaması</b>	Asfalt-Asfalt
<b>Pist Mukavemeti</b>	LCN 95 - LCN 100
<b>Apron Boyutları</b>	440x130 430x140 379x130
<b>Apron Kaplaması</b>	Asfalt Beton Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 58 F/A/X/T PCN 58 F/A/X/T PCN 110 R/C/W/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	23 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Asfalt
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 58 F/A/X/T

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>ELAZIĞ (EZS)</b>
<b>Koordinatları</b>	383618N 0391738E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	2927 ft 27,3°C
<b>Pist Sayısı</b>	1
<b>Pist Boyutları (m)</b>	1720x32
<b>Pist Kaplaması</b>	Asfalt
<b>Pist Mukavemeti</b>	PCN 76 F/A/W/T
<b>Apron Boyutları</b>	200x42
<b>Apron Kaplaması</b>	Asfalt
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 76
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	120x18
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Asfalt
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 76 F/A/W/T

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>GAZİANTEP (GZT)</b>
<b>Koordinatları</b>	365652N 0372844E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	2315 ft 27,9°C
<b>Pist Sayısı</b>	2
<b>Pist Boyutları (m)</b>	3000x48 3000x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Beton
<b>Pist Mukavemeti</b>	PCN 110 R/A/W/T
<b>Apron Boyutları</b>	130x90
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 110 R/A/W/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	185x23
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Beton
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 110 R/A/W/T

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>ATATÜRK (IST)</b>
<b>Koordinatları</b>	405834.202N 0284850.738E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	163 ft 25°C
<b>Pist Sayısı</b>	3
<b>Pist Boyutları (m)</b>	2300x60 3000x45 3000x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Beton Beton Beton
<b>Pist Mukavemeti</b>	PCN 100 R/A/X/T PCN 100 R/A/W/T PCN 100 R/A/W/T
<b>Apron Boyutları</b>	195x830 290x45 394x50 270x128
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 100 R/A/X/T PCN 75 R/C/Y/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	23 m 23 m 23 m 18 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Beton Beton Beton Beton
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 100 R/A/X/T PCN 51 F/A/X/T PCN 100 R/A/W/T

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>KARS (KSY)</b>
<b>Koordinatları</b>	403331N 0430556E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	5889 ft 17,7°C
<b>Pist Sayısı</b>	1
<b>Pist Boyutları (m)</b>	3500x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Beton
<b>Pist Mukavemeti</b>	PCN 68 R/A/X/T
<b>Apron Boyutları</b>	130x70
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 68 R/A/X/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	23 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Beton
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 68 R/A/X/T

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>MALATYA (MLX)</b>
<b>Koordinatları</b>	382556N 0380459E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	2827 ft 27,4°C
<b>Pist Sayısı</b>	1
<b>Pist Boyutları (m)</b>	3350x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Asfalt
<b>Pist Mukavemeti</b>	LCN 50 PCN 33 F/B/X/T
<b>Apron Boyutları</b>	110x100
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	LCN 50
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	23 m 48,75 m 15 m 12,15 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Beton Beton Beton Beton
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	LCN 50 LCN 50 LCN 50 LCN 50

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>SABİHA GÖKÇEN (SAW)</b>
<b>Koordinatları</b>	405354N 0291833E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	312 ft 25°C
<b>Pist Sayısı</b>	1
<b>Pist Boyutları (m)</b>	3000x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Asfalt
<b>Pist Mukavemeti</b>	PCN 100 R/A/X/T
<b>Apron Boyutları</b>	
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 100 R/A/X/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	25 m 45 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Beton Beton
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 100 R/A/X/T PCN 100 R/A/X/T

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>TEKİRDAĞ (TEQ)</b>
<b>Koordinatları</b>	410756N 0275458E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	574 ft 23,6°C
<b>Pist Sayısı</b>	1
<b>Pist Boyutları (m)</b>	3000x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Beton
<b>Pist Mukavemeti</b>	LCN 59 PCN 52 R/D/X/T
<b>Apron Boyutları</b>	564x150
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	LCN 59
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	20 m 30 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Kompozit Beton
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	LCN 59 LCN 59

