

**HAVA HARP OKULU**  
**HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ**

---

**SİVİL HAVACILIKTA UÇUCU EKİP ÇİZELGELEMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Gökhan KORKMAZ**

**Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanlığı**

**Yöneylem Araştırması Programı**

**HAZİRAN 2013**





**HAVA HARP OKULU**  
**HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ**



**SİVİL HAVACILIKTA UÇUCU EKİP ÇİZELGELEMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Gökhan KORKMAZ**  
**(311107)**

**Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanlığı**

**Yöneylem Araştırması Programı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL**

**HAZİRAN 2013**



Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsünün 311107 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Gökhan KORKMAZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**SİVİL HAVACILIKTA UÇUCU EKİP ÇİZELGELEMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

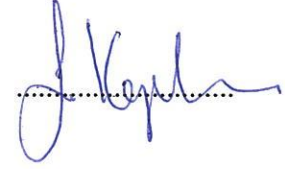
**Tez Danışmanı :** Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL  
Yıldız Teknik Üniversitesi



**Jüri Üyeleri :** Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN  
İstanbul Teknik Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Sezgin KAPLAN  
Hava Harp Okulu



**Teslim Tarihi :** 31 Mayıs 2013  
**Savunma Tarihi :** 21 Haziran 2013



Bu tez çalışmasında belirtilen görüş ve yorumlar yazara aittir. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin ya da diğer kamu kuruluşlarının görüşlerini yansıtmaz. Ayrıca bu tez çalışması bilimsel ahlak ve etik değerlere uygun olarak yazılmış olup, yararlanılan tüm eserler kaynaklarda gösterilmiştir.

Haziran 2013

Gökhan KORKMAZ



*Eşime ve çocuğuma,*



## **ÖNSÖZ**

Tez çalışmam sırasında bilimsel katkıları ile bana her zaman yardımcı ve yol gösterici olan eğitimim süresince ilgi ve yardımlarını benden esirgemeyen, değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Tufan DEMİREL'e, başta Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanı Yrd. Doç. Dr. Murat ERMIŞ olmak üzere, Endüstri Mühendisliği bölümündeki tüm öğretim üyelerine, yüksek lisans eğitimim boyunca engin bilgileriyle bana ışık tutan tüm öğretim üyelerimize, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü Müdürlüğü'ne ve tüm çalışanlarına teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Haziran 2013

Gökhan KORKMAZ



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER .....	xi
KISALTMALAR .....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. HAVAYOLU OPERASYONLARINDA PLANLAMA VE ÇİZELGELEME 3</b>	<b>3</b>
2.1 Uçuş Çizelgeleme.....	3
2.2 Uçak Çizelgeleme .....	4
2.2.1 Filo Atama.....	5
2.2.2 Uçak Rotalama .....	7
2.2.2.1 Uçak Bakım Gereksinimi.....	8
2.3 Ekip Çizelgeleme .....	9
2.3.1 Uçuş Dizisi Bulma .....	9
2.3.2 Ekip Atama .....	12
2.4 Düzensiz Olayların Yönetilmesi .....	13
2.4.1 Uçuş-Uçak Yeniden Çizelgeleme .....	14
2.4.2 Ekip Yeniden Çizelgeleme.....	15
<b>3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>17</b>
<b>4. SÜPÜRME ALGORİTMASI TABANLI SEZGİSEL ALGORİTMANIN OLUŞUMU VE PROBLEME UYGULANMASI .....</b>	<b>27</b>
4.1 Süpürme Algoritması .....	27
4.2 En Yakın Komşu Yöntemi .....	28
4.3 Probleme İlgili Tanımlar .....	29
4.4 Problem İle İlgili Kısıtlar .....	31
4.5 Süpürme Algoritması Adımlarının Modele Uyarlanması .....	32
<b>5. UYGULAMA.....</b>	<b>35</b>
5.1 Boeing 737-800 Filosuna Ait 262 Uçuşlu Ekip Eşleme Problemi.....	35
5.2 Airbus A-319 Filosuna Ait 52 Uçuşlu Ekip Eşleme Problemi.....	48
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>53</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>55</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>61</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>63</b>



## **KISALTMALAR**

<b>TGZ</b>	: Toplam Görev Zamanı
<b>US</b>	: Uçuş Süresi
<b>UGS</b>	: Uçuş Görev Süresi
<b>DS</b>	: Dinlenme Süresi
<b>SHGM</b>	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
<b>B-738</b>	: Boeing 737-800
<b>A-319</b>	: Airbus A-319
<b>ICAO</b>	: Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı
<b>JAA</b>	: (Joint Aviation Authorities) Havacılık Otoriteleri Birliği
<b>JAR</b>	: (Joint Aviation Requirements) Ortak Havacılık Kuralları



## SEMBOL LİSTESİ

$\theta_i$  : Süpürme Açısı  
 $\rho_i$  : Doğru Uzunluğu



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 5.1:</b> B-738 filosuna ait uçuş çizelgesi.....	35
<b>Çizelge 5.1 (devam):</b> B-738 filosuna ait uçuş çizelgesi .....	36
<b>Çizelge 5.1 (devam):</b> B-738 filosuna ait uçuş çizelgesi.....	37
<b>Çizelge 5.1 (devam):</b> B-738 filosuna ait uçuş çizelgesi.....	38
<b>Çizelge 5.1 (devam):</b> B-738 filosuna ait uçuş çizelgesi.....	39
<b>Çizelge 5.1 (devam):</b> B-738 filosuna ait uçuş çizelgesi.....	40
<b>Çizelge 5.2:</b> Eşleşme setleri ceza puanları (B-738) .....	42
<b>Çizelge 5.3:</b> Ayrıntılı uçuş eşleşmesi.....	43
<b>Çizelge 5.4:</b> A-319 filosuna ait uçuş çizelgesi .....	48
<b>Çizelge 5.4 (devam):</b> A-319 filosuna ait uçuş çizelgesi.....	49
<b>Çizelge 5.5:</b> Eşleşme setleri ceza puanları (A-319).....	50
<b>Çizelge 5.6:</b> Ayrıntılı uçuş eşleşmesi (A-319).....	50
<b>Çizelge 5.6 (devam):</b> Ayrıntılı uçuş eşleşmesi (A-319).....	51



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Havayolu işletmelerinde operasyonel planlama ve çizelgeleme.....	3
Şekil 2.2: Merkez üssü İstanbul olan ekip için iki günlük uçuş dizisi.....	10
Şekil 5.1 : Programın açılış görüntüsü.....	40
Şekil 5.2 : Programın ikinci aşama görüntüsü.....	41
Şekil 5.3 : Programın sonuç çıktısı.....	41



## SİVİL HAVACILIKTA UÇUCU EKİP ÇİZELGELEMESİ

### ÖZET

Türk Sivil Havacılık sektörü, 2002-2012 yılları arasında gelişen ekonomi ve havacılık alanındaki bazı kısıtlamaların kaldırılmasıyla % 53 oranında büyümüştür. Havayolu sektöründe başarılı uluslararası firmalar planlama ve çizelgeleme problemlerini çözmeye gelişmiş bilgisayar-destekli çözüm yöntemleri kullanmaktadır. Bu yöntemler işletmelere ciddi rekabet üstünlüğü sağlamaktadır. Havayolu sektöründe dört temel operasyonel planlama ve çizelgeleme problemi bulunmaktadır: uçuş çizelgeleme, uçak çizelgeleme, ekip çizelgeleme ve düzensiz olayların yönetimi. Tüm havayolu işletmelerinin karşı karşıya kaldığı söz konusu operasyonel planlama ve çizelgeleme problemleri bu çalışmada ayrıntılı olarak incelenmiştir. İncelemeler, işletmelerin söz konusu yöntemleri kullanarak maliyetlerinde önemli kazanımlar sağladığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, büyük ölçekli problemlerin çözümü için gereken süre karar vericilerin arzu ettikleri karar kalitesini tatmin etmeyebilmektedir. Böylesi durumlarda gelişmiş teknolojilerle bütünleştirilmiş modern karar yöntemlerinin kullanılması da işletmelere ciddi maliyet üstünlüğü fırsatı sunmaktadır.

Havayolu endüstrisi; uçuş çizelgeleme, filo atama, uçak rotalama ve ekip atama gibi birçok eniyileme problemi ile ilgilenmektedir. Literatürde, bu problemler arasından en çok ekip planlama problemi çalışılmıştır. Çünkü ekip maliyetleri havayolu şirketleri tarafından kontrol edilebilir en büyük gider kalemini oluşturmaktadır. Etkin ve düşük maliyetli ekip çizelgeleri oluşturmak için literatürde birçok model önerilmektedir. Bu modellerin çoğu, problemi ekip eşleme ve ekip atama olmak üzere iki farklı probleme ayırarak çözmektedir.

Bu tezde, uçuş çizelgesindeki tüm uçuşları kapsayan ve en düşük maliyete sahip ekip eşlemeleri kümesini seçmeyi amaçlayan ekip eşleme problemi çözülmektedir. Bu problemi çözmek için Süpürme Algoritması tabanlı karma bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir.



## **CREW SCHEDULING IN CIVIL AVIATION**

### **SUMMARY**

The Turkish Civil Aviation sector has grown at a rate of 53 % between the years 2002-2012 owing to countrywide economical developments and some removed restrictions in the aviation field. Successful international companies in the sector use advanced computer-supported solution methods for their planning and scheduling problems. These methods have been providing significant competitive advantages to those companies. There are four major scheduling and planning problems in the airline sector: flight scheduling, aircraft scheduling, crew scheduling and disruptions management. These aforementioned scheduling and planning problems faced by all airline companies in the airline sector were examined in detail. Studies reveal that companies using the advanced methods might gain significant cost reductions. However, even then, the time required for solving large scale problems may not satisfy the decision quality desired by decision makers. In such cases, using modern decision methods integrated with advanced technologies offer companies an opportunity for significant cost-advantages.

The airline industry deals with many optimization problems such as flight and crew scheduling, fleet assignment and aircraft routing. As the crew expenses are the largest controllable component in airline companies' payments, crew scheduling is the most studied one among forementioned problems. To find effective and low cost crew schedules, many models are proposed in the literature. Many of these models divide the problem into two as crew pairing and crew rostering.

In this study, a crew pairing problem that focuses on covering all the flights at the flight schedule and selecting the low cost crew pairing set is solved.



## 1. GİRİŞ

Ekip çizelgeleme problemi, hava yolu planlamasında karşılaşılan en kapsamlı problemlerden biridir. Hava yolları için hava yolu ekibini çizelgelemenin önemi oldukça fazladır. Yakıt maliyetlerinden sonra, personel maliyetleri hava yolları için en büyük maliyet faktörüdür. Personel maliyetleri havayolunun kontrol edebileceği en büyük gider olduğu için, uçuş seferlerine etkin personel ataması, hava yolu planlaması açısından çok büyük önem taşır.

Ekip çizelgeleme problemi genellikle doğrusal olmayan maliyet fonksiyonuna sahip olduğu ve çok sayıda olası eşleştirme içerdiği için çözülmesi zordur. NP-zor yapıda olan problemin çözümünü kolaylaştırmak için geliştirilmiş çok sayıda farklı yöntem mevcuttur. Literatürde sıkça kullanılan çözüm yöntemleri, sütun oluşturma algoritmaları, özellikle genetik algoritma ve tavlama benzetimine dayanan metasezgisel teknikler, şebeke çözüm teknikleri ve ayrıştırma algoritmalarıdır.

Bir personel üssünde başlayan ve sonlanan, bir uçuş seferinin varış şehrinin bir sonraki uçuş seferinin kalkış şehri ile uyduğu bir uçuş seferleri sıralaması, eşleştirme olarak adlandırılmaktadır. Her eşleştirmenin kendisi ile ilişkili bir maliyet değeri vardır. Ekibin çizelgelemede amaç, önceden belirlenen bir uçuş çizelgesindeki tüm uçuş seferlerini tam olarak bir kere kapsayan minimum maliyetli ekip eşleştirmeleri kümesini bulmaktır.

Bu çalışmada havayolunun aynı tip uçak filosu ile uçulabilecek seferleri kullanılarak en uygun eşleşmelerin bulunması amaçlanmıştır. Eşleşmeler oluşturulurken kısıtlar, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün yayınlamış olduğu "Uçucu Ekibin Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı" na uygun olacak şekilde belirlenmiştir. Eşleşmeler oluşturulurken uçucu personelin günlük en fazla uçabileceği zamanı en etkin şekilde kullanması gerektiği öngörülmüştür. En fazla görev zamanının altında kalan her eşleşmeye bir maliyet atanmıştır ve toplam maliyeti minimize edecek şekilde eşleşme seti bulunmuştur. Eşleşmeler belirlenirken Süpürme Algoritmasının temel mantığı kullanılarak oluşturulan algoritma

kullanılmıştır ve bu algoritma C++ programlama dilinde yazılan program kullanılarak çözülmüştür.

İkinci bölümde Havayolu Operasyonlarında Planlama ve Çizelgeleme Süreci anlatılmıştır ve Ekip Eşlemenin sürecin hangi aşamında yer aldığı ve öneminin ne olduğu vurgulanmıştır.

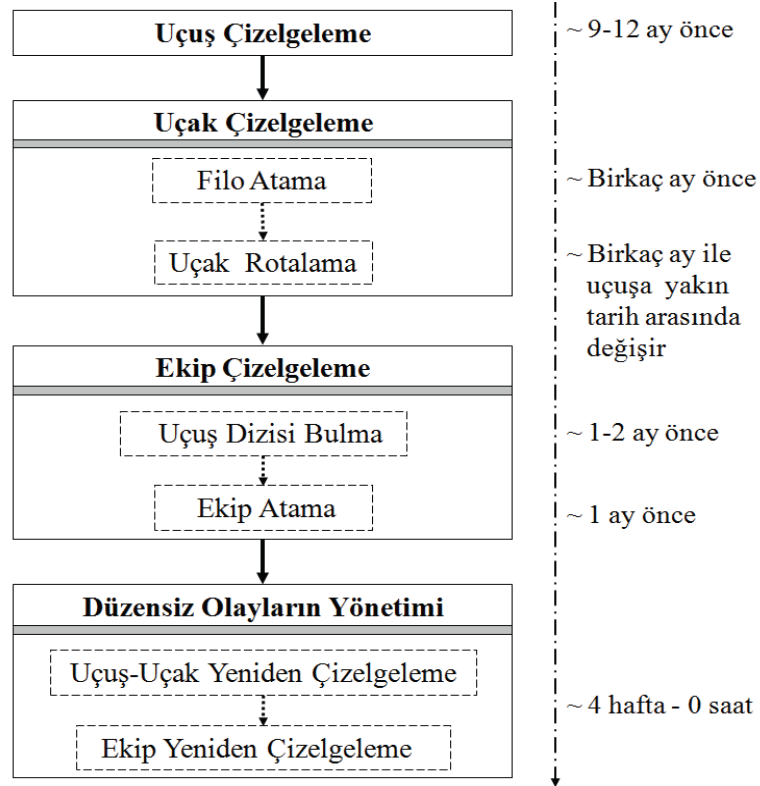
Üçüncü bölümde probleme ait literatür araştırması yer almaktadır. Burada daha önce hangi yaklaşımlarla problemin çözüldüğü incelenmiştir.

Dördüncü bölümde problemimize ait tanımlamalar ve kısıtlar anlatılmış, problemin maliyet yapısı ve çözüm yöntemi anlatılmıştır. Ayrıca Süpürme Algoritması'nın adımlarının probleme uyarlanarak önerilen algoritma adımları açıklanmıştır.

Beşinci bölümde algoritmanın çalışması 262 uçşulu B-738 ve 52 uçşulu A-319 filoları için ayrı uygulanarak gösterilmiştir. Burada detaylı çizelgelere yer verilmiştir.

Altıncı bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçların etkinliğine ve önerilen algoritmanın sağladığı faydalara yer verilerek bazı öneriler sunulmuştur.

## 2. HAVAYOLU OPERASYONLARINDA PLANLAMA VE ÇİZELGELEME



Şekil 2.1: Havayolu işletmelerinde operasyonel planlama ve çizelgeleme

### 2.1 Uçuş Çizelgeleme

Uçuş çizelgeleme, havayolu işletmesinin planlama ve operasyonlarının başlangıç noktasıdır. Uçuş çizelgeleme çalışmaları, uçuş operasyonlarından 12 ay önce başlar ve 9 ay önce tamamlanır. Uçuş çizelgelemesi, her uçuş bacağına ayrılış-varış zamanını, uçuş noktalarını ve uçuşların haftanın hangi gün gerçekleştiğini, uçuş numarasını ve uçuşta kullanılacak filo tipini gösterir. Program, genellikle üç aylık veya altı aylık periyotlar için hazırlanır. Programlarda aydan aya küçük değişiklikler olabilir. Çizelge 2.1’de bir havayolunun örnek uçuş çizelgelemesi gösterilmiştir. Tabloda kalkış meydanı İstanbul olan 301 numaralı uçak , 08:30’da uçuşa başlayacak ve 10:15’de Trabzon’a inecektir. Günler bölümünde bu uçuşun Pazartesi, Salı, Çarşamba, Cuma, Cumartesi, Pazar günleri gerçekleşeceği ifade edilmektedir. (Yu ve Thengvall 2002; Gopalan ve Talluri 1998; Klabjan, 2005).

Uçuş çizelgelemesi, aynı zamanda havayolu işletmesinin uçuş noktaları arasındaki rekabet gücünü ve konumunu tanımlar. Bu yüzden, havayolu işletmesinin karlılığında anahtar bir belirleyicidir. Uçuş çizelgelemesi, temel olarak havayolunun ve rakip havayollarının uçak ve ekip planlama kararlarından etkilenir ve alınmış kararları etkiler. Uçuş çizelgeleme çalışmalarında; sektördeki çeşitli talepler, rakip firmalar tarafından sunulan program ve kaynak kullanılabilirlik kısıtları, pazar tahminleri gibi faktörler dikkate alınır. Havayolu çizelgelemesinde kısıtlı olan kaynaklar uçak, ekip, bakım tesisi, bakım personeli v.b.'dir. Ayrıca, uçuş çizelgelemenin verimliliği açısından yolcuların talebinin doğru analiz edilmesi, o hatta uçacak filonun yolcu kapasitesi, fazla talep nedeniyle biletlenemeyen yolcudan oluşan spill(bozulma) maliyetinin ve bu biletlenemeyen yolcunun tekrar kazanılmasından oluşacak kazanım oranlarının iyi bilinmesi gerekir. Bu sebeple uçuş çizelgeleme, havayolu şirketlerinin karlılığını ve işletmenin devamlılığını sağlayabilmesini önemli oranda etkileyen kritik bir süreçtir. (Chang, 2001; Barnhart ve diğ., 2003a; Liu, 2003; Qi, ve diğ., 2004; Sriram ve Haghani, 2003; Gopalan ve Talluri, 1998; Clarke ve diğ., 1996).

**Çizelge 2.1 : Örnek bir uçuş çizelgeleme**

Uçuş Numarası	Kalkış Yeri	Variş Yeri	Kalkış Zamanı	Variş Zamanı	Günler	Filo Tipi
301	IST	TZX	08:30	10:15	123.567	B737
102	ESB	TZX	09:00	10:30	12.56	B737
...	...	...	...	...	...	...

## 2.2 Uçak Çizelgeleme

Havayolu işletmeleri, uçuş çizelgeleme tasarımını tamamladıktan sonra uçak çizelgeleme olarak adlandırılan filo atama ve uçak rotalama problemlerini çözer.

Filo atamasında, uçuş serimindeki bacaklara enküçük maliyetle uçak tipleri yani filolar atanır. Uçak çizelgelemesinin son adımında belli bir filo içerisindeki her uçak, filo atama aşamasında filo için belirlenmiş uçuş rotalarına atanır. Uçuş çizelgeleme çalışmaları, uçuş operasyonlarının birkaç ay öncesinde başlar ve uçuşun gerçekleştiği an son bulur.

### 2.2.1 Filo Atama

Filo atama probleminde uçakların sahip oldukları özellikler, kullanılabilirlikleri, operasyonel maliyetleri ve potansiyel gelirleri temel alınarak farklı kapasitedeki uçak tiplerinin uçuşlara atanması planlanır. Filo atama modelinde amaç, uçuş rotasındaki işletme maliyetleri ile bir uçuş bacağına atanan uçağın koltuk kapasitesinin talebi karşılayamadığı durumdaki gelir kayıplarının oluşturduğu maliyetlerin toplamını enküçükmektir. Uçuş işletme maliyeti, belirli bir uçak tipinin uçuş bacağındaki uçuş maliyetini temsil eder. Her uçak tipi için uçuş operasyon maliyeti her uçuş bacağına göre ayrı ayrı belirlenir (Liu, 2003; Sherali ve diğ., 2006; Rosenberger, 2001; Barnhart ve diğ., 2003a).

Bir havayolu işletmesinin temel ürünü, uçaktaki koltuklardır. Havayolu işletmesi için daha yüksek kapasiteli uçağa sahip olunması veya ekstra uçağın hazır olarak bulundurulması, daha yüksek işletme maliyetleri anlamına gelir. Diğer taraftan uçak koltukları bozulabilir bir üründür. Bir uçak havaalanından ayrılmadan önce satılamamış koltuklar çöpe giden ürün gibi kabul edilir. Bu yüzden ideal strateji, sadece yolculara doğru fiyattan doğru sayıda koltuk sağlamak olmalıdır (Sherali ve diğ., 2006).

Bir uçuşa, koltuk kapasitesi küçük bir uçağın atanması, yetersiz kapasite nedeniyle müşterilerin istenilmeden reddedilmesine ve sonuç olarak gelir kayıplarına neden olur. Buna karşın, yolcu talebinden daha büyük kapasitede bir uçağın uçuşa atanması durumunda koltukların hepsi kullanılamayacaktır. Ayrıca, kapasitesi doldurulamayan büyük uçak tercih edildiği için daha yüksek işletme maliyetleri oluşacaktır. Bu nedenle, filo atama problemi, havayolu işletmesinin tüm çizelgeleme sürecinin önemli bir parçasını oluşturur. Her gün çok sayıda uçuş programlandığından uçuş sayısı, büyük bir havayolu işletmesinde kolayca binlere ulaşabilir. Filo ataması, uçuş çizelgelemesi ekip çizelgelemesi, uçak rota ataması, bakım planlama ve gelir yönetimi gibi havayolu işletmesinin diğer karar süreçlerini etkiler ve bu süreçlerde alınan kararlardan etkilenir. Bu yüzden, filo atama problemini çözebilmek, havayolu işletmeleri için her zaman zorlu bir süreç olmuştur. Uçakların kapasite sınırı nedeniyle yolcuların kabul edilememesi genellikle kayıp olarak kabul edilir. Gerçekte yolcular, uçuşa başlangıç varış noktaları ve zaman periyodu açısından alternatif bir uçuş çizelgelemesini kullanarak uçuşlarını gerçekleştirebilirler. Böylelikle, yolcular yeniden havayolu işletmesinin bir yolcusu olarak geri

kazanılabilir (Liu, 2003; Sherali ve diğ., 2006; Rosenberger, 2001; Gopalan ve Talluri, 1998).

Uluslararası ve iç hat uçuşu gerçekleştiren büyük havayolları genellikle birden fazla filoya sahiptir. Filo, kapasitesi ve operasyonel özellikleri aynı olan uçak kümesine verilen isimdir. Bir havayolunun filo tipi genellikle Boeing 737, Boeing 777, Airbus 340 ve Airbus 320 gibi çeşitli uçak gruplarından oluşabilir. Filo kapasitelerine örnek olarak, 149 koltuk kapasiteli Boeing 737 ve 270 koltuk kapasiteli Airbus A-340 verilebilir. Operasyonel özelliklere, uçağın hızı, motor yakıt yakma oranı, uçak bakım maliyeti, uçuş için gerekli ekip sayısı ve uçağın havaalanına inmesiyle birlikte bir sonraki uçuşa hazırlanabilmesi için yapılması gereken işlerin tamamlanabileceği enküçük dönüş süresi örnek olarak verilebilir. Ayrıca, operasyonel özellikler içerisinde uçuş bacağına atanan uçak tipine bağlı olarak değişen farklı uçuş maliyetleri ve uçak ağırlığına bağlı olarak havaalanına ödenen ücretler yer alır. Aynı filo tipindeki iki uçak farklı yolcu kapasitelerine sahip olabilir. Örneğin, Boeing 737-400 uçağı 150, Boeing 737-800 uçağı 165 yolcu kapasitesine sahiptir. Filo atama modelleri bakım gereksinimi, gürültü kısıtlamasını ve havaalanı kapı kullanılabilirliğini dikkate alan ilave kısıtları da içerebilir (Gopalan ve Talluri, 1998; Rosenberger, 2001; Liu, 2003).

Etkileyici sonuçlara karşın, filo atamada çeşitli kritik zorluklar hala bulunmaktadır. Bu zorlukların çoğu modelleme kabullerinden kaynaklanmaktadır. Bunlar (Barnhart ve diğ., 1998; Sherali, ve diğ., 2006);

- Çoğu filo atama modelinde, havayollarının büyük bir kısmı hafta sonları farklı uçuş çizelgelemesi gerçekleştirmesine rağmen, uçuş çizelgelemesinin günlük olarak tekrar ettiği kabul edilir.
- Çoğu filo atama modelinde, uçuş noktalarındaki taleplerin bilindiği ve haftanın her günü için aynı olduğu kabul edilir. Fakat tarihsel veriler, talebin gün ve gün değiştiğini göstermektedir. Haftanın farklı günlerinde talepler değiştiği için, haftanın her günü için farklı filo atamasının yapılmasıyla daha yüksek gelir elde edilebilir. Bununla birlikte, bu ekstra esneklik, filo atama aşamasında sayısal karmaşıklığı önemli oranda artırır.
- Filo atama modelinde, uçak kapıları kapatıldıktan sonra uçağın pist başına gidinceye kadar yerdeki hareket süresi olan kalkış taksi süresinin ve uçak piste indikten sonra uçağın pisti terk ettiği andan yolcuların

indirilmesi için uçak kapılarının açıldığı ana kadar geçen süre olan iniş taksi süresinin genel olarak kararlı olduğu kabul edilir. Bununla birlikte, uçuş rotaları ve havaalanlarındaki yoğunluk, hava durumu koşulları ve yeni güvenlik uygulamaları, uçuş ve taksi sürelerinde büyük değişikliklerin oluşmasına neden olur.

- Çoğu filo atama modelinde, uçuş tercihini değiştiren yolcu sayısı ve bunun oluşturduğu maliyetlerin uçuş bacak seviyesinde hesaplanabileceği kabul edilir. Gerçekte yolcu talebi, uçuş tercihini değiştiren yolcu sayısı ve her yolcudan elde edilebilecek gelir, yolcunun uçuş programına özeldir, uçuş bacağına özel değildir. Sonuç olarak, uçuş bacağına özel oluşan maliyetler, yalnızca yaklaşık olarak tespit edilebilir. Örneğin, bir yolcu Trabzon'dan Roma'ya İstanbul aktarmalı uçmayı planlarken, Trabzon-İstanbul arasında yer bulamadığında farklı bir havayolu işletmesini seçebilir. Bu durumda temel olarak kaybolan gelir, daha yüksek fiyattan satılan İstanbul-Roma uçuş bedelidir.

Filo atama problemlerinde, uçaklar tek olarak değil aynı özellikteki uçakların oluşturduğu küme dikkate alınarak çözüldüğünden, her bir uçak için uygun rota programı oluşturulamamaktadır. Ayrıca bu tür filo atama çözümlerinde, bakım gereksinimi tam olarak modellenememektedir. Bunun yerine, enküçük sayıda bakım fırsatı sağlayan toplam bakım kısıtı kullanılır. Eğer uçak bir bakım istasyonunda yeterli bir zaman aralığında durabiliyorsa, bakım fırsatına sahip olur. Fakat filo atamasında, bakım fırsatının her bir uçak arasında eşit bir şekilde dağıtılması garanti edilemez. Bir uçak gereğinden daha fazla bakım fırsatına sahip olurken, başka bir uçağın böyle bir şansı olmayabilir (Barnhart ve diğ., 1998).

### **2.2.2 Uçak Rotalama**

Filo atama probleminde, uçuş bacaklarında hangi tip filonun uçağına karar verilir. Uçak rotalama probleminde ise, bir filo içindeki her bir uçağın ardışık olarak gerçekleştireceği uçuş bacakları tespit edilir. Aynı zamanda, ülkelerin ulusal sivil havacılık otoriteleri ve uçak üreticileri tarafından zorunlu tutulan farklı seviyelerdeki bakımların her bir uçağına nerede ve ne zaman uygulanacağına da karar verilir. Bu yüzden uçak rotalama problemi, uçak bakım rotalama problemi olarak da adlandırılır. Uçak bakım rotalamada temel amaç, kısıtları göz önünde bulundurarak

işletme maliyetlerini enküçüklemektir (Clarke ve diğ., 1997; Qi ve diğ., 2004; Bazargan, 2004; Sriram ve Haghani, 2003; Orhan ve diğ., 2007).

Uçak rotası, uçuş bacalarının oluşturduğu bir dizidir. Dizi içindeki bir uçuş bacağına varış noktası, bir sonraki uçuş bacağına başlangıç noktasıdır. Döngü, aynı merkezde başlayan ve son bulan uçuş rotalamasıdır. Her uçağın döngüsü, düzenli aralıklarla bakım istasyonunu ziyaret edecek şekilde tamamlanır (Barnhart ve diğ., 2003a).

Havacılık sektöründe uçak rota problemi çözülürken temel kısıt olarak karşılaşılan bakım ile ilgili olarak bilgi aşağıdaki alt başlık altında açıklanmıştır.

### **2.2.2.1 Uçak Bakım Gereksinimi**

Uçak bakımı, istisna olan programsız bakımlar ile birlikte adam-saat kullanımının yüksek olduğu bir takım kontrollerden oluşur. Bu kontrollerin sıklığı, uçuş saatinin toplamı, kalkış-iniş sayısı, aylık, üç aylık, yıllık gibi farklı periyotlara bağlı olarak değişkenlik gösterir. Aynı zamanda bu kontroller, yalnızca yeterli bakım-onarım teçhizatı bulunan belirli hava alanlarında gerçekleştirilebilir. İşletmeler, farklı filolar için bakım merkezlerini tek bir noktada kurarak, kaynakların bir araya getirilmesiyle küçük tasarruflar elde edebilirler.

Havayolu işletmeleri, uçak üreticileri ve ülkelerin sivil havacılık otoriteleri tarafından zorunlu tutulan ve onaylanan bakım programlarını uçaklara uygulamak zorundadır. Amerika'daki Federal Havacılık Yönetimi (FAA: Federal Aviation Administration), birkaç tür uçak bakım kontrolünü zorunlu tutmaktadır. A, B, C ve D olarak adlandırılan bu kontroller, kapsamlarına, sürelerine ve sıklıklarına göre değişmektedir. Eğer kontrol özel olarak tanımlanmış süre içerisinde gerçekleştirilmezse, ülkelerin sivil havacılık otoriteleri uçağın uçuşunu yasaklayabilmekte ve yönetmeliklere uymayan işletmelere büyük cezalar verebilmektedir (Lee, 1999; Bazargan, 2004).

FAA tarafından gerçekte zorunlu tutulan birinci temel kontrol A kontrolü olarak adlandırılmıştır. Her 65 uçuş saatinde bir gerçekleştirilir. A kontrolü, 10-20 adam-saat gerektirir ve 4 saatlik süreciyle en kısa süreli olan bakımdır. Birçok durumda uçak bakım rotalaması yapılırken yalnızca A tipi kontrol dikkate alınır. Bunun başlıca nedeni, A tipi kontrol frekansının diğer kontrollerden daha sık olmasıdır. Havayolu sektöründe bakım uygulamaları, FAA kurallarının gerektirdiