

İnsansız Uçaklarla Türkiye Kara Sınırları Güvenliğinin Sağlanmasında Ana Dağıtım
Üssü Belirleme ve Rotalama

Yasemin Akkuş

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2009

Hub Location And Routing
In Ensuring The Security Of Turkiye's Land Borders With Unmanned Aircraft

Yasemin Akkuş

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

August-2009

İnsansız Uçaklarla Türkiye Kara Sınırları Güvenliğinin Sağlanmasında Ana Dağıtım Üssü
Belirleme ve Rotalama

Yasemin Akkuş

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yöneylem Araştırması Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İnci Sarıçiçek

Ağustos 2009

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Yasemin Akkuş'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "İnsansız Uçaklarla Türkiye Kara Sınırları Güvenliğinin Sağlanmasında Ana Dağıtım Üssü Belirleme ve Rotalama" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd.Doç.Dr. İnci Sarıçiçek

İkinci Danışman :

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Yrd. Doç.Dr. İnci Sarıçiçek

Üye : Prof. Dr. Atilla İşlier

Üye : Prof. Dr. Emin Kahya

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan Oktal

Üye : Yrd.Doç. Dr. Özden Üstün

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Güvenlik konusu günümüzün en önemli konularından biri olup, ülkeler komşu ülkelerin sınırlarından gelebilecek tehlikelere karşı önlem almak için büyük harcamalar yapmaktadır. Ülkemiz üç tarafı denizlerle çevrili bir ülke olup stratejik öneme sahip bir bölgede yer almaktadır. Komşu ülkelerdeki olaylar, savaşlar, değişik siyasi çalkantılar kara sınırlarımızda güvenliğin sağlanmasının ne kadar önemli bir konu olduğunu ortaya koymaktadır.

Kara sınırlarımızda coğrafi bir takım engeller izleme, önlem alma gibi konularda yetersizliğe sebep olmaktadır. Çalışmada, insansız uçaklar kullanılarak Türkiye kara sınırlarında hareketin izlenmesi amacıyla, ana dağıtım üssü yer seçimi ve rotalama problemi ele alınmıştır. Söz konusu problem kapsamında, ana üslerin ve talep noktalarının ELECTRE yöntemi ile çeşitli kriterler kullanılarak ağırlıkları belirlenmiş, ana dağıtım üslerinin yerlerinin belirlenmesi amacıyla bir matematiksel model kurularak çözülmüştür. Ayrıca, talep noktası olarak tanımlanan kara sınırlarındaki şehirlerin ise bu üslere atanması ve her üs için en uygun rotaların belirlenmesi amaçlanarak bir matematiksel model kurulup, sonuçları değerlendirilmiştir. Model GAMS yazılımı kullanılarak kodlanmış ve CPLEX çözücü ile çözülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ana Dağıtım Üssü Yerleşim Problemleri, Uçak Rotalama, İnsansız Uçak, Çok Ölçütlü Karar Verme

SUMMARY

Security is the one of the most important deal nowadays, countries are spending so much to prevent threats that may come from neighbour countries' borders. Turkey is located on very strategic area where three sides are surrounded by seas. Events, wars, various political cases in neighbour countries reveal the importance to provide security at our land borders.

Several geographical restrictions at our land borders cause insufficiency to monitor and to take the requires measure. In this study, hub location and routing problems were addressed to monitor the movement at Turkey's land borders by using unmanned aircraft. Within the scope of the problem, weights for potential hubs and demand points were determined by ELECTRE method based on various criteria a mathematical model was built and solved to decide hub locations. Also, aiming assignment of demand points that were defined as cities at land borders to hubs and determining optimal routes for each hub, mathematical model was built and the results were evaluated. Model was encoded by using GAMS software and solved by CPLEX solver.

Keywords: Hub Location Problem, Aircraft Routing, Unmanned Aircraft, Multi Criteria Decision Making

TEŞEKKÜR

Çalıőmam boyunca bilgi ve tecrübelerini bana aktarmasının yanı sıra okul hayatım boyunca desteğini, yardımlarını ve hoőgörüsünü hiç esirgemeyen değerli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. İnci Sariçiçek'e, bu projenin hazırlanmasında pay sahibi olduğuna inandığım değerli arkadaşlarım Gökhan Kirlik, Alp Arıburnu, Çetin Sakarya ve Hülya Gani'ye, eğitimim boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. ANA DAĞITIM ÜSSÜ YERLEŞİM PROBLEMİ	6
2.1. Ana Dağıtım Üssü Yerleşim Probleminin Önemi	6
2.2. Ana Dağıtım Üssü Yerleşim Problemi Tanımı ve Sınıflandırılması	7
2.2.1. P-ADÜ medyan problemi.....	12
2.2.1.1. Tek atamalı p-ADÜ medyan problemi	12
2.2.1.2. Çok atamalı p-ADÜ medyan problemi	17
2.2.2. Sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemi.....	19
2.2.2.1. Kapasite sınırı olmayan ADÜ yerleşim problemi.....	20
2.2.2.2. Kapasite sınırı olan ADÜ yerleşim problemi	21
2.2.3. P-Merkez ADÜ yerleşim problemi	22
2.2.4. Ana dağıtım üssü kapsama problemi.....	24
2.3. Ana Dağıtım Üssü Yerleşim Problemi Havayolu Taşımacılığı Uygulamaları.....	28
3. UÇAK ROTALAMA PROBLEMİ	31
3.1. Uçak Rotalama Probleminin Önemi.....	31
3.2. Uçak Rotalama Problemi ve Yapılmış Çalışmalar	31
3.2.1. Kesin çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar.....	32
3.2.2. Sezgisel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar.....	37

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

4. İNSANSIZ UÇAKLARLA TÜRKİYE KARA SINIRLARI GÜVENLİĞİNİN SAĞLANMASINDA ANA DAĞITIM ÜSSÜ BELİRLEME VE ROTALAMA	39
4.1. İnsansız Uçakların Tanımı ve Tarihi Gelişimi.....	39
4.2. Problemin Tanımı ve Önemi	44
4.3. Ağırlıkların Belirlenmesi.....	49
4.3.1. ELECTRE yöntemi	49
4.3.2. Olası ana üsler için ağırlıkların belirlenmesi.....	58
4.3.3. Talep noktalarının ağırlıklarının belirlenmesi	63
4.4. Ana Dağıtım Üssü Problemi.....	67
4.4.1. Ana Dağıtım Üssü Problemi İçin Matematiksel Model	69
4.4.2. Ana dağıtım üssü probleminin GAMS programı ile çözümü.....	71
4.5. Uçak Rotalama Problemi.....	72
4.5.1. Uçak Rotalama Problemi İçin Matematiksel Model	73
4.5.2. Uçak rotalama probleminin GAMS programı ile çözümü	76
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	81
KAYNAKLAR DİZİNİ	83

EKLER

Ek-1	2009 yılı yasa dışı olaylar
Ek-2	Olası ana üslerin ağırlıkları
Ek-3	Ana üs belirleme modelinin GAMS kodu
Ek-4	ADÜ probleminin çözüm sonuçları
Ek-5	Gaziantep için oluşturulan rotalar ve tur süreleri
Ek-6	Maliyetlerin kullanıldığı modelin GAMS kodu
Ek-7	Talep noktalarının gözetleme sıklığı arttırmayı amaçlayan modelin GAMS kodu

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Yıllara göre literatürdeki ADÜ çalışma sayısı	6
2.2 ADÜ yerleşim probleminde toplama-dağıtım süreci	7
2.3 Tek ve çok atamalı ADÜ yerleşim problemi örnek ağ yapıları	8
2.4 Yayınların sunulan modeller temelinde oranı	10
2.5 Sunulan modeller arasında yıllara göre yayın sayısı	10
4.1 İHA kontrol mimarisi	42
4.2 Türk İnsansız Hava Aracı.....	46
4.3 Çalışmada İHA'lar için ana üslerin belirlenmesi ve rotalamaya ilişkin akış şeması	48
4.4 Olası ana üsler	68
4.5 Günde bir veya birden fazla uçuş atanması durumundaki temsili karlılık grafiği .	72
4.6 Planlama uzayı	73

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Tek atamalı p-ADÜ medyan problemleri.....	16
2.2 Çok atamalı p-ADÜ medyan problemleri	17
2.3 Kapasite sınırı olmayan ana dağıtım üssü yerleşim problemleri.....	20
2.4 Kapasite sınırı olan ana dağıtım üssü yerleşim problemleri.....	21
2.5 P-ADÜ merkez problemleri	23
2.6 Ana dağıtım üssü kapsama problemleri	25
2.7 Havayolu taşımacılığı çalışmaları	29
3.1 Kesin çözüm veren yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar.....	32
3.2 Sezgisel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar	37
4.1 Copeland puanı.....	57
4.2 Normalleştirilmiş Copeland puanı	57
4.3 Ana üs seçenekleri ve ele alınan ölçütler	59
4.4 Ana üs seçimi için karar matrisi	61
4.5 Olası ana üsleri için belirlenen ölçütlerin ağırlıkları.....	62
4.6 Olası ana üsler için Copeland ve ağırlık değerleri	63
4.7 Talep noktaları ve ele alınan ölçütler	64
4.8 Talep noktaları için karar matrisi	65
4.9 Talep noktaları için belirlenen ölçütlerin ağırlıkları.....	66
4.10 Talep noktaları için baskınlık değerleri ve ağırlıklar	67
4.11 Tercih edilen p değeri ve ana üsler.....	71
4.12 Ana üs-talep noktası süreleri	77
4.13 Talep noktası-talep noktası süreleri.....	77
4.14 Talep noktalarında (sınır boylarında) uçağın gözetleme süresi.....	78
4.15 Kullanılan araçlar ve rotaları (birinci model).....	79
4.16 Kullanılan araçlar ve rotaları (ikinci model).....	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
H	Olası ana dağıtım üslerinin kümesi
N	Talep noktalarının kümesi
W_j	j. olası ana dağıtım üssünün ağırlık
d_{ij}	i. talep noktası ile j. ana üs arasındaki uzaklık
S	Uçağın en büyük menzili
P	Açılacak ana üs sayısı
a_{ij}	d_{ij} , S'den büyükse 1 değilse 0
g_i	i. noktada 2009 (Ocak-Haziran) yılında gerçekleşen yasa dışı sınır geçiş sayısı
o_i	i. noktanın 2009 (Ocak-Haziran) yılında gerçekleşen yasa dışı olay sayısı
Y_j	j noktası ana üs olarak belirlenmişse 1 belirlenmemişse 0
X_{ij}	i noktası j. ana üsse atanmışsa 1 atanmamışsa 0
r	Rota (bir noktalar sırası olarak belirlenir) $r \in R$
R	Muhtemel rotaların kümesi
n	r rotasındaki talep noktası sayısı
v	Uçak sayısı
t_r	r rotasının süresi
a_{nr}	r rotasının n talep noktasını içerip içermediğini
C_v	Bir uçağa ait sabit maliyet
C_o	Bir uçağı rotalama maliyeti
L_v	v uçağının en büyük süre kapasitesi
$\alpha(n)$	n noktasının ELECTRE yöntemiyle belirlenen ağırlığı
h_v	v uçağı kullanılıyorsa 1 kullanılmıyorsa 0
Y_{rv}	r rotası v. araca atanmışsa 1 atanmamışsa 0

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ADÜ	Ana Dağıtım Üssü
İHA	İnsansız Hava Araçları
KTP	Konum-Tahsis Problemleri
USAHLP	Capacitated Single Allocation Hub Location Problem (Kapasite Sınırlaması Olmayan Tek Atamalı Ana Dağıtım Üssü Yerleştirme Problemi)
CMAHLP	Capacitated Multiple Allocation Hub Location Problem (Kapasite Sınırlaması Olan Çok Tahsisli Ana Dağıtım Üssü Yerleştirme Problemi)
USApHMP	Uncapacitated Single Allocation p-Hub Median Problem (Kapasite Sınırlaması Olmayan Tek Atamalı p-Medyan Ana Dağıtım Üssü Yerleştirme Problemi)
UMApHMP	Uncapacitated Multiple Allocation p-Hub Median Problem (Kapasite Sınırlaması Olmayan Çok Atamalı p-Medyan Ana Dağıtım Üssü Yerleştirme Problemi)
USApHCP	Uncapacitated Single Allocation p-Hub Covering Problem (Kapasite Sınırlaması Olmayan Tek Atamalı Ana Dağıtım Üssü Kapsama Problemi)
TİHA	Türk İnsansız Hava Aracı
ELECTRE	ELimination Et Choix Traduisant la REalite
TAI	Turkish Aerospace Industries (Türkiye Hava Uzay Endüstrisi Kurumu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Teknolojinin gelişimi ile birlikte pek çok modern araç ve gereç Silahlı Kuvvetlerin bünyesine katılmıştır. İnsansız Hava Araçları (İHA) da bu yeni sistemlerden bir tanesidir. İHA sistemleri giderek geleceğin muharebe sahasının vazgeçilmez bir ögesi durumuna gelmektedir. İnsansız Hava Araçları önemini giderek arttırmakta ve daha çok alanda adı geçmektedir. İHA sistemleri, özellikle askeri alanda, vazifenin kritik ve tehdidin yoğun olduğu görev bölgelerinde, insan kaybı riskinin bulunmaması ve hava aracı performansının insan zaaflarına bağlı olmaması gibi, insanlı sistemlere göre bazı üstünlüklere sahiptir. Son derece etkin bir keşif/gözetleme vasıtası olan İHA sistemleri özellikle tehlikeli bölgelerde görev yapabilmeleri ve uzun süre havada kalabilmeleri açısından oldukça faydalı sistemlerdir. İHA sistemlerinin daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılması yine etkin ve verimli bir görev planlaması ile olacaktır.

Günümüzde batılı ülkelerdeki sınırların korunmasında, uydu takip sistemleri, insansız hava araçları, sensörler gibi bir çok teknolojik yöntem kullanılmaktadır. Ülkemizde de ilgili sistemlere ilgi giderek artmaktadır. Çalışmada, artan ilgi ve ihtiyaç göz önünde bulundurularak insansız hava araçlarıyla Türkiye kara sınırlarının kontrol altında tutulması amacıyla ana üs belirleme ve rotalama problemi ele alınmıştır.

Çalışmanın birinci aşamasında uçakların havalanacakları ana üsler ve talep noktalarının atamaları yapılmıştır. İzleyen kısımda her ana üsteki uçakların talep noktalarına rotalaması ele alınmıştır. İlgili problemler literatürde yerleştirme-rotalama (location-routing) ya da ulaştırma-yerleştirme (transportation-location) olarak bilinmektedir.

Cooper (1972), ulaştırma ve yerleştirme birleşik problemi için bir model geliştirmiştir. Çalışma, Hitchcock ulaştırma probleminin ve yerleştirme dağıtım probleminin bir genelleştirilmesi olarak düşünülebilir. İlgili çalışma, yerleştirme-

rotalama literatüründe temel bir çalışma olarak görülmektedir. Ulaştırma-yerleştirme problemi, m kaynağı; mal, ürün veya servis gibi bilinen gereksinimleri olan sabit n yerleşimine, kaynak kapasiteleri ve varış yeri gereksinimleri kısıtları altında, toplam maliyeti en küçükleme amacıyla yerleştirmektir. Çalışma ayrıca sezgisel yöntemleri de içermektedir. Fakat bu yöntemler yazarın kendisi tarafından sonradan yetersiz görülmüş ve daha etkili bir sezgisel Cooper tarafından geliştirilmiştir (Çetiner, 2003).

İlk araştırmacılar birden fazla tur oluşturma fikrini dışarıda tutsalar da bu durum yerleştirme-rotalama problemleri için doğru kabul edilmemiştir. Watson-Gandy and Dohrn (1973), ulaştırma-yerleştirme problemi için araç rotaları kavramını ileri sürmüş ve literatür, turların oluşturulması işiyle birlikte daha zor bir problem tipine geçiş yapmıştır (Çetiner, 2003).

Buna rağmen 1970'lerde ve 1980'lerin başlarında çeşitli yerleştirme-rotalama problemleri ardı ardına çıkmıştır. Bu alandaki kilometre taşlarından biri, Or and Pierskalla (1979), kan bankası sistemlerinin bölgeselleştirilmesi çalışmasıdır. Problemlerini yerleştirme-dağıtım problemi ve genel ulaştırma probleminin karmaşık bir birleşimi olarak ifade etmiştir. Bazı maliyetleri sabit tutarak veya ihmal ederek modelin yerleştirme-dağıtım problemine, yine bazı diğer maliyetleri sabitleyerek veya ihmal ederek modelin genel ulaştırma problemine indirgendğini gözlemiştir. Bu iki alt problemi bağımsız olarak çözüp sonunda birleştirmiştir. Yani problemi iki aşamaya ayırıp önce yerleştirme- dağıtım ve sonra rotalama stratejisini iyi bir çözüm elde etmek için kullanmıştır. Kendi geliştirmelerinin olduğu ekleme algoritmalarını içeren, hızlı sezgisel çözüm yöntemi sunmuştur (Çetiner, 2003).

Jacobsen and Madsen (1980), Danimarka'daki gazete basım ve dağıtım sistemi üzerinde çalışırken, karşılaştıkları problemi yerleştirme-rotalama olarak tanımlamış ve rotalama sezgisellerini birleştirerek üç sezgisel yöntem geliştirmiştir.

Nambier et al. (1981), Malezya'daki istasyonlardan günlük olarak toplanan küçük üreticilerin kauçuklarını işlemek için merkezi kauçuk fabrikasının yerleşimini incelemiştir. Ayrıca toplama noktalarının potansiyel işleme fabrikalarına atanması (tesis yerleşimi problemi) ve kauçuk sütünün toplanmasını (araç rotalama problemi) içeren

yerleştirme-rotalama problemi (Çetiner, 2003). Problem binlerce 0-1 değişkene sahip olan dev bir yapıdayken ana problemi, en iyi çözüm tekniklerinin uygulanabileceği küçük problemlere ayırmıştır. Ayırıştırma tabanlı sezgisel doğal kauçuk problemi için hayli makul çözümlere ulaşmıştır.

Laporte et al. (1983), eş zamanlı yerleştirme ve rotalama içeren genel durumlar için kesin çözüm algoritmaları ve modeller önermiştir. Çeşitli yerleştirme-rotalama problemleri için verilen tamsayılı programlama modelleri (çeşitli depo, tek ve çok araç, sabit maliyetli depolar) sonradan STRAIGHT isimli kısıt gevşetme yöntemi kullanılarak ele alınmıştır. Bu yaklaşım problemleri kısıtlı bir sayıda orjinal kısıtla çözmeye dayanır. Diğer kısıtlar sırasıyla probleme eklenir.

Bookbinder and Reece (1988), depo ve müşteriler arasındaki taşımanın araç rotalarıyla yapıldığı iki seviyeli dağıtım problemini (fabrika- depo- müşteri) doğrusal olmayan karma tamsayılı programlama ile modellemiştir. İlgili yöntem, Geoffrion and Graves (1974)'in dağıtım sistemi tasarımı yaklaşımı ve Fisher and Jaikumar (1981)'in araç rotalama problemi üzerine kurulmuştur. Bender'in ayırıştırma tabanlı çözüm tekniği ötelemeli olarak uygulanmıştır.

ReVelle et al. (1991), zararlı atıkların toplanmasını araştırmış ve iki amaçlı bir model geliştirmiştir. Model, en kısa yol ve yerleştirme yöntemi için 0-1 matematiksel programlamanın iyi bir karışımıdır (Çetiner, 2003).

List and Mirchandani (1991), zararlı malzemelerin taşınmasını dikkate almış ve riski enküçükmek, maliyeti enküçükmek ve taşımada coğrafî alanların etkilenme riskini enküçükmek olmak üzere üç amaçla çalışmıştır.

Akça et al. (2008), tesis yerleşimi, araç rotalama ve rotaların en iyilenmesi üzerine çalışmıştır. Kapasite ve kısıtlarını kullanarak iki model sunmuştur. İlki ağ tabanlı (graph-based), ikincisi küme bölümlenmesi tabanlı (set-partitioning-based) modeldir. İki model dal-maliyet algoritmasıyla (branch-and-price algorithm) çözülmüştür.

Yang (2009), mevsimsel talepler doğrultusunda rassal hava taşımacılığı için ana üs belirleme ve uçuşların rotalaması üzerine çalışmıştır.

Mevcut literatür incelendiğinde, 1970'lerden günümüze ana üs belirleme ve rotalama problemlerinin çözümü konusunda araştırmacılar değerli çalışmalar yapmıştır. Çalışmamız, literatürden faydalanarak İHA sistemlerinin görev planlamasındaki modeller ve çözümlerine odaklanmıştır. İHA sistemlerinin daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılması için etkin bir görev planlamasının yapılması gereği açıktır. Çalışmada yerleştirme-rotalama problemi ele alınarak yerleştirme kısmında tek atamalı P-Ana Dağıtım Üssü medyan problemi ele alınmıştır. 34 tane olası ana dağıtım üssünden 16 talep noktasına insansız hava aracının menzili içerisinde hizmet verebilecek ana üs seçimi yapılmıştır. Ana üs seçimi ve talep noktası ataması yapılmadan önce bir çok ölçütlü karar verme tekniği olan ELECTRE yöntemiyle çeşitli ölçütler göz önünde bulundurularak olası ana üslerin ve talep noktalarının ağırlıkları belirlenmiş ve ilgili ağırlık değerleri amaç fonksiyonunda dikkate alınmıştır. Rotalama kısmında ise insansız hava aracının enerji ihtiyacı ve rota süreleri dikkate alınmıştır. Rotalamada bir uçağa birden fazla rota atanması (multiple trips) durumu ele alınmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın giriş bölümünde konu kısaca tanıtılıp mevcut çalışmalar özetlendikten sonra, ikinci bölümünde ADÜ yerleşim problemleri hakkında genel bilgi verilip günümüze kadar yapılan çalışmalara değinilmiştir. Ayrıca ilgili bölüm ADÜ yerleşim problemlerine ilişkin havayolu taşımacılığına yönelik yapılan çalışmaları da özetlemektedir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde uçak rotalama problemleri ele alınıp günümüze kadar yapılan çalışmalara değinilmiştir. Uçak rotalamaya yönelik çalışmalar, sezgisel yöntem kullanılan çalışmalar ve kesin çözüm yöntemi kullanan çalışmalar olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde İHA ve ele alınan problem hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca ELECTRE yöntemi ve sonrasında Copeland yöntemiyle olası ana dağıtım üslerinin ve talep noktalarının ağırlıkları belirlenmiştir. Tek atamalı p-ADÜ medyan problemi ve uçak rotalama için geliştirilen karma tamsayı doğrusal modeller sunulmuştur. Ana dağıtım üssü modeli; uçağın menzili, kara sınırlarda oluşan talepler (kara sınırlarında 2009 (ocak-haziran) yılı içerisinde gerçekleşen olaylar) ve olası ana

dağıtım üslerinin ağırlıkları göz önüne alınarak geliştirilmiştir. Uçak rotalama modeli; olası rotalar Excel programıyla belirlendikten sonra rota süreleri, uçakların enerji süreleri göz önüne alınarak bir uçağa çok rota atanmasını (multiple trips) sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. Geliştirilen her iki model de GAMS programının CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüştür.

Beşinci bölümde ise elde edilen genel sonuçlara ve önerilere yer verilmiştir.

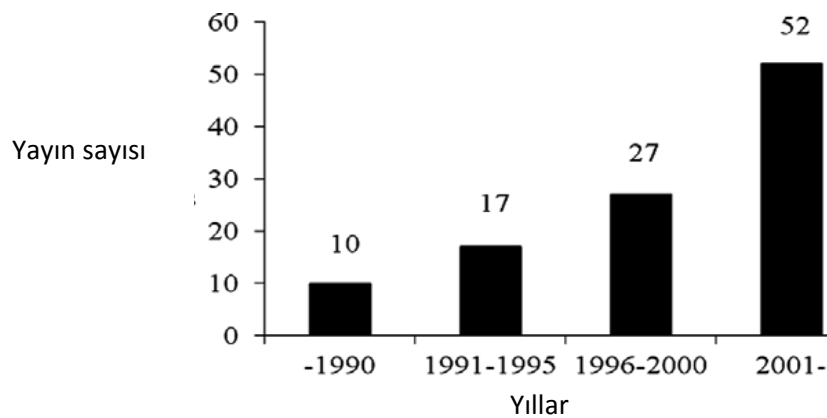
BÖLÜM 2

ANA DAĞITIM ÜSSÜ YERLEŞİM PROBLEMİ

2.1. Ana Dağıtım Üssü Yerleşim Probleminin Önemi

Konum-Tahsis problemlerinin (KTP) özel bir çeşidi olan ana dağıtım üssü (ADÜ) yerleşim problemleri (*hub location*) son yıllarda yerleşim teorisinin önemli bir alanı haline gelmiştir. Modern ulaştırma ve iletişim sistemlerinin büyük bir kısmında ana üs ağlarının kullanılması, bu alandaki araştırmaların sayısının ve öneminin artmasında etken olmuştur (Şekil 2.1). Bu sistemler, ölçek ekonomisinden yararlanmaktadır. Özellikle ulaştırmada daha büyük araçlar birim başına daha düşük taşıma maliyetine sahiptirler.

Bir ana üs, bir çok ayrı küçük akışı daha büyük akışlara yönlendirir veya birleştirir. Ayrıca, farklı varış noktaları için büyük bir akışı daha küçük akışlara da bölebilir. Bu nedenle, bağlantı noktaları çıkış-varış noktası akışlarının takip ettiği yoldaki ara noktalardır (Ermış ve Ülengin, 2006).



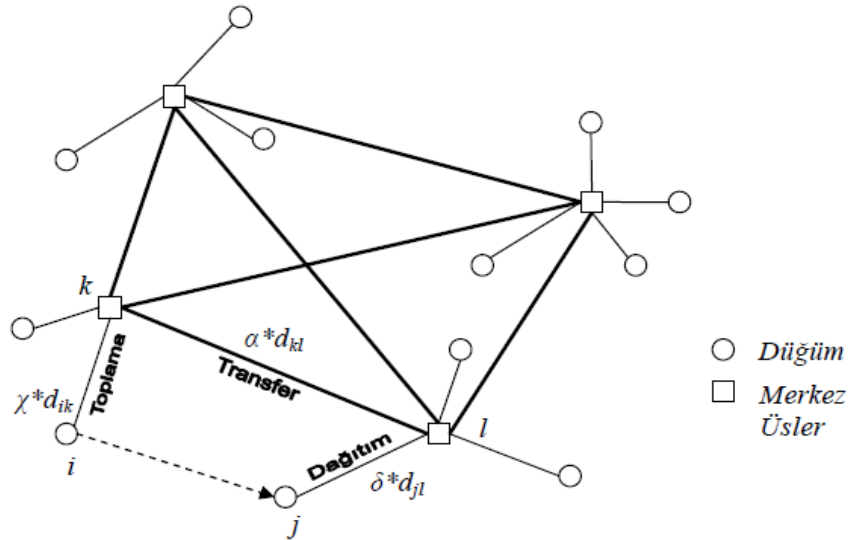
Şekil 2.1. Yıllara göre literatürdeki ADÜ çalışma sayısı (Alamur and Kara, 2008).

2.2. Ana Dağıtım Üssü Yerleşim Problemi Tanımı ve Sınıflandırılması

Ana dağıtım üssü (ADÜ) belirleme problemleri, akışların belli merkezlerde birleştirilip yeniden dağıtıldığı ulaştırma problemleridir. Bu problemlerin havayolları, posta teslim ağları ve telekomünikasyon gibi birçok uygulama alanı vardır (Tanrıkulu ve Kara, 2004). Ana dağıtım üssü yerleşim problemi, iki alt problemi kapsar (Bryan and O’Kelly, 1999):

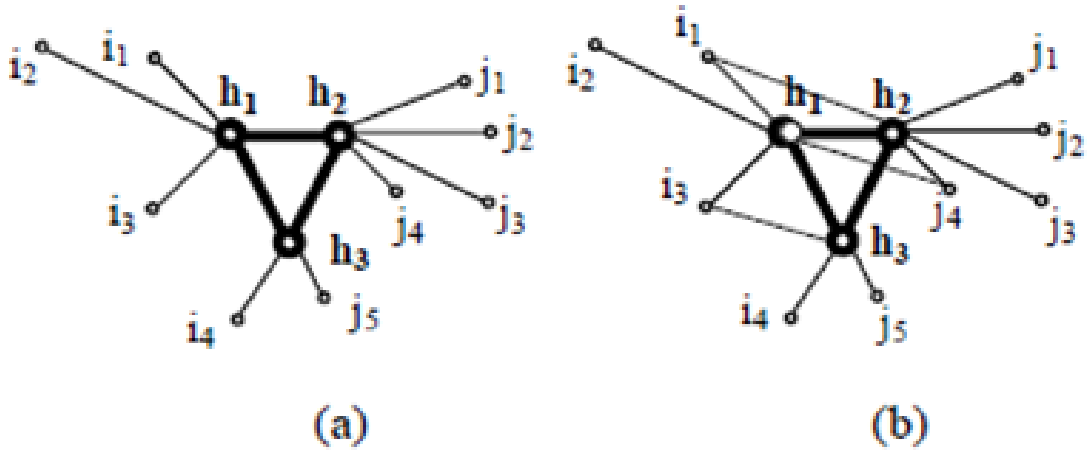
1. Ana dağıtım üssü yer seçimi
2. Düğüm noktalarının belirlenen ana dağıtım üsslerine atanması.

Genel bir problem, birbirleri arasındaki akışların değiştiği n şehri içerir. Akışlar; yolcular, kargo veya bilgi paketleri olabilir. İlgili n şehirden p tanesi ana dağıtım üssü olarak alınır ve kabul, işlem, yeniden dağıtım akışlarından dolayı birleştirme ve dağıtım merkezi olarak kullanılır. İkinci adımda ise ilgili ana üslere düğümler atanır. i . başlangıç yerinden j . varış yerine olan akış, atanan ana dağıtım üsleri aracılığıyla i 'den j 'ye rotalanır (Kara and Tansel, 2003). Şekil 2.2.'de ADÜ yerleşim probleminde toplama-dağıtım süreci gösterilmiştir.



Şekil 2.2. ADÜ yerleşim probleminde toplama-dağıtım süreci (Ermiş ve Ülengin, 2006)

ADÜ yerleşim problemlerinde tekli ve çoklu atama olmak üzere iki farklı atama yapısı vardır. Tekli atama, talep noktalarına giren ve çıkan akışlar tek bir ana dağıtım üssünü kullanacak şekilde yapılır. Çoklu atamada, ise bu akışlar birden çok ana dağıtım üssünü kullanabilirler (Sohn and Park, 1996). Çalışmaların büyük kısmı tekli-atama üzerinde yapılmıştır. Tekli atama ile ilgili bilinen en iyi modeller arasında Ernst ve Krishnamoorthy (1996), Skorin Kapov ve ark. (1996) sayılabilir. Çoklu atama sistemi ile ilgili ilk model Campbell tarafından 1991 yılında verilmiştir (Tanrıku ve Kara, 2004).



Şekil 2.3. Tek (a) ve çok (b) atamalı ADÜ yerleşim problemi örnek ağ yapıları (Özger ve Oktal, 2008)

Şekillerde i ve j düğüm noktalarını, h ADÜ'lerini göstermektedir. Tek atamalı yapıda örneğin i_1 düğümü tek bir ADÜ'ye (h_1) atanırken çok atamalı yapıda i_1 düğümü 1'den fazla ADÜ'ye (h_1 ve h_2) atanmıştır (Özger ve Oktal, 2008).

ADÜ yerleşim problemlerinde üç kabul söz konusudur (Özger ve Oktal, 2008):

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

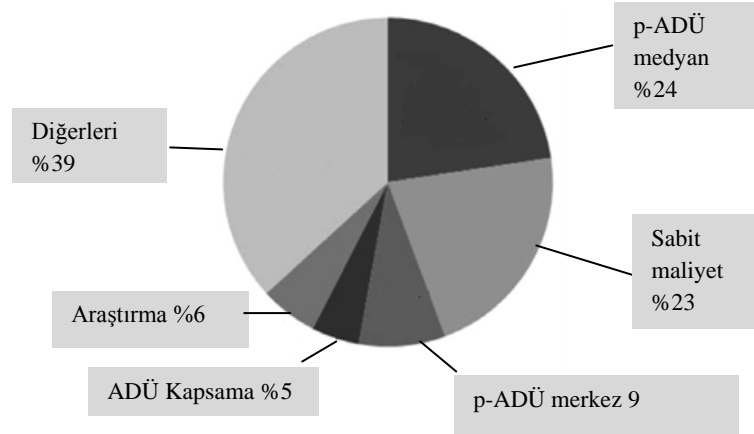
Ana dağıtım üssü yerleştirme probleminin farklı türleri vardır. Bir ana üssün toplayabileceği akışın miktarına ilişkin bir kapasite kısıtı olabilir; herhangi bir düğüm noktasını ana üs olarak kurulmasında sabit bir maliyet olabilir veya düğüm noktaları bir veya birden fazla ana üsse paylaştırılabilir. Eğer bütün akışlar ana üs aracılığıyla yapılmakta ve ana üs olmayan her bir düğüm noktası sadece bir ana üsse tahsis edilmişse, bu problem kapasite sınırlaması olmayan tek tahsisli ana dağıtım üssü yerleştirme problemi (*uncapacitated single allocation hub location problem- USAHLP*) adını alır. İlgili problemde, ana üs sayısı karar değişkenidir ve matematiksel modele bir de sabit maliyet eklenmiştir. Eğer ana üs sayısı sabit ise (p : ana üs), bu problem kapasite sınırlaması olmayan tek atamalı p -medyan ana dağıtım üssü yerleştirme problemi (*uncapacitated single allocation p -hub median problem-USA p HMP*) olarak isimlendirilmiştir. Bağlantı noktalarındaki akış miktarına ilişkin bir sınırlandırma da olabilir (*capacitated- CMAHLP*) veya her bir düğüm noktası birden fazla ana üsse tahsis edilmiş de olabilir (*multiple allocation -UMApHMP*) (Ermiş ve Ülengin, 2006). Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te ana dağıtım üssü problemlerinin çeşitlerine göre yayın sayıları ve oranları verilmiştir.

1. P-ADÜ medyan problemi (*P-Hub Median Problem*); toplam taşıma maliyetini en küçükleyecek şekilde p sayıda açılacak ana dağıtım üslerinin yerlerini belirleme ve başlangıç-varış noktaları arasındaki trafiğin rotalanması amacıyla düğüm noktalarını bu üslere atama problemidir (Campbell, 1994).

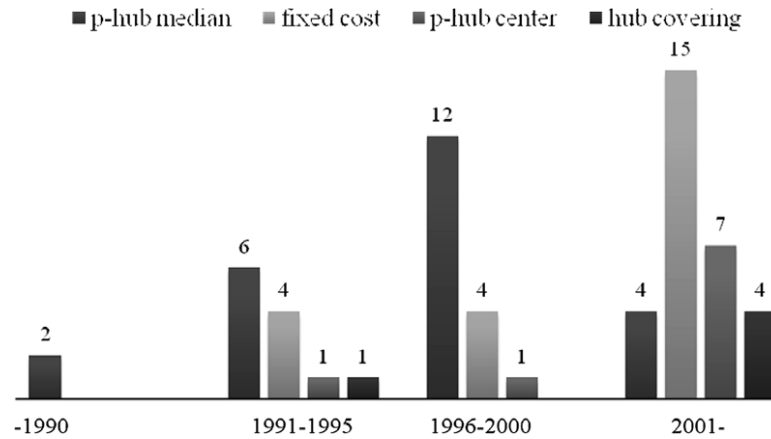
2. P-ADÜ merkez problemi (*P-Hub Center Problem*); p -merkez yerleşim problemine benzerdir. Amaç p sayıda açılacak ana dağıtım üssünün, en büyük seyahat maliyetini en küçükleyecek şekilde yerleşimi ve diğer düğüm noktalarının bu üslere atamalarının yapılması problemidir. Seyahat maliyeti olarak; başlangıç varış noktaları arasındaki seyahat maliyeti veya her bir bağlantı hattının seyahat maliyeti ele alınabilir (Campbell, 1994).

3. ADÜ kapsama problemi (*Hub Covering Problem*); tüm düğüm noktalarını kapsamak üzere seyahat maliyetinin belirli bir değere eşit veya altında olmasını sağlayacak ve açılacak ADÜ sayısını en küçükleyecek şekilde ana dağıtım üslerinin yerleşimi problemidir (Campbell, 1994).

4. Sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemi (*Hub Location Problem With Fixed Costs*); toplam maliyeti en küçükleyecek şekilde ana dağıtım üslerinin sayısını, yerlerini belirleme ve başlangıç varış noktaları arasındaki trafiğin rotalanması amacıyla düğüm noktalarını bu üslere atama problemidir (Campbell, 1994).



Şekil 2.4. Yayınların sunulan modeller temelinde oranı (Alamur and Kara, 2008).



Şekil 2.5. Sunulan modeller arasında yıllara göre yayın sayısı (Alamur and Kara, 2008).

ADÜ yerleşim problemi ilk olarak O’Kelly tarafından ortaya konulmuştur. ilgili çalışmasında düzlemsel yerleşim problemlerine yönelik model geliştiren O’Kelly, 1986 yılında ana dağıtım üssü belirleme problemini ana dağıtım üssü tesislerinin bir ya da iki üsle etkileşimi olarak düşünmüştür. İki-ana dağıtım üssü problemi için ilk olarak tüm

bölgeyi örtüşmeyen iki bölgeye ayıran ve daha sonra bir bölgedeki her düğümü aynı bölgede konumlandırılmış ana dağıtım üssüne atama kısıtı altında ele alarak ana dağıtım üslerin yerini bulan bir algoritma önermiştir (Sohn and Park, 1996). O’Kelly 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 (O’Kelly, 1986). Daha sonra O’Kelly ilk modelini geliştirmiş, 1987 yılında kesikli etkileşimli p-ADÜ belirleme problemi için ikinci dereceden tamsayılı formülü ve iki sezgisel algoritmayı sunmuştur. Birinci sezgisel, en yakın ana dağıtım üssü belirleme kuralını, ikinci sezgisel ise ana dağıtım üssü olmayan her düğümün birinci ya da ikinci en yakın komşusuna atanmasını test eder. İki ana dağıtım üssü modelinde ikinci sezgisel en uygun çözüme ulaşabilir, fakat bu üssel zamanlı bir algoritmadır. N adet düğüm olduğunda olası ana dağıtım üssü sayısı $1/2n(n-1)$ olur fakat ana dağıtım üssü olmayan düğümler için atanan olası örnek sayısı her bir sabit ana dağıtım üssü için $2^{(n-2)}$ ’dir. Bu nedenle ikinci sezgisel fazla sayıda düğüm içeren problemler için kullanılamayabilir.

O’Kelly’nin modelinde;

N düğümler kümesi,

i akışın başlangıç noktası,

j akışın varış noktası,

k potansiyel ADÜ noktası,

p açılacak ADÜ sayısı,

W_{ij} ; i ’den j ’ye akış miktarı,

C_{ij} birim taşıma maliyeti,

$\alpha \in (0,1)$ olmak üzere maliyet azaltma katsayısı,

X_{ik} ; i . düğüm k . ADÜ’ye atanmışsa 1, diğer durumlarda 0 değerini alan ikil değişken,

$X_{kk}=1$ olması k düğümünün ADÜ olduğunu,

$X_{kk}=0$ olması ise k düğümünün ADÜ olmadığını göstermek üzere;

O’Kelly’nin geliştirdiği model (O’Kelly, 1987):

$$(n - p + 1)X_{kk} - \sum_{ki} X_{ik} \geq 0 \quad \forall k \quad (2.1)$$

$$\sum_k X_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (2.2)$$

$$\sum_k X_{kk} = p \quad (2.3)$$

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

k.a.

$$Enk \sum_i \sum_j W_j \left(\sum_k X_{ik} C_{ik} + \sum_m X_{jm} C_{jm} + \alpha \sum_k \sum_m X_{ik} X_{jm} C_{km} \right) \quad (2.5)$$

Amaç fonksiyonu 2.5, toplam taşıma maliyetini en küçükler. 2.2 ve 2.4 numaralı kısıtlar her düğümün sadece bir ADÜ'ye atanmasına, 2.1 kısıtı ise atamaların sadece ana dağıtım üslerinden yapılmasına izin verir. ADÜ sayısı, 2.3 kısıt ile sınırlandırılmıştır.

2.2.1. P-ADÜ medyan problemi

Serim üzerinde yerleştirme (network location) problemlerindedir ve en yaygın tesis yerleşimi problemlerinden biri haline gelmiştir. Genellikle fabrika, depo, postahane, okul, kamu binalarının yerleştirilmesi durumlarında ortaya çıkar. Küme analizi gibi çalışmalarda da uygulaması görülür.

P-ADÜ medyan problemlerinde atamalar tek ve çok atamalı olmak üzere iki farklı şekilde yapılır.

2.2.1.1. Tek atamalı p-ADÜ meydan problemi

Tek atamalı p-ADÜ medyan problemine (Single allocation p-hub median problem) yönelik ilk doğrusal tamsayı modelini Campbell geliştirmiştir.

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

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

X_{ijkm} : i noktasından j noktasına gitmekte olan akışın k ve m ADÜ'lerini kullanım oranı olmak üzere model:

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

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

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

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

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

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

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

k.a.

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

2.6 kısıtı ADÜ sayısını p ile sınırlandırır. 2.7 kısıtı Y_k , 2.10 kısıtı Z_k karar değişkenlerinin 0 ya da 1 değerini almasını sağlar. 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. 2.13 amaç fonksiyonu toplam taşıma maliyetini en küçükler. Bu modelde (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 (Campbell, 1994). Daha sonra Skorin-Kapov ve ark., yeni bir matematiksel model geliştirmiştir. Campbell'in matematiksel modeline ek olarak C_{ijkm} noktalar arasındaki birim taşıma maliyeti değişkenini ve üç yeni kısıtı ekleyerek modeli geliştirmişlerdir (Skorin Kapov et al., 1996).

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

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

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

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

k.a.

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

2.15 ve 2.16 kısıtları, tüm akışların ADÜ'ler üzerinden gönderilmesini sağlar. Bu modelde (n^2) ikil olmak üzere (n^4+n^2) değişken ve $(2n^3+n^2+n+1)$ doğrusal kısıt ortaya çıkmaktadır. Bu çalışma tek atamalı p-ADÜ medyan problemi için "en iyi" çözümün elde edildiği ilk model olarak kabul edilmektedir.

O'Kelly ve ark. (1996), akışların simetrik olduğu kabulüyle ve toplam mesafeye göre pratik görünmeyen bazı güzergâhları çıkarmak amacıyla yeni tanımlamalar yaparak kesin çözüm veren matematiksel bir model geliştirmiştir. Ayrıca ADÜ'ler arası taşımada kullanılan maliyet azaltma katsayısının çözüm sonuçları üzerine etkisini araştırmış ve ideal ADÜ belirlenmesinde sabit maliyet ve maliyet azaltma katsayısı arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Daha sonra Sohn ve Park (1997), birim maliyeti ve bağlı olarak mesafeyi simetrik alarak daha ileri boyutta değişken ve kısıtın azaltıldığı bir model önermiştir.

Ernst ve Krishnamoorthy (1996), Skorin Kapov ve ark. (1996) ve O'Kelly (1996)'nın çalışmalarına göre daha az sayıda değişken ve kısıtın yer aldığı farklı

doğrusal tamsayı modeli ortaya koymuştur. Çalışmada X_{ijkm} değişkeni yerine ADÜ'ler arası akışlar için üç indisli karar değişkeni tanımlanmıştır. Ayrıca O_i ; i düğümünden çıkan toplam akışı, D_i ; i düğümüne gelen toplam akışı göstermektedir. Y_{kl}^i karar değişkeni, i düğümünden çıkarak k ve l ADÜ'lerinden geçen akış miktarı olarak tanımlanmıştır. $\chi \in (0,1)$ ve $\varepsilon \in (0,1)$ olmak üzere sırasıyla düğüm-ADÜ ve ADÜ-düğüm arasındaki taşımalardaki maliyet azaltma katsayısını göstermektedir. 2.1-2.4 kısıtlarıyla birlikte model:

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

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

k.a.

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

şeklinde. 2.19 kısıtı akış dengeleme kısıtıdır. 2.20 kısıtı Y_{kl}^i değişkeninin 0'dan büyük pozitif değer almasını sağlar. 2.21 amaç fonksiyonu ise toplam taşıma maliyetini en küçüklemektedir.

Ebery (2001), daha az sayıda karar değişkeni olan yeni bir karma tamsayılı doğrusal model geliştirmiştir. Geliştirdiği modelin sonuçlarını, Ernst ve Krishnamoorthy'nin 1998 yılında geliştirdiği en kısa yola dayalı sezgiselin sonuçları ile karşılaştırmış, yeni modelin daha etkin olduğunu ancak daha uzun çözüm zamanı gerektirdiğini vurgulamıştır.

Yaman (2009), tek atamalı p-ADÜ medyan ağını üç seviyede incelemiştir. Birinci seviye ana üslerin merkez ana üslere, ikincisi talep düğümlerinin ana üslere ve üçüncüsü talep düğümlerinin merkez ana üslere bağlanmasıdır. Amaç teslim süresi kısıtları doğrultusunda servis kalitesini arttırmaktır.

P-ADÜ medyan probleminin çözümünde sezgisel yöntem kullanan çalışmalar da mevcuttur. İlgili çalışmalar Tablo 2.1’de özetlenmiştir.

Tablo 2.1. Tek atamalı p-ADÜ medyan problemlerine ilişkin çalışmalar

Yıl	Yazarlar	Yaklaşım
1987	O’Kelly	İkili tamsayı program, HEUR1, HEUR2. Sezgisellerin ikisi de tüm ihtimallerin sıralanması ve düğüm noktalarının en yakın tesise atanması yaklaşımı
1990	Aykin	Optimal atamayı bulan prosedür
1991	Klincewicz	Tek atamalı p-ADÜ medyan probleminin çözümüne yönelik sezgisel yöntemler
1992	Klincewicz	Tabu sezgiseli ve GRASP sezgiseli
1994	Campbell	İlk doğrusal tamsayı model
1994	Skorin Kapov ve Skorin Kapov	Tabu sezgiseli
1995	O’Kelly, Skorin Kapov ve Skorin Kapov	Düşük sınır tekniği
1996	Campbell	MAXFLO ve ALLFLO sezgiselleri
1996	Ernst ve Krishnamoorthy	Tavlama benzetimi sezgiseli ile dal sınır algoritmasına dayalı bir sezgisel algoritma
1996	O’Kelly, Bryan, Skorin Kapov ve Skorin Kapov	Simetrik veri akışı için yeni model
1996	Skorin Kapov, Skorin Kapov ve O’Kelly	Yeni bir matematiksel model
1996	Smith, Krishnamoorthy ve Palaniswani	Hopfield yapay sinir ağı sezgiseli
1997	Sohn ve Park	İki ana üs yerleşim problemi
1998b	Ernst ve Krishnamoorthy	En kısa yol temelli dal sınır algoritması
1998	Pirkul ve Schilling	Lagrange gevşetmesi
1998	Sohn ve Park	Simetrik maliyetler için yeni bir model ve atama problemi
2000	Sohn ve Park	Üç ana üs yerleşim problemi
2001	Abdinnour-Helm	Tavlama sezgiseli
2001	Ebery	P=2 ve 3 için yeni model
2005	Eldedhl ve Hu	Lagrange gevşetmesi
2006	Kratika	Genetik algoritma
2007	Chen	Açılacak en fazla ana üs sayısını tabu listesi ve tavlama benzetimi kullanarak bulmak
2007	Randall	Karınca kolonileri sezgiseli
2009	Yaman	Teslim süresi kısıtları doğrultusunda servis kalitesini arttırmayı amaçlayan matematiksel model

Eldedhli ve Hu, 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 (Eldedhli and Hu, 2005).

2.2.1.2. Çok atamalı p-ADÜ meydan problemi

Çok atamalı p-ADÜ medyan problemlerini (Multiple allocation p-hub median problem) içeren çalışmalar Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Çok atamalı p-ADÜ medyan problemlerine ilişkin yapılan çalışmalar

Yıl	Yazarlar	Çalışmalar
1992	Campbell	İlk doğrusal tamsayı program
1994	Campbell	Çok atamalı p-ADÜ medyan probleminde akış eşik değerlerini ve bağlantı hatları için sabit maliyetleri dikkate alan model
1996	Campbell	Greedy-İnterchange sezgiseli
1996	Skorin Kapov, Skorin Kapov ve O'Kelly	Matematiksel model geliştirmiş
1998a	Ernst ve Krishnamoorthy	Model ve iki sezgisel geliştirmiş
1998b	Ernst ve Krishnamoorthy	En kısa yol problemi çözüm tekniklerine dayanan sezgisel Bunun yanında ve doğrusal programlama gevşetmesine dayalı sayımlama algoritması
1998	Sohn ve Park	En kısa yol probleminin çözüm tekniğine dayalı algoritma
1999	Sasaki, Suzuki ve Drezner	1-dur problemi
2004	Boland, Krishnamoorthy, Ernst ve Ebery	Süreç öncesi ve sıkıştırma kısıtları
2009	Campbell	Matematiksel model geliştirmiş

İlk çalışma Campbell tarafından 1992 yılında yapılmıştır. Modelde 2.2, 2.4, ve 2.17 kısıtları ile 2.18 amaç fonksiyonu yanında 2.22, 2.23 ve 2.24 kısıtları 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 (Campbell, 1992).

Campbell'in 1992'deki modeli 0-1 karma tamsayı 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} değişkeninin 0-1 tamsayı olması nedeniyle zordur. Bu modele tamsayı gevşetmesi uygulandığında tamsayı olmayan sonuçlar elde edilmektedir ve çok sayıda kısmi ADÜ ortaya çıkmaktadır. Bunu gidermek amacıyla Skorin Kapov ve ark.(1996), yeni bir karma tamsayı model geliştirmiştir. Modelde 2.2, 2.4, 2.17, 2.22 kısıtları ve 2.18 amaç fonksiyonu yanında Campbell'in modelinde yer alan 2.23 ve 2.24 kısıtları yerine 2.25 ve 2.26 kısıtları kullanılmıştır (Skorin-Kapov et al., 1996).

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

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

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. Geliştirilen matematiksel modelde düğüm sayısı arttıkça değişken ve kısıt sayısı kontrol edilemez şekilde büyür (Skorin-Kapov et al., 1996).

Ernst ve Krishnamoorthy, kesin çözümünü belirleyen dal-sınır algoritmasını (branch and bound algorithm) 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 (Ernst and Krishnamoorthy, 1998b). Literatürde bugüne kadar en büyük boyutlu problem çözümü bu algoritma ile elde edilmiştir.

Campbell, kuzey Amerika'daki kamyon ile taşımacılık hizmeti ağını içeren ve servis düzeyinin her başlangıç ve bitiş çifti arasındaki maksimum seyahat süresi kısıtı ile kısıtlanan bir problem önermiştir (Campbell, 2009).

2.2.2. Sabit maliyetli ADÜ yerleşim problemi

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. İzleyen alt bölümde öncelikle kapasite sınırı olmayan ADÜ yerleşim problemleri ardından kapasite sınırı olan ADÜ yerleşim problemleri incelenmiştir. p-ADÜ medyan problemine benzer şekilde bu problem tipleri için de tek ve çok atamalı yapılar söz konusudur (Özger ve Oktal, 2008).

Çalışmalarda ADÜ açma maliyeti "sabit maliyet (fixed cost)" olarak yer almaktadır.

2.2.2.1. Kapasite sınırı olmayan ADÜ yerleşim problemi

Kapasite sınırı olmayan ana dağıtım üssü yerleşim problemini (Uncapacitated hub location problem) içeren çalışmalar Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Kapasite sınırı olmayan ana dağıtım üssü yerleşim problemlerine ilişkin çalışmalar

Atama çeşiti	Yıl	Yazarlar	Çalışmalar
Tekli atama	1992	O'Kelly	Kapasite sınırı olmayan sabit maliyetli tek atamalı ADÜ yerleşim problemine yönelik kareli tamsayı model
	1994	Campell	Toplam maliyeti en küçükleyecek şekilde ADÜ sayısının, yerlerinin, atamalarının belirlenmesini içeren model
	1998	Abdinnour-Helm ve Venkataramanan	Dal sınır ile genetik algoritmaya dayalı sezgisel
	1998	Abdinnour-Helm	Genetik algoritma ve yasaklı arama sezgisellerine dayanan bir melez sezgisel
	2005	Topçuoğlu ve ark.	Genetik algoritmaya dayalı sezgisel
	2007	Cunha ve Silva	Genetik algoritma
	2007	Chen	Tavlama benzetimi ve yasaklı aramaya dayalı bir melez sezgisel
Çoklu atama	1994	Campell	İlk tamsayılı model
	1996	Klinvewicz	Dal sınır algoritması
	2002	Mayer ve Wagner	Dal sınır algoritması
	2004	Boland ve ark.	Kısıt sıkılaştırma
	2004	Hamacher ve ark.	Çok yüzlü bir model
	2005	Marin	Gevşetme ve kesme algoritması (Relax and cut algorithm)
	2006	Marin ve ark.	Yeni model
	2006	Camargo ve ark.	Benders ayrışım algoritması
	2007	Canovas ve ark.	Dal sınır algoritması

Topçuoğlu ve ark. (2005), tek atamalı ADÜ yerleşim probleminin çözümüne yönelik olarak genetik algoritmaya dayalı sezgisel geliştirmiştir. Abdinnour-Helm'in

ortaya koyduğu melez sezgiselden çözüm süresi ve toplam taşıma maliyeti yönünden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Chen (2007), tavlama benzetimi ve yasaklı aramaya dayalı bir melez sezgisel ortaya koymuştur. Topçuoglu ve ark. (2005)'de geliştirilen sezgisele göre çözüm süresi ve kalitesi yönünden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Kapasite sınır olmayan çok atamalı ADÜ yerleşim probleminin çözümüne yönelik olarak Klincewicz (1996), dal sınır algoritması ve eşlenik artışa dayalı algoritma geliştirmiştir.

Marin ve ark. (2006), 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. Önışlem problemin boyutunu küçültmüştür. Yazarlar geliştirilen modelleri CAB (Civil Aeronautics Board) ve AP (Australia Post) verilerini kullanarak test etmiştir.

2.2.2.2. Kapasite sınırı olan ADÜ yerleşim problemi

Kapasite sınırı olan ana dağıtım üssü yerleşim problemini (Capacitated hub location Problem) içeren çalışmalar Tablo 2.4'de verilmiştir.

Aykin (1994), 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 sınır algoritması ile açgözlü karşılıklı değiştirme sezgiselleri geliştirilmiştir.

Ernst ve Klishnamoorthy (1999), kapasite sınırı olan tek atamalı ADÜ yerleşim problemlerinin çözümüne yönelik olarak tavlama benzetimine dayalı sezgiseller geliştirmiştir. Üst sınırları belirlemede doğrusal programlama tabanlı dal sınır çözüm yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca dal sınır algoritmasının performansını artırmak üzere

önişlem süreci ortaya konmuştur. Geliştirdikleri sezgiseli AP verilerini kullanarak test etmişlerdir.

Tablo 2.4. Kapasite sınırı olan ana dağıtım üssü yerleşim problemlerine ilişkin çalışmalar

Atama çeşiti	Yıl	Yazarlar	Yaklaşımlar
Tekli atama	1994	Campell	İlk tamsayılı model
	1994	Aykin	Yeni model
	1999	Ernst ve Krishnamoorthy	Yeni model, iki sezgisel ve dal sınır algoritması
	2005	Labbe ve ark.	Dal sınır algoritması
	2007	Costa ve ark.	Literatür taraması
Çoklu atama	1994	Campell	İlk tamsayılı model
	2000	Ebery ve ark.	Yeni model, bir sezgisel ve dal sınır algoritması
	2003	Sasaki ve Fukushima	Dal sınır algoritması
	2004	Boland ve ark.	Kısıt sıkıştırma
	2005	Marin	Yeni matematiksel model

Ebery ve ark. (2004), doğrusal programlamaya dayalı dal sınır algoritması geliştirmiştir. Çalışmada ayrıca üst sınırların belirlenmesinde en kısa yol problemi çözüm tekniklerine dayanan bir sezgisel ortaya konmuştur.

Boland ve ark. (2004), problemin en iyi çözümlerinin karakteristiklerini inceleyerek önişlem teknikleri ve sıkılaştırma kısıtları geliştirmiştir. Problemin daha kısa sürede çözülebildiği belirtilmiştir.

Marin (2005), üçgen eşitsizliği prensibini gevşeterek karma tamsayılı doğrusal model geliştirmiştir. 50-75 düğümlü problemlerin çözülebildiğini vurgulamış ve dal sınır algoritmasına dayalı bir sezgisel geliştirmiştir. Çalışmada alt ve üst sınırları belirlemek için doğrusal programlama gevşetmesi uygulanmıştır.

2.2.3. P- ADÜ merkez yerleşim problemi

P-ADÜ merkez problemleri minimax tipte ve serim üzerinde herhangi bir talep noktasıyla en yakınındaki tesis arasındaki en büyük uzaklığı en küçükleyen tesisler kümesinin bulunmasına yönelik bir problemdir. Tipik uygulamalarına örnek; itfaiye istasyonlarının veya sağlık merkezlerinin yerleştirilmesidir. Talep noktaları nüfusla veya acil bir durumdaki hasar riskiyle ağırlıklandırılabilir. Değişken p değerleri için problem NP-zordur. P-ADÜ merkez problemlerini içeren çalışmalar Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5. P-ADÜ merkez problemlerine ilişkin çalışmalar

Yıl	Yazarlar	Çalışmalar
1994	Campell	İlk matematiksel model
2000	Kara ve Tansel	Doğrusal modeller
2001	Pamuk ve Sepil	Tek-atamalı p-ADÜ merkez problemi için ilk sezgisel yöntem
2002a	Ernst ve ark.	Tek atamalı p-ADÜ merkez problemi için yeni bir model
2002b	Ernst ve ark.	Yeni modeller ve beş sezgisel
2003	Baumgartner	Dal sınır algoritması
2006	Hamacher ve Meyer	İkili araştırma yöntemi
2007a	Campell	Kapasiteli ve kapasitesiz alt problemlerin her ikisi için de tam sayılı model
2007b	Campell	P-ADÜ merkez problemi için herhangi bir başlangıç ve bitiş çifti arasındaki seyahat süresinin en küçüklenmesine yönelik model
2008	Meyer	İki evreli algoritma
2009	Ernst ve ark.	Yeni matematiksel model

İlk kez Campbell 1994 yılında tanımlamış ve ADÜ literatüründe p-ADÜ merkez probleminden söz etmiştir. Ayrıca p-ADÜ merkez problemlerinin üç farklı tipini tanımlamıştır (Campbell, 1994):

1. Herhangi bir başlangıç-varış çiftinin en büyük maliyetini en küçüklemek.
2. Herhangi bir tek bağlantıdaki (başlangıçtan ana üsse, ana üstten ana üsse ve ana üstten varış noktasına) geçiş için en büyük maliyetin en küçüklenmesi
3. Bir ana üs ve bir başlangıç/varış arasındaki geçişin en büyük maliyetinin en küçüklenmesi.

Campell'e göre, p-ADÜ merkez probleminin ilk tipi, kolay bozulan ya da süreye duyarlı maddeler için önemlidir. İkinci tip ADÜ problemi için bir örnek ise ADÜ'lerde ısıtma ve soğutma gibi korumaya/işlemlere ihtiyaç duyan mallardır. Üçüncü tip için ise ikinci tip için verilen, ana dağıtım üssünden-ana dağıtım üssüne bazı özel nitelikte bağlantıları olduğu bilinen örnekler verilebilir. Campell (1994) p-ADÜ merkez probleminin üç tipi için tek ve çok atamalı yerleşim tipinin her ikisi için model sunmuştur.

Ernst ve ark., ana üsler belliyken tek atamalı p-merkez ADÜ probleminin alt problemleriyle çalışmıştır. NP-zor problem olduğunu göstererek doğrusal programlama modellerini sunmuştur. Ayrıca beş sezgisel algoritma ile önermiştir (Alamur and Kara, 2008).

Meyer, tek atamalı p-ADÜ merkez probleminin çözümü için iki evreli bir algoritma önermiştir. Birinci evre, dal sınır algoritması temelinde en kısa yol kullanılarak olası ana üs kombinasyonlarının hesaplanmasını, ikinci evre ise atamaları içerir. Ayrıca karınca kolonileri optimizasyonu ile dal sınır algoritması için çok iyi bir üst sınır elde etmiştir (Meyer, 2008).

Ernst ve ark. (2009), kapasitesiz tek ve çok atamalı p-ADÜ merkez problemini ele alır. Her iki atama için matematiksel model önerilmiş ve çok atamalı p-ADÜ merkez problemi dal-sınır algoritmasıyla çözülmüştür.

2.2.4. Ana dağıtım üssü kapsama problemi

Ana dağıtım üssü kapsama problemlerini içeren çalışmalar Tablo 2.6'da verilmiştir. Tesis kapsama problemlerinde, talep noktaları, kendi taleplerine hizmet verebilen tesislerin belirlenmiş bir uzaklığı içindeyse noktalarının kapsanmasına dikkat edilir. P-merkez ADÜ problemindeki gibi, Campell ana dağıtım üsleri için üç kapsama kriteri tanımlamıştır (Alamur and Kara, 2008):

- k ve m yolu üzerinden i 'den j 'ye maliyet belirlenen bir değeri geçmezse
- k ve m yolu üzerinden i 'den j 'ye yolundaki her bağlantı için maliyet belirlenen bir değeri geçmezse
- her başlangıç-ana üs ve ana üs-variş yeri bağlantıları ayırık belirlenmiş değerlerle karşılaştırılırsa

başlangıç-variş çifti (i,j) , m ve k ana üsleri tarafından kapsanır.

Tablo 2.6. Ana dağıtım üssü kapsama problemlerine ilişkin çalışmalar

Yıl	Yazarlar	Çalışmalar
1994	Campell	Ana dağıtım üssü kapsama probleminin değişik yapıları
2003	Kara ve Tansel	Tek atamalı ana dağıtım üssü probleminin çeşitli doğrusal modelleri
2004b	Wagner	Tekli ve çoklu atamalı ana dağıtım üssü kapsama probleminin her ikisi için yeni modeller
2006	Hamacher ve Meyer	Tekli ve çoklu atamalı ana dağıtım üssü problemleri için modeller
2008	Çalık ve ark.	Yeni bir model
2009	Qu ve Weng	Çok atamalı ana dağıtım üssü kapsama problemi üzerinde servis akışlarını maksimum yapacak optimal p ana üs sayısını bulan model

$N=\{1, \dots, n\}$ şehirlerin kümesi ve $t_{ij}=t_{ji}$, i .düğüm ve j .düğüm arasındaki yolculuk zamanıdır. $t_{ij} + t_{jk} \geq t_{ik}$ (tüm i, j, k için) olduğu varsayılır. Yerleri belirlenmiş düğümlerin kümesi $H \subset N$ ve $a(i) \in H$ olarak gösterilir. α ($0 \leq \alpha \leq 1$) ana dağıtım üssünden ana dağıtım üssüne taşıma için düşünülmüş bir faktördür ve β şehirlerin her hangi bir çifti arasındaki seyahat zamanı için önceden belirlenmiş bir zaman kısıtı olarak kabul edilir ve yarıçapı kapsadığı için tercih edilir (Hamacher and Meyer, 2006).

X_{ik} ; i . düğüm k . düğüme bir ana dağıtım üssünden servis veriyorsa 1, diğer durumda 0'dır. X_{kk} , Eğer k . düğümde ana dağıtım üssü varsa 1, diğer durumda 0'dır. Ana dağıtım üssü kapsama problemlerinin tamsayılı modeli aşağıdaki gibidir (Hamacher and Meyer, 2006):

$$(t_{ir} + \alpha t_{rk} + t_{jk}) X_{ir} X_{jk} \leq \beta \quad \forall i, j, k, r \quad (2.27)$$

$$\sum_k X_{ik} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2.28)$$

$$X_{ik} \leq X_{kk} \quad \forall i, k \in N \quad (2.29)$$

$$X_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i, k \in N \quad (2.30)$$

k.a.

$$Enk \sum_k X_{kk} \quad (2.31)$$

2.28 ve 2.29 kısıtlarında her düğümün tam olarak bir ana dağıtım üssüne tayin edildiğinde 2.27. kısıt yolculuk zamanlarında zaman sınırının karşılanacağını gösterir. 2.29. kısıt k düğümünde bir ana dağıtım üssü yoksa bir atamanın olmayacağını ifade eder. 2.30. kısıt X_{ik} 'nin 0 yada 1 değer almasını, 2.31 amaç fonksiyonu en az sayıda ana üs açılmasını sağlar. HC, n^2 tane ikili değişkene ve $(n^4 + n^2 + n)$ kısıta sahip bir ikili programdır.

Kara ve Tansel (2003), tekli atamalı ana üs grup kapsama problemini çalışmış ve onun NP-zor olduğunu bulmuştur. Yazarlar, yeni bir doğrusal model sunmanın yanı sıra özgün üç farklı ikinci dereceden modelin doğrusallaştırmalarını yapmış ve karşılaştırmışlar. Yeni modelin performansı sunulan diğer doğrusal modellerin tümünden üstün çıkmıştır.

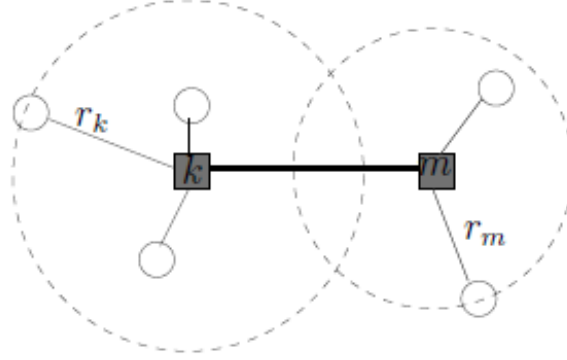
Wagner (2004b), tekli ve çoklu atamalı ana üs kapsama problemlerinin her ikisi için yeni modeller önermiştir. Modeller Kara ve Tansel'in modelinden daha az kısıt ve değişken gerektirir. İlaveten bazı kısıtların toplanması için bir yöntemle bu modelleri iyileştirmiştir.

Hamacher ve Meyer, ana dağıtım üssü problemlerinin çeşitli modellerini karşılaştırarak uygun çokyüzlüleri analiz etmişler ve belirlenmiş bazı geçerli eşitsizlikleri tanımlamışlardır. Verilen bir kapsayan yarıçap β için ana üs kapsama problemini çözmüşler ve sonrasında p- ADÜ merkez probleminin en iyi çözümünü elde etmek için β 'yı tekrarlı azaltmışlardır. USApHCP modeli (Hamacher and Meyer, 2006):

$$X_{ik} = \begin{cases} 1; & i. \text{ düğüm } k. \text{ ana üsse atanmış ise} \\ 0; & d. d \end{cases}$$

$$X_{kk} = \begin{cases} 1; & k. \text{ düğüm ana üs olarak seçilmiş ise} \\ 0; & d. d \end{cases}$$

olmak üzere model,



$$z \geq r_k + r_m + \alpha c_{km} \quad \forall k, m \in \{1, \dots, n\} \quad (2.32)$$

$$r_k \geq c_{ik} X_{ik} \quad \forall i, k \in \{1, \dots, n\} \quad (2.33)$$

$$\sum_{k=1}^n X_{kk} = p \quad (2.34)$$

$$\sum_{k=1}^n X_{ik} = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad (2.35)$$

$$X_{ik} \leq X_{kk} \quad \forall i, k \in \{1, \dots, n\} \quad (2.36)$$

$$X_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i, k \in \{1, \dots, n\} \quad (2.37)$$

$$r_k \geq 0 \quad \forall k \in \{1, \dots, n\} \quad (2.38)$$

k.a.

$$Enk Z \quad (2.39)$$

2.32 kısıtı; ana üssün kendi yarıçapı kullanılmasıyla herhangi iki ana üs arasındaki bir yolun maksimum maliyeti olan z amaç fonksiyonunu tanımlar. 2.36. ve 2.33.

kısıtlar; sırasıyla k . ana üs ise ve k ile i düğümü arasındaki c_{ik} maliyet ise, k 'nın yarıçapı r_k en büyükse i .düğüm sadece k 'ya atanacaktır. 2.35. kısıtla tüm düğümlerin kesinlikle bir ana üsse atanması sağlanırken 2.34. kısıtla p ana üs atanması garanti edilir (Hamacher and Meyer, 2006).

Çalık ve ark. (2008), tek atamalı ana dağıtım üssü kapsama problemini çalışmış ve tam sayılı bir model önermiştir. Çalışmadaki amaç ana üsler arasındaki bağlantıları kurmak ve ana üsleri bulmaktır. Tabu arama algoritması önermiş ve performansını ölçmüştür.

2.3. ADÜ Yerleşim Problemi Havayolu Taşımacılığı Uygulamaları

Topla-dağıt ağ yapılarının önemli bir uygulama alanı havayolu ile yolcu/kargo ve hızlı malzeme taşımacılığıdır. Çalışmanın bu bölümünde havayolu yolcu ve kargo taşımacılığı yanında hızlı malzeme taşımacılığı konusunda günümüze kadar yapılmış çalışmalardan incelenerek ulaşılabilenler Tablo 2.7'de verilmiştir.

Flynn ve Ratick, Essential Air Services programına yönelik bir çalışma yapmıştır. Havayolu ulaşım sisteminde akışların ADÜ'ler üzerinden gönderilmesi kabulünü gevşeterek, maksimum noktaya ulaşımı sağlamak ve havayolu maliyetlerini en küçüklemek amaçlarını kapsayan bir model ortaya koymuştur (Özger ve Oktal, 2008).

Hall (1989), 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 (Özger ve Oktal, 2008).

Kuby ve Gray (1993); Flynn ve Ratick'in 1988 yılındaki 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 (Özger ve Oktal). Yük faktörü, ölçek ekonomisi, süre kısıtları ve mesafe arasındaki ilişkileri ele alan bir sistem oluşturulmuştur.

Tablo 2.7. Havayolu taşımacılığına ilişkin çalışmalar

Yıl	Yazarlar	Çalışmalar
1988	Flynn ve Ratick	Havayolu ulaşım sisteminde akışların ADÜ'ler üzerinden gönderilmesi kabulünü gevşeterek, maksimum noktaya ulaşımı sağlamak ve havayolu maliyetlerini en küçüklemek amaçlarını kapsayan model
1989	Hall	Hızlı paket taşımacılığında süre kısıtının ağ tasarımı üzerine etkisini inceleyen model
1989	Daskin ve Panayotopoulos	Mevcut bir topla-dağıt ağ yapısında karı en büyülenecek şekilde güzergâhlara uçak atama modeli ve Lagrange gevşetmesine dayalı sezgisel
1993	Kuby ve Gray	Batı Amerika'da paket taşımacılığı yapan Federal Express şirketi için toplam ağ maliyetini en küçükleyen karma tamsayılı model
1993	Dobson ve Lederer	Bir havayolu şirketinin mevcut bir topla-dağıt ağ yapısında karını en büyüleyecek şekilde uçuş çizelgesi ve güzergâh fiyatlarını belirleyen model
1995	Aykin	Havayolu ile yolcu taşımacılığına yönelik düğüm noktaları arasında doğrudan bağlantıların, 1-ADÜ ve 2-ADÜ'nün kullanıldığı 3 farklı topla-dağıt ağ yapısı
1996	Jaillet, Song ve Yu	Topla-dağıt ağ modeli
1997	Sasaki ve ark.	Havayolu ile yolcu taşımacılığına yönelik kat edilen toplam mesafeyi en küçükleyen tek duraklı p-ADÜ yer seçimi problemi
1998	O'Kelly	Hızlı paket taşımacılığı için ADÜ'lerin konumlarının belli olmadığı topla-dağıt ağ yapısında büyük ve küçük ADÜ'lerin kullanıldığı modeller
1998	O'Kelly ve Bryan	Taşıma maliyetlerinin akış miktarına bağlı olduğu model
1999	Marianov	Havayolu ve kargo taşımacılığına uygulanabilir, rekabet ortamında müşteri kazanma odaklı p-ADÜ yer seçimi ve ataması problemine yönelik model
2001	Drezner ve Drezner	Havayolu taşımacılığında yolcunun kat edeceği toplam mesafeyi en küçüklemeyi amaçlayan tek duraklı p-ADÜ yer seçimi problemi
2008	Özger ve Oktal	Hava yolu işletmelerinin farklı uçuş güzergahlarına göre en uygun uçağın belirlenmesi probleminin çözümüne yönelik bir model

Dobson ve Lederer (1993), Daskin ve Panayotopoulos'un 1989 yılındaki çalışmasını "müşterinin seçimini" de ekleyerek genişletmiştir. Müşteri talebi, hizmet kalitesi ve fiyatların bir fonksiyonudur. Hizmet kalitesi, uçuş kalitesi ve uçuş uzunluğu ile ilişkilidir. Çalışmada bir sezgisel de ortaya konmuştur (Özger ve Oktal)..

O'Kelly ve Bryan (1998), temel ADÜ yer seçimi ve ataması problemlerinde ADÜ'ler arası taşıma maliyetleri akış miktarından bağımsız olarak ele alındığında sadece toplam maliyetin hesaplanmasında değil 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.

Marianov ve Serra (2003), 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. Modelin karmaşıklığı nedeniyle yasaklı aramaya dayalı bir sezgisel ortaya konmuştur.

Özger ve Oktal'ın (2008) çalışmasında, uçak tiplerinin ve havayolu taşımacılığına ait sektörel özelliklerin ADÜ yerleşimleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Uçakların performansları ve hava taşımacılığının sektörel özelliklerinden yola çıkılarak kapasite sınırı olmayan çok atamalı p-ADÜ medyan problemine yönelik karma tamsayılı doğrusal model geliştirilmiştir.

Yapılan çalışma İnsansız Hava Araçlarıyla ilgili olduğundan izleyen kısımda uçak rotalama problemi tanıtılmıştır.

BÖLÜM 3

UÇAK ROTALAMA PROBLEMİ

3.1. Uçak Rotalama Probleminin Önemi

Orville ve Wilbur Wright'ın ilk uçuşundan bu yana 100 yıllık süreç içerisinde havayolu taşımacılığı global endüstri içerisinde büyüyen en büyük sektörlerden biri olmuştur. Daha önemlisi havayolu taşımacılığı, ülkeler ve insanlar arasındaki ekonomik ve kültürel bağları korumak ve geliştirmek için önemi artan bir araç olmuştur. Son yıllarda tüm dünyada havayolu şirketi sayılarının ve yolcu kapasitelerinin artışlarına paralel olarak uçuşların planlanmasıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle 90'lı yılların sonlarında ve 2000'li yıllarda yapılmış olan bu çalışmalar, havayolu şirketlerinde uçuşların planlanmasının giderek önem kazandığının bir kanıtıdır (Taş, 2007).

3.2. Uçak Rotalama Problemi ve Yapılmış Çalışmalar

Havayolu planlaması birbirine bağımlı ve uğraştırıcı birçok planlama aşamasından oluşur. Uçuş çizelgesi oluşturma, filo atama, uçak rotalama, ekip çizelgeleme ve ekip atama; bu planlama aşamalarında karşılaşılan en temel problemlerdir. İlgili problemlerin en zorlarından biri de uçak rotalama problemidir.

Filo problemlerinde, uçuşlarda hangi tip filonun uçağı kullanılacağına karar verilir. Uçak rotalama probleminde ise, bir filo içindeki her bir uçağın ardışık olarak gerçekleştireceği uçuş rotaları belirlenir (Çankaya ve Arıkan, 2009).

Uçak çizelgeleme problemi bir dizi karar sürecinden oluşur. İlk olarak, filoların uçuş rotalarına ataması gerçekleştirilir. Daha sonra, her uçak için uçağın rotalama kısıtları dikkate alınarak uçuş rota planları oluşturulur. Uçuş çizelgeleme çalışmaları, uçuş operasyonlarının birkaç ay öncesinde başlar ve uçuşun gerçekleştiği an son bulur.

Bir havayolu şirketi, belirli bir zaman aralığında çeşitli kaynak ve hedefleri olan bir dizi uçuş seferi oluşturmak zorundadır. Bu ve benzeri konular hakkında önceden yapılmış olan çalışmalar kesin çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar ve sezgisel yöntemlerin (heuristics) kullanıldığı çalışmalar olarak iki farklı kategoride incelenebilirler.

3.2.1. Kesin çözüm yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar

Kesin çözüm veren yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar Tablo 3.1’de özetlenmiştir:

Tablo 3.1. Kesin çözüm veren yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar

Yıl	Yazarlar	Problem	Kullanılan yöntem
1997	Clarke ve ark.	Filo atama problemi	Doğrusal programlamada ikil (dual) model en dik kenar (steepest-edge) simpleksi ile çözülmüştür.
		Uçuş rotasyonu problemi	Lagrange gevşetmesi ve alt eğiklik (subgradient) optimizasyonu
1997	Mathaisel	Uçuş planları ve uçaklarının uçuş çizelgeleri	Karar destek sistemi
1997	Desaulniers ve ark.	Günlük uçuş çizelgeleme ve rotalama	Dal sınır algoritması
1999	Jarrah ve Strehler	Aktarmasız uçuşların optimizasyonu	En karlı doğrudan uçuş rotaları belirleme
1999	Kontogiorgis ve Acharya	Filo atama problemi	Uzmanlaştırılmış filo atama modeli
2000	Hsu ve Wen	Uçuşların havayolu şirketine ve/veya yolculara olan maliyetini en küçüklemeyi amaçlayan bir model	Grey Teorisi ve çok amaçlı programlama
2000	Bolat	Uçuş çizelgesi ve uçak tiplerine göre uçakların havaalanlarındaki giriş kapılarına atanması problemi	Giriş kapılarının kullanılmadığı sürelerin varyansını en küçükleyecek 0-1 tamsayılı model
2000	Bruinsma ve ark.	Avrupa’daki büyük şehirlerde bulunan havaalanlarının performansları karşılaştırılmış	Matematiksel programlama teknikleri
2000	Rexing	Filo atama modeli	Matematiksel programlama teknikleri
2001	Filar ve ark.	Uçuşlardaki küçük bir varış gecikmesinin sebep olduğu olayları ele alan modeller	Matematiksel programlama teknikleri
2001	Drezner ve Drezner	Havayollarında karşılaşılan önemli aktarma merkezlerinin seçimi	Matematiksel programlama teknikleri
2001	Stojkovic ve ark.	Uçuş personeli, dinlenme süreleri, yolcu aktarmaları ve bakımın ele alındığı uçuş planlaması problemi	Ağ modelleri kullanılarak çözülmüştür
2002	Barnhan ve ark.	Uçuş ayaklarına uçak tiplerinin atanmasını sağlayan model	Matematiksel programlama teknikleri
2003	Pulugurtha ve Nambisan	Havayolunun kar elde etmesini sağlama	Doğrusal tamsayılı programlama ve genetik algoritma

Tablo 3.1. (devam) Kesin çözüm veren yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar

Yıl	Yazarlar	Problem	Kullanılan yöntem
2004	Ghoseiri ve ark.	Trenlerin yakıt sarfiyatını düşürme	Çok amaçlı matematiksel programlama
2005	Huang	Olağan dışı durumlarda ortaya çıkabilecek toplam yolcu bekleme süresini en küçükleyecek gecikme-iyileştirme karar verme yöntemi	İki matematiksel model kullanılmıştır
2005	Sherali ve ark.	Havaalanında uçuşların çizelgeme kavramları, modelleri ve algoritmaları	Matematiksel programlama teknikleri
2005	Hsu ve Wen	Uçakların uçuş sıklıklarının belirlenmesi problemi	Havayolu pazar payı, uçuş sıklığı belirleme ve bulanık mantık tabanlı rekabet etkileşim modelleri kullanılmıştır
2005	Wu	Uçuşların tam zamanında gerçekleşmesi ve işletim güvenliğinin ele alındığı uçuş çizelgelemesi	Benzetim çalışmasıyla güvenilirlik esneklik oranının tespit edilmesi
2006	Sherali ve ark.	Havayolu filosu atama kavramları, modelleri ve algoritmaları	Matematiksel programlama teknikleri
2006	Wang ve Regan	Yapılacak bir uçuş için uçaklar arasında değişime gidilmesi problemi	Dinamik karlılığı hedefleyen matematiksel model
2006	Pilla	Uçuşların yolcu talepleri de göz önünde bulundurularak uçaklara atanması	İki aşamalı belirsiz programlama modeli
2006	Bélanger ve ark.	Periyodik filo atama problemi	Doğrusal olmayan tamsayılı ağ akış modeli dal-maliyet yöntemiyle çözülmüştür
2006	Lin	Önemli uçuş noktaları arasındaki rekabetin ekonomik etkilerini azaltılma	Ağ modeli
2009	Dumas ve ark.	Yolcu akışını ve uçak atamasını içeren problem	Matematiksel programlama teknikleri
2009	Yang	Stokastik hava taşımacılığı için ana üs belirleme ve uçuşların rotalanması	Matematiksel programlama teknikleri

Clarke ve ark.(1997), havayolu şirketlerinin uçuş çizelgelemesiyle önceden belirlenen uçuşlara filo ataması yapmıştır. İlgili çalışmada filo atanması problemi öncelikli olarak bir temel model kullanılarak ele alınmış daha sonra bakımlarla ilgili kısıtlar ve mürettebatların çalışmaları ile ilgili bazı kısıtlar da eklenerek çözülmeye çalışılmıştır.

Mathaisel (1997), havayolu şirketlerinin uçuş planlarını ve uçaklarının uçuş çizelgelerini yaparken yardımcı olabilecek ve farklı senaryolar altında da çalışmayı sürdürebilecek optimizasyon destekli bir karar destek sistemi kurulmuş ve havayolu şirketlerin bu ve buna benzer çalışmalara olan ihtiyacının ne kadar fazla olduğunu ortaya koymuştur.

Jarrah ve Strehler (1999), çalışmada özellikle küçük yerleşim yerleri arasında seyahat eden yolcuların gidecekleri yere direkt uçamaması ve farklı uçaklar arasında aktarma yapma gerekliliklerini göz önünde bulundurarak, günümüzde bazı havayolu şirketlerinin de özellikle üzerinde durduğu aktarmasız uçuşların optimizasyonu konusunu ele almıştır.

Kontogiorgis ve Acharya (1999), hafta içi filo atama çizelgelemesine oranla daha zor olan hafta sonu çizelgelemesi üzerinde durulmuştur.

Hsu ve Wen (2000), çalışmada öncelikle müşteri memnuniyetini dikkate alan ve hizmet düzeyini arttırmaya yönelik bir ağ tasarımı gerçekleştirmiştir.

Bolat (2000), uçakların havaalanlarındaki giriş kapılarına atanmasının uçuş çizelgelerine, uçuşların bu çizelgeye uygun şekilde gerçekleştirilebilmesine, uçakların hizmet ihtiyaçlarının farklılığına ve körük kapasitelerine bağlı olarak gerçekleştirildiğini göz önüne alan bir problemi ele almıştır.

Bruinsma ve ark. (2000), çalışmasında daha küçük Avrupa şehirlerinden Londra, Paris, Frankfurt ve Amsterdam gibi önemli bağlantı noktaları kullanarak yapılan kıtalararası uçuşlar göz önünde tutularak, Avrupa'daki büyük şehirlerde bulunan havaalanlarının performansları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken ulaşım maliyeti, ulaşım süresi ve yeniden çizelgeleme süresi dikkate alınmıştır.

Rexing (2000), uçak tiplerinin uçuşlara eş zamanlı olarak atanması ve uçuş ayrılışlarını çizelgelemek için genelleştirilmiş filo atama modeli sunulmuştur.

Drezner ve Drezner (2001), havayollarında karşılaşılan önemli aktarma merkezlerinin seçimi ile ilgili problemi ele almıştır. Çalışmanın sonunda problemin yolcu sayısının en büyüklenmesi veya önem merkezlerindeki trafiğin en küçüklenmesi gibi farklı amaç fonksiyonlarını ele alacak şekilde rahatlıkla değiştirilebileceği belirtilmiştir (Taş, 2007).

Stojkovic ve ark. (2002), uçuş planlamasıyla ilgili problem, uçuş personeli, dinlenme süreleri, yolcu aktarmaları ve bakım gibi konuları ele alarak incelemiştir.

Yapılan çalışmada uçak ve personelinin planlanması ağ modelleri kullanılarak ele alınmış ve modelin sistemdeki beklenmeyen karmaşıklıklara karşı etkin olarak çalıştırılabileceği öngörülmüştür.

Barnhan ve ark. (2002), uçuş ayaklarına uçak tiplerinin atanmasıyla karın en büyülenmesini içeren filo atama probleminin çözümü için yeni bir formülasyon ve çözüm yaklaşımı önerilmiştir.

Pulugurtha ve Nambisan (2003), havayolu karlılık yönetimi için genetik algoritma kullanılarak bir karar destek sistemi kurulmuştur. Çalışmada problemi daha gerçekçi olarak ele alabilmek amacıyla taleplerdeki değişkenlikler de hesaba katılmıştır.

Ghoseiri ve ark. (2004), diğer çalışmalardan farklı olarak trenlerin güzergâh çizelgelemesi üzerinde durulmuşlardır. Uçaklarınkine oranla bazı farklılıklar bulunmasına rağmen trenlerin güzergahlarının belirlenmesi de temel olarak aynı amaçlara hizmet etmektedir. Yapılan bu çalışmadaki esas amaç trenlerin yakıt sarfiyatını düşürmek iken yolcuların yolda geçirecekleri süreler ve diğer memnuniyet kriterleri de göz önünde bulundurulmuştur.

Huang (2005), havayolu şirketlerinin teknik arızalar, işgücü olanaksızlıkları ya da kötü hava şartları gibi nedenlerle işletme zorluklarıyla karşılaştıklarını vurgulamış ve bu durumlarda ortaya çıkabilecek toplam yolcu bekleme süresini minimuma indirecek gecikme-iyileştirme karar verme yöntemi önermiştir. Problemin çözümünde kararların tek bir merkezden verildiği havayolu operasyon merkezi modeli ve kararların havayolu operasyon merkezi ve istasyon operasyon merkezi tarafından ortaklaşa verildiği iki model kullanılmıştır.

Hsu ve Wen (2005), uçakların uçuş sıklıklarının belirlenmesinde kullanılacak bir modelleme üzerinde durmuştur. İlgili model oluşturulurken havayolu pazar payı modeli, uçuş frekansı belirleme modeli ve bulanık mantık tabanlı rekabet etkileşim modeli olarak üç alt model kullanılmıştır. Ana modelin işleyişine bakıldığında; bir önceki modelin sonucunun bir sonrakinde kullanıldığı, birbirleriyle sürekli etkileşimli olan üç alt modelin kullanılarak ana modelin çalıştırıldığı görülmektedir.

Wu (2005), çalışmada bir havayolu şirketinin uçuş çizelgelerinin tam zamanında gerçekleşme performansı ve operasyonel güvenilirliklerinin değerlendirilmesi için yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur.

Sherali ve ark. (2006), havayolu filosu atama kavramları, modelleri ve algoritmaları üzerinde durulmuştur. Çalışmada, filo atama problemi, haftalık filo modeli, birleştirilmiş uçuşlar için filo atama modeli, optimizasyon dışındaki filo atama çözümleri gibi değişik alt çalışmalar yapılarak ele alınmıştır.

Wang ve Regan (2006), yapılacak bir uçuş için uçaklar arasında değişime gidildiği durumlar için dinamik kârlılık yönetimi üzerinde çalışmıştır. Çalışmada öncelikli olarak aynı kokpite sahip olan filolar uçaklar arasında değişime gidilmesi gerektiğinde uçuşu hiçbir şekilde etkilemeyecek şekilde eşleştirilmiştir.

Pilla (2006), uçuşlar için değişken yolcu talebi göz önüne alınarak uçakların uçuşlara atanması problemini ele almıştır. Çalışmanın amacı, yolcu sayısındaki belirsizlikler sonucu ortaya çıkabilecek uçakların tam kapasiteleriyle uçamamaları veya yolcuların kapasite yetersizliği nedeniyle yer bulamamaları gibi durumları en küçükleyerek havayolu şirketlerinin karlılığını arttırmak olarak belirlenmiştir.

Bélangier ve ark. (2006), periyodik olarak filo atama problemini ele almıştır. Yapılan çalışmada amaçlanan, uçuşlara atanacak en karlı uçak tipini belirlemek ve uçuş çizelgelemesini de bu doğrultuda gerçekleştirmektir.

Lin (2006), ev sahibi ülke ve komşu ülkedeki önemli uçuş noktaları arasındaki rekabetin ekonomik etkilerini bir ağ modeli kullanarak analiz etmiştir. Çalışmada önemli uçuş bağlantı noktalarındaki aktarma süreleri ve aktarma yapan yolcuların buralardaki harcama yapma olanakları arasındaki takas maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Yang (2009), mevsimsel talepler doğrultusunda stokastik hava taşımacılığı için ana üs belirleme ve uçuşların rotalaması üzerine çalışmıştır.

Genel olarak yapılan çalışmalara bakıldığında matematiksel programlama tekniklerinin yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir.

3.2.2. Sezgisel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar

Sezgisel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar Tablo 3.2’de özetlenmiştir:

Tablo 3.2. Sezgisel yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar

Yıl	Yazarlar	Problem	Kullanılan yöntemler
1989	Feo ve Bard	Kuyruk numarası çizelgelemesi (uçuşların atanması)	Problemin çözümüne özgü sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir
2000	Muharremoğlu	Tek pist için uçuş sıralama problemi	Zaman pencereli sezgisel yöntem ile çözülmüştür
2003	Sriram ve Haghani	Uçakların bakım çizelgeleme problemi	Problemin çözümüne özgü sezgisel bir yöntem geliştirilmiştir
2005	Kılıç ve Kalyan	Uçak çizelgeleme problemi	Karınca kolonileri meta-sezgisel yöntemi ile çözülmüştür
2006	Andersson	Uçuş çizelgelerde görülebilecek aksaklıkların çözülmesi	Sezgisel yöntemler kullanılmıştır
2006	Bélanger	Havayolu filolarının haftalık homojen olarak atanması	Karma tamsayı modelleme ve matematiksel programlama tabanlı sezgisel yöntem
2007	Yan ve ark.	Tayvan havayolları filosu için daha iyi rota ve uçuş çizelgelemesi belirleme	Karma tamsayı model ve sezgisel yöntem
2008	Burke ve ark.	Uçuş çizelgeleme	Memetik algoritması
2009	Ambrosino ve ark.	Uçuşların atanması ve rotalanmasını içeren bir dağıtım ağının kurulması	Karma tamsayı programlama ve yerel en iyi arama sezgiseli
2009	Haouari ve ark.	Uçuşların rotalanması	0-1 tamsayı matematiksel model ve 2 evreli sezgisel (two-phase network flow-based heuristic)

Feo ve Bard (1989), uçuşların atanması problemini ‘kuyruk numarası çizelgelemesi’ adıyla ele almıştır. Çalışmada uçuşlar bir günlük periyotlar yerine haftalık periyot kullanılarak atanmıştır.

Muharremoğlu’nun (2000), uçuş sıralama problemi tek bir pist için uçak varış ve kalkışları dikkate alınarak ele alınmıştır. Çalışmanın amacı, toplam ağırlıklandırılmış bekleme sürelerini en aza indirmek olarak belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca bazı havayolu uçuş kurallarına uyumluluk ve güvenlik konularına da dikkat edilmiştir.

Sriram ve Haghani (2003), uçakların bakım çizelgelerini ele almış ve havayolu şirketlerinde uçakların bakımlarının Federal Havacılık Yönetimi’nce esas alınan şartlara göre düzenlenmesini sağlayacak bir model sunmuştur.

Kılıç ve Kalyan (2005), çalışmalarında uçak çizelgeleme problemini karınca kolonileri meta-sezgisel yöntemini kullanarak çözümlenmeye çalışmıştır. Çalışmanın temel amacı uçakların inişlerini mümkün olduğu kadar hedeflenen süre zarfında gerçekleştirmelerini sağlamak, böylece havayolu şirketlerinin maliyetini en küçükmektir.

Andersson (2006), uçuş çizelgelerde görülebilecek herhangi bir aksaklığın meta sezgisel yöntemler kullanılarak nasıl çözülebileceği konusu üzerinde durmuştur. Uçakların arıza yapmasının tahmin edilemeyen ve ani olaylar olması nedeniyle çalışmada özellikle bu problem üzerinde durulmuştur.

Bélanger ve ark. (2006), farklı uçuş noktaları arasına farklı uçak tiplerini mümkün olduğu kadar homojen bir şekilde atamaya çalışmış ve bu sayede yer servislerinin çok daha kolay yapılabilceğini ileri sürmüştür.

Yan ve ark. (2007), günümüzün rekabetçi havayolu pazarında Tayvan havayolları filosu için daha iyi rota ve uçuş çizelgelemesi belirlemeye yardımcı olabilecek değişken pazar paylarını da ele alan kısa dönemli uçuş çizelgelemesi modeli sunmuştur.

Genel olarak yapılan çalışmalara bakılacak olunursa, uçak rotalama problemine karınca kolonileri, memetik algoritmalar ile karma tamsayılı programlama temelli geliştirilen sezgiseller uygulanmıştır. Uçuş planlamasının önemli bir bölümünü oluşturan uçakların bakım çizelgelemesi probleminin tamsayılı programlama gibi matematiksel yöntemlerle çözülemeyecek boyutlara ulaşması sorunu, çalışmacıların bu problemi sezgisel bir yöntem kullanarak çözmeleriyle aşılmıştır.

Çalışmada uçak rotalama problemi dikkate alınarak İnsansız Hava Araçları (İHA) için rota belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca İHA'lar kullanılarak kara sınırlarının gözlenmesi konusu ele alınmıştır. İzleyen bölümde ilgili çalışmalar sunulmuştur.

BÖLÜM 4

İNSANSIZ UÇAKLARLA TÜRKİYE KARA SINIRLARI GÜVENLİĞİNİN SAĞLANMASINDA ANA DAĞITIM ÜSSÜ BELİRLEME VE ROTALAMA

4.1. İnsansız Uçakların Tanımı ve Tarihi Gelişimi

İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemlerinin tarihsel gelişimini üç ana başlık altında toplamak mümkündür:

- Dronlar,
- Uzaktan Kumandalı Uçaklar (Remotely Piloted Vehicles, RPVs),
- İnsansız Hava Araçları (Unmanned Air Vehicles - UAVs).

Oldukça sınırlı yeteneklere sahip dronların ilk kullanımı, Birinci Dünya Savaşı'na kadar uzanmaktadır. İlk İnsansız Hava Aracı "Kettirieng Bug", 1918 yılında İngiliz C.Ketterieng tarafından imal edilmiş hava torpidosudur. İngiltere 1934 yılında Deniz Kuvvetlerinde kullanılmak üzere başka modeller de geliştirmiştir. Genellikle insanlı bir uçaktan atılan ve uçan bombalar şeklinde kullanılan bu ilkel araçların başarısız olduğu bilinmektedir (Gülen, 2006).

Savaş sonrasında dronlar, çoğunlukla uçaksavar sistemlerinin operatör eğitimlerinde hava hedefi olarak kullanılmıştır. Yine İkinci Dünya Savaşında Amerika Birleşik Devletleri, B-17 ve B-24 bombardıman uçaklarını uzaktan kumandalı birer uçak haline getirmeyi başarmıştır. Amerika Birleşik Devletleri 1951 yılında Ateş Arısı (Fire Bee) olarak bilinen, ilk jet motorlu pilotsuz hedef uçağını üretmiştir. Ayrıca Kore Savaşında Amerika Birleşik Devletleri, Cehennem Kedisi (Hell Cat) olarak anılan uzaktan kontrollü uçaklar imal etmiş ve bu hava araçlarına patlayıcı madde yükleyerek, düşmanın kritik askeri tesislerine karşı bir silah olarak kullanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri, eski Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği üzerinde kullandığı bir U-2 keşif uçağını bir kaza sonucunda kaybedince, istihbarat toplamak amacıyla 60000 feet

irtifanın üzerinde uçabilen uzaktan komutalı keşif uçaklarını imal etmiş ve kullanmıştır (Gülen, 2006).

Günümüzde kullanılan İnsansız Hava sisteminin harp sahasında diğer muharebe unsurları ile birlikte etkin olarak kullanımına ilk örnek, 1982 yılında İsrail'in Beka vadisindeki Suriye hava savunma sistemlerine yaptığı saldırıdır. Toplam 19 adet olan Suriye hava savunma bataryalarının 17 adedinin imha edildiği bu saldırıda, İnsansız Hava Aracı sistemleri keşif-gözetleme, hedef tespit, elektronik aldatma-karıştırma ve saldırı sonrası hasar tespit amaçları ile etkin olarak kullanılmıştır. Yakın zamanda Amerika Birleşik Devletleri Körfez Savaşında, Pioneer ve Pointer adlı iki değişik İnsansız Hava Aracı sistemini denemiştir. Bu araçlardan menzili kısa olan ve çöl şartlarında kullanılmasında problemler çıkan Pointer etkili olamamış, bunun yanında Pioneer ise daha başarılı bir şekilde kullanılmıştır. 100 deniz mili mesafede uzaktan komutalı olarak uçurulabilen bu İnsansız Hava Aracı, Körfez Savaşı boyunca 307 sortide¹ 1011 saat uçuş gerçekleştirmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Kara, Deniz ve Deniz Piyade birlikleri bu harekatta, Pioneer İnsansız Hava Araçlarının sağladığı gerçek zamanlı istihbarat bilgilerinden istifade etmiştir. Yine aynı savaşta İnsansız Hava Araçları, Suudi Arabistan'a yönelik Irak Hücumunu tespit etmiş ve Amerika Birleşik Devletleri birliklerinin zamanında tedbir almasına imkan sağlamıştır. Bu savaşta İnsansız Hava Araçları gerçek zamanlı istihbarat sağlamış ve hasar tespit görevlerinde kullanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nin resmi hükümet raporlarında Pioneer İHA sistemlerinden *istihbaratın kahramanları* şeklinde söz edilmiştir. Ayrıca Bosna-Hersek Krizi ve Kosova Harekatında başta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere, Almanya, Fransa ve İngiltere tarafından İnsansız Hava Araçları etkin bir şekilde kullanılmıştır. Özellikle bu son iki harekatta, yine Amerika Birleşik Devletleri üretimi bir İnsansız Hava Aracı olan Predator, 800 sorti görev uçuşunda toplam 5000 saatin üzerinde havada kalmıştır (Sünnetçi, 1999).

Türkiye Hava Uzay Endüstrisi Kurumu (TAI), 1993 yılı içinde 18 saat havada kalabilen bir İnsansız Hava Aracı üretmiştir. Bunun yanı sıra Savunma Sanayi Müsteşarlığı (SSM), terörle mücadelede istihbarat temin etmek amacıyla, Kara

¹ Sorti, askeri alanda; ani bir saldırıda bulunmak üzere tahkimattan çıkma ya da (uçanın yaptığı) çıkış, sefer anlamına gelmektedir.

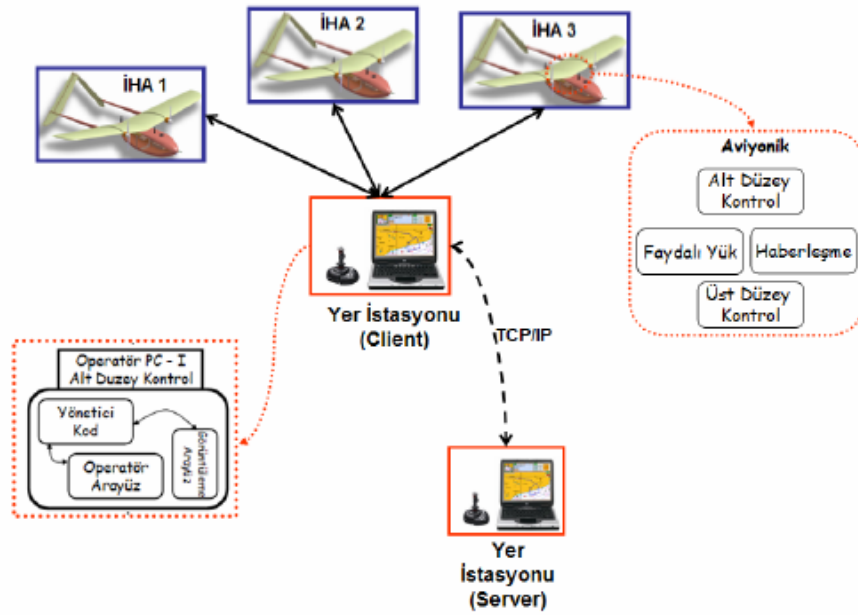
Kuvvetleri Komutanlığınca kullanılmak üzere Falcon-600 ve Gnat-750 modeli İnsansız Hava Araçlarını tedarik etmiştir (Gülen, 2006).

İnsansız Hava Araçları, bazı belgelerde Uzaktan Kontrollü Uçak (**Remotely Piloted Vehicle - RPV**) veya Radyo Kontrollü Uçak olarak da adlandırılmaktadır (Şekil4.1). Aralarında ufak farklar olmasına rağmen hepsi İnsansız Hava Aracı (İHA) olarak tanımlanabilir (Gülen, 2006).

İnsansız Hava Aracı (İHA), kullanıcı olarak insan taşımayan, aracın havada tutunmasında aerodinamik kuvvetlerden yararlanan, önceden programlanarak veya yerden komuta ile harici bir pilot tarafından uçurulan, uçuş sonrası tahrip olan veya yeniden kullanılabilen, motor gücüne sahip hava aracıdır. NATO İHA dokümanında yer alan tanıma göre; İnsansız Hava Araçları, istenilen aerodinamik uçuş kuvvetlerini pilotsuz olarak destekleyen, füze rotası haricinde ölümcül veya ölümcül olmayan faydalı yükleri uzaktan kumanda veya otomatik/bağımsız uçuşla taşıyabilen araçlardır. İHA'lar bir hedefe gönderilebilir veya kumandası geri alınabilir. Kara Kuvvetlerince benimsenen ve resmi yayınlarda kullanılan İHA tanımına göre; İHA, içerisinde pilot bulunmayan, yerdeki sabit veya hareketli kontrol istasyonundan radyo frekans dalgaları ile komuta edilen, üzerine takılan faydalı yüke (kamera, radar, silah vb.) platform teşkil eden motorlu hava aracıdır (Gülen, 2006).

İnsansız Hava Aracı sistemleri, özellikle askeri alanda, tehdidin yoğun olduğu görev bölgelerinde, insan kaybı riskinin bulunmaması ve hava aracı performansının insan zaaflarına bağlı olmaması gibi, insanlı sistemlere göre bazı avantajlara sahiptir (Kocabaş, 2003).

İnsansız Hava Araçlarının günümüzde yoğun olarak ilgi görmelerinin en önemli nedeni, elektronik ve yazılım teknolojilerindeki gelişmelerin, maliyet ve performans açısından etkin sistemlerin geliştirilebilmesine olanak tanınmasıdır. Bu sayede askeri uygulamalarda kullanımı yeni olmayan İnsansız Hava Aracı sistemleri, günümüzde sivil alanda da kendini kabul ettirir bir duruma gelmiştir.



Şekil 4.1. İHA kontrol mimarisi (Yıldırım ve ark., 2006)

Günümüzdeki İHA'ların kullanımına daha uygun olan terim *İnsansız Hava Aracı* değil, *İçinde Pilot Bulunmayan Hava Aracı* terimidir (Roland, 2003). Çünkü yerde bulunan pilot, uzaktan komuta ile uçuş esnasında her zaman uçuşa müdahale edebilir, uçuş rotasını değiştirebilir veya görevi tamamen iptal edebilir. Diğer bir deyişle pilot kokpitten çıkarılarak uçağı yerden kontrol edecek bir misyon yüklenmiştir.

İnsansız Hava Aracı sistemlerini değişik ölçütlere göre sınıflandırmak mümkün olmakla birlikte, genel eğilim menzilin ve uçuş süresinin esas alınmasıdır. Bu ölçütlere göre üç temel sistem sınıfından söz edilebilir (Gülen, 2006).

- Kısa menzilli : 30-150 km. menzil, 2-8 saat uçuş süresi.
- Orta menzilli : 150-300 km. menzil, 8-24 saat uçuş süresi.
- Uzun menzilli : 300+ km. menzil, 24+ saat uçuş süresi.

İnsansız Hava Araçları hem askeri hem de sivil alanda pek çok görevleri yapabilecek imkan ve kabiliyetlere sahiptirler. Bu kullanım alanlarından bazıları günümüzde hayata geçirilmekle birlikte, bazıları ise gelecekte hayata geçirilme potansiyeline sahiptir (Gülen, 2006). İnsansız Hava Araçlarının askeri ve sivil görevleri:

➤ **Askeri görevler**

İnsansız Hava Araçlarının keşif, gözetleme ve istihbarat maksatlı olarak kullanılmalarının yanında, meydana gelecek gelişmelere bağlı olarak 2020'li yıllarda İnsanlı Hava Araçlarının (uçaklar) yapmış olduğu görevleri yapabilecek seviyeye ulaşması beklenmektedir. Bu gelişmelere bağlı olarak İnsansız Hava Araçlarının şu askeri görevleri icra etmesi öngörülmektedir (Akgün, 2000):

- ✓ Keşif, gözetleme maksatlı ve gerçek zamanlı görüntü istihbaratı elde etmek, hasar tespiti yapmak, düşman derinliklerinde yapılan operasyonların neticelerini araştırmak,
- ✓ Ateş desteği imkanlarını artırmak, silahların etkilerini belirlemek, uzun menzilli, satıhtan satıha atılan güdümlü mermilerin etkinlikle kullanılması için gerçek zamanlı hedef bilgilerini aktarmak,
- ✓ Harekât alanında tanımlanmış taktik resmin tesis ve idamesinde, müşterek keşif, gözetleme sistemlerinde karada konuşlu veya yüksek irtifada görevli keşif ve gözetleme vasıtalarının kaplayamadığı alanları ve hedeflerin ayrıntılarını pozitif olarak tespit ve teşhis etmek,
- ✓ Açık denizdeki Taktik Komutanın veya Görev Kuvveti Komutanlığı / Görev Grubu Komutanlığının, satıhtan satıha, satıh ve/veya sualtından karaya uzun menzilli güdümlü mermi taarruzlarında; düşmanı görülmeden görme, hedefin pozitif teşhisi ve hassas yakalama (angaje) ihtiyaçlarını karşılamak,
- ✓ Çıkartma öncesi çıkartma alanı keşfi yapmak,
- ✓ Elektronik harp desteği sağlamak,
- ✓ Meteorolojik araştırma ve nükleer, biyolojik ve kimyasal (NBC) kontrolü yapmak,
- ✓ Karasuları ve sınır güvenliği imkanlarını artırmak,
- ✓ Sabit ve hareketli hedefleri vurmak,
- ✓ Düşman hava savunmasını etkisiz hale getirmek,
- ✓ Füze savunması,
- ✓ Sahte hedef oluşturmak,
- ✓ Yakın hava desteği sağlamak,
- ✓ Hava-hava savunması yapmak,
- ✓ Komuta kontrol ve muhabere imkanlarını artırmak,
- ✓ Havadan ve denizden trafik kontrolü yapmak,

- ✓ Dost ve düşman bölgesinde arama-kurtarma faaliyetleri icra etmek,
- ✓ Mayın tespiti yapmak,
- ✓ Sinyal istihbaratı bilgilerini temin etmek,
- ✓ Hedef işaretlemesi yapmak,
- ✓ Doğal afetlerde hasar tespiti ve arama-kurtarma faaliyeti yürütmek.

➤ Sivil görevler

Günümüz koşullarında ve gelecekte İHA'lardan beklenebilecek sivil görev alanları şunlardır (Akgün, 2000):

- ✓ Havadan trafiğin gözlenmesi ve düzenlenmesi,
- ✓ Orman yangınlarının kontrol edilmesi,
- ✓ Arama görevleri,
- ✓ Hava kirliliğinin araştırılması,
- ✓ Meteorolojik hava tahminleri,
- ✓ Havadan tarım ilaçlaması,
- ✓ Maden arama,
- ✓ Cep telefonu ağını genişletme.

4.2. Problemin Tanımı ve Önemi

Ülkemiz sınırlarının toplam uzunluğu 10.765 kilometre olup, sınırların 2.949 kilometresini kara sınırlarımız oluşturmaktadır. Kara sınırlarımız; Bulgaristan ile 269, Yunanistan ile 203, Gürcistan ile 276, Ermenistan ile 328, Nahçıvan ile 18, İran ile 560, Irak ile 384 ve Suriye ile 911 kilometredir.

Ülkemizin jeo-stratejik konumu, tarihsel süreç, uluslararası ulaşım yolları, Ortadoğu'daki enerji kaynaklarına yakınlık, yirmi yılı aşkın süredir doğu ve güneydoğu bölgelerimizde yaşanan terör gibi, bir çok ölçüt göz önüne alındığında; Türkiye-Irak, Türkiye-İran ve Türkiye-Suriye sınırlarının diğer sınırlara göre daha fazla önemli olduğu tartışılmaz bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölgedeki kara sınırlarımızdan, sadece Türkiye-Suriye sınırında fiziki güvenlik sistemi bulunmaktadır (Serinkan, 2008).

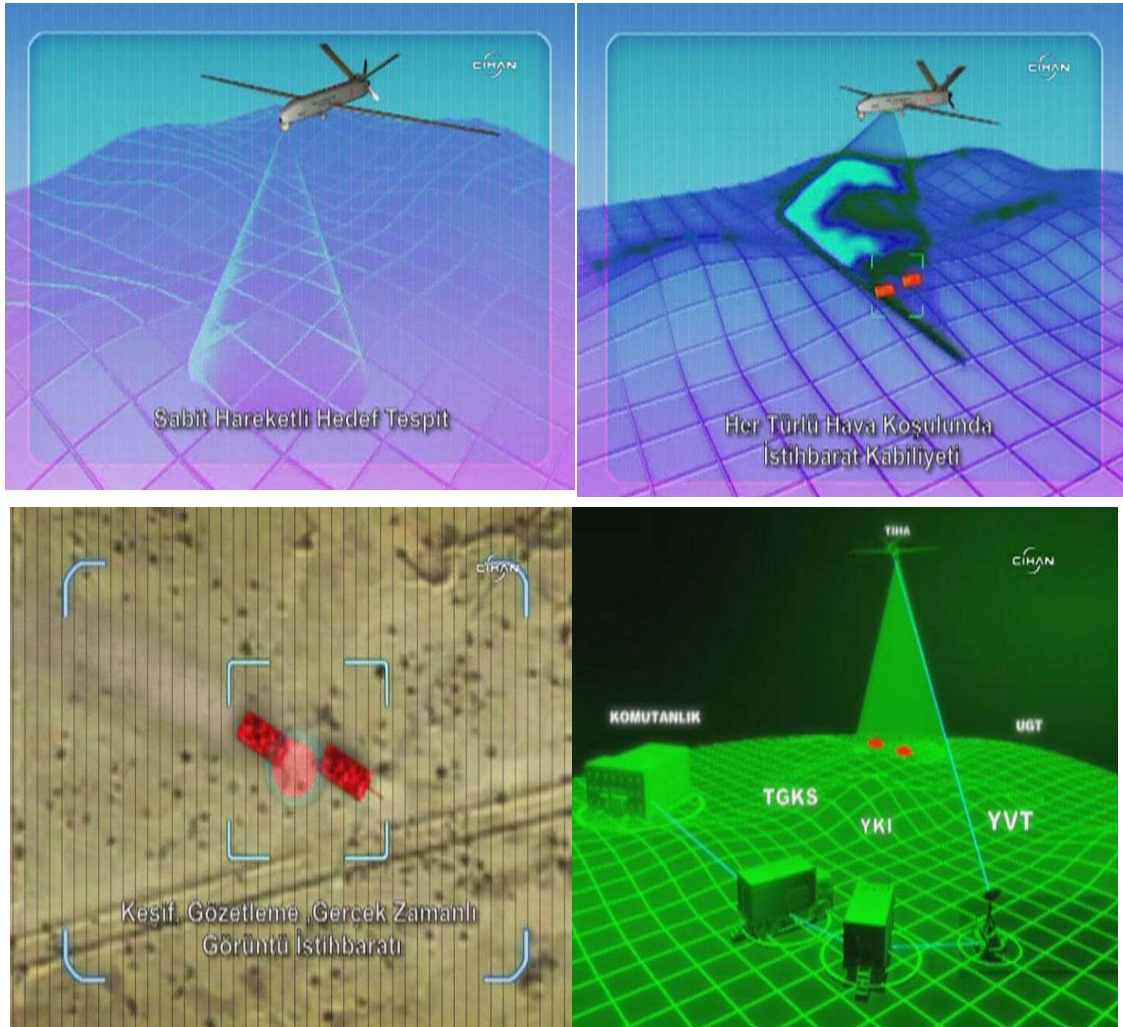
İran ve Irak sınırlarımızın çok büyük kısmının, büyük ölçüde arazi yapısından kaynaklanan nedenlerle tel örgü, mayın tarlaları, termal kameralar vb. gibi etkili fiziki güvenlik sistemleriyle korunamadığı, sınır hattının, oldukça sarp arazi kesiminin üzerinde bulunması nedeniyle sadece sınır taşlarıyla bilindiği, fiziki güvenlik tedbirlerinin yetersiz olduğu ve birçok yerde sınır taşının bile bulunmadığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle İran ve Irak sınırı, sınırı korumakla görevli birliklerin mevcutlarının ve teknik imkanlarının yetersiz oluşu, sınır hattında hiçbir fiziki engelin bulunmaması, arazi şartlarının olumsuzluğu, yıllardır devam eden bölücü terör ve bunun beraberinde getirdiği etkiler ve sınıra yakın bir çok sınır köyünün varlığı gibi bazı faktörler nedeniyle, yasadışı insan geçişi, silah, uyuşturucu ve her türlü kaçakçılık için son derece elverişli bir ortam oluşturmaktadır (Serinkan, 2008).

Günümüzde batılı ülkelerdeki sınırların korunmasında, uydu takip sistemleri, insansız hava araçları, sensörler gibi birçok teknolojik yöntem kullanılmaktadır (Serinkan, 2008). Herkes tarafından sorulan ve bugüne kadar cevabı alınamayan soru şudur: “Sınırlarımızın güvenliğinin sağlanması adına bir Çin seddi, uydu sistemi veya hava kontrol sistemi bunca yıldır hala niçin oluşturulamamıştır?” Bu çalışmada kara sınırlarımızın güvenliği amacıyla İHA’ların kullanılabilirliği araştırılacaktır.

İstihbarat amaçlı olarak kullanılacak İHA’lar (İnsansız Hava Araçları) terörle mücadele operasyonları öncesinde devreye sokularak, dağlık alanlarda görüntü alacak ve böylece keşif faaliyetlerinde uçakların çektiği görüntüler anında İHA birliğinde değerlendirmeye alınacaktır. Casus uçak gece gündüz, kötü hava şartları da dahil olmak üzere keşif, gözetleme, sabit ya da hareketli hedef tespiti, teşhis, tanımlama ve takip amaçlı kullanılabilir. Sınır boylarında keşif, uzun menzilli top atışlarında hedefin ve zararın tespitinde kullanılabilir, sınır karakollarının çevresinde devriye uçuşu yaptırılabilir.

Şekil 4.2’de bir Türk İnsansız Hava Aracı (TİHA) görülmektedir. Aracın burun kısmının hemen altındaki özel bölümde elektro optik bir kamera yer alır. TİHA kızılötesi ve lazer mesafe bulucuları ve lazer işaretleyicileri sayesinde görev bölgesi hakkında ayrıntılı bilgi gönderebilmektedir. TİHA’nın beynini oluşturan uçuş kontrol

bilgisayarı, uçuş algılayıcıları, hareketlendiriciler, haberleşme ve tanıma sistemleri, kayıt ve izleme sistemleri ve kontrol birimlerinden oluşmaktadır.



Şekil 4.2. Türk İnsansız Hava Aracı (Cihan haber ajansı)

TIHA sistemi temel performans parametreleri:

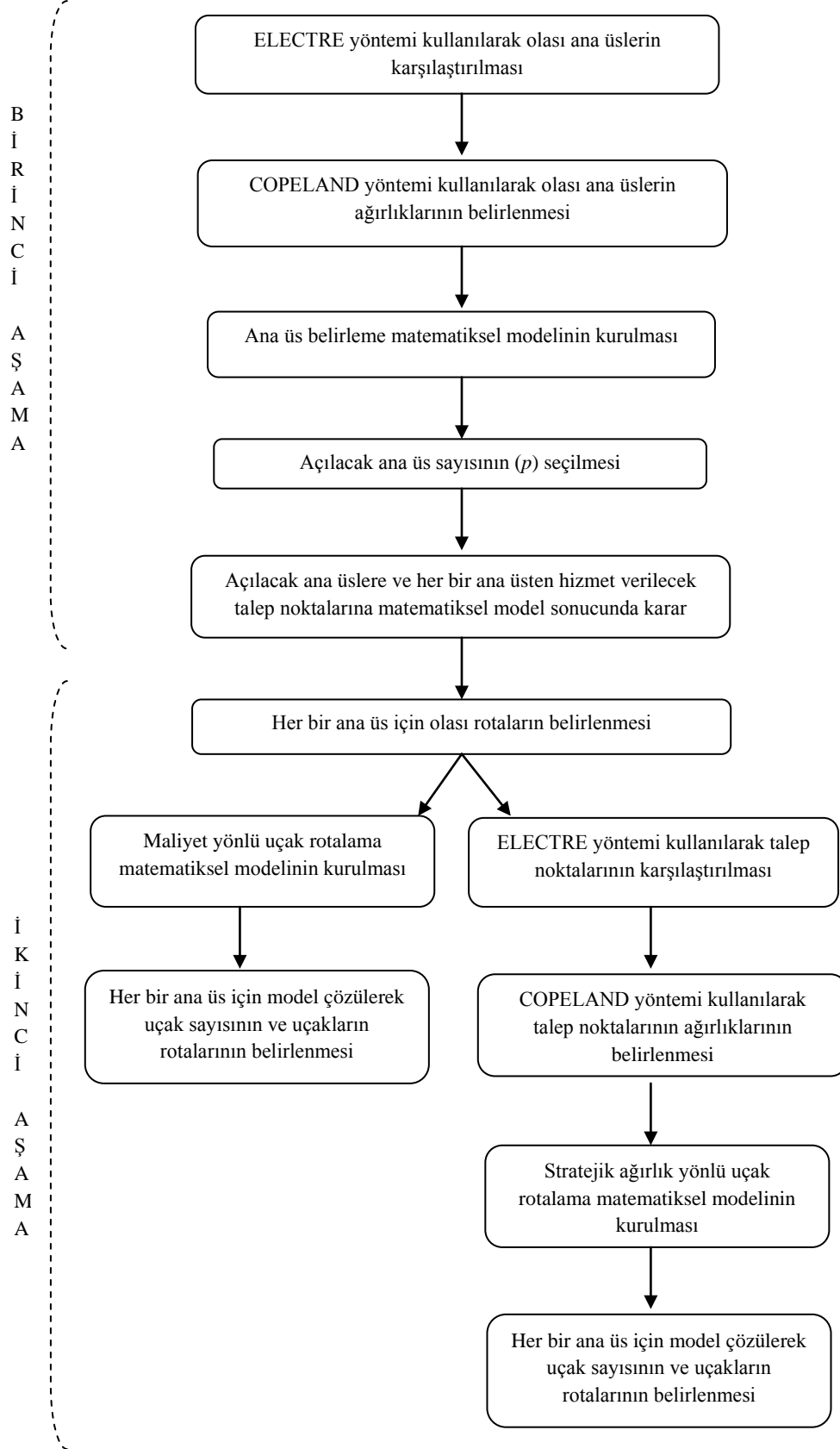
- Servis irtifası: 30,000 ft
- Havada Kalış Süresi: 8-24 saat
- TIHA'nın normal uçuş hızı: 60knot-120knot'dır. Yaklaşık olarak 110 km/h-220km/h'dir.
- Çekim sırasında hız 60 knot'a inmektedir.

- 20.000 feet irtifada 60 knotla ASELFLIR-300 (Aselsan firmasının elektro optik gece/gündüz görüş ve atış sistemi) kullanılarak 15 km çapında bir alan taranabilmektedir.
- Çevre şartları: 15 knot yan rüzgar, 20 knot baş rüzgarı, sıcaklık, nem, yağmur ve buzlanma limitleri, MIL-HDBK-310 ile tanımlanmıştır.

Hava aracının temel özelliklerinden gövde uzunluğu 10 m ve kanat açıklığı 17 m'dir.

TİHA, gece ve gündüz, kötü hava şartları da dahil, keşif, gözetleme, sabit/hareketli hedef tespit, teşhis, tanımlama ve takip amaçlı, gerçek zamanlı görüntü istihbaratı görevlerine yönelik geliştirilmiştir.

İHA sistemlerinin daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılması için etkin bir görev planlamasının yapılması gereği açıktır. Çalışmada yerleştirme-rotalama problemi üzerinde durularak yerleştirme kısmında tek atamalı P-ADÜ medyan problemi ele alınmıştır. 34 tane olası ana dağıtım üssünden 16 talep noktasına insansız hava aracının menzili içerisinde hizmet verebilecek ana üs seçimi yapılmıştır. Ana üs seçimi ve talep noktası ataması yapılmadan önce çok ölçütlü karar verme tekniği olan ELECTRE yöntemiyle çeşitli ölçütler göz önünde bulundurularak olası ana üslerin ve talep noktalarının ağırlıkları belirlenmiş ve ilgili ağırlık değerleri amaç fonksiyonunda dikkate alınmıştır. Rotalama kısmında ise insansız hava aracının enerji ihtiyacı ve rota süreleri dikkate alınmıştır. Rotalamada bir uçağa birden fazla rota atanması (multiple trips) durumu ele alınmaya çalışılmıştır. Şekil 4.3'te çalışmanın akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.3. Çalışmada İHA'lar için ana üslerin belirlenmesi ve rotalamaya ilişkin akış şeması

İzleyen kısımda, ana dağıtım üslerinin belirlenmesinde kullanılması düşünülen ağırlıkların nasıl elde edileceği anlatılmıştır.

4.3. Ağırlıkların Belirlenmesi

Çoğu zaman tek bir ölçüte göre seçim yapmak mümkün değildir. Bir ölçüte göre en iyi olan seçenek başka bir ölçüt için tercih edilmeyen bir seçenek olabilir. Bu tür durumlarda karşımıza çıkan problem bir çok ölçütlü karar verme problemi olarak ele alınabilir. İlgili problemlerde seçim kararı, tek faktörün değil, çok sayıda iç ve dış faktörün etkisi ile oluşmakta, dolayısıyla karmaşık bir yapı göstermektedir. Bu nedenle bu süreç, sadece tek değişkene veya tek ölçüte göre değil, çok sayıda değişkene ve bunların ortaklaşa etkilerine göre tanımlanmalıdır. Karar vericiler için en iyi seçeneği seçmek oldukça zor bir iştir. Karar vericiler seçim yaparken değişik amaçları gerçekleştiren, bazen de birbiriyle çelişen seçenekler arasından en uygun olanı bulmak zorunda kalırlar. Bu nedenle birçok karar verici ilgili problemlerle karşılaştığı zaman çok amaçlı karar verme yöntemlerine başvurmaktadır. Çalışmada ana üslerin seçimi bir çok ölçütlü karar verme problemi olarak ele alınmıştır. Belirlenen ölçütler temelinde olası ana üslerin ağırlıklandırılmasında **ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalite)** yöntemi kullanılmıştır.

4.3.1. ELECTRE yöntemi

ELECTRE yöntemi 1960'lı yılların sonunda Roy (1971) tarafından ortaya atılmıştır. 1977'de Nijkamp ve Van Delft, 1983'te ise Voogd tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde, seçenekler tercih sıralamasına göre birbirleriyle kıyaslanarak seçim yapılması temeline oturtulmuştur. Sıralama ilişkisi kısaca çiftli karşılaştırmayla kurulmaktadır. Yani 'A' seçeneği 'B' seçeneğine göre tercih ediliyor ise, (A R B) şeklinde gösterilir. $A \rightarrow B$ ve $B \rightarrow C$ ise $A \rightarrow C$ olacak diye bir kural yoktur. Diğer bir ifadeyle, karar verici C' yi A' ya tercih edebilir ($C \rightarrow A$). Seçim için tüm seçenekler birbirleriyle kıyaslanmalıdır (Yaralıoğlu, 2006). Yöntemin adımları:

1. Adım: Karar matrisinin (A) oluşturulması

Karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen karar noktaları, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri yer alır. A matrisi karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir (Soner ve Önüt, 2006). Karar matrisi:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

şeklinde ifade edilir. A_{ij} matrisinde m karar noktası sayısını, n değerlendirme faktörü sayısını vermektedir (Yaralıoğlu, 2006).

2. Adım: Ölçütlerin ağırlıklarının hesaplanması

Her ölçütün birbiriyle kıyaslaması yapılır. Eğer X_1 ölçütü X_2 ölçütüne tercih edilirse "P" edilmez ise "X" ile gösterilir. C, baskın olduğu (kazanç) seçenek sayısını, r ise baskın olmadığı (kayıp) seçenek sayısını gösterir. Örneğin;

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$\sum C$	r_j
X_1	-	X	X	P	P	2	3
X_2	P	-	P	P	P	4	1
X_3	P	X	-	P	P	3	2
X_4	X	X	X	-	P	1	4
X_5	X	X	X	X	-	0	5

Seçeneklerin ağırlıkları (w_j) aşağıdaki formül yardımıyla tek tek hesaplanır. Ağırlıkların toplamı 1 olmalıdır (Kaya, 2004).

$$w_j = \frac{\frac{1}{r_j}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{r_k}}$$

3. Adım: Normalleştirilmiş karar matrisinin hesaplanması

Normalleştirilmiş karar matrisi, A matrisinin elemanlarından yararlanılarak hesaplanır:

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}}$$

Örneğin, X matrisinin x_{11} elemanını, A matrisinin a_{11} elemanı, matrisin birinci sütün elemanlarının kareleri toplamının kareköküne bölünerek elde edilir. Burada amaç, bir karar noktasının ilgili değerlendirme faktörü ile ilişkilendirilirken, diğer karar noktaları açısından ağırlıklandırılmasıdır. Hesaplamalar sonunda X matrisi;

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir (Soner ve Öñüt, 2006).

4. Adım: Ağırlıklı normalleştirilmiş değerlerin hesaplanması

X matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak V matrisi oluşturulur. V matrisi;

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 x_{11} & w_2 x_{12} & \dots & w_n x_{1n} \\ w_1 x_{21} & w_2 x_{22} & \dots & w_n x_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 x_{m1} & w_2 x_{m2} & \dots & w_n x_{mn} \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir (Soner ve Önüt, 2006).

5. Adım: Uyum (C_{kl}) ve uyumsuzluk (D_{kl}) kümelerinin belirlenmesi

Uyum kümelerinin belirlenebilmesi için V matrisinden yararlanılır. Karar noktaları birbirleriyle değerlendirme faktörleri açısından kıyaslanır ve kümeler belirlenir (Soner ve Önüt, 2006):

$$C_{kl} = \{j, y_{kj} \geq y_{lj}\}$$

Formül temel olarak satır elemanlarının birbirlerine göre büyüklüklerinin karşılaştırılmasına dayanır. Bir çoklu karar problemindeki uyum kümesi sayısı ($m.m - m$) kadardır. Çünkü uyum kümeleri oluşturulurken k ve l indisleri için $k \neq l$ olmalıdır. Bir uyum kümesindeki eleman sayısı ise en fazla değerlendirme faktörü sayısı (n) kadar olabilir (Yaralıoğlu, 2006).

Örneğin $k = 1$ ve $l = 2$ olmak üzere C_{12} uyum kümesi için V matrisinin 1. ve 2. satır elemanları karşılıklı olarak birbirleriyle kıyaslanır ve eğer burada 4 değerlendirme faktörü varsa C_{12} uyum kümesi en fazla 4 elemanlı olacaktır. Verilen örnekte 1. ve 2. satır kıyaslamasında,

$$y_{11} > y_{21}$$

$$y_{12} < y_{22}$$

$$y_{13} < y_{23}$$

$$y_{14} = y_{24}$$

sonuçlarıyla karşılaşılmışsa formüldeki şarta $j = 1$ ve $j = 4$ değerleri uyacak ve C_{12} uyum kümesi $C_{12} = \{1,4\}$ şeklinde oluşacaktır (Yaralıoğlu, 2006).

ELECTRE yönteminde her uyum kümesine (C_{kl}) bir uyumsuzluk kümesi (D_{kl}) karşılık gelir. Diğer bir deyişle uyum kümesi sayısı kadar uyumsuzluk kümesi sayısı vardır. Uyumsuzluk kümesi elemanları, ilgili uyum kümesine ait olmayan j değerlerinden oluşur. Verilen örnekte $C_{12} = \{1,4\}$ ise $D_{12} = \{2,3\}$ elemanlarından oluşacaktır (Yaralıoğlu, 2006).

ELECTRE yönteminde uyum kümelerini oluştururken değerlendirme faktörlerinin anlamlarına dikkat edilmelidir. Örneğin, ilgili değerlendirme faktörü kar ise uyum kümesi için yukarıdaki formül kullanılacaktır. Ancak değerlendirme faktörü maliyet ise bu durumda uyum kümesi için gerek şart $y_{kj} < y_{lj}$ eşitsizliği olacaktır (Yaralıoğlu, 2006).

6. **Adım:** Uyum (C) ve uyumsuzluk matrislerinin (D) oluşturulması

Uyum matrisinin (C) oluşturulması için uyum kümelerinden yararlanılır. C matrisi $m \times m$ boyutludur ve $k = l$ için değer almaz. C matrisinin elemanları izleyen formülde gösterilen ilişki yardımıyla hesaplanır (Soner ve Önüt, 2006).

$$c_{kl} = \sum_{j \in C_{kl}} w_j$$

Örneğin $C_{12} = \{1,4\}$ ise C matrisinin c_{12} elemanının değeri, $c_{12} = w_1 + w_4$ olacaktır. C matrisi aşağıda gösterilmiştir (Soner ve Önüt, 2006):

$$C = \begin{bmatrix} - & c_{12} & c_{13} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & - & c_{23} & \dots & c_{2m} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & \dots & - \end{bmatrix}$$

Uyumsuzluk matrisinin (D) elemanları ise aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır (Soner ve Önüt, 2006):

$$d_{kl} = \frac{\text{ENB}_{j \in D_{kl}} |y_{kj} - y_{lj}|}{\text{ENB}_j |y_{kj} - y_{lj}|}$$

Örneğin V matrisinin 1. ve 2. satır elemanlarının kıyaslamasından d_{12} ($k=1$ ve $l=2$) elemanı elde edilir. d_{12} için, formülünün pay kısmında $D_{12} = \{2,3\}$ uyumsuzluk kümesini oluşturan $j=2$ ve $j=3$ değerleri dikkate alınır ve $|y_{12} - y_{22}|$ ve $|y_{13} - y_{23}|$ mutlak farklarından büyük olanı seçilir. Formülün payda kısmı için ise Y matrisinin 1. ve 2. satırlarındaki tüm elemanların karşılıklı mutlak farkları bulunarak bunlardan en büyük olanı seçilir. C matrisi gibi D matrisi de $m \times m$ boyutludur ve $k=l$ için değer almaz (Yaralıoğlu, 2006). D matrisi:

$$D = \begin{bmatrix} - & d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1m} \\ d_{21} & - & d_{23} & \dots & d_{2m} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & \dots & - \end{bmatrix}$$

şeklinde oluşturulur.

7. Adım: Uyum baskınlık (F) ve uyumsuzluk baskınlık (G) matrislerinin oluşturulması

Uyum baskınlık matrisi (F) $m \times m$ boyutludur ve matrisin elemanları uyum eşik değerinin (c_{ort}) uyum matrisinin elemanlarıyla (c_{kl}) karşılaştırılmasından elde edilir (Yaralıoğlu, 2006). Uyum eşik değeri (c_{ort}):

$$c_{ort} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m c_{kl}$$

şeklinde elde edilir. Formüldeki m karar noktası sayısını göstermektedir. Daha açık bir anlatımla c_{ort} değeri, $\frac{1}{m(m-1)}$ ile C matrisini oluşturan elemanların toplamının çarpımına eşittir (Yaralıoğlu, 2006).

F matrisinin elemanları (f_{kl}), ya 1 ya da 0 değerini alır ve matrisin köşegeni üzerinde aynı karar noktalarını gösterdiğinden değer yoktur. Eğer

$$c_{kl} \geq c_{ort} \Rightarrow f_{kl} = 1,$$

$$c_{kl} < c_{ort} \Rightarrow f_{kl} = 0 \text{ dir (Yaralıoğlu, 2006).}$$

Uyumsuzluk baskınlık matrisi (G) de $m \times m$ boyutludur ve F matrisine benzer şekilde oluşturulur. Uyumsuzluk eşik değeri (d_{ort}) izleyen formül yardımıyla elde edilir (Yaralıoğlu, 2006):

$$d_{ort} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m d_{kl}$$

d_{ort} değeri, $\frac{1}{m(m-1)}$ ile D matrisini oluşturan elemanların toplamının çarpımına eşittir (Yaralıoğlu, 2006).

G matrisinin elemanları (g_{kl}), ya 1 ya da 0 değerini alır ve matrisin köşegeni üzerinde aynı karar noktalarını gösterdiğinden değer yoktur. Eğer

$$d_{kl} \geq d_{ort} \Rightarrow g_{kl} = 1,$$

$$d_{kl} < d_{ort} \Rightarrow g_{kl} = 0 \text{ dır (Yaralıoğlu, 2006).}$$

8. Adım: Birleşik baskınlık matrisinin (E) oluşturulması

Bileşik baskınlık matrisinin (E) elemanları (e_{kl}); f_{kl} ve g_{kl} elemanlarının karşılıklı çarpımına eşittir. Burada E matrisi C ve D matrislerine bağlı olarak $m \times m$ boyutludur ve yine 1 ya da 0 değerlerinden oluşur (Yaralıoğlu, 2006).

9. Adım: Karar noktalarının önem sırasının belirlenmesi

E matrisinin satır ve sütunları karar noktalarını gösterir. Örneğin; E matrisi

$$E = \begin{bmatrix} - & 0 & 0 \\ 1 & - & 0 \\ 1 & 1 & - \end{bmatrix}$$

olsun. $e_{21} = 1$, $e_{31} = 1$ ve $e_{32} = 1$ değerleri; 2. karar noktasının 1. karar noktasına 3. karar noktasının 1. karar noktasına ve 3. karar noktasının da 2. karar noktasına mutlak üstünlüğünü gösterir. Bu durumda karar noktaları A_i ($i = 1, 2, \dots, m$) sembolüyle ifade edilirse, karar noktalarının önem sırası A_3 , A_2 ve A_1 şeklinde oluşacaktır (Yaralıoğlu, 2006).

ELECTRE yönteminin E matrisini veren adımında elde edilen matris kullanılarak seçeneklerin ağırlıkları Copeland yöntemiyle belirlenmiştir. ELECTRE yöntemi hangi seçeneklerin baskın olduğu ve hangi seçeneklerin hangi seçenekler tarafından bastırıldığı bilgisini içermektedir. Amacımız seçeneklerin ağırlıklandırılması olduğundan ve bir seçenek için baskın olma sayısı kadar kaç seçenek tarafından bastırıldığı da önemli olduğundan ELECTRE sonucunda elde edilen E matrisi Copeland yöntemiyle değerlendirmeye tabi tutularak ağırlık değerleri elde edilmiştir.

Copeland yöntemi: Copeland yöntemi, bir seçeneğin sadece kaç kazancı olduğunu değil kayıplarını da ele alır. E matrisinin altına satır eklenir ve seçenekler için kayıp sayıları gösterilir. Örneğin; A1 seçeneği A2 ve A3'e göre kaybetmiştir. Böylece

A1 satırı aşağı doğru okunduğunda iki tane 1 değeri bulunmaktadır. *E* matrisinin yanına bir sütun eklenir ve kazanç sayıları gösterilir (Tablo 4.1). Copeland puanı bir seçeneğin kazançlarından kayıplarının çıkarılması ile elde edilir. Örneğin A1'in Copeland puanı $(0-2) = (-2)$ 'dir. A1'den A3'e puanlar sırasıyla (-2) , 0 , 2 'dir. Bu durum A3, A2, A1 sıralamasını ifade etmektedir. Kazançlar, kayıplar ve beraberlikler, Copeland yönteminde dikkate alınır.

Tablo 4.1. Copeland puanı

	A1	A2	A3	ΣC	Copeland Puanı C-R
A1	-	0	0	0	0-2=-2
A2	1	-	0	1	1-1=0
A3	1	1	-	2	2-0=2
ΣR	2	1	0		

Copeland puanını normalleştirmek için $(X-X_{enk})/(X_{enb}-X_{enk})$ formülü kullanılmıştır. Örneğin; A1 için normalleştirilmiş copeland puanı:

$$[(-2)-(-2)]/[2-(-2)]=0$$

olarak hesaplanır. Tüm seçenekler için normalleştirilmiş Copeland puanları ise Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Normalleştirilmiş Copeland puanı

	A1	A2	A3	ΣC	Copeland Puanı	Normalleştirilmiş Copeland Puanı
A1	-	0	0	0	-2	0
A2	1	-	0	1	0	0,5
A3	1	1	-	2	2	1
ΣR	2	1	0			

Normalleştirme sonrası elde edilen ağırlıklar için A1 seçeneği 0 değerini alırken A2 seçeneği 0,5 ve A3 seçeneği 1 değerini almıştır.

4.3.2. Olası ana üsler için ağırlıkların belirlenmesi

Ana üslerin belirlenmesi için öncelikle seçeneklerin ortaya konması gereklidir. Çalışmada Türkiye'deki mevcut havaalanları olası ana üs seçenekleri olarak alınmıştır. Olası ana üsler içerisinde uygun üsleri belirlemek birden fazla ölçütü göz önüne almayı gerektirmektedir. Çalışmada, enbüyüklenecek ve enküçüklenecek, niteliksel ve/veya niceliksel ölçütleri bir arada modelleme imkanı sunan ELECTRE yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, yöntem "A" seçeneği "B" seçeneğine göre tercih ediliyor ve "B" seçeneği "C" seçeneğine göre tercih ediliyor iken, "A" seçeneğinin "C" seçeneğine tercih edilmesini zorunlu kılmayan bir yöntemdir. Diğer bir ifadeyle, karar verici C' yi A' ya tercih edebilir.

Türkiye'de mevcut olan havaalanları olası ana üsler olarak seçildiğinden çalışmada ana üs kurma maliyeti değerlendirme dışı tutulmuştur. Olası ana üsler/mevcut havaalanları önemli olduğu düşünülen ölçütler temelinde puanlanarak ana üs olarak açılması halinde ne oranda fayda sağlayacağını gösteren ağırlıkların elde edilmesi amaçlanmıştır. Tablo 4.3'te ana üs seçenekleri ve ele alınan ölçütler verilmiştir.

Modelde ağırlandırılmak istenen karar noktaları; havaalanına sahip illerimizdir: Adana, Adıyaman, Ağrı, Ankara, Antalya, Balıkesir, Çanakkale, Denizli Diyarbakır, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Gaziantep, Isparta, İstanbul, İzmir, Kars, Kayseri, Konya, Malatya, Mardin, Kahramanmaraş, Muğla, Muş, Nevşehir, Samsun, Siirt, Sinop, Sivas, Tekirdağ, Trabzon, Şanlıurfa, Uşak, ve Van. Ağırlıklandırmada kullanılacak olan değerlendirme faktörleri ise havaalanı türü, çevresel tehditlerden uzak olma durumu, kara sınırı ile komşuluk, var olan hava sahasındaki yoğunluk, havaalanının büyüklüğü ve uçak kapasitesi olarak belirlenmiştir.

Havaalanları, askeri ve sivil amaçlar için kullanımına göre ikiye ayrılmaktadır. Devlet Hava Meydanları Genel Müdürlüğü'nce işletilen havaalanları sivil, sivil-askeri olarak ayrılmaktadır. Çalışmada insansız hava araçları kullanılarak kara sınırlarımızın

gözetimi yapılacağı için askeri kullanıma açık olmaları önemli bir ölçüttür. Veriler Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün internet sitesinden alınmıştır.

Tablo 4.3. Ana üs seçenekleri ve ele alınan ölçütler

ANA ÜS NUMARASI	SEÇENEKLER	HAVAALANI TÜRÜ	ÇEVRESEL TEHDİTLERDEN UZAK OLMA DURUMU	KARA SINIRI İLE KOMŞULUK	TRAFİK YOĞUNLUĞU	İŞLETİME AÇIK OLDUĞU SÜRE (saat/gün)
1	ADANA	SİVİL	ORTA	YOK	19.527	24
2	ADİYAMAN	SİVİL	ORTA	YOK	692	8,5
3	AĞRI	SİVİL	AZ	VAR	485	8
4	ANKARA	SİVİL	ORTA	YOK	47.379	24
5	ANTALYA	SİVİL	ORTA	YOK	105.828	24
6	BALIKESİR	ASKERİ+SİVİL	ORTA	YOK	81	8
7	ÇANAKKALE	ASKERİ+SİVİL	ORTA	YOK	1.050	10,5
8	DENİZLİ	ASKERİ+SİVİL	ÇOK	YOK	1.314	24
9	DİYARBAKIR	ASKERİ+SİVİL	AZ	YOK	5.762	14
10	ELAZIĞ	ASKERİ+SİVİL	ORTA	YOK	1.404	9,5
11	ERZİNCAN	ASKERİ+SİVİL	AZ	YOK	1.141	8,5
12	ERZURUM	ASKERİ+SİVİL	ORTA	YOK	3.624	15,5
13	GAZİANTEP	SİVİL	AZ	VAR	5.134	24
14	ISPARTA	SİVİL	ÇOK	YOK	1.458	8,5
15	İSTANBUL	SİVİL	ORTA	YOK	208.601	24
16	İZMİR	SİVİL	ORTA	YOK	40.321	24
17	KARS	SİVİL	ORTA	VAR	1.712	9
18	KAYSERİ	ASKERİ+SİVİL	ÇOK	YOK	4.798	24
19	KONYA	ASKERİ+SİVİL	ORTA	YOK	2.086	17
20	MALATYA	ASKERİ+SİVİL	ORTA	YOK	3.112	24
21	MARDİN	SİVİL	AZ	VAR	1.212	8
22	KAHRAMANMARAŞ	SİVİL	ORTA	YOK	740	9
23	MUĞLA	SİVİL	ORTA	YOK	20.059	24
24	MUŞ	ASKERİ+SİVİL	AZ	YOK	556	8
25	NEVŞEHİR	SİVİL	ORTA	YOK	1.331	15,5
26	SAMSUN	SİVİL	ÇOK	YOK	4.055	24
27	SİİRT	SİVİL	AZ	YOK	248	8
28	SİNOP	SİVİL	ÇOK	YOK	109	9
29	SİVAS	SİVİL	ORTA	YOK	1.021	9
30	TEKİRDAĞ	ASKERİ+SİVİL	ORTA	YOK	7.383	24
31	TRABZON	SİVİL	ÇOK	YOK	11.282	24
32	ŞANLIURFA	SİVİL	AZ	VAR	1.081	12,5
33	UŞAK	ASKERİ+SİVİL	ÇOK	YOK	358	8
34	VAN	SİVİL	AZ	VAR	4.206	8,5

Olası havaalanlarının bulunduğu ortam göz önüne alındığında ana üssün tehditlere maruz kalmaması veya güvenlik ihlaline uğramaması istenir. Bu nedenle çevresel tehditlerden uzak olması ölçüt olarak alınmıştır (EK 1).

Çalışmada kara sınırlarını İHA'larla izleme amaçlandığı için ve talep noktaları sınırdaki iller olduğu için açılacak ana üssünde kara sınırına komşuluğunun olması önemli bir ölçüttür.

İnsansız uçak sistemi, Devlet Hava Meydanları Genel Müdürlüğü'nün işlettiği mevcut havaalanlarına yerleştirileceği için ana üs olarak açılacak havaalanının trafik yoğunluğunun az olması insansız uçağın giriş ve çıkışında kolaylık sağlamaktadır. Mevcut havaalanlarının trafik yoğunluğuna ilişkin verileri, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün internet sitesinden alınmıştır (EK 1).

Çalışmada, insansız hava araçları gece gündüz 24 saat çalışabilir kabul edilmiştir. Bundan dolayı havaalanının açık olduğu sürenin fazla olması önemlidir. Çalışma saatine ilişkin veriler Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü'nün internet sitesinden alınmıştır.

Elde edilen veriler modelde kullanılabilir hale dönüştürülerek bir karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 4.4). Karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen karar noktaları, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak değerlendirme faktörleri yer almaktadır.

Tablo 4.4 Ana üs seçimi için karar matrisi

SEÇENEKLER	HAVAALANI TÜRÜ	ÇEVRESEL TEHDİTLERDEN UZAK OLMA DURUMU	KARA SINIRI İLE KOMŞULUK	VAR OLAN HAVA SAHASINDAKİ TRAFİK YOĞUNLUĞU	İŞLETİME AÇIK OLDUĞU SÜRE (saat/gün)
ADANA	5	5	0	1,95	2,4
ADİYAMAN	5	4	0	0,07	0,85
AĞRI	5	3	1	0,05	0,8
ANKARA	5	6	0	4,74	2,4
ANTALYA	5	5	0	10,58	2,4
BALIKESİR	8	5	0	0,01	0,8
ÇANAKKALE	8	5	0	0,11	1,05
DENİZLİ	8	8	0	0,13	2,4
DİYARBAKIR	8	3	0	0,58	1,4
ELAZIĞ	8	4	0	0,14	0,95
ERZİNCAN	8	3	0	0,11	0,85
ERZURUM	8	5	0	0,36	1,55
GAZİANTEP	5	3	1	0,51	2,4
ISPARTA	5	8	0	0,15	0,85
İSTANBUL	5	6	0	20,86	2,4
İZMİR	5	6	0	4,03	2,4
KARS	5	5	1	0,17	0,9
KAYSERİ	8	7	0	0,48	2,4
KONYA	8	6	0	0,21	1,7
MALATYA	8	6	0	0,31	2,4
MARDİN	5	3	1	0,12	0,8
KAHRAMANMARAŞ	5	5	0	0,07	0,9
MUĞLA	5	6	0	2,01	2,4
MUŞ	8	4	0	0,06	0,8
NEVŞEHİR	5	6	0	0,13	1,55
SAMSUN	5	9	0	0,41	2,4
SİİRT	5	3	0	0,02	0,8
SİNOP	5	9	0	0,01	0,9
SİVAS	5	5	0	0,10	0,9
TEKİRDAĞ	8	6	0	0,74	2,4
TRABZON	5	8	0	1,13	2,4
ŞANLIURFA	5	3	1	0,11	1,25
UŞAK	8	9	0	0,04	0,8
VAN	5	3	1	0,42	0,85
KARELERİNİN TOPLAMI	1357	1092	6	597,1222641	98,0725

Veriler değerlendirilirken 9'luk skala kullanılmıştır. Tablo 4.2'ye göre "Havaalanı türü" ölçütünde sivil hava alanı için 5, askeri+sivil havaalanı için 8 değerleri atanmıştır. "Çevresel tehditlerden uzak olma" ölçütünde "çok" için 7, 8 ve 9, "orta" için 6, 5 ve 4, "az" için 3, 2 ve 1 verilmiştir. Kara sınırı ile komşuluk varsa 1 yoksa 0 değeri atanmıştır.

ELECTRE'nin 2. adımında ölçütler birbiriyle kıyaslanarak ağırlıkları elde edilir. Olası ana üsler için belirlenen ölçütlerin ağırlıkları Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5. Olası ana üsleri için belirlenen ölçütlerin ağırlıkları

SEÇENEKLER	HAVAALANI TÜRÜ	ÇEVRESEL TEHDİTLERDEN UZAK OLMA DURUMU	KARA SINIRI İLE KOMŞULUK	VAR OLAN HAVA SAHASINDAKİ TRAFİK YOĞUNLUĞU	İŞLETİME AÇIK OLDUĞU SÜRE (saat/gün)	$\sum C$	r_j	$1/r_j$	W_i
HAVAALANI TÜRÜ	--	X	P	X	X	1	4	0,25	0,14
ÇEVRESEL TEHDİTLERDEN UZAK OLMA DURUMU	P	--	P	X	P	3	2	0,50	0,27
KARA SINIRI İLE KOMŞULUK	X	X	--	P	X	1	4	0,25	0,14
VAR OLAN HAVA SAHASINDAKİ TRAFİK YOĞUNLUĞU	P	P	X	--	X	2	3	0,33	0,18
İŞLETİME AÇIK OLDUĞU SÜRE (saat/gün)	P	X	P	P	--	3	2	0,50	0,27

Tabloya göre ölçütler 0,14 ile 0,27 arasında değer almıştır.

ELECTRE yönteminde olası ana üsler için elde edilen E matrisinden sonra Copeland yöntemiyle puanlar hesaplanır (EK 2). $(X-X_{enk})/(X_{enb}-X_{enk})$ formülüyle seçeneklerin puanları normalleştirilerek ağırlık değerleri hesaplanmış ve Tablo 4.6'da özetlenmiştir.

Tablo 4.6. Olası ana üsler için Copeland ve ağırlık değerleri

	OLASI ANA ÜSLER	C-R	NORMALLEŞTİRİLMİŞ COPELAND PUANI (AĞIRLIK)
1	ADANA	2,00	0,532
2	ADİYAMAN	-16,00	0,242
3	AĞRI	-31,00	0
4	ANKARA	13,00	0,71
5	ANTALYA	3,00	0,548
6	BALIKESİR	-16,00	0,242
7	ÇANAKKALE	-3,00	0,452
8	DENİZLİ	27,00	0,935
9	DİYARBAKIR	-15,00	0,258
10	ELAZIĞ	-8,00	0,371
11	ERZİNCAN	-25,00	0,097
12	ERZURUM	0,00	0,5
13	GAZİANTEP	-8,00	0,371
14	ISPARTA	9,00	0,645
15	İSTANBUL	14,00	0,726
16	İZMİR	14,00	0,726
17	KARS	-9,00	0,355
18	KAYSERİ	23,00	0,871
19	KONYA	7,00	0,613
20	MALATYA	15,00	0,742
21	MARDİN	-27,00	0,065
22	KAHRAMANMARAŞ	-11,00	0,323
23	MUĞLA	13,00	0,71
24	MUŞ	-19,00	0,194
25	NEVŞEHİR	5,00	0,581
26	SAMSUN	31,00	1
27	SİİRT	-29,00	0,032
28	SİNOP	20,00	0,823
29	SİVAS	-9,00	0,355
30	TEKİRDAĞ	16,00	0,758
31	TRABZON	26,00	0,919
32	ŞANLIURFA	-10,00	0,339
33	UŞAK	21,00	0,839
34	VAN	-23,00	0,129

Tablo 4.6'ya göre en fazla ağırlığa sahip iller; 1 ile Samsun sonra 0.9 ile Trabzon'dur.

4.3.3. Talep noktalarının ağırlıklarının belirlenmesi

Talep noktalarını önceliklendirmek ya da izlenme sıklığını belirlemek amacıyla ilgili kara sınırlarının ağırlıklandırılarak modelde kullanılabileceği düşünülmüştür. Bu amaçla, kara sınırlarımızdaki iller karar noktaları olarak alınmıştır: Hatay, Kilis, Gaziantep, Urfa, Mardin, Şırnak, Hakkari (İran ve Irak sınırı), Van, Ağrı, Iğdır, Kars, Ardahan, Artvin, Edirne, Kırıkkale. Ağırlıklandırmada kullanılacak olan değerlendirme faktörleri ise insansız uçakla kontrol ihtiyacı, yasa dışı sınır geçiş yoğunluğu ve sınırlarda gerçekleşen olay yoğunluğu olarak belirlenmiştir. Tablo 4.7’de ele alınan talep noktaları ve ölçütler verilmiştir.

Tablo 4.7. Talep noktaları ve ele alınan ölçütler

	TALEP NOKTALARI	İNSANSIZ UÇAKLA KONTROL İHTİYACI	YASA DIŞI SINIR GEÇİŞ YOĞUNLUĞU*	GERÇEKLEŞEN OLAY YOĞUNLUĞU*
1	HATAY	AZ	31	4
2	KİLİS	AZ	3	0
3	G.ANTEP	AZ	1	0
4	URFA	AZ	3	1
5	MARDİN	AZ	5	23
6	ŞIRNAK	ÇOK	4	83
7	HAKKARİ İRAN SINIRI	ÇOK	19	60
8	HAKKARİ İRAK SINIRI	ÇOK	19	60
9	VAN	ÇOK	43	12
10	AĞRI	ÇOK	15	1
11	IĞDIR	ORTA	42	2
12	KARS	ORTA	1	0
13	ARDAHAN	ORTA	4	1
14	ARTVİN	ORTA	11	0
15	EDİRNE	ORTA	193	0
16	KIRIKKALE	ORTA	7	0

* Türk Silahlı Kuvvetleri Genelkurmay Başkanlığı internet sitesinden alınmıştır.

Sadece Türkiye-Suriye sınırında fiziki güvenlik sistemi bulunmaktadır. İran ve Irak sınırlarımızın çok büyük kısmının, büyük ölçüde arazi yapısından kaynaklanan nedenlerle tel örgü, mayın tarlaları ve termal kameralar vb. gibi etkili fiziki güvenlik sistemleriyle korunamadığı, sınır hattının oldukça sarp arazi kesiminin üzerinde bulunması nedeniyle sadece sınır taşlarıyla bilindiği, fiziki güvenlik tedbirlerinin

yetersiz olduğu ve birçok yerde sınır taşının bile bulunmadığı görülmektedir (Serinkan, 2008). Diğer bir ifadeyle İran ve Irak sınırı, sınırı korumakla görevli birliklerin mevcutlarının ve teknik imkanlarının yetersiz oluşu, sınır hattında hiçbir fiziki engelin bulunmaması, arazi şartlarının olumsuzluğu insansız hava aracı ile gözetleme ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır.

Yasa dışı sınır geçiş yoğunluğu, talep noktasının gözetlenme sebeplerinden en önemlisidir. İlgili veriler Türk Silahlı Kuvvetleri Genelkurmay Başkanlığı internet sitesinden alınmıştır (EK 1).

Talep noktalarında gerçekleşen terör olaylarının yoğunluğu talep noktasının gözetlenme sebeplerinden diğer önemli olanıdır. İlgili veriler Türk Silahlı Kuvvetleri Genelkurmay Başkanlığı internet sitesinden alınmıştır (EK 1).

Talep noktaları için elde edilen veriler ışığında Tablo 4.8’de verilen karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 4.8. Talep noktaları için karar matrisi

TALEP NOKTALARI	İNSANSIZ UÇAKLA KONTROL İHTİYACI	YASA DIŞI SINIR GEÇİŞ YOĞUNLUĞU	GERÇEKLEŞEN OLAY YOĞUNLUĞU
HATAY	3	3,1	0,4
KİLİS	3	0,3	0
G.ANTEP	3	0,1	0
URFA	3	0,3	0,1
MARDİN	3	0,5	2,3
ŞIRNAK	8	0,4	8,3
HAKKARİ İRAN SINIRI	8	1,9	6
HAKKARİ İRAK SINIRI	8	1,9	6
VAN	8	4,3	1,2
AĞRI	8	1,5	0,1
İĞDIR	5	4,2	0,2
KARS	5	0,1	0
ARDAHAN	5	0,4	0,1
ARTVİN	5	1,1	0
EDİRNE	5	19,3	0
KIRIKKALE	5	0,7	0
KARELERİNİN TOPLAMI	515	430,17	147,85

Tablo 4.6'ya göre rotalar belirlenen ölçütlerle karşılaştırılmıştır. Örneğin; Hatay seçeneğinin yasa dışı sınır geçiş yoğunluğu 3.1 iken Kilis seçeneğinin 0.3'tür.

ELECTRE'nin 2. adımında talep noktaları için belirlenen ölçütler birbirleriyle kıyaslanarak ağırlıkları belirlenir. Tablo 4.9'da ölçütlerin ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 4.9. Talep noktaları için belirlenen ölçütlerin ağırlıkları

SEÇENEKLER	İNSANSIZ UÇAKLA KONTROL İHTİYACI	YASA DIŞI SINIR GEÇİŞ YOĞUNLUĞU	GERÇEKLEŞEN OLAY YOĞUNLUĞU	ΣC	r_j	$1/r_j$	W_i
İNSANSIZ UÇAKLA KONTROL İHTİYACI	--	X	X	0	3	0,33	0,18
YASA DIŞI SINIR GEÇİŞ YOĞUNLUĞU	P	--	P	2	1	1,00	0,55
GERÇEKLEŞEN OLAY YOĞUNLUĞU	P	X	--	1	2	0,50	0,27

Tabloya göre “yasa dışı sınır geçiş yoğunluğu” ölçütü en fazla ağırlığa sahiptir.

ELECTRE yönteminde karar noktalarının önem sırasının belirlendiği son adımda talep noktalarının birbirlerine baskınlıkları belirlenmiş ve Copeland yöntemiyle ağırlıklar oluşturulmuştur. $(X-X_{enk})/(X_{enb}-X_{enk})$ formülüyle normalleştirilerek ağırlık değerleri hesaplanmıştır. ELECTRE'den elde edilen baskınlık değerleri ve ağırlıklar Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Talep noktaları için baskınlık değerleri ve ağırlıklar

	HATAY	KİLİS	G.ANTEP	URFA	MARDİN	ŞIRNAK	HAKKARİ İRAN SINIRI	HAKKARİ İRAK SINIRI	VAN	AĞRI	İĞDIR	KARS	ARDAHAN	ARTVİN	EDİRNE	KIRIKKALE	ΣC	C-R	AĞIRLIK
HATAY	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	12	9	0,8
KİLİS	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	-9	0,1
G.ANTEP	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-13	0
URFA	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	-9	0,1
MARDİN	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	6	-2	0,4
ŞIRNAK	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	-5	0,3
HAKKARİ İRAN SINIRI	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	10	7	0,7
HAKKARİ İRAK SINIRI	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	10	7	0,7
VAN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	14	13	0,9
AĞRI	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	9	4	0,6
İĞDIR	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	13	11	0,9
KARS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-13	0
ARDAHAN	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	4	-5	0,3
ARTVİN	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	8	2	0,5
EDİRNE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	15	1
KIRIKKALE	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	7	0	0,5
ΣR	3	11	13	11	8	9	3	3	1	5	2	13	9	6	0	7			

Sonuç tablosuna göre en fazla ağırlığa sahip iller; sırasıyla Edirne, Iğdır, Van'dır.

4.4. Ana Dağıtım Üssü Problemi

Her bölgenin kendine özgü bölgesel özellikleri mevcuttur. Bütün olası ana dağıtım üssü ve talep noktalarının aynı özelliklerde kabul edilmemesi modelin gerçekliliğini koruyacaktır. Bu sebeple bölgeler arasındaki farklılıkların modele yansıtılabilmesi için bölgesel karakteristiği ifade edebilecek değerler alınmıştır. Ana dağıtım üssü ve talep noktalarına ait bu değerler bu noktalar hakkında daha sağlıklı değerlendirme yapmaya imkan vermektedir.

Olası ana dağıtım üsleri belirlenirken Türkiye’de mevcut olan havaalanları tercih edilmiştir (Şekil 4.4). Dolayısıyla ana üs kurma maliyeti çalışmada ele alınmamıştır. Olası ana üsler/mevcut havaalanları çeşitli yönlerden ağırlıklandırılarak ana üs açılması halinde ne oranda fayda sağlayacağı matematiksel modele dahil edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.4. Olası ana üsler

Talep noktalarını belirlerken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta kara sınırında olmalarıdır. Aynı ilde meydana gelen olaylar birleştirilip tek bir talep noktası olarak belirlenmiştir. Yani kara sınırlarımızda bulunan illerin il sınırları talep noktaları olarak kabul edilmiştir. Talep noktalarının önem dereceleri birbirinden farklı olabilir. Talep noktalarının kara sınırındaki uzunluklarının oranı ve talep noktalarında meydana gelen yasadışı faaliyetler önem derecesini değiştirebilir. Yine ilgili ölçütler temelinde elde edilen ağırlık değerleri modelde kullanabilmek için ELECTRE tekniği sonucunda elde edilerek matematiksel modele dahil edilmiştir.

4.4.1. Ana Dağıtım Üssü Problemi İçin Matematiksel Model

Matematiksel model olası ana dağıtım üslerinden hangisinin ya da hangilerinin açılmasının uygun olacağını belirlemek amacıyla belli varsayımlar altında kurulmuştur.

Varsayımlar:

- Uçakların irtifaları sabittir.
- Görüş her zaman sağlanmaktadır.
- Uçakların tümünün aynı tip olduğu varsayılmıştır.
- Uçakların hızları belirli ve sabittir (220 km/h).
- Uçakların gözetleme anındaki hızları 110 km/h olarak kabul edilmiştir.
- Gözetleme çapı 15 km olarak alınmıştır.
- Uçakların veri haberleşme menzili 300 km olarak kabul edilmiştir.
- Uçaklar kalktıkları üslere tekrar geri dönecektir.
- Görevlerin iyi hava şartlarında gerçekleştirildiği varsayılmıştır.
- Uçaklar için herhangi bir tehdit olmayacaktır.
- DHMİ tarafından işletilen hava alanları dikkate alınmıştır.

Parametreler

H ; $\{1, \dots, m\}$ olası ana dağıtım üslerinin kümesi

N ; $\{1, \dots, n\}$ talep noktalarının kümesi

i ; talep noktası $i=1, \dots, 16$

j ; olası ana üs $j=1, \dots, 34$

β_j ; j . olası ana dağıtım üssünün ağırlık faktörü (Electre yöntemiyle belirlenen)

d_{ij} ; i . talep noktası ile j . ana üs arasındaki uzaklık

S ; Uçağın en büyük menzili

p ; Açılacak ana üs sayısı (p , talep noktası sayısı kadar olabilir)

a_{ij} ; $\begin{cases} 1; & d_{ij} < S \text{ ise} \\ 0; & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

g_i ; i . noktada 2009 (Ocak-Haziran) yılında gerçekleşen yasa dışı sınır geçiş sayısı)

o_i ; i . noktanın 2009 (Ocak-Haziran) yılında gerçekleşen yasa dışı olay sayısı

$g_i + o_i$; i . noktanın talebi

Karar değişkenleri

$Y_j = \begin{cases} 1; j. \text{olası ana dağıtım üssü ana üs olarak belirlenmişse} \\ 0; \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

$X_{ij} = \begin{cases} 1; i. \text{düğüm } j. \text{ ana dağıtım üssüne atanmışsa} \\ 0; \text{diğer durumlarda} \end{cases}$

olmak üzere modelimiz:

$$\sum_j^m X_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (4.1)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i \in N \quad \forall j \in H \quad (4.2)$$

$$\sum_j^m Y_j = p \quad (4.3)$$

$$X_{ij} \leq a_{ij} \quad \forall i \in N \quad \forall j \in H \quad (4.4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N \quad \forall j \in H \quad (4.5)$$

$$\text{Enb } Z = \sum_j^m \beta_j * Y_j + \sum_i^n \sum_j^m (g_i + o_i) * X_{ij} \quad (4.6)$$

4.6 amaç fonksiyonunu ifade eder. Olası ana dağıtım üsleri için Electre yöntemiyle belirlenen ağırlık parametresiyle en büyük fayda sağlanacak ana üssün açılmasını sağlar. 4.1 kısıtı her talep noktasının mutlaka bir ana üsse atanmasını, 4.2 kısıtı j . olası ana üs, ana üs olarak atanmışsa yani ana üs olarak açılmışsa atanma yapılmasını eğer ana üs olarak açılmamışsa her hangi bir atanmanın yapılmamasını sağlar. 4.3 kısıtı açılacak olan ana üs sayısını p tane olabilecek şekilde sınırlar. 4.4 kısıtı uçağın en büyük menzili içerisinde ADÜ yer seçimi ve atamanın yapılmasını sağlar.

Yani X_{ij} , a_{ij} 'den büyük ise i . talep noktasının j .ana üsse atanmasını engeller. 4.6 kısıtı X_{ij} 'nin 0 yada 1 değer almasını sağlar.

4.4.2. Ana dağıtım üssü probleminin GAMS programı ile çözümü

Olası ana dağıtım üslerinden açılacak ana üsleri seçmek amacıyla kurulan model GAMS programının CPLEX çözücüsü ile çözülmüştür. Problem, modelde açılacak olan ana üs sayısına (p) 1'den 16'ya kadar değerler verilip çözülmüştür. Başka bir ifadeyle her bir p değeri için model ayrı ayrı çözdürülmüştür. En fazla oluşturulan talep noktaları kadar ($p=16$) ana üs açılmasına izin verilmiştir. Modelde veri yetersizliği nedeniyle ana üs açma maliyetleri kullanılmamıştır. Bu nedenle sadece talep noktası atanmayan ana üsler açılmıştır. Her bir p değeri için açılan ana üsler ve ana üslere bağlanan talep noktaları Ek 3 ve Ek 4'da verilmiştir.

Ana üs açma maliyeti nedeniyle kullanılmayacak ana üssü açmak maliyeti attıracaktır. Fayda maliyet analizi yapılarak uygun p 'ye karar verilebilir. Çalışmada $p=4$ alınarak rotalama problemine geçilmiştir (Tablo 4.11).

Tablo 4.11. Tercih edilen p değeri ve ana üsler

ANA ÜS SAYISI	AÇILAN ANAÜSLER	ANA ÜSLERE BAĞLANAN TALEP NOKTALARI	AMAÇ FONKSİYONU
$p=4$	(13) ANTEP	1,2,3,4	650,1770
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
	(31) TRABZON	13,14	
	(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12	

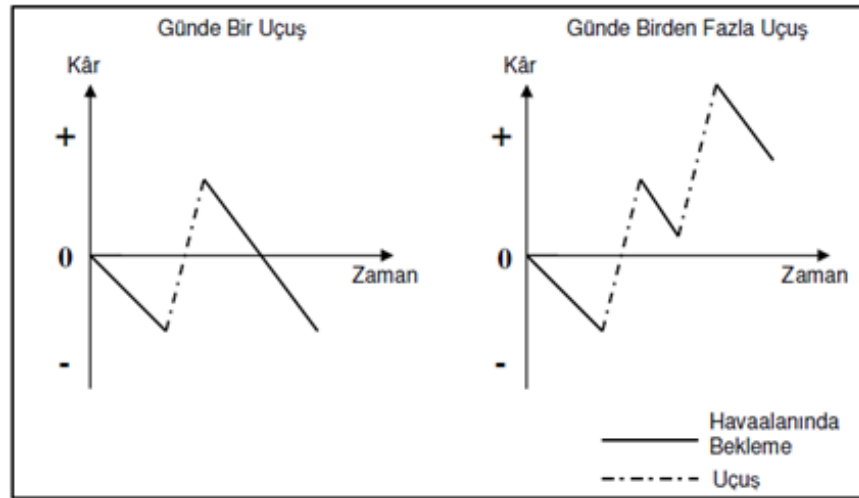
4.5. Uçak Rotalama Problemi

Erişilebilen literatür incelendiğinde genel olarak özellikle iki konuda eksiklikler göze çarpmıştır. Bu eksiklikler; uçuşların belirli uçaklar yerine sadece belirli bir filo tipine atanması, uçuşların belirli uçaklara atandığı çalışmalarda ise bir uçağın günde sadece tek bir uçuş yapıyor olmasıdır. Çalışmada ele alınan İHA'larda rotalama problemi ayrıca

1. Uçuşların filolar yerine belirli uçaklara atanması.
2. Bir günde birden fazla uçuşun belirli bir uçağa atanabilmesi

olmak üzere iki özelliği de içecek şekilde modellenmeye çalışılmıştır.

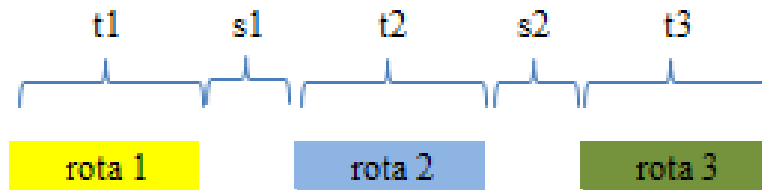
Bir uçağın günde sadece bir uçuş yaptığı atama modelleri bu çalışma hazırlanırken dikkate alınan en temel problemlerdendir. Havayolları şirketlerinin filolarında bulunan her bir uçağa günde sadece bir uçuşun atandığı çalışmalarda bir günde gerçekleştirilebilecek uçuş sayısı o şirketin filosunda bulunan uçakların sayısı ile kısıtlanmaktadır. Bu duruma karşın gerçek hayatta havayolu şirketlerinin filolarında bulunan uçaklar gün içerisinde birden çok uçuş gerçekleştirmektedirler. Bu şirketler için kârlılığın enbüyüklenebilmesi uçakların mümkün olduğu kadar faal halde bulunmalarına bağlıdır. Havayolu şirketlerinin uçakları için havaalanlarında bulunduğu saat başına ücret ödüyor olmaları ve geçen süre içerisinde hiçbir gelir elde etmiyor olmaları nedeniyle, bu uçakların mümkün olduğu kadar havada bulunuyor olması gerekmektedir (Şekil 4.5). Literatürde rastlanan bir uçağa günlük sadece bir uçuşun atandığı durumlar gerçek hayatta ancak kıtalararası uçuşlarda görülebilecek olup, kıtalararası uçuşların havayolu şirketlerinin diğer uçuşlarına göre sayıca çok az bir bölümünü oluşturduğu göz ardı edilmemelidir. Bu nedenlerden dolayı herhangi bir havayolu şirketi için o şirketin filosunda bulunan uçakların günde sadece bir uçuş yapması kabul edilemez bir durumdur. Sonuç olarak yapılan bu çalışmada bu sorun üzerinde durulmuş ve her bir uçağın uçuşların sürelerine de bağlı olarak günde birden fazla uçuş gerçekleştirmelerine izin verilmiştir.



Şekil 4.5. Günde bir veya birden fazla uçuş atanması durumundaki temsili karlılık grafiği (Taş, 2007)

4.5.1. Uçak Rotalama Problemi İçin Matematiksel Model

İHA'ların rotalama problemi iki farklı açıdan ele alınmaya çalışılmıştır. Birinci modelde maliyetin enküçüklenmesi amaçlanmıştır. İkincisinde ise talep noktalarının ELECTRE yöntemiyle elde edilen ağırlıklar temelinde izleme sıklığını arttıracak şekilde bir günden fazla bir planlama uzayında (24 saat (havada kalma süresi)+ turunu tamamlayıp ana üsse dönen uçağın bir sonraki tura hazırlık süresi) modelleme amaçlanmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Planlama uzayı

Her iki model de belli varsayımlar altında kurulmuştur:

Varsayımlar

- Uçakların tümünün aynı tip olduğu varsayılmıştır.
- Uçağın hareketi süresince kameranın kayıt yapıp merkeze gönderdiği varsayılmıştır.
- Uçakların havada kalma süresi vardır.
- Görevini bitirip gelen uçağın bir sonraki göreve hazırlanma süresi (sarj/benzin alma süresi) olduğu varsayılmıştır.
- Uçağın turu ana üstten başlayıp aynı ana üstte bitmelidir.
- Her ana üsse 3 adet uçak verilmiştir.
- Her talep noktası sadece bir rota tarafından ziyaret edilmelidir (maliyet yönlü bakılan model).
- Bir uçağa atanan rotaların süreleri toplamı T yi geçmemelidir.
- Bir uçağa belirlenen çözüm uzayı içerisinde birden fazla rota atanabilir.
- Enerji sarfiyatının düzgün dağıldığı varsayılmıştır.
- Uçağın normal uçuş hızı 120knot yani 220km/h alınmıştır.
- Çekim sırasındaki hızı 60 knot yani 110 km/h alınmıştır.

Parametreler

r : Rota (bir noktalar sırası olarak belirlenir) $r \in R$,

R : Muhtemel rotaların kümesi,

n : r rotasındaki talep noktası sayısı,

v : Uçak sayısı,

t_r : r rotasının süresi,

a_{nr} : r rotasının n talep noktasını içerip içermediği,

C_v : Bir uçağa ait sabit maliyet (2 milyon dolar)

C_o : Bir uçağı rotalama maliyeti (1000 dolar)

L_v : v uçağının en büyük süre kapasitesi

$\vartheta(n)$: n noktasının ELECTRE yöntemiyle belirlenen ağırlığı

Karar değiskenleri

$$h_v = \begin{cases} 1; v \text{ uçağı kullanılırsa } v = \{1, \dots, V\} \\ 0; diğer durumlarda \end{cases}$$

$$y_{rv} = \begin{cases} 1; r. \text{ rota } v. \text{ araca atanmışsa} \\ 0; diğer durumlarda \end{cases}$$

olmak üzere, maliyet yönlü bakılan model:

$$\sum_r^R t_r * y_{rv} - L_v * h_v \leq 0 \quad \forall v \quad (4.8)$$

$$\sum_{v=1}^V \sum_r^R a_{nr} y_{rv} = 1 \quad \forall n \in N \quad (4.9)$$

$$y_{rv} \in \{0,1\} \quad \forall r \in R \quad \forall v \in V \quad (4.10)$$

$$h_v \in \{0,1\} \quad \forall v \in V \quad (4.11)$$

k.a.

$$\text{Enküçük maliyet} = C_v * \sum_v^V h_v + C_o * \sum_v^V \sum_r^R t_r * y_{rv} \quad (4.7)$$

4.7 amaç fonksiyonudur, uçakların sabit maliyetleri ve işletme maliyetlerini içeren toplam maliyetin enküçüklenmesini amaçlar. 4.8 kısıtı, toplam zaman limitini gösterir. Uçaklar havada maksimum 24 saat kalabilmektedir. Bu nedenle süresini en iyi şekilde kullanılmalıdır. 4.9 kısıtı seçilen rotalarda talep noktalarının sadece bir kez yer almasını sağlar. 4.10 ve 4.11 kısıtları y_{rv} ve h_v 'nin 0 yada 1 değerini almasını sağlar.

Stratejik ağırlık yönlü bakılan model:

$$\sum_r^R t_r * y_{rv} - L_v * h_v \leq 0 \quad \forall v \quad (4.8)$$

$$\sum_{v=1}^V \sum_r^R a_{nr} y_{rv} \leq 3 \quad \forall n \in N \quad (4.13)$$

$$\sum_{v=1}^V \sum_r^R a_{nr} y_{rv} \geq 1 \quad \forall n \in N \quad (4.14)$$

$$y_{rv} \in \{0,1\} \quad \forall r \in R \quad \forall v \in V \quad (4.10)$$

$$h_v \in \{0,1\} \quad \forall v \in V \quad (4.11)$$

k.a.

$$Enbüyük ağırlık = \sum_r^R \sum_n^N \vartheta_n * a_{nr} \quad (4.12)$$

4.12 amaç fonksiyonu, talep noktalarının ELECTRE yöntemiyle elde edilen ağırlıkları temelinde izleme sıklığını arttırmayı amaçlar. 4.13 ve 4.14 kısıtları seçilen rotalarda talep noktalarının bir ile 3 kez yer almasını sağlar.

4.5.2. Uçak rotalama probleminin GAMS programı ile çözümü

Ana üsler ve hizmet verecekleri talep noktaları belirlendikten sonra ana üs-talep noktası ve talep noktası-talep noktası arasındaki süreler ve uçağın talep noktalarındaki işlem süresi hesaplanmıştır. Ana üslerden hareket eden ve ana üsse geri gelen uçağın normal hızı 220 km/h olarak alınmış, talep noktasından diğer talep noktasına geçerkenki hızı ise gözetleme yapmasından dolayı 110 km/h olarak alınmıştır. Süreler noktalar arası kuş uçuşu mesafelerinin uçağın hızına bölünmesiyle elde edilmiştir. Tablo 4.12, ana üs-talep noktası sürelerini, Tablo 4.13, talep noktası-talep noktası sürelerini, Tablo 4.14, uçağın talep noktalarındaki işlem sürelerini göstermektedir.

Tablo 4.12. Ana üs-talep noktası süreleri

ANA ÜS-TALEP NOKTASI SÜRELER(saat)								
İL ADI	HATAY	KİLİS	GAZİANTEP	ŞANLIURFA				
GAZİANTEP	0,69	0,18	0,29	1,03				
	MARDİN	ŞIRNAK	HAKKARİ(İRAK SINIRI)	HAKKARİ(İRAN SINIRI)	VAN	AĞRI	İĞDIR	KARS
VAN	1,11	0,61	0,82	0,68	0,37	0,67	0,83	1,16
	EDİRNE	KIRKLARELİ						
TEKİRDAĞ	0,27	0,51						
	ARDAHAN	ARTVİN						
TRABZON	1,31	0,90						

Tabloda süreler, ana üsler ve talep noktaları arasındaki mesafelerin uçağın hızına (220km/h) oranıdır.

Tablo 4.13. Talep noktası-talep noktası süreler

TALEP NOKTASI-TALEP NOKTASI SÜRELER (saat)								
	HATAY	KİLİS	GAZİANTEP	ŞANLIURFA				
HATAY	-	1,27	1,89	3,27				
KİLİS	1,27	-	0,68	1,73				
GAZİANTEP	1,89	0,68	-	1,18				
ŞANLIURFA	3,27	1,73	1,18	-				
	MARDİN	ŞIRNAK	HAKKARİ(İRAK SINIRI)	HAKKARİ(İRAN SINIRI)	VAN	AĞRI	İĞDIR	KARS
MARDİN	-	1,68	2,77	3,09	3,05	3,75	4,00	4,31
ŞIRNAK	1,68	-	1,44	1,72	2,05	2,85	3,23	3,76
HAKKARİ(İRAK SINIRI)	2,77	1,44	-	0,68	1,68	2,60	3,08	3,71
HAKKARİ(İRAN SINIRI)	3,09	1,72	0,68	-	1,23	2,04	2,65	3,32
VAN	3,05	2,05	1,68	1,23	-	1,18	1,65	2,42
AĞRI	3,75	2,85	2,60	2,04	1,18	-	0,56	1,33
İĞDIR	4,00	3,23	3,08	2,65	1,65	0,56	-	0,73
KARS	4,31	3,76	3,71	3,32	2,42	1,33	0,73	-
	ARDAHAN	ARTVİN						
ARDAHAN	-	0,82						
ARTVİN	0,82	-						
	EDİRNE	KIRKLARELİ						
EDİRNE	-	1,18						
KIRKLARELİ	1,18	-						

Tabloda süreler, aynı ana üsse bağlı talep noktaları arasındaki kuş uçuşu mesafelerin uçağın hızına (110km/h) oranıdır.

Tablo 4.14. Talep noktalarında (sınır boylarında) uçağın gözetleme süresi

İŞLEM SÜRESİ	<i>t</i> (saat)
HATAY	1,50
KİLİS	0,72
GAZİANTEP	0,48
URFA	1,83
MARDİN	1,22
ŞIRNAK	1,64
HAKKARİ(IRAK)	1,57
HAKKARİ(IRAN)	0,81
VAN	1,83
AĞRI	0,52
İĞDIR	1,41
KARS	1,04
ARDAHAN	1,15
ARTVİN	0,75
EDİRNE	1,83
KIRLARELİ	0,88

Tabloda işlem süreleri, talep noktaları olan sınırların kuş uçuşu uzaklıklarının uçağın çekim esnasındaki hızına (110km/h) oranıdır.

Süreler belirlendikten sonra rotalar kümesi R oluşturulmuştur. Tüm rotalar, talep noktası sayısı ve talep noktası sayısı ile rotada oluşturulacak nokta sayısının permütasyonu ile çarpımı $[n*(n,m)]$ kadardır. Belirlenen rotalardan, tur süresi 24 saati aşan seçenekler uçakların havada kalma süresini aştığı için değerlendirmeye alınmayarak her bir ana üs için muhtemel rotalar belirlenmiştir. Tekirdağ için 4 rota, Trabzon için 4 rota, Gaziantep için 64 rota ve Van için 109600 rota olmak üzere toplam 109672 rotadan tur süresi 24 saati geçen rotalar ayıklanarak 44696 rota belirlenmiştir. Örnek olarak Gaziantep ana üssü için oluşturulmuş muhtemel rotalar EK 5'te verilmiştir.

Rotalar belirlendikten sonra GAMS programında CPLEX çözücü ile çözülmüş ve birinci modele göre ana üslerin kullandığı araç ve rotalar Tablo 4.15'te özetlenmiştir (EK 6).

Tablo 4.15. Kullanılan araçlar ve rotaları (birinci model)

KULLANILAN ARAÇ SAYISI	ROTA NUMARALARI	VAN ANA ÜSSÜ					TUR SÜRESİ (saat)
		1	9	VAN	KARS	IĞDIR	
1	22149	VAN	HAK. IRAN	HAKKARİ IRAK		VAN	4.56
1	33054	VAN	ŞIRNAK	VAN		VAN	2.86
1	38669	VAN	MARDİN	VAN			3.44
KULLANILAN ARAÇ SAYISI	ROTA NUMARALARI	TEKİRDAĞ ANA ÜSSÜ				TUR SÜRESİ (saat)	
		1	1	TEKİRDAĞ	EDİRNE		TEKİRDAĞ
1	2	TEKİRDAĞ	KIRKLARELİ		TEDİRDAĞ	1.9	
KULLANILAN ARAÇ SAYISI	ROTA NUMARALARI	TRABZON ANA ÜSSÜ				TUR SÜRESİ (saat)	
		1	4	TRABZON	ARDAHAN		ARTVIN
KULLANILAN ARAÇ SAYISI	ROTA NUMARALARI	GAZİANTEP ANA ÜSSÜ					TUR SÜRESİ (saat)
		1	1	GAZİANTEP	HATAY	GAZİANTEP	
1	26	GAZİANTEP	KİLİS	ANTEP	URFA	GAZİANTEP	6.1

Tabloda maliyetle ilgili modelin GAMS programı ile çözümü sonucunda elde edilen rotalar ve rota bilgileri yer almaktadır. Van ana üssü için seçilmiş araç, ana üsten çıkıp Kars, Iğdır, Ağrı talep noktalarını gözlemledikten sonra tekrar ana üsse dönmüştür. Araç daha sonra ana üsten tekrar çıkarak Iran ve Irak talep noktalarını gözlemledikten sonra ana üsse geri dönmüştür. Kalan enerjisi yetecek rota olduğu için aynı araç 33054 ve 38669 rotalarını da yaparak ana üsse gelip şarj olacaktır.

İkinci modele göre ana üslerin kullandığı araç ve rotalar Tablo 4.16'da verilmiştir (EK 7).

Tablo 4.16. Kullanılan araçlar ve rotaları (ikinci model)

KULLANILAN ARAÇ SAYISI	ROTA NUMARALARI	VAN ANA ÜSSÜ				TUR SÜRESİ (saat)
		VAN	KARS	AĞRI	VAN	
3	2	VAN	KARS	AĞRI	VAN	4.72
3	6	VAN	KARS	IRAK	VAN	8.3
3	5568	VAN	İĞDIR		VAN	3.07
3	16517	VAN	VAN	VAN		2.57
3	22150	VAN	İRAN	ŞIRNAK	VAN	5.46
3	22151	VAN	İRAN	MARDİN	VAN	6.91
3	38669	VAN	MARDİN	VAN		3.44
KULLANILAN ARAÇ SAYISI	ROTA NUMARALARI	TEKİRDAĞ ANA ÜSSÜ			TUR SÜRESİ (saat)	
		TEKİRDAĞ	EDİRNE	TEKİRDAĞ		
3	1	TEKİRDAĞ	EDİRNE	TEKİRDAĞ	2.37	
3	2	TEKİRDAĞ	KIRKLARELİ	TEKİRDAĞ	1.9	
KULLANILAN ARAÇ SAYISI	ROTA NUMARALARI	TRABZON ANA ÜSSÜ			TUR SÜRESİ (saat)	
		TRABZON	ARTVİN	TRABZON		
3	1	TRABZON	ARTVİN	TRABZON	2.96	
3	2	TRABZON	ARDAHAN	TRABZON	3.36	
KULLANILAN ARAÇ SAYISI	ROTA NUMARALARI	GAZİANTEP ANA ÜSSÜ			TUR SÜRESİ (saat)	
		GAZİANTEP	HATAY	GAZİANTEP		
3	1	GAZİANTEP	HATAY	GAZİANTEP	2.88	
3	2	GAZİANTEP	KİLİS	GAZİANTEP	2.06	
3	3	GAZİANTEP	ANTEP	GAZİANTEP	1.06	
3	4	GAZİANTEP	URFA	GAZİANTEP	4.52	

Tabloda ağırlıkların dikkate alındığı modelin GAMS programı ile çözümü sonucunda elde edilen rotalar ve rota bilgileri yer almaktadır. Tekirdağ ana üssü için üç araç atanmıştır. İlk modelden farklı olarak bir talep noktasının birden fazla gözetlenebilmesine izin verildiği için tüm araçlar tüm noktaları gözetleyerek ana üsse dönmüştür.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizin jeo-stratejik konumu, tarihsel süreç, uluslararası ulaşım yolları, Orta Doğu'daki enerji kaynaklarına yakınlık, yirmi yılı aşkın süredir doğu ve güneydoğu bölgelerimizde yaşanan terör gibi bir çok ölçüt göz önüne alındığında, Türkiye kara sınırlarının kontrolünün ne kadar önemli olduğu karşımıza çıkmaktadır. Bu öneme karşın sadece Suriye sınırımızda fiziki güvenlik sistemi bulunmaktadır.

Çalışmada Türkiye kara sınırlarındaki güvenlik sistemi konusu ele alınarak İnsansız Hava Araçlarıyla sınırlardaki hareketin izlenmesi amaçlanmıştır. Devlet Hava Meydanları Genel Müdürlüğü'nün işlettiği havaalanları dikkate alınarak olası seçenekler içerisinde ana dağıtım üssü belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır.

Birinci aşama bir çok ölçütlü karar verme tekniği ELECTRE ile olası ana üs ve talep noktalarının ağırlıklarının belirlenmesi ve ana üs seçimidir. Elde edilen ağırlıklar ve İHA'nın menzili, ana üs belirleme modelinde kullanılarak mevcut havaalanları içerisinde İHA sisteminin yerleştirileceği en uygun havaalanları seçilmeye çalışılmıştır. Birinci aşama sonucunda Tekirdağ, Trabzon, Gaziantep ve Van havaalanlarına İHA sistemi kurulması önerilmiştir. Tekirdağ ana üssünün önerilmesinin sebebi; kuzeybatı bölgesinde diğer bir seçenek olan İstanbul havaalanına göre kara sınırına daha yakın olması, yoğunluğunun az olması ve askeri havaalanına sahip olmasıdır. Diğer ana üslerin açılma sebepleri de kendi bölgelerindeki olası ana üslere göre üstünlüklerinin olmasıdır. Sonuç olarak, birçok açıdan değerlendirilmesi gereken ana üs seçim probleminde birden fazla ölçütü dikkate alan ağırlıkların kullanılmasının faydalı olduğu gösterilmiştir.

İkinci aşama, birinci aşama sonucuna bağlı olarak açılan dört ana üstten İHA'ların rotalanması üzerine odaklanmıştır. Açılan ana üsler için belirlenen talep noktaları için 109672 rota oluşturulmuş ve oluşturulan rotalardan tur süreleri İHA'nın

havada kalma süresinden fazla olanlar ayıklanarak 44696'ya indirilmiştir. Bir uçağa birden fazla rota atanabilecek şekilde iki ayrı model geliştirilmiştir. İlk model maliyetleri enküçüklemeyi, ikinci model ise ELECTRE yöntemiyle belirlenen ağırlıklara göre talep noktalarını gözleme sıklığını enbüyüklemeyi amaçlamaktadır. İkinci aşama sonucunda maliyetlerin dikkate alındığı modelde Tekirdağ ana üssü için tek araç iki farklı rotayı, Trabzon ana üssü için tek araç bir rotayı, Van ana üssü için tek araç dört farklı rotayı, Gaziantep ana üssü için tek araç iki farklı rotayı gözetlemektedir. Ağırlıkların kullanıldığı modelde ise Tekirdağ ana üssü için üç araç iki farklı rotayı, Trabzon ana üssü için üç araç iki farklı rotayı, Van ana üssü için üç araç yedi farklı rotayı, Gaziantep ana üssü için üç araç dört farklı rotayı gözetlemektedir. Birinci model sonucunda her talep noktası bir kez gözetlenmiştir. İkinci modelde ise ağırlığı fazla olan talep noktalarının gözetleme sıklığı artmıştır.

Sonuç olarak ana üs belirleme modelinde ve talep noktalarını gözleme sıklığını enbüyüklemeyi amaçlayan uçak rotalama modelinde ağırlıklar etkilidir. Fakat maliyetler göz ardı edildiği için ana üs belirleme modelinde kullanılmayan ana üs açılmış, gözetleme sıklığını arttırmayı amaçlayan uçak rotalama modelinde ise araç sayıları artmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda, ilk aşamada ana üs belirleme modeline maliyet verileri de eklenerek çözülebilir ve fayda maliyet analizi uygulanabilir. Uçağın irtifaları dahil edilerek model çözülebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdinnour-Helm, S., 1998, A Hybrid Heuristic For The Uncapacitated Hub Location Problem, *European Journal Of Operational Research*, vol. 106, pp.489-499.
- Abdinnour-Helm, S., Venkataramanan, M.A., 1998, Solution Approaches To Hub Location Problem, *Annals Of Operational Research*, vol.78, pp. 31-50.
- Akça, Z., Berger, R.T., Ralphs, T.K., 2008, Modeling And Solving Location Routing And Scheduling Problems (<http://coral.ie.lehigh.edu/~ted>)
- Alamur, S., Kara, Y.B., 2007, Network Hub Location Problems, *European Journal Of Operational Research*, vol.190, 1-21.
- Andersson, T., 2006, Solving The Flight Perturbation Problem With Meta Heuristics, *Journal Of Heuristics*, vol.12, pp. 37-53.
- Aykin, T., 1990, On A Quadratic Integer Program For The Location Of Interacting Hub Facilities, *European Journal Of Operational Research*, vol.46, pp.409-411.
- Aykin, T., 1995, Networking Policies For Hub-And-Spoke Systems With Application To The Air Transportation System, *Transportation Science*, vol.29, pp.201-221.
- Be'Langer, N., Desaulniers, G., Francis, S., Soumis O., Desrosiers J., Lavigne, J., 2006. Weekly Airline Fleet Assignment With Homogeneity, *Transportation Research. Part B Vol. 40*, pp. 306-318.
- Bryan, D., O'Kelly, M.E., 1999, Hub And Spoke Networks In Air Transportation: An Analytical Review, *Journal Of Regional Science*, vol. 39, pp.275-295.
- Brunnsma F., Rietveld P., Brons M., 2000. Comparative Study Of Hub Airports In Europe: Ticket Prices, Travel Time And Rescheduling Costs, vol. 91, pp. 278-292.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bookbinder, J.H., Reece, K.E., 1988, Vehicle Routing Considerations In Distribution System Design, European Journal Of Operational Research, vol.37, pp. 204-213
- Boland, N., Krishnamoorthy, M., Ernst, A.T., Ebery, J., 2004, Preprocessing And Cutting For Multiple Allocation Hub Location Problems, Informs Journal On Computing, vol.155, pp.638-653.
- Bolat A., 2000. Procedures For Providing Robust Gate Assignments For Arriving Aircrafts. European Journal Of Operational Research, Vol 120, pp.63-80.
- Burke, E.K., Causmaecker, P.D., 2008, A Multi-Objective Approach For Robust Airline Scheduling, Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie, vol.91, pp. 278- 292.
- Campbell, J.F., 2009, Hub Location For Time Definite Transportation, Computers & Operations Research, vol.36, pp.3107-3116.
- Campbell, J.F., 1992, Location And Allocation For Distribution Systems With Transshipments And Transportation Economies Of Scale, Annals Of Operations Research, vol.40, pp.77-79.
- Campbell, J.F., 1994, Integer Programming Formulations Of Discrete Hub Location Problem, European Journal Of Operational Research, vol.72, pp. 387-405.
- Campbell, J.F., 1996, Hub Location And The P-Hub Median Problem, Operations Research, vol.44, pp.923-935.
- Campbell, A.M., Lowe, T.J., Zhang, L., 2007, The P-Hub Center Allocation Problem, European Journal Of Operational Research, vol. 176, pp.819–835.
- Camargo, R.S., Miranda, G., Luna, H.P., 2006, Benders Decomposition For The Uncapacitated Multiple Allocation Hub Location Problem, Computers & Operations Research, vol.35, pp.1047-1064.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Canovas, L., Garcia, S, Marin, A., 2007, Solving The Uncapacitated Multiple Allocation Hub Location Problem By Means Of A Duak Ascent Technique, European Journal Of Operational Research, vol.179, pp. 990-1007.
- Chen, J.F., 2007, A Hybrid Heuristic Fort He Uncapacitated Single Allocation Hub Location Problem, Omega, vol.35, pp.211-220.
- Clarke L., Johnson E., Nemhauser G., Zhu Z., 1997, The Aircraft Rotation Problem, Annals Of Operations Research, vol.69, pp.33 – 46.
- Cooper, L., 1972, The Transportation-Location Problem, Operations Research, vol.20, pp.94-108
- Costa, M.G., Captivo, M.E., Clímaco,J., 2007, Capacitated Single Allocation Hub Location Problem -A Bi-Criteria Approach, Computers & Operations Research, vol.35, pp. 3671 – 3695
- Cunha, C.B., Silva, M.R., 2007, New Simple And Efficient Heuristics For The Uncapacitated Single Allocation Hub Location Problem, Computers & Operations Research, vol.179, pp.747–758.
- Çankaya, G., Arıkan, M., 2008, Sütun Oluşturma Yaklaşımı İle Bir Havayolu Ekip Çizelgeleme Uygulaması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der, Cilt 24, No 1,ss. 43-50.
- Çalık, H., Alamur, S., Kara, B.Y., Karasan, O.E., 2008, A Tabu-Search Based Heuristic For The Hub Covering Problem Over Incomplete Hub Networks, Computers & Operations Research, vol.36, pp.3088-3096.
- Çetiner, S., 2003, An Iterative Hub Location And Routing Problem For Postal Delivery Systems, Yüksek Lisans Tezi, Odtü, Ankara
- Daskin, S.M., 1995, Nerwork And Discrete Location, John Wilwy&Sons Inc., Canada

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Drezner T., Drezner Z., 2001. A Note On Applying The Gravity Rule To The Airline Hub Problem. *Journal Of Reagional Science*, Vol. 41, No. 1, pp.67-73.
- Dumas, J., Aithnard, F., Soumis,F., 2009, Improving The Objective Function Of The Fleet Assignment Problem, *Transportation Research, Part B*(43), pp. 466–475
- Ebery, J., 2001, Solving Large Single Allocation P-Hub Problems With Two Or Three Hubs, *European Journal Of Operational Research*, vol.128, pp.447-458.
- Ermiş, M., Ülengin, F., 2006, Merkez Üslerin Konumlandırılması Probleminin Hopfield-Tank Yapay Sinir Ağları İle Çözülmesi, *İTÜ Dergisi*, vol.5, ss. 228-238
- Eldehli, S., Hu, F.X., 2005, Hub And Spoke Network Design With Congestion, *Computer And Operation Research*, vol.32, pp.1615 – 1632.
- Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., 1996, Efficient Algorithms For The Uncapacitated Single Allocation P-Hub Median Problems, *Location Science*, vol.4, pp.139-154.
- Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., 1996, Efficient Algorithm For The Uncapacitated Single Allocation P-Hub Median Problem, *Location Science*, vol.4, pp.139-154.
- Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., 1998, An Exact Solution Approach Based On Shortest Paths For P-Hub Median Problems, *Inform Journal And Computing*, vol.10, pp.149-162.
- Ernst, A.T., Krishnamoorthy, M., 1998, Exact And Heuristic Algorithms Fort He Uncapacitated Multiple Allocation P-Hub Median Problem, *European Journal Of Operational Research*, vol.104, pp.100-112.
- Ernst, A.T., Hamacher, H., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Woeginger, G., 2009, Uncapacitated Singleandmultipleallocation P-Hub Centerproblems, *Computer And Operation Research*, vol.36, pp. 2230-2241.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Fisher, M., Jaikumar, R., 1981, A Generalized Assignment Heuristic For Vehicle Routing, Networks, vol.11, pp. 109-124

Feo T. A., Bard J. F., 1989. Flight Scheduling And Maintenance Base Planning, Management Science, Vol. 35, pp. 1415-1432.

Geoffrion, A.M., Graves, G.W., 1974, Multicommodity Distribution System Design By Benders Decomposition, Management Science, vol.20, pp. 822-844

Ghoseiri, K., Szidarovszky, F., Asgharpour, M.J., 2004. A Multiobjective Train Scheduling Model And Solution. Transportation Research, Part B Vol. 38, pp. 927-952.

Gülen, M., 2006, İnsansız Hava Aracı Kazalarının Önlenmesinde Örnek Bir Risk Yönetimi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

Hamacher, H.W., Meyer, T., 2006, Hub cover and hub center problems, Working paper, Department of Mathematics, University of Kaiserslautern, Gottlieb-Daimler-Strasse, 67663 Kaiserslautern, Germany

Hall, R.W., 1989, Configuration Of An Overnight Package Air Network, Transportation Research, vol.23, pp.139-149.

Hsu, C.I., Wen, Y.H., 2000. Application Of Grey Theory And Multiobjective Programming Towards Airline Network Design. European Journal Of Operational Research, Vol.127, pp. 44-68.

Hsu, C.I. , Wen, Y.H., 2005. Airline Flight Frequency Determination In Response To Competitive Interactions Using Fuzzy Logic. Mathematical And Computer Modelling, Vol. 42, pp. 1207-1224.

Huang S-C., 2005. Airline Schedule Recovery Following Disturbances An Organizationally-Oriented Decision-Making Approach, University Of California, Doktora Tezi, p. 144

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Jacobsen, S.K., Madsen O.B.G., 1980, A Comparative Study Of Heuristics For A Two-Level Routing-Location Prpblem, European Journal Of Operational Research, vol.5, pp.378-387
- Jarrah, A. I., Strehler, J.C., 2000. An Optimization Model For Assigning Through Fights, Iie Transactions. Vol. 32, pp.237-244.
- Kara, B.Y., Tansel, B.C., 2003, The Single-Assignment Hub Covering Problem: Models And Linearizations, Journal Of The Operational Research Society, vol.54, pp. 59–64
- Kocabaş, S., 2003, İnsansız Hava Araçların Rota Planlaması İçin Bir Karar Destek Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu, Ankara
- Kılıç S., Kaylan A. R., 2005. Uçak Çizelgeleme Probleminin Karınca Kolonileri Optimizasyonu İle Çözümü, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt 2, Sayı 1, ss.87-95.
- Klincewicz, J.G., 1991, Heuristics For P-Hub Location Problem, European Journal Of Operational Research, vol.53, pp.25-37.
- Klincewicz, J.G., 1992, Avoiding Local Optima İn A P-Hub Location Problem Using Tabu Search And Grasp, Annals Of Operations Research, vol.10, pp.283-302.
- Kuby, M.E., Gray, R.G., The Hub Network Design Problem With Stopovers And Feeders: The Case Of Federal Express, Transportation Research, vol.27, pp.1-12.
- Laporte, G., Nobert, Y., Pelletier, P., 1983, Hamiltonian Location Problems, European Journal Of Operational Research, vol.12, pp. 82-89
- Labbe, M., Yaman, H., Gourdin, E., 2005, A Branch And Cut Algorithm For Hub Location Problems With Single Assignment, Mathematical Programming, vol.102, pp.371-405.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- List, G.F., Mirchandani, P., Turnquist, M.A., 1991, Modelling And Analysis For Hazardous Materials Transportation: Risk Analysis, Routing/Scheduling And Facility Location, Transportation Science, vol.25, pp. 100-114
- Marin, A., Canovas, L., Landete, M., New Formulations For The Uncapacitated Multiple Allocation Hub Location Problem, European Journal Of Operational Research, vol.172, pp.274-292.
- Marin, A., 2005, Formulating And Solving Splittable Capacitated Multiple Allocation Hub Location Problems, Computer And Operation Research, vol.32, pp.3093-3109.
- Mathaisel, D.F.X, 1997. Decision Support For Airline Schedule Planning Journal Of Combinatorial Optimization, pp. 251–275.
- Mayer, G., Wagner, B., 2002, Hublocator: An Exact Solution Method For The Multiple Allocation Hub Location Problem, Computer And Operation Research, vol.29, pp.715-739.
- Muharremoglu A., 2000. The Aircraft Sequencing Problem With Arrivals And Departures. Massachusetts Institute Of Tecnology, Y.Lisans Tezi, p.59
- Nambier, J.M., Gelders, L.F., Van Wassenhove, L.N., 1981, A Large Scale Location-Allocation Problem In The Natural Rubber Industry, European Journal Of Operational Research, vol.6, pp. 183-189
- O’Kelly, M.E., 1986, The Location Of Interacting Hub Facilities, Transportation Science, vol.20, pp.92-106.
- O’Kelly, M.E., Meller, H.J., 1994, The Hub Network Design Problem: A Review And Synthesis, Journal Of Transport Geography, vol.2, pp.31-40.
- O’Kelly, M.E., 1987, A Quadratic Integer Program For The Location Of Interacting Hub Facilities, European Journal Of Operational Research, vol.32, pp.393-404.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- O'Kelly, M.E., Bryan, D.L., Skorin Kapov, D., Skorin Kapov, J., 1996, Hub Network Design With Single And Multiple Allocation: A Computational Study, Location Science, vol.4, pp.125-138.
- O'Kelly, M.E., 1998, A Geographer's Analysis Of Hub And Spoke Networks, Journal Of Transport Geography, vol.6, pp.171-186.
- O'Kelly, M.E., Skorin Kapov, D., Skorin Kapov, J., 1995, Lower Bounds For The Hub Location Problem, Management Science, vol.41, pp.713-721.
- Or, I., Pierskalla, W.P., 1979, A Transportation Location-Allocation Model For Regional Blood Banking, AIE Transactions, vol.11(2), pp. 86-95
- Özger, A., Oktal, H, 2009, Havayolu Kargo Taşımacılığında Kapasite Sınırı Olmayan Çok Atamalı P-Ana Dağıtım Üssü Medyan Problemine Tamsayılı Model Yaklaşımı, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi, cilt 4, ss.47-60.
- Özger, A., 2008, Havayolu Kargo Taşımacılığında Kapasite Sınırı Olmayan Çok Atamalı P-Ana Dağıtım Üssü Medyan Problemine Tamsayılı Model Yaklaşımı, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir
- Qu, B., Weng, K., 2009, Path Relinking Approach For Multiple Allocation Hub Maximal Covering Problem, Computers And Mathematics With Applications, vol.57, pp. 1890-1894
- Pamuk, F.C., Sepil, C, 2000, A Solution To The Hub Center Problem Via A Single-Relocation Algorithm With Tabu Search, IIE Transactions, vol.33, pp. 399-411.
- Pirkul, H., Schilling, D.A., 1998, An Efficient Procedure For Designing Single Allocation Hub And Spoke System, Management Science, vol.44, pp.235-242.
- Pilla V. L., 2006. Robust Airline Fleet Assignment. The University Of Texas At Arlington, Doktora Tezi, p.86

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Pulugurtha S. S., Nambisan S. S., 2003. A Decision–Support Tool For Airline Yield Management Using Genetic Algorithms. *Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering*, Vol. 18, Issue 3, pp.214-223.
- Roland, D., 2003, “Uninhabited Air Vehicles From Science To Reality”, *Intelligence, Surveillance&Reconnaissance Journal*, vol.3: pp.16-21
- Randal, M., 2007, Solution Approaches Fort He Capacitated Single Allocation Hub Location Problem Using Ant Colony Optimisation, *Comput.Optmim.Appl*, vol.39, pp.239-261.
- Revelle, C., Cohon, J., Shobrys, D., 1991, Simultaneous Siting And Routing In The Disposal Of Hazardous Wastes, *Transportation Science*, vol.25, pp. 138-145
- Sasaki, M., Suzuki, A., Drezner, Z, 1997, On The Selection Of Relay Points In A Logistics Systems, *Asia Pacific Journal Of Operational Research*, vol.14, pp. 39-50.
- Sherali, H. D. , Bish, E.K., Zhu, X., 2006. Airline Fleet Assignment Concepts, Models, And Algorithms. *European Journal Of Operational Research*, Vol. 172, pp. 1-30.
- Skorin Kapov, D., Skorin Kapov, J., O’kelly, M.E.,1996, Tight Linear Programming Relaxations Of Uncapacitated P-Hub Median Problems, *European Journal Of Operational Research*, vol.94, pp.582-593.
- Skorin Kapov, D., Skorin Kapov, J., 1994, On Tabu Search Fort He Local Of Interacting Hub Facilities, *European Jpurnal Of Operational Research*, vol.73, pp.502-509.
- Smith, K., Krishnamoorthy, M., Palaniswami, M., 1996, Neural Versus Traditional Approachhes To The Location Of Interracting Hub Facilities, *Location Science*, vol.4, pp.155-171.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sohn, J., Park, S., 1998, Efficient Solution Procedure And Reduced Size Formulations For P-Hub Location Problems, *European Journal Of Operational Research*, vol.108, pp.118-126.
- Sohn, J., Park, S., 1997, A Linear Program For The Two-Hub Location Problem, *European Journal Of Operational Research*, vol.100, pp.617-622.
- Sohn, J., Park, S., 2000, The Single Allocation Problem In The Interacting Three Hub Network, *Networks*, vol.35, pp.17-25.
- Sriram, C, Haghani, A., 2003. An Optimization Model For Aircraft Maintenance Scheduling And Re-Assignment, *Transportation Research, Part A Vol. 37*, pp. 29-48.
- Stojković, G., Soumis, F., Desrosiers, J., Solomon M.M., 2002. An Optimization Model For A Real-Time Flight Scheduling Problem. *Transportation Research, Part A Vol. 36*, pp. 779–788.
- Sünnetçi, İ., 1999, “İha Teknolojisindeki Gelişmeler”, *Savunma Ve Havacılık Dergisi*, vol.3, pp.61-65
- Tanrikulu, M.M., Kara, B.Y., 2004, Ana Dağıtım Üssü Yer Seçimi Problemlerinde Çoklu-Atama Modelleri, *Yöneylem Araştırması Kongresi*
- Taş, O., 2007, Havayolu Şirketlerinde Uçuşların Atanması Probleminin Tavlama Benzetimi Yöntemi İle Çözülmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana*
- Topçuoğlu, H., Corut, F., Ermiş, M., Yılmaz, G., 2005, Solving The Uncapacitated Hub Location Problem Using Genetic Algorithm, *Computer And Operation Research*, vol.32, pp 967–984.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Wang, X., Regan, A., 2006. Dynamic Yield Management When Aircraft Assignments Are Subject To Swap. *Transportation Research, Part B* Vol. 40, pp.563-576.

Watson-Gandy, C., Dohrn, P., 1973, Depot Location With Van Salesmen-A Practical Approach, *Omega* I, vol.3, pp.321-329

Wu, C.L., 2005. Inherent Delays And Operational Reliability Of Airline Schedules, *Journal Of Air Transport Management*, Vol. 11, pp. 273-282.

Yaman, H., Kara, B.Y.,Barbaros , T., 2009, The Latest Arrival Hub Location Problem For Cargo Delivery Systems With Stopovers, *Transportation Research, Part B*(43), pp. 643–658

Yan S., Tang C.-H., Lee M.-C., 2007, A Flight Scheduling Model For Taiwan Airlines Under Market Competitions. *The International Journal Of Management Science*, Vol. 35, pp.61-74.

Yang, T.H., 2009, *Stochastic Air Freight Hub Location And Flight Routes Planning*, Elsevier Inc.

Yaralıoğlu, K., 2006, *Electre Yöntemi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Yıldırım, O., Gökler, M.İ., Kazandır, B., Yazıcıoğlu, Y., 2006, 3. Savunma Teknolojileri Kongresi, Cilt 2, ODTÜ, Ankara, s.90.

www.stratejikboyut.com/article_detail.php (Cafer Serinkan)

<http://web.shgm.gov.tr/> (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü)

<http://www.dhmi.gov.tr/> (Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü)

EKLER

- Ek-1 2009 yılı yasa dışı olaylar
- Ek-2 Olası ana üslerin ağırlıkları
- Ek-3 Ana üs belirleme modelinin GAMS kodu
- Ek-4 ADÜ probleminin çözüm sonuçları
- Ek-5 Gaziantep için oluşturulan rotalar ve tur süreleri
- Ek-6 Maliyetlerin kullanıldığı modelin GAMS kodu
- Ek-7 Talep noktalarının gözetleme sıklığı arttırmayı amaçlayan modelin GAMS kodu

Ek 1. 2009 yılı yasa dışı olaylar

2009 YILI YASA DIŞI SINIR GEÇİŐLERİ (Türk Silahlı Kuvvetleri Genelkurmay Başkanlığı İnternet Sitesi)			2009 YILI BÖLÜCÜ TERÖR ÖRGÜTÜYLE MÜCADELE OLAYLARI		
NO	TARİH/SAAT	YER	NO	TARİH/SAAT	YER
443	04 Haziran 2009	Yunanistan Sınırı	301	06 Haziran 2009 17:30	Silopi / ŞIRNAK
442	04 Haziran 2009	Ege Denizi	300	05 Haziran 2009 13:00	Çukurca / HAKKÂRİ
441	03 Haziran 2009	İran Sınırı	299	04 Haziran 2009 13:00	Beytüşşebap/ ŞIRNAK
440	03 Haziran 2009	Neveşehir / Ankara / Muğla / İğdir / Hatay	298	04 Haziran 2009 10:30	Beytüşşebap/ ŞIRNAK
439	03 Haziran 2009	Yunanistan Sınırı	297	03 Haziran 2009 22:10	Güçlükonak / ŞIRNAK
438	03 Haziran 2009	Suriye Sınırı	296	04 Haziran 2009 12:00	Merkez/ ŞIRNAK
437	02 Haziran 2009	Aksaray	295	03 Haziran 2009 16:30	Çukurca/ HAKKÂRİ
436	02 Haziran 2009	Ege Denizi	294	03 Haziran 2009 13:45	Çukurca/ HAKKÂRİ
435	02 Haziran 2009	Yunanistan Sınırı	293	03 Haziran 2009 13:25	Yüksekova / HAKKÂRİ
434	02 Haziran 2009	Suriye Sınırı	292	02 Haziran 2009 21:30	Uludere / ŞIRNAK
433	01 Haziran 2009	İran Sınırı	291	02 Haziran 2009 17:00	Çukurca / HAKKÂRİ
432	01 Haziran 2009	Suriye Sınırı	290	01 Haziran 2009 19:00	Çukurca / HAKKÂRİ
431	31 Mayıs -01 Haziran 2009	Hakkâri / Çanakkale	289	01 Haziran 2009 14:00	Dargeçit / MARDİN
430	31 Mayıs 2009	Yalova / İğdir / Aydın	288	31 Mayıs 2009 11:10	Şemdinli / HAKKÂRİ
429	31 Mayıs 2009	Ege Denizi	287	31 Mayıs 2009 07:20	Uludere / ŞIRNAK
428	31 Mayıs 2009	Yunanistan Sınırı	286	30 Mayıs 2009 13:00	Şemdinli / HAKKÂRİ
427	31 Mayıs 2009	İran Sınırı	285	30 Mayıs 2009 03:30	Siopi / ŞIRNAK
426	31 Mayıs 2009	Suriye Sınırı	284	29 Mayıs 2009 14:00	Uludere / ŞIRNAK
425	31 Mayıs 2009	Suriye Sınırı	283	29 Mayıs 2009 11:30	Özalp / VAN
404	25 Mayıs 2009	Suriye Sınırı	282	29 Mayıs 2009 10:30	Silopi / ŞIRNAK
403	25 Mayıs 2009	Ege Denizi	281	28 Mayıs 2009 16:25	Şemdinli / HAKKÂRİ
402	25 Mayıs 2009	Suriye Sınırı	280	28 Mayıs 2009 06:05	Başkale / VAN
401	24 Mayıs 2009	Edirne / Kırkkale / Muğla	279	27 Mayıs 2009 10:00	Yüksekova / HAKKÂRİ
400	24 Mayıs 2009	Yunanistan Sınırı	278	28 Mayıs 2009 14:00	Çukurca / HAKKÂRİ
399	22-23 Mayıs 2009	Van / Edirne / Kırklareli	277	27 Mayıs 2009 23:40	Çukurca / HAKKÂRİ
398	23 Mayıs 2009	Suriye Sınırı	276	27 Mayıs 2009 16:00	Silopi / ŞIRNAK
397	23 Mayıs 2009	Ege Denizi	275	27 Mayıs 2009 16:00	Şemdinli / HAKKÂRİ
396	23 Mayıs 2009	Yunanistan Sınırı	274	25 Mayıs 2009 17:20	Merkez / TUNCELİ
395	22 Mayıs 2009	Bulgaristan Sınırı	273	25 Mayıs 2009 15:50	Yüksekova / HAKKÂRİ
394	22 Mayıs 2009	İran Sınırı	272	25 Mayıs 2009 07:00	Karhova / BİNGÖL
393	21 Mayıs 2009	Van	271	24 Mayıs 2009 18:15	Yüksekova / HAKKÂRİ
392	22 Mayıs 2009	Suriye Sınırı	270	23 Mayıs 2009 18:25	Merkez / ŞIRNAK
391	21-22 Mayıs 2009	Yunanistan Sınırı	269	24 Mayıs 2009 05:15	Malazgirt / MUŞ
390	21 Mayıs 2009	Edirne/Van	268	23 Mayıs 2009 12:00	Karakoyunlu / İĞDIR
389	20 Mayıs 2009	Van / Erzurum / Antalya / Hakkari	267	23 Mayıs 2009 10:30	Çukurca / HAKKÂRİ
388	19 Mayıs 2009	Çanakkale	266	22 Mayıs 2009 13:00	Lice / DİYARBAKIR
387	19 Mayıs 2009	İran Sınırı			
386	18 Mayıs 2009	Van / İstanbul			
385	18 Mayıs 2009	Yunanistan Sınırı			
384	18 Mayıs 2009	İrak Sınırı			
383	18 Mayıs 2009	İran Sınırı			
382	17 Mayıs 2009	Van / Edirne / Hakkari / Aydın			
381	17 Mayıs 2009	Suriye Sınırı			
380	16 Mayıs 2009	Yunanistan Sınırı			
379	14 Mayıs 2009	Edirne / Kocaeli / Erzurum			
378	14 Mayıs 2009	Suriye Sınırı			
377	14 Mayıs 2009	Bulgaristan Sınırı			
376	13 Mayıs 2009	Yunanistan Sınırı			
375	13 Mayıs 2009	Edirne / Adana			
374	13 Mayıs 2009	Ege Denizi			
373	12-13 Mayıs 2009	Yunanistan Sınırı			
372	12 Mayıs 2009	İzmir / Çarşak / Muğla /			

Ek 1. 2009 (devam) yılı yasa dışı olaylar

317	20 Nisan 2009	İran Sınırı	225	11 Mayıs 2009 12:30	Nusaybin / MARDİN
316	25-26 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	224	11 Mayıs 2009 11:00	Pülümür / TUNCELİ
315	25-26 Nisan 2009	Ağrı / İzmir / Ankara / Muğla / Van / Edirne	223	11 Mayıs 2009 04:30	Başkale / VAN
314	25 Nisan 2009	İran Sınırı	222	11 Mayıs 2009 03:30	Yedisu / BİNGÖL
313	25 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	221	11 Mayıs 2009 03:00	Yüksekova / HAKKÂRI
312	24 Nisan 2009	Van /Hatay /Ağrı	220	11 Mayıs 2009 03:00	Hani / DİYARBAKIR
311	24 Nisan 2009	Edirne / Aydın	219	10 Mayıs 2009 11:50	Merkez / ŞIRNAK
310	24 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	218	09 Mayıs 2009 16:00	Merkez / ŞIRNAK
309	24 Nisan 2009	Suriye Sınırı	217	09 Mayıs 2009 06:10	Merkez / ŞIRNAK
308	23 Nisan 2009	İzmir / Iğdır / Adana / Elazığ / Edirne	216	08 Mayıs 2009 08:00	Başkale / VAN
307	22-23 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	215	06 Mayıs 2009 06:30	Şemdinli / HAKKÂRI
306	22 Nisan 2009	Aksaray / Ağrı / Aydın / İzmir / Edirne	214	05 Mayıs 2009 06:00	Şemdinli / HAKKÂRI
305	22 Nisan 2009	Ege Denizi	213	05 Mayıs 2009 02:00	Merkez / BİTLİS
304	21-22 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	212	04 Mayıs 2009 08:40	Uludere / ŞIRNAK
303	21 Nisan 2009	İran Sınırı	211	02 Mayıs 2009 23:10	Şemdinli / HAKKÂRI
302	21 Nisan 2009	Edirne	210	02 Mayıs 2009	Mutki / BİTLİS
301	21 Nisan 2009	Ege Denizi	209	02 Mayıs 2009 12:30	Merkez / ŞIRNAK
300	21 Nisan 2009	İran Sınırı	208	02 Mayıs 2009 10:25	Merkez / ŞIRNAK
299	20 Nisan 2009	İzmir/ Edirne/ Iğdır/ Antalya/ Hatay/ Muğla/ Ağrı/ Yalova	207	02 Mayıs 2009 10:00	Merkez / ŞIRNAK
298	20 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	206	01 Mayıs 2009 12:50	Çukurca / HAKKÂRI
297	19 Nisan 2009	Van / Iğdır/Muğla	205	01 Mayıs 2009 05:15	Pülümür / TUNCELİ
296	19 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	204	30 Nisan 2009 09:00	Dicle / DİYARBAKIR
295	19 Nisan 2009	Suriye Sınırı	203	29 Nisan 2009	Şemdinli / HAKKÂRI
294	18 Nisan 2009	Edirne / İzmir	202	29 Nisan 2009 14:15	Merkez / TUNCELİ
293	18 Nisan 2009	Suriye Sınırı	201	29 Nisan 2009 12:00	Merkez / MUŞ
292	18 Nisan 2009	İran Sınırı	200	29 Nisan 2009 10:15	Merkez / DİYARBAKIR
291	17-18 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	199	29 Nisan 2009 07:00	Merkez / TUNCELİ
290	17 Nisan 2009	Edirne/ İstanbul / Artvin / Antalya	198	28 Nisan 2009	Şemdinli / HAKKÂRI
289	17 Nisan 2009	Ege Denizi	197	29 Nisan 2009 13:45	Şemdinli / HAKKÂRI
288	17 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	196	29 Nisan 2009 06:05	Lice / DİYARBAKIR
287	17 Nisan 2009	İran Sınırı	195	28 Nisan 2009 16:45	Merkez / TUNCELİ
286	16 Nisan 2009	Balıkesir / Hakkâri / Iğdır / Çanakkale	194	27 Nisan 2009 16:30	Dargeçit / MARDİN
285	16 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	193	27 Nisan 2009 13:00	Silopi / ŞIRNAK
284	16 Nisan 2009	Suriye Sınırı	192	27 Nisan 2009 13:00	Pülümür / TUNCELİ
283	15 Nisan 2009	Iğdır / Van	191	27 Nisan 2009 07:30	Merkez / BİNGÖL
282	15 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	190	27 Nisan 2009 02:10	Nusaybin / MARDİN
281	15 Nisan 2009	İran Sınırı	189	26 Nisan 2009 14:20	Yüksekova / HAKKÂRI
280	15 Nisan 2009	Suriye Sınırı	188	26 Nisan 2009 11:00	Pervari / ŞİRT
279	14 Nisan 2009	Hakkâri	187	26 Nisan 2009 10:30	Adaklı / BİNGÖL
278	14 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	186	26 Nisan 2009 09:00	Merkez / BİNGÖL
277	14 Nisan 2009	İran Sınırı			
276	13 Nisan 2009	Edirne / Iğdır			
275	13 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı			
274	13 Nisan 2009	Suriye Sınırı			
273	12-13 Nisan 2009	Suriye Sınırı			
272	12 Nisan 2009	İran Sınırı			
271	12 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı			
270	12 Nisan 2009	Mardin			
269	11 Nisan 2009	Aksaray / Çanakkale			
268	11 Nisan 2009	Suriye Sınırı			
267	11 Nisan 2009	Suriye Sınırı			
266	10-11 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı			
265	10 Nisan 2009	Edirne / Tekirdağ / Bitlis			
264	10 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı			
263	09 Nisan 2009	Suriye Sınırı			

Ek 1. (devam) 2009 yılı yasa dışı olaylar

262	09 Nisan 2009	Suriye Sınırı	185	25 Nisan 2009 07:30	Adaklı / BİNGÖL
261	09 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	184	25 Nisan 2009 07:00	Merkez / TUNCELİ
260	09 Nisan 2009	Hakkâri / Iğdır	183	24 Nisan 2009 16:20	Adaklı / BİNGÖL
259	08 Nisan 2009	Van / Hakkâri / Artvin / Edirne / Iğdır / Balıkesir	182	24 Nisan 2009 11:00	Çukurca / HAKKÂRİ
258	07-08 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	181	23 Nisan 2009 17:00	Pervari / SİİRT
257	06 Nisan 2009	Suriye	180	22 Nisan 2009 12:25	Merkez / ŞIRNAK
256	07 Nisan 2009	Iğdır / Hakkâri	179	22 Nisan 2009 17:00	Merkez / BİTLİS
255	06-07 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	178	22 Nisan 2009 06:00	Merkez / TUNCELİ
254	06 Nisan 2009	Edirne	177	21 Nisan 2009 06:30	Silopi / ŞIRNAK
253	06 Nisan 2009	Ege Denizi	176	21 Nisan 2009 05:00	Sur / DİYARBAKIR
252	06 Nisan 2009	Gürcistan Sınırı	175	20 Nisan 2009 15:00	Merkez / ŞIRNAK
251	06 Nisan 2009	Suriye Sınırı	174	19 Nisan 2009 20:00	Merkez / TUNCELİ
250	05 Nisan 2009	Suriye Sınırı	173	20 Nisan 2009 15:30	Merkez / BİNGÖL
249	05 Nisan 2009	Aydın / Muğla	172	20 Nisan 2009 15:00	Karlıova / BİNGÖL
248	04-05 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	171	20 Nisan 2009 14:30	Başkale / VAN
247	04 Nisan 2009	Edirne / Uşak / Muğla / Iğdır	170	20 Nisan 2009 12:00	Silopi / ŞIRNAK
246	03 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	169	20 Nisan 2009 10:45	Çukurca / HAKKÂRİ
245	03 Nisan 2009	Mersin / Edirne / Hatay / Iğdır	168	20 Nisan 2009 10:00	Merkez / TUNCELİ
244	02 Nisan 2009	Edirne / Tekirdağ	167	18 Nisan 2009 13:00	Lice / DİYARBAKIR
243	02 Nisan 2009	Suriye Sınırı	166	18 Nisan 2009 11:15	Merkez / ŞIRNAK
242	02 Nisan 2009	Ege Denizi	165	17 Nisan 2009 14:00	Karakoçan / ELAZIĞ
241	02 Nisan 2009	Yunanistan Sınırı	164	15 Nisan 2009 19:55	Dicle / DİYARBAKIR
240	01 Nisan 2009	Aydın / Ankara / Ağrı / Iğdır / Van	163	15 Nisan 2009 14:10	Çukurca / HAKKÂRİ
239	01 Nisan 2009	Ege Denizi	162	14 Nisan 2009 16:10	Silopi / ŞIRNAK
238	01 Nisan 2009	Suriye Sınırı	161	14 Nisan 2009 10:00	Yüksekova / HAKKÂRİ
237	31 Mart 2009	Van / Edirne / Aydın / Muğla / Tekirdağ / Hakkâri / Yalova	160	14 Nisan 2009 09:45	Silopi / ŞIRNAK
236	31 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	159	13 Nisan 2009 09:00	Şemdinli / HAKKÂRİ
235	30 Mart 2009	Muğla / Kilis	158	13 Nisan 2009 13:00	Başkale / VAN
234	30 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	157	13 Nisan 2009 13:00	Dicle / DİYARBAKIR
233	29 Mart 2009	Edirne / Hatay	156	13 Nisan 2009 10:10	Uludere / ŞIRNAK
232	28 Mart 2009	Suriye Sınırı	155	12 Nisan 2009 13:20	Merkez / BİTLİS
231	28 Mart 2009	Hakkâri	154	12 Nisan 2009 13:00	Uludere / ŞIRNAK
230	28 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	153	12 Nisan 2009 11:30	Karlıova / BİNGÖL
229	28 Mart 2009	Suriye Sınırı	152	12 Nisan 2009 11:10	Merkez / ŞIRNAK
228	26 Mart 2009	İran Sınırı	151	11 Nisan 2009 18:30	Şemdinli / HAKKÂRİ
227	26 Mart 2009	İstanbul / Bitlis / Iğdır	150	11 Nisan 2009 12:20	Yüksekova / HAKKÂRİ
226	25 Mart 2009	Edirne / Sakarya / Antalya / Hatay	149	11 Nisan 2009 12:00	Merkez / ŞIRNAK
225	25 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	148	11 Nisan 2009 09:30	Karakoçan / ELAZIĞ
224	24 Mart 2009	İran Sınırı	147	10 Nisan 2009 10:00	Göle / ARDAHAN
223	24 Mart 2009	Suriye Sınırı			
222	23-24 Mart 2009	Yunanistan Sınırı			
221	23-24 Mart 2009	Kırşehir / Çanakkale / Hakkâri / Van / Hatay			
220	23 Mart 2009	İran Sınırı			
219	23 Mart 2009	Hatay			
218	23 Mart 2009	Yunanistan Sınırı			
217	23 Mart 2009	Suriye Sınırı			
216	23 Mart 2009	İran Sınırı			
215	22 Mart 2009	Edirne / Hakkâri			
214	22 Mart 2009	Suriye Sınırı			
213	21 Mart 2009	Yunanistan Sınırı			
212	21 Mart 2009	Van / Aydın / Edirne / Bitlis / Aksaray / Adana			
211	20 Mart 2009	İran Sınırı			
210	20 Mart 2009	Yunanistan Sınırı			
209	20 Mart 2009	Bitlis / Şırnak			

Ek 1. (devam) 2009 yılı yasa dışı olaylar

207	19 Mart 2009	İran Sınırı	140	08:30	Merkez / ŞIRNAK
206	18 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	145	11 Nisan 2009	Merkez / ŞIRNAK
205	18 Mart 2009	Edirne / Van / Kilis / Çanakkale / Bitlis / Ağrı / Iğdır	144	10 Nisan 2009 20:20	Merkez / ŞIRNAK
204	18 Mart 2009	Ege Denizi	143	10 Nisan 2009 14:00	Merkez / TUNCELİ
203	17 Mart 2009	Suriye Sınırı	142	10 Nisan 2009 13:30	Nazimiye / TUNCELİ
202	17 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	141	10 Nisan 2009 10:00	Kemaliye / ERZINCAN
201	16-17 Mart 2009	Van / Muğla / Erzincan / Kırkkale / Iğdır / Artvin / Edirne / Ağrı	140	10 Nisan 2009 10:00	Çukurca / HAKKÂRİ
200	16 Mart 2009	Ankara/İzmir/Ağrı	139	10 Nisan 2009 09:30	Genç / BİNGÖL
199	16 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	138	10 Nisan 2009 09:30	Uludere / ŞIRNAK
198	16 Mart 2009	Suriye Sınırı	137	10 Nisan 2009 08:30	Uludere / ŞIRNAK
197	15 Mart 2009	İran Sınırı	136	10 Nisan 2009 00:30	Uludere / ŞEMDİNLİ
196	15 Mart 2009	Aydın	135	09 Nisan 2009 17:30	Şemdinli / HAKKÂRİ
195	15 Mart 2009	Suriye Sınırı	134	09 Nisan 2009 11:00	Silopi / ŞIRNAK
194	14 Mart 2009	Şanlıurfa	133	08 Nisan 2009 21:30	Çukurca / HAKKÂRİ
193	14 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	132	08 Nisan 2009 13:10	Silopi / ŞIRNAK
192	14 Mart 2009	Suriye Sınırı	131	08 Nisan 2009 11:30	Genç / BİNGÖL
191	14 Mart 2009	İran Sınırı	130	08 Nisan 2009 10:35	Şemdinli / HAKKÂRİ
190	13 Mart 2009	İzmir /Bitlis	129	08 Nisan 2009	Genç / BİNGÖL
189	12 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	128	07 Nisan 2009 12:25	Yüksekova / HAKKÂRİ
188	12 Mart 2009	Iğdır / Ağrı / Van / İstanbul	127	07 Nisan 2009 07:30	Uludere / ŞIRNAK
187	12 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	126	05 Nisan 2009	Şemdinli / HAKKÂRİ
186	12 Mart 2009	Bulgaristan Sınırı	125	06 Nisan 2009 17:30	Merkez / OSMANİYE
185	12 Mart 2009	Suriye Sınırı	124	06 Nisan 2009 12:30	Kurtalan / ŞİRT
184	11 Mart 2009	Iğdır	123	06 Nisan 2009 12:30	Şemdinli / HAKKÂRİ
183	11 Mart 2009	Suriye Sınırı	122	06 Nisan 2009 10:45	Yüksekova / HAKKÂRİ
182	10 Mart 2009	Hatay / Aydın	121	05 Nisan 2009 19:30	Silopi / ŞIRNAK
181	10 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	120	05 Nisan 2009 12:30	Şemdinli / HAKKÂRİ
180	09 Mart 2009	Bursa /Çanakkale /Afyonkarahisar	119	05 Nisan 2009	Merkez / ŞIRNAK
179	09 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	118	05 Nisan 2009 03:40	Merkez / ŞIRNAK
178	09 Mart 2009	Suriye Sınırı	117	04 Nisan 2009	Kurtalan / ŞİRT
177	07-08 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	116	03 Nisan 2009 12:45	Merkez / ŞANLIURFA
176	07 Mart 2009	İran Sınırı	115	03 Nisan 2009 11:10	Lice / DİYARBAKIR
175	07 Mart 2009	Elazığ / Kocaeli	114	03 Nisan 2009 11:10	Lice / DİYARBAKIR
174	07 Mart 2009	Suriye Sınırı	113	03 Nisan 2009 06:00	Cizre / ŞIRNAK
173	06 Mart 2009	Edirne / Bitlis / Antalya	112	03 Nisan 2009 00:30	Merkez / ŞIRNAK
172	06 Mart 2009	Suriye Sınırı	111	01 Nisan 2009 09:30	Şemdinli / HAKKÂRİ
171	05 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	110	01 Nisan 2009 17:30	Genç / BİNGÖL
170	05 Mart 2009	İran Sınırı	109	31 Mart 2009 12:00	Lice / DİYARBAKIR
169	05 Mart 2009	İzmir / Adana / Edirne / Malatya / Iğdır	108	30 Mart 2009 17:00	Silopi / ŞIRNAK
168	05 Mart 2009	Yunanistan Sınırı	107	27 Mart 2009 12:55	Uludere / ŞIRNAK
167	04 Mart 2009	Ege Denizi	106	26 Mart 2009 15:00	Şenoba / ŞIRNAK
166	04 Mart 2009	Edirne			
165	03 Mart 2009	Van / Iğdır			
164	03 Mart 2009	Ege Denizi			
163	03 Mart 2009	Suriye Sınırı			
162	03 Mart 2009	Bulgaristan Sınırı			
161	02-03 Mart 2009	Yunanistan Sınırı			
160	02 Mart 2009	Hatay / Van / Ağrı / Antalya / Edirne			
159	02 Mart 2009	Ege Denizi			
158	02 Mart 2009	Ermenistan Sınırı			
157	02 Mart 2009	İran Sınırı			
156	02 Mart 2009	Suriye Sınırı			
155	01 Mart 2009	Yunanistan Sınırı			
154	28 Şubat 2009	Edirne / Nevşehir			

Ek 1. (devam) 2009 yılı yasa dışı olaylar

153	27-28 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	105	26 Mart 2009 14:00	Yüksekova / HAKKÂRİ
152	26 Şubat 2009	Bitlis / Edirne	104	26 Mart 2009 09:40	Merkez / BİTLİS
151	25 Şubat 2009	Bitlis / Tokat / Aydın	103	26 Mart 2009 09:40	Çukurca / HAKKÂRİ
150	25 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	102	25 Mart 2009 15:00	Yüksekova / HAKKÂRİ
149	24 Şubat 2009	Nevşehir	101	25 Mart 2009 13:00	Şenoba / ŞIRNAK
148	24 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	100	25 Mart 2009 12:00	Reyhanlı / HATAY
147	23 Şubat 2009	Sakarya / Kırklareli	99	25 Mart 2009	Aralık / İĞDIR
146	22 Şubat 2009	Edirne / Çanakkale / Aydın / Mersin / Van	98	23 Mart 2009 11:30	Merkez / ŞIRNAK
145	22 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	97	21 Mart 2009 11:30	Dargeçit / MARDİN
144	21 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	96	20 Mart 2009 15:50	Yüksekova / HAKKÂRİ
143	20 Şubat 2009	Artvin	95	20 Mart 2009 11:30	Silopi / ŞIRNAK
142	20 Şubat 2009	Suriye Sınırı	94	17 Mart 2009 14:00	Şemdinli / HAKKÂRİ
141	20 Şubat 2009	Bulgaristan Sınırı	93	16 Mart 2009 11:00	Yüksekova / HAKKÂRİ
140	19 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	92	16 Mart 2009 05:00	Özalp / VAN
139	19 Şubat 2009	Gürcistan Sınırı	91	13 Mart 2009 14:00	Silvan / DİYARBAKIR
138	19 Şubat 2009	Edirne / Aydın	90	13 Mart 2009 11:00	Dicle / DİYARBAKIR
137	18 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	89	13 Mart 2009 10:00	Dicle / DİYARBAKIR
136	18 Şubat 2009	Irak Sınırı	88	12 Mart 2009 14:00	Merkez / BİTLİS
135	18 Şubat 2009	Suriye Sınırı	87	12 Mart 2009 12:00	İdil / ŞIRNAK
134	17-18 Şubat 2009	Edirne / Bitlis / Hatay	86	12 Mart 2009 10:00	Merkez / MARDİN
133	17 Şubat 2009	Suriye Sınırı	85	12 Mart 2009 16:35	Nusaybin / MARDİN
132	17 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	84	12 Mart 2009 09:30	Merkez / BİTLİS
131	17 Şubat 2009	Van / Balıkesir	83	11 Mart 2009 11:10	Mazdağı / MARDİN
130	16 Şubat 2009	Hatay / Aydın	82	10 Mart 2009 13:00	Çukurca / HAKKÂRİ
129	15-16 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	81	10 Mart 2009 11:15	Solhan / BİNGÖL
128	15 Şubat 2009	Suriye Sınırı	80	10 Mart 2009 11:00	Midyat / MARDİN
127	15 Şubat 2009	Van / Edirne / Aydın / Kocaeli	79	10 Mart 2009 11:00	Başkale / VAN
126	14 Şubat 2009	Edirne / Hakkari	78	10 Mart 2009 10:20	Lice / DİYARBAKIR
125	14 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	77	07 Mart 2009 12:00	Çınar / DİYARBAKIR
124	13 Şubat 2009	Edirne/ Kırklareli/Hatay/Antalya	76	07 Mart 2009 12:00	Merkez / ŞIRNAK
123	13 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	75	06 Mart 2009 09:45	Merkez / TUNCELİ
122	12 Şubat 2009	Suriye Sınırı	74	06 Mart 2006 09:00	Eruh / ŞİRT
121	12 Şubat 2009	Irak Sınırı	73	05 Mart 2009 03:30	Gürpınar / VAN
120	12 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	72	05 Mart 2009 14:00	Silvan / DİYARBAKIR
119	11-12 Şubat 2009	Edirne / Muğla	71	05 Mart 2009	Tatvan / BİTLİS
118	11 Şubat 2009	Edirne / Hatay / İğdir / Muğla	70	05 Mart 2009	Merkez / MUŞ
117	11 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	69	03 Mart 2009 09:30	Merkez / ŞIRNAK
116	10 Şubat 2009	İstanbul / Erzurum	68	02 Mart 2009 09:30	Lice / DİYARBAKIR
115	09-10 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	67	28 Şubat 2009 16:10	Başkale / VAN
114	09 Şubat 2009	Suriye Sınırı	66	28 Şubat 2009 09:00	Kulp / DİYARBAKIR
113	10 Şubat 2009	Suriye Sınırı			
112	09 Şubat 2009	Edirne			
111	09 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı			
110	08 Şubat 2009	İran Sınırı			
109	08 Şubat 2009	Hatay			
108	07-08 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı			
107	07 Şubat 2009	Van / Edirne / Hakkâri / Adana			
106	07 Şubat 2009	Suriye Sınırı			
105	06-07 Şubat 2009	İran Sınırı			
104	06 Şubat 2009	Ege Denizi			
103	05 Şubat 2009	İran Sınırı			
102	05 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı			
101	05 Şubat 2009	Edirne / Erzincan / Ağrı / Kocaeli			
100	05 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı			
99	05 Şubat 2009	Suriye Sınırı			

Ek 1. (devam) 2009 yılı yasa dışı olaylar

98	05 Şubat 2009	İran Sınırı	65	28 Şubat 2009 05:30	Eruh / ŞİRT
97	03-04 Şubat 2009	Edirne / Siirt / Antalya / İğdır	64	25 Şubat 2009 21:10	Cizre / ŞIRNAK
96	03 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	63	20 Şubat 2009 12:00	Şemdinli / HAKKARİ
95	03 Şubat 2009	Yunanistan Sınırı	62	19 Şubat 2009 22:50	Sason / BATMAN
94	03 Şubat 2009	Van / Şırnak / Aydın / Kars / İğdır	61	19 Şubat 2009 12:10	Lice / DİYARBAKIR
93	03 Şubat 2009	Suriye Sınırı	60	19 Şubat 2009 11:00	Genç / BİNGÖL
92	02 Şubat 2009	Yunanistan sınırı	59	18 Şubat 2009 17:30	Silopi / ŞIRNAK
91	02 Şubat 2009	Hatay / Kırklareli / Artvin	58	18 Şubat 2009 17:00	Şemdinli / HAKKARİ
90	01-02 Şubat 2009	Yunanistan sınırı	57	18 Şubat 2009 11:37	Reyhanlı / HATAY
89	01 Şubat 2009	Ege Denizi	56	16 Şubat 2009 19:00	Patnos / AĞRI
88	01 Şubat 2009	Adana / Edirne / Erzurum	55	15 Şubat 2009 14:00	Uludere / ŞIRNAK
87	31 Ocak 2009	İran Sınırı	54	15 Şubat 2009 12:00	Dicle / DİYARBAKIR
86	31 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	53	15 Şubat 2009 11:00	Eruh / ŞİRT
85	31 Ocak 2009	Edirne / Şanlıurfa	52	14 Şubat 2009 17:00	Kulp / DİYARBAKIR
84	30 Ocak 2009	Tekirdağ / İğdır / Antalya / Kilis / Gaziantep	51	14 Şubat 2009 13:30	Merkez / ŞIRNAK
83	30 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	50	14 Şubat 2009 07:00	Nusaybin / MARDİN
82	30 Ocak 2009	Ege Denizi	49	13 Şubat 2009 14:20	Merkez / ŞIRNAK
81	29 Ocak 2009	Bitlis / İğdır / Ankara / Hatay / Aydın / İstanbul / Edirne	48	13 Şubat 2009 13:00	Beytüşşebap / ŞIRNAK
80	29 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	47	12 Şubat 2009 12:30	Ömerli / MARDİN
79	28 Ocak 2009	Şanlıurfa / Adana	46	12 Şubat 2009 12:00	Silvan / DİYARBAKIR
78	28 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	45	12 Şubat 2009 10:45	Genç / BİNGÖL
77	28 Ocak 2009	Suriye Sınırı	44	11 Şubat 2009 14:15	Silopi / ŞIRNAK
76	27 Ocak 2009	Çanakkale	43	11 Şubat 2009 12:00	Özalp / VAN
75	27 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	42	11 Şubat 2009 12:00	Kığı / BİNGÖL
74	27 Ocak 2009	Suriye Sınırı	41	10 Şubat 2009 10:00	Nusaybin / MARDİN
73	26 Ocak 2009	Edirne / Artvin	40	09 Şubat 2009 20:10	Cizre / ŞIRNAK
72	26 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	39	09 Şubat 2009 13:00	Güçlükonak / ŞIRNAK
71	26 Ocak 2009	Suriye Sınırı	38	09 Şubat 2009	Merkez / DİYARBAKIR
70	25 Ocak 2009	Hatay / İğdır / Antalya	37	08 Şubat 2009 14:30	Yedisu / BİNGÖL
69	25 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	36	07 Şubat 2009 12:00	Savur / MARDİN
68	24 Ocak 2009	Edirne	35	07 Şubat 2009 14:30	Cizre / ŞIRNAK
67	24 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	34	04 Şubat 2009 21:00	Lice / DİYARBAKIR
66	24 Ocak 2009	İran Sınırı	33	04 Şubat 2009 14:00	Nusaybin / MARDİN
65	24 Ocak 2009	Suriye Sınırı	32	04 Şubat 2009 15:20	Silvan / DİYARBAKIR
64	23 Ocak 2009	Suriye Sınırı	31	04 Şubat 2009 14:00	Silopi / ŞIRNAK
63	23 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	30	04 Şubat 2009 04:00	Kızıltepe / MARDİN
62	23 Ocak 2009	Çanakkale / Adana / Hatay / İğdır / Van	29	02 Şubat 2009 08:00	Merkez / ŞIRNAK
61	22 Ocak 2009	İran Sınırı	28	29 Ocak 2009 14:00	Silopi / ŞIRNAK
60	22 Ocak 2009	Suriye Sınırı	27	29 Ocak 2009 00:30	Kulp / DİYARBAKIR
59	22 Ocak 2009	Artvin / İğdır / Konya	26	26 Ocak 2009	Kızıltene / MARDİN
58	21 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı			
57	21 Ocak 2009	İran Sınırı			
56	21 Ocak 2009	Edirne / Hakkâri / Van			
55	20 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı			
54	20 Ocak 2009	İran Sınırı			
53	20 Ocak 2009	Suriye Sınırı			
52	20 Ocak 2009	Tekirdağ / Edirne / Aydın / İğdır / Van			
51	19 Ocak 2009	Hatay / Edirne / Erzurum			
50	19 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı			
49	18 Ocak 2009	Suriye Sınırı			
48	17 Ocak 2009	İran Sınırı			
47	17 Ocak 2009	Suriye Sınırı			
46	16 Ocak 2009	Hatay / Edirne / Şırnak / Erzincan			
45	16 Ocak 2009	Suriye Sınırı			

Ek 1. (devam) 2009 yılı yasa dışı olaylar

44	15 Ocak 2009	Bitlis / İğdır / Kırşehir / Mardin		07:15	
43	15 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	25	25 Ocak 2009 11:30	Lice / DIYARBAKIR
42	15 Ocak 2009	Mersin	24	25 Ocak 2009 09:30	Cizre / ŞIRNAK
41	15 Ocak 2009	Suriye Sınırı	23	24 Ocak 2009 12:30	Hassa / HATAY
40	15 Ocak 2009	İran Sınırı	22	24 Ocak 2009 03:05	Merkez / BİNGÖL
39	14 Ocak 2009	Edirne	21	23 Ocak 2009 10:00	Merkez / BİNGÖL
38	14 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	20	22 Ocak 2009 14:00	Merkez / HAKKÂRI
37	14 Ocak 2009	Suriye Sınırı	19	21 Ocak 2009 15:30	Silopi / ŞIRNAK
36	14 Ocak 2009	Gürcistan Sınırı	18	20 Ocak 2009 11:00	Adaklı / BİNGÖL
35	14 Ocak 2009	Suriye Sınırı	17	18 Ocak 2009 11:30	Merkez / ŞIRNAK
34	13 Ocak 2009	Edirne / Erzurum / Van / İzmir	16	18 Ocak 2009 07:00	Merkez / ŞIRNAK
33	13 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	15	17 Ocak 2009 08:00	Eruh / ŞİRT
32	12 Ocak 2009	Hatay / Edirne / Antalya / İstanbul / Mardin / İğdır	14	16 Ocak 2009 16:00	Silopi / ŞIRNAK
31	12 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	13	16 Ocak 2009 14:00	Kulp / DIYARBAKIR
30	12 Ocak 2009	İran Sınırı	12	16 Ocak 2009 08:15	İdil / ŞIRNAK
29	11-12 Ocak 2009	Suriye Sınırı	11	12 Ocak 2009 14:50	Merkez / VAN
28	11 Ocak 2009	Hatay / Edirne	10	12 Ocak 2009 12:00	Bulank / MUŞ
27	11 Ocak 2009	Ege Denizi	9	12 Ocak 2009 18:15	Merkez / MERSİN
26	11 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	8	10 Ocak 2009 08:30	Hani / DIYARBAKIR
25	10 Ocak 2009	Çanakkale / Muğla / Hatay / Aydın / Van	7	10 Ocak 2009 06:30	Silopi / ŞIRNAK
24	10 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	6	08 Ocak 2009 08:45	Merkez / ŞIRNAK
23	10 Ocak 2009	Suriye Sınırı	5	07 Ocak 2009 12:45	Merkez / ŞIRNAK
22	09 Ocak 2009	Kırklareli / Aydın / İğdır	4	07 Ocak 2009 15:00	Hani / DIYARBAKIR
21	09 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı	3	05 Ocak 2009 14:30	Merkez / DIYARBAKIR
20	09 Ocak 2009	Suriye Sınırı	2	05 Ocak 2009 15:00	Mazıdağı / MARDİN
19	08 Ocak 2009	İran Sınırı	1	03 Ocak 2009 11:00	Lice / DIYARBAKIR
18	08 Ocak 2009	Hatay / Çanakkale			
17	08 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı			
16	08 Ocak 2009	Suriye Sınırı			
15	07 Ocak 2009	Kırşehir / Hatay / İğdır / Adana			
14	06 Ocak 2009	Ege Denizi			
13	06 Ocak 2009	Suriye Sınırı			
12	05-06 Ocak 2009	Aydın / İğdır			
11	05 Ocak 2009	Edirne / İğdır / Van			
10	05 Ocak 2009	Suriye Sınırı			
9	04 Ocak 2009	İstanbul / Van / İğdır			
8	04 Ocak 2009	Suriye Sınırı			
7	03 Ocak 2009	Edirne			
6	03 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı			
5	02 Ocak 2009	Edirne / Hatay			
4	02 Ocak 2009	Yunanistan Sınırı			
3	02 Ocak 2009	Suriye Sınırı			
2	02 Ocak 2009	İran Sınırı			
1	01 Ocak 2009	Edirne / Van /Balıkesir			

Ek 2. Olası ana üslerin ağırlıkları

SEÇENEKLER	ADANA	ADYAMAN	AĞRI	ANKARA	ANTALYA	BALIKESİR	ÇANAKKALE	DENİZLİ	DIYARBAKIR	ELAZIĞ	ERZINCAN	ERZURUM	GAZİANTEP	İSPARTA	İSTANBUL	İZMİR	KARS	KAYSERİ	KONYA	MALATYA	MARDİN	KAHRAMANMARAŞ	MUĞLA	MUŞ	NEVŞEHİR	SAMSUN	SİİRT	SİNOP	SİVAS	TEKİRDAĞ	TRABZON	ŞANLIURFA	UŞAK	VAN	Σ	C-R	AĞIRLIK		
ADANA	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	2	0.5	
ADYAMAN	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	-15	0.2
AĞRI	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-30	0
ANKARA	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	20	13	0.7
ANTALYA	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	17	3	0.5	
BALIKESİR	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	-15	0.2	
ÇANAKKALE	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	13	-2	0.5	
DENİZLİ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	29	27	0.9
DIYARBAKIR	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	6	-14	0.3	
ELAZIĞ	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	8	-7	0.4		
ERZINCAN	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	-24	0.1	
ERZURUM	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	15	1	0.5	
GAZİANTEP	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	7	-7	0.4	
İSPARTA	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	14	9	0.6	
İSTANBUL	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	21	14	0.7
İZMİR	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	21	14	0.7
KARS	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	-8	0.4	
KAYSERİ	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	27	23	0.9	
KONYA	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	18	7	0.6	
MALATYA	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	20	15	0.7
MARDİN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-26	0.1	
KAHRAMANMARAŞ	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	6	-10	0.3	
MUĞLA	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	20	13	0.7
MUŞ	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	-18	0.2	
NEVŞEHİR	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	18	5	0.6	
SAMSUN	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	31	31	1
SİİRT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-28	0
SİNOP	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	21	20	0.8	
SİVAS	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	8	-8	0.4	
TEKİRDAĞ	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	21	16	0.8
TRABZON	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	29	26	0.9	
ŞANLIURFA	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	-9	0.3	
UŞAK	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	24	21	0.8		
VAN	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	-22	0.1	
YR	15	21	30	7	14	21	15	2	20	15	27	14	14	5	7	7	17	4	11	5	27	16	7	23	13	0	28	1	16	5	3	16	3	24					

EK 3. Ana üs belirleme modelinin gams kodu

```
option MIP=cplex;
option optcr=0;
option reslim=10000000;
option iterlim=10000000;
sets
i talepnoktasi / 1*16/
j hub /1*34/;
parameter
g(i)
/
1 31
2 3
3 1
4 3
5 5
6 4
7 19
8 19
9 43
10 15
11 42
12 1
13 4
14 11
15 193
16 7
/
a(i,j);
parameter
o(i)
/
1 4
2 0
3 0
4 1
5 23
6 83
7 60
8 60
9 12
10 1
11 2
12 0
13 1
14 0
15 0
16 0
/;
Parameter
W(j)
/
1
2
3
4
5/;
```

```
Table d(i,j)
;
loop (i,loop(j, if (d(i,j)>300, a(i,j)=0 else a(i,j)=1) ));
scalar s /300/;
Scalar p/1/;
binary variables      x(i,j), y(j);
free variable z;
EQUATIONS amac, atama, hub, baglanma, menzil;
amac..
z =e= sum(j,W(j)*y(j))+sum((i,j),((g(i)+o(i))*x(i,j)));
atama(i)..
sum((j), x(i,j)) =e= 1;
hub..
sum((j),y(j)) =e= p;
baglanma(i,j)..
x(i,j) =l= y(j);
menzil(i,j)..
x(i,j) =l= a(i,j);
Model yasemin /all/;
Solve yasemin using MIP maximizing z;
display a
```

EK 4. ADÜ probleminin çözüm sonuçları

ANA ÜS SAYISI	AÇILAN ANAÜSLER	ANA ÜSLERE BAĞLANAN TALEP NOKTALARI	AMAÇ FONKSİYONU
P=1	-	-	
P=2	-	-	
P=3	(3) AĞRI	6,7,8,9,10,11,12,13,14	649,097
	(15) İSTANBUL	15,16	
	(32) URFA	1,2,3,4,5	
P=4	(13) ANTEP	1,2,3,4	650,1770
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
	(31) TRABZON	13,14	
	(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12	
P=5	(13) ANTEP	1,2,3,4	651,177
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
	(26) SAMSUN	-	
	(31) TRABZON	13,14	
	(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12	
P=6	(8) DENİZLİ	-	652,112
	(13) GAZİANTEP	1,2,3,4	
	(26) SAMSUN	-	
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
	(31) TRABZON	13,14	
	(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12	
P=7	(1) ADANA	1,2,3	653,0150
	(8) DENİZLİ	-	
	(20) MALATYA	4	
	(26) SAMSUN	-	
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
	(31) TRABZON	13,14	
	(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12	
P=8	(1) ADANA	1,2,3	653,8860
	(8) DENİZLİ	-	
	(18) KAYSERİ	-	
	(20) MALATYA	4	
	(26) SAMSUN	-	
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
	(31) TRABZON	13,14	
(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12		
P=9	(1) ADANA	1,2,3	654,7250
	(8) DENİZLİ	-	
	(18) KAYSERİ	-	
	(20) MALATYA	4	
	(26) SAMSUN	-	
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
	(31) TRABZON	13,14	
	(33) UŞAK	-	
	(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12	

EK 4. (devam) ADÜ probleminin çözüm sonuçları

ANA ÜS SAYISI	AÇILAN ANAÜSLER	ANA ÜSLERE BAĞLANAN TALEP NOKTALARI	AMAÇ FONKSİYONU
P=10	(1) ADANA	1,2,3	655,5480
	(8)DENİZLİ	-	
	(18) KAYSERİ	-	
	(20) MALATYA	4	
	(26) SAMSUN	-	
	(28) SİNOP	-	
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
	(31) TRABZON	13,14	
	(33) UŞAK	-	
	(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12	
P=11	(1) ADANA	1,2,3	656,2740
	(8)DENİZLİ	-	
	(15) İSTANBUL	-	
	(18) KAYSERİ	-	
	(20) MALATYA	4	
	(26) SAMSUN	-	
	(28) SİNOP	-	
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
	(31) TRABZON	13,14	
	(33) UŞAK	-	
(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12		
P=12	(1) ADANA	1,2,3	657
	(8)DENİZLİ	-	
	(15) İSTANBUL	-	
	(16) İZMİR	-	
	(18) KAYSERİ	-	
	(20) MALATYA	4	
	(26) SAMSUN	-	
	(28) SİNOP	-	
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
	(31) TRABZON	13,14	
(33) UŞAK	-		
(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12		
P=13	(1) ADANA	1,2,3	657,71
	(4) ANKARA	-	
	(8)DENİZLİ	-	
	(15) İSTANBUL	-	
	(16) İZMİR	-	
	(18) KAYSERİ	-	
	(20) MALATYA	4	
	(26) SAMSUN	-	
	(28) SİNOP	-	
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
(31) TRABZON	13,14		
(33) UŞAK	-		
(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12		

EK 4.(devam) ADÜ probleminin çözüm sonuçları

ANA ÜS SAYISI	AÇILAN ANAÜSLER	ANA ÜSLERE BAĞLANAN TALEP NOKTALARI	AMAÇ FONKSİYONU
P=14	(1) ADANA	1,2,3	658,42
	(4) ANKARA	-	
	(8)DENİZLİ	-	
	(15) İSTANBUL	-	
	(16) İZMİR	-	
	(18) KAYSERİ	-	
	(20) MALATYA	4	
	(23) MUĞLA	-	
	(26) SAMSUN	-	
	(28) SİNOP	-	
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
	(31) TRABZON	13,14	
	(33) UŞAK	-	
	(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12	
P=15	(1) ADANA	1,2,3	659,065
	(4) ANKARA	-	
	(8)DENİZLİ	-	
	(14) ISPARTA	-	
	(15) İSTANBUL	-	
	(16) İZMİR	-	
	(18) KAYSERİ	-	
	(20) MALATYA	4	
	(23) MUĞLA	-	
	(26) SAMSUN	-	
	(28) SİNOP	-	
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
	(31) TRABZON	13,14	
	(33) UŞAK	-	
(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12		
P=16	(1) ADANA	1,2,3	659,6780
	(4) ANKARA	-	
	(8)DENİZLİ	-	
	(14) ISPARTA	-	
	(15) İSTANBUL	-	
	(16) İZMİR	-	
	(18) KAYSERİ	-	
	(19) KONYA	-	
	(20) MALATYA	4	
	(23) MUĞLA	-	
	(26) SAMSUN	-	
	(28) SİNOP	-	
	(30) TEKİRDAĞ	15,16	
	(31) TRABZON	13,14	
(33) UŞAK	-		
(34) VAN	5,6,7,8,9,10,11,12		

EK 6 . Maliyetlerin kullanıldığı modelin GAMS kodu

```
option MIP=cplex;
option optcr=0;
option reslim=10000000;
option iterlim=10000000;

sets
r rota /1*44624/
n rotadaki_sehir_sayisi / 1*8/
v ucak_sayisi /1*3/;

parameter t(r)
/
...
....
/;
parameter a(n,r)
/
1.1 1
1.2 1
1.3 1
1.4 1
1.5 1
1.6 1
.....
/;
scalar c/2000000/;
scalar o/1000/;
scalar L/24/;
binary variable
h(v)
y(r,v);
free variable z;

EQUATIONS amac, ucus_suresi,atama;

amac..
z =e=c*sum((v),h(v))+o*sum((v,r),t(r)*y(r,v));

ucus_suresi(v)..
sum ((r),t(r)*y(r,v))-L*h(v)=l=0;

atama(n)..
sum((r,v),a(n,r)*y(r,v))=e=1;

Model yasemin /all/;
Solve yasemin using MIP minimizing z;
```

EK 7. Talep noktalarının gözetleme sıklığı arttırmayı amaçlayan modelin GAMS kodu

```
option MIP=cplex;
option optcr=0;
option reslim=10000000;
option iterlim=10000000;

sets
r rota /1*44624/
n rotadaki_sehir_sayisi / 1*8/
v ucak_sayisi /1*3/

parameter alfa(n)
/

/;
parameter t(r)
/
...
....
...
/;
parameter a(n,r)
/
1.1 1
1.2 1
1.3 1
1.4 1
....
....
....
/;

scalar L/24/;
binary variable
h(v);
y(r,v);
free variable z;
EQUATIONS amac,ucus_suresi1,atama1, atama2;

amac..
    z =e=sum((r,n),alfa(n)*a(n,r));

ucus_suresi1(v)..
    sum ((r),t(r)*y(r,v))-L*h(v)=l=0;

atama1(n)..
    sum((r,v),a(n,r)*y(r,v))=l=3;
atama2(n)..
    sum((r,v),a(n,r)*y(r,v))=g=1;

Model yasemin /all/;
Solve yasemin using MIP maximizing z;
```