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>TRABZON (TZX)</b>
<b>Koordinatları</b>	405945N 0394707E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	104 ft 26,2°C
<b>Pist Sayısı</b>	1
<b>Pist Boyutları (m)</b>	2640x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Beton
<b>Pist Mukavemeti</b>	PCN 75
<b>Apron Boyutları</b>	180x102 160x102
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 100 R/A/W/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	24 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Beton
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 100

<b>Havaalanı İsmi/IATA Kodu</b>	<b>FERİTMELEN (VAN)</b>
<b>Koordinatları</b>	382807N 0431951E
<b>Rakım/ Referans Sıcaklığı</b>	5474 ft 22,5°C
<b>Pist Sayısı</b>	1
<b>Pist Boyutları (m)</b>	2750x45
<b>Pist Kaplaması</b>	Kompozit
<b>Pist Mukavemeti</b>	PCN 80 F/A/X/T
<b>Apron Boyutları</b>	125x125
<b>Apron Kaplaması</b>	Beton
<b>Apron Mukavemeti</b>	PCN 80 F/A/X/T
<b>Taksiyolu Genişliği</b>	22,5 m
<b>Taksiyolu Kaplaması</b>	Asfalt
<b>Taksiyolu Mukavemeti</b>	PCN 80 F/A/X/T



### Ek-3. Beton Pist Yapım Maliyetleri

SIRA NO	İŞİN YERİ	SAĞLAM ZEMİNDE (\$)	ORTA DAYANIKLILIKTAKİ ZEMİNDE (\$)	ZAYIF ZEMİNDE (\$)
A	PİST BANKETLERİ DAHİL (3000mx45m)	9.246.316	10.323.779	11.997.286
B	EMNİYET SAHASI (2x60mx60m) EBAT İÇİN	259.814	340.050	427.929
C	BAĞLANTI TAKSİRUTLARI (750m UZUNLUK)	1.428.976	1.455.722	1.565.760
D	APRON (210mx100m=21000m <sup>2</sup> )	932.273	1.241.757	1.369.372
E	OTOPARK (50mx70m=3500m <sup>2</sup> )	110.803	118.445	121.501
F	İRTİBAT YOLLARI (5500m UZUNLUK)	502.816	598.336	627.374
G	EMNİYET TEL ÖRGÜSÜ(1100m UZUNLUK)	646.478	646.478	646.478
H	KENAR DREN VE DRENAJ İŞLERİ (9000 m UZUNLUK)	155.888	187.983	235.361
	GENEL TOPLAM	13.283.364	14.912.550	16.991.060

**Ek-4. Birim Taşıma Maliyetleri**  
**A300-B4 Uçağı Birim Taşıma Maliyetleri**

Kalkış	Varış	Birim Taşıma Maliyeti (\$/NM.TON)	Kalkış	Varış	Birim Taşıma Maliyeti (\$/NM.TON)	Kalkış	Varış	Birim Taşıma Maliyeti (\$/NM.TON)
ADA	ESB	0,94	TZX	ESB	0,75	BJV	ESB	0,48
ADA	ADB	0,71	TZX	ADB	0,55	BJV	ADB	2,04
ADA	IST	0,69	TZX	IST	0,62	BJV	IST	0,63
ADA	AYT	1,01	TZX	AYT	0,59	BJV	AYT	0,90
ADA	DLM	0,77	TZX	DLM	0,52	BJV	DLM	2,02
ADA	TZX	0,73	TZX	ADA	0,70	BJV	ADA	0,45
ADA	BJV	0,70	TZX	BJV	0,54	BJV	TZX	0,35
ADA	TEQ	0,63	TZX	TEQ	0,58	BJV	TEQ	0,60
ADA	DIY	1,00	TZX	DIY	1,30	BJV	DIY	0,36
ADA	EZS	1,01	TZX	EZS	1,23	BJV	EZS	0,36
ADA	ERZ	0,67	TZX	ERZ	2,18	BJV	ERZ	0,33
ADA	GZT	1,70	TZX	GZT	0,98	BJV	GZT	0,39
ADA	KSY	0,71	TZX	KSY	1,42	BJV	KSY	0,31
ADA	ASR	1,45	TZX	ASR	0,72	BJV	ASR	0,43
ADA	MLX	0,88	TZX	MLX	1,20	BJV	MLX	0,39
ADA	VAN	0,72	TZX	VAN	1,14	BJV	VAN	0,31
ADA	SAW	0,65	TZX	SAW	0,61	BJV	SAW	0,47

Kalkış	Varış	Birim Taşıma Maliyeti (\$/NM.TON)	Kalkış	Varış	Birim Taşıma Maliyeti (\$/NM.TON)	Kalkış	Varış	Birim Taşıma Maliyeti (\$/NM.TON)
TEQ	ESB	0,99	DIY	ESB	0,70	IST	ESB	0,72
TEQ	ADB	1,33	DIY	ADB	0,54	IST	ADB	0,86
TEQ	IST	1,84	DIY	IST	0,61	IST	AYT	0,61
TEQ	AYT	0,81	DIY	AYT	0,69	IST	DLM	0,58
TEQ	DLM	0,83	DIY	DLM	0,60	IST	ADA	0,44
TEQ	ADA	0,67	DIY	ADA	0,79	IST	TZX	0,38
TEQ	TZX	0,65	DIY	TZX	0,93	IST	BJV	0,61
TEQ	BJV	0,98	DIY	BJV	0,51	IST	TEQ	2,38
TEQ	DIY	0,61	DIY	TEQ	0,53	IST	DIY	0,37
TEQ	EZS	0,66	DIY	EZS	2,33	IST	EZS	0,39
TEQ	ERZ	0,61	DIY	ERZ	1,54	IST	ERZ	0,36
TEQ	GZT	0,66	DIY	GZT	1,35	IST	GZT	0,38
TEQ	KSY	0,54	DIY	KSY	0,90	IST	KSY	0,33
TEQ	ASR	0,75	DIY	ASR	0,92	IST	ASR	0,50
TEQ	MLX	0,71	DIY	MLX	1,68	IST	MLX	0,43
TEQ	VAN	0,53	DIY	VAN	1,26	IST	VAN	0,31
TEQ	SAW	2,62	DIY	SAW	0,61	IST	SAW	2,28

**Not:** MNG Hava kargo İşletmesinin gizlilik politikası gereği birim taşıma maliyetlerinin tamamı verilmemiştir.

**Ek-4. Birim Taşıma Maliyetleri**  
**F27-500 Uçağı Birim Taşıma Maliyetleri**

Kalkış	Varış	Birim Taşıma Maliyeti (\$/NM.TON)	Kalkış	Varış	Birim Taşıma Maliyeti (\$/NM.TON)	Kalkış	Varış	Birim Taşıma Maliyeti (\$/NM.TON)
ADA	ESB	3,17	TZX	ESB	2,96	BJV	ESB	2,94
ADA	ADB	2,46	TZX	ADB	2,25	BJV	ADB	6,56
ADA	IST	2,44	TZX	IST	2,34	BJV	IST	3,03
ADA	AYT	3,28	TZX	AYT	2,27	BJV	AYT	3,83
ADA	DLM	2,89	TZX	DLM	2,25	BJV	DLM	6,53
ADA	TZX	3,12	TZX	ADA	3,08	BJV	ADA	2,78
ADA	BJV	2,52	TZX	BJV	2,23	BJV	TZX	2,27
ADA	TEQ	2,40	TZX	TEQ	2,31	BJV	TEQ	3,11
ADA	DIY	3,24	TZX	DIY	3,51	BJV	DIY	2,27
ADA	EZS	3,26	TZX	EZS	3,47	BJV	EZS	2,31
ADA	ERZ	2,51	TZX	ERZ	6,21	BJV	ERZ	2,24
ADA	GZT	4,84	TZX	GZT	2,82	BJV	GZT	2,41
ADA	KSY	2,48	TZX	KSY	3,95	BJV	KSY	2,19
ADA	ASR	4,36	TZX	ASR	2,80	BJV	ASR	2,51
ADA	MLX	3,47	TZX	MLX	3,73	BJV	MLX	2,35
ADA	VAN	2,54	TZX	VAN	3,57	BJV	VAN	2,19
ADA	SAW	2,47	TZX	SAW	2,36	BJV	SAW	2,87

Kalkış	Varış	Birim Taşıma Maliyeti (\$/NM.TON)	Kalkış	Varış	Birim Taşıma Maliyeti (\$/NM.TON)	Kalkış	Varış	Birim Taşıma Maliyeti (\$/NM.TON)
TEQ	ESB	3,26	DIY	ESB	2,53	IST	ESB	3,40
TEQ	ADB	3,67	DIY	ADB	2,23	IST	ADB	3,48
TEQ	IST	5,14	DIY	IST	2,29	IST	AYT	3,12
TEQ	AYT	3,00	DIY	AYT	2,36	IST	DLM	2,99
TEQ	DLM	3,03	DIY	DLM	2,27	IST	ADA	2,63
TEQ	ADA	2,46	DIY	ADA	3,13	IST	TZX	2,22
TEQ	TZX	2,35	DIY	TZX	3,05	IST	BJV	3,06
TEQ	BJV	3,16	DIY	BJV	2,22	IST	TEQ	7,39
TEQ	DIY	2,30	DIY	TEQ	2,26	IST	DIY	2,35
TEQ	EZS	2,36	DIY	EZS	5,95	IST	EZS	2,41
TEQ	ERZ	2,31	DIY	ERZ	3,73	IST	ERZ	2,41
TEQ	GZT	2,36	DIY	GZT	3,90	IST	GZT	2,41
TEQ	KSY	2,24	DIY	KSY	3,29	IST	KSY	2,27
TEQ	ASR	2,57	DIY	ASR	3,10	IST	ASR	2,88
TEQ	MLX	2,42	DIY	MLX	4,85	IST	MLX	2,48
TEQ	VAN	2,22	DIY	VAN	3,69	IST	VAN	2,27
TEQ	SAW	6,46	DIY	SAW	2,31	IST	SAW	7,54

**Not:** MNG Hava kargo İşletmesinin gizlilik politikası gereği birim taşıma maliyetlerinin tamamı verilmemiştir.

## Ek-5. Çok Atamalı p-ADÜ Medyan Problemi GAMS Kodu

```
$TITLE UMAPHMP Programi (Ucak Tipi: F27-500)
$OFFUPPER
```

```
option mip=cplex;
option lp=cplex;
option optcr=0;
option reslim=1000000000;
option iterlim=1000000000;
```

```
Set
```

```
i "havaalanlari" /ADA,ADB,ASR,AYT,BJV,DIY,DLM,ERZ,ESB,EZS,GZT,IST,KSY,MLX,SAW,
TEQ,TZX,VAN/
ay "aylar" /oc, sb, mt, ni, ma, ha, te, ag, ey, ek, ka, ar/
alias (i, j, k, l, m);
```

```
Table w(i,j)"i den j ye olan talep miktarı"
```

```
;
```

```
Table d(i,k)"i den k ya olan mesafe"
```

	ADA	ADB	ASR	AYT	BJV	DIY	DLM	ERZ	ESB
ADA	0	465	140	236	416	259	344	414	254
ADB	444	0	460	218	68	647	133	783	355
ASR	138	521	0	302	483	246	411	292	166
AYT	216	236	276	0	176	468	96	563	412
BJV	378	68	438	162	0	630	63	703	330
DIY	283	719	278	517	698	0	626	168	411
DLM	314	145	347	110	69	566	0	661	296
ERZ	401	774	322	629	785	166	738	0	430
ESB	250	355	150	358	363	364	325	389	0
EZS	264	663	209	502	674	63	611	128	358
GZT	119	583	162	354	535	149	462	258	327
IST	423	199	353	269	269	574	305	587	211
KSY	505	880	428	735	891	286	845	110	533
MLX	188	590	155	430	614	108	579	174	276
SAW	395	260	335	284	303	547	329	563	181
TEQ	457	178	395	304	248	616	290	620	243
TZX	420	704	361	604	729	202	691	94	360
VAN	460	870	418	696	876	170	804	145	525

	+	EZS	GZT	IST	KSY	MLX	SAW	TEQ	TZX	VAN
ADA		240	112	465	460	247	454	510	386	413
ADB		581	537	217	777	534	233	195	637	773
ASR		187	149	396	386	142	385	444	328	379
AYT		463	321	298	659	390	262	343	546	628
BJV		603	483	295	799	556	333	272	659	790
DIY		72	151	635	259	119	612	682	276	164
DLM		561	419	233	757	496	268	319	625	726
ERZ		135	283	649	99	209	621	691	103	138
ESB		305	298	230	476	260	191	266	327	506
EZS		0	147	574	222	76	550	620	146	191
GZT		135	0	542	352	136	517	586	276	309
IST		508	504	0	673	461	53	52	515	706
KSY		240	387	740	0	313	725	781	170	172
MLX		68	106	518	284	0	486	553	176	249

SAW	487	464	64	655	463	0	72	501	679
TEQ	550	546	98	715	503	65	0	562	742
TZX	192	312	574	153	236	550	621	0	226
VAN	208	339	781	256	264	751	820	239	0;

Table MF(i,k) "F27 i den k ya maliyet"

;

Table Wa(ay,i) "havaalanlarına göre aylık toplam kargo miktarı"

	ADA	ADB	AYT	IST	TEQ	DLM	DIY	EZS	ERZ	ESB	GZT
oc	3	754	210	1965	0	4	58	1	64	806	9
sb	385	944	230	2345	0	4	88	1	109	850	15
mt	454	1120	276	2824	0	14	109	2	89	1055	23
ni	467	987	278	2751	0	24	131	2	79	1128	16
ma	470	985	320	2793	0	36	127	2	73	1183	22
ha	468	998	325	2722	0	45	93	4	84	985	20
te	412	1083	297	2521	0	83	50	3	56	902	18
ag	371	1004	348	2716	0	0	41	2	13	743	20
ey	395	975	335	2713	0	0	33	3	12	783	74
ek	461	1071	291	2759	0	0	28	2	12	810	13
ka	531	1152	338	2982	0	0	52	2	18	965	12
ar	456	1208	302	2914	0	8	42	3	6	897	15

+	KSY	ASR	MLX	BJV	TZX	VAN
oc	3	2	60	3	153	55
sb	2	10	71	4	178	58
mt	3	21	92	6	217	108
ni	4	19	82	7	233	94
ma	3	16	82	21	226	95
ha	4	23	66	34	197	28
te	3	24	54	50	160	50
ag	4	37	39	52	152	75
ey	4	20	42	40	162	13
ek	4	21	21	23	138	74
ka	3	27	36	9	150	64
ar	58	33	45	9	165	64 ;

scalar p /2/;  
 scalar beta /1/;  
 scalar alfa /0.9/;  
 scalar gama /1/;  
 scalar T /2/;

parameters R(k)  
 /IST 0  
 ESB 0  
 ADB 0  
 AYT 0  
 SAW 0  
 DIY 0  
 BJV 0  
 DLM 50000  
 TZX 50000  
 ADA 0  
 GZT 50000  
 KSY 50000  
 ASR 0

```

TEQ 0
VAN 0
ERZ 0
EVS 100000
MLX 50000/;

```

```

binary variable H(k) ADU secimi;
positive variable Z (i,k) i noktasından k ADU ye gelen akis;
positive variable Y (i,k,l) i den cikan k ve l'den gecen toplam akis;
positive variable X (i,l,j) i noktasından cikan l ADUden j'ye ulasan akis;

```

```

free variable F amac fonksiyonu;

```

```

Equations

```

```

Kisit1,
Kisit2,
Kisit3,
Kisit4,
Kisit5,
Kisit6,
Kisit7,
Kisit8,
Amac2;

```

```

Kisit1..Sum(k, H(k))=e=p;

```

```

Kisit2(i)..Sum(k, Z(i,k))=e=Sum(j,W(i,j));

```

```

Kisit3(i,j)..Sum(l,X(i,l,j))=e=w(i,j);

```

```

Kisit4(i,k)..Sum(l,Y(i,k,l))+Sum(j,X(i,k,j))-Sum(l,Y(i,l,k))-Z(i,k)=e=0;

```

```

Kisit5(i,k)..Z(i,k)=l=Sum(j,w(i,j))*H(k);

```

```

Kisit6(i,l,j).. X(i,l,j)=l=w(i,j)*H(l);

```

```

Kisit8(ay,i)..T*H(i)=l=Wa(ay,i);

```

```

Amac2..Sum(i, (Sum(k, (beta*d(i,k)*MF(i,k)*Z(i,k)))+
Sum((k,l), (alfa*d(k,l)*MF(k,l)*Y(i,k,l)))+
Sum((l,j), (gama*d(l,j)*MF(l,j)*X(i,l,j)))))+
Sum(k, R(k)*H(k))=e=F;

```

```

Model CokluFokker/Kisit1, Kisit2, Kisit3, Kisit4, Kisit5, Kisit6, Kisit7,
Kisit8, Amac2/;

```

```

Solve CokluFokker using mip minimizing F;

```

```

display Z.l, Y.l, X.l, F.l, H.l;

```

**Not:** Modelin tamamı ve Türk hava yolları ve MNG Hava Kargo İşletmesinin gizlilik politikası gereği kargo trafiği verileri ile birim taşıma maliyetleri verileri verilmemiştir.



IST.KSY	189.262	995.325	
SAW.ADA			4.958
SAW.KSY		10.777	

INDEX 1 = F27

	ESB	SAW
ADA.ESB	11.892	84.148
ADB.ESB	131.465	4.108
AYT.ESB	13.811	12.562
BJV.ESB	0.002	0.003
DIY.ESB	27.793	1.534
DLM.ESB	0.002	
ERZ.ESB	24.392	2.189
ESB.ESB		29.476
EZS.ESB	1.497	
GZT.ESB	0.416	3.882
IST.ESB	5880.812	
KSY.ESB	10.756	1.341
MLX.ESB	2.129	
SAW.ESB	11.997	
TZX.ESB	47.672	2.092
VAN.ESB	40.853	4.881

----- 866 VARIABLE Y.L i den cikan k ve l ADUlerini kullanan toplam akis mikt  
ari

INDEX 1 = A300

	ADA	ADB	ASR	DLM	ESB	KSY
ADA.MLX					2184.040	
ADB.ADB				0.002	6515.837	
ADB.DLM	0.002					
AYT.KSY					26.373	
BJV.MLX					18.879	
DIY.KSY					29.327	
DLM.MLX					21.276	
ERZ.KSY					26.581	
ESB.ESB		120.810				353.179
ESB.TEQ	163.766					
EZS.KSY					1.497	
GZT.MLX					114.321	
IST.ESB		6184.444				1633.151
IST.TEQ	3437.474					
KSY.KSY					12.097	
SAW.ASR		6.539				
SAW.KSY			6.539		56.208	
SAW.MLX	18.080					
TZX.ADA						0.004
TZX.MLX					252.503	
VAN.ADB					58.997	
	+	MLX				TEQ
ADA.ADA	2184.040					
BJV.ADA	18.879					
DLM.ADA	21.276					
ESB.ESB		163.766				
GZT.ADA	114.321					



IST.ESB 3437.474  
 SAW.KSY 18.080  
 TZX.ADA 252.503

----- 866 VARIABLE Z.L i noktasından k ADU ye gelen akis miktarı

	ADA	ADB	ESB	KSY
A300.ADA	2184.040			
A300.ADB		6515.840		
A300.ASR				47.876
A300.AYT				948.662
A300.DIY				82.506
A300.DLM	21.276			
A300.ERZ				31.475
A300.EZS				1.549
A300.GZT	114.321			
A300.IST			20172.512	
A300.KSY				12.490
A300.MLX			47.829	
A300.SAW				174.605
A300.TZX	252.507			
A300.VAN		58.997		
F27 .BJV	18.879			
F27 .ESB			2939.232	

----- 866 VARIABLE AF.L = 1.494316E+7 amac fonksiyonu

----- 866 VARIABLE A.L Ucak secimi

	ADA	ADB	ASR	AYT	BJV	DIY
A300.ADA	1.000					
A300.ADB		1.000				
A300.ASR		1.000	1.000	1.000		1.000
A300.AYT				1.000		1.000
A300.BJV					1.000	
A300.DIY			1.000		1.000	1.000
A300.DLM	1.000		1.000			
A300.ERZ		1.000		1.000		1.000
A300.ESB		1.000		1.000		1.000
A300.EZS					1.000	1.000
A300.GZT	1.000		1.000	1.000		1.000
A300.IST				1.000		1.000
A300.KSY			1.000	1.000	1.000	1.000
A300.MLX	1.000	1.000	1.000	1.000		
A300.SAW				1.000		1.000
A300.TEQ	1.000			1.000	1.000	
A300.TZX	1.000				1.000	
A300.VAN		1.000	1.000			
F27 .ADA		1.000				
F27 .AYT	1.000	1.000				
F27 .BJV	1.000					
F27 .EZS			1.000			
F27 .GZT		1.000				
F27 .IST		1.000				
F27 .KSY		1.000				
F27 .MLX					1.000	
F27 .SAW		1.000				
F27 .TEQ						1.000

+	DLM	ERZ	ESB	EZS	GZT	IST
A300.ADA	1.000			1.000	1.000	
A300.ADB	1.000	1.000	1.000			
A300.ASR				1.000	1.000	
A300.AYT	1.000				1.000	
A300.BJV				1.000		
A300.DIY	1.000			1.000		
A300.DLM	1.000					
A300.ERZ		1.000				
A300.ESB		1.000				1.000
A300.EZS	1.000			1.000	1.000	
A300.GZT				1.000		
A300.IST			1.000			1.000
A300.KSY	1.000		1.000			1.000
A300.MLX		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A300.SAW	1.000					
A300.TEQ		1.000			1.000	
A300.TZX					1.000	
F27 .ADB					1.000	
F27 .AYT				1.000		
F27 .ESB			1.000			
F27 .EZS		1.000				
F27 .GZT		1.000			1.000	
F27 .SAW		1.000				

+	KSY	MLX	SAW	TEQ	TZX	VAN
A300.ADA	1.000	1.000		1.000	1.000	1.000
A300.ADB					1.000	
A300.ASR	1.000					
A300.AYT	1.000			1.000	1.000	
A300.BJV						1.000
A300.DIY	1.000	1.000		1.000		
A300.DLM				1.000		
A300.ERZ	1.000					
A300.ESB	1.000			1.000		
A300.EZS	1.000					
A300.GZT		1.000			1.000	
A300.IST		1.000		1.000		
A300.KSY	1.000	1.000		1.000	1.000	
A300.MLX		1.000				
A300.SAW	1.000		1.000			
A300.TEQ	1.000	1.000			1.000	
A300.TZX		1.000				
F27 .ADB	1.000	1.000				
F27 .BJV		1.000				
F27 .DLM	1.000	1.000				
F27 .ESB			1.000			1.000
F27 .GZT				1.000		1.000
F27 .KSY			1.000			
F27 .MLX			1.000		1.000	1.000
F27 .SAW				1.000		
F27 .TEQ	1.000					
F27 .VAN						1.000

---- 866 VARIABLE H.L ADU secimi

ADA 1.000, ADB 1.000, ESB 1.000, KSY 1.000

EXECUTION TIME = 7.063 SECONDS 49.5 Mb WIN215-140 Nov 11, 2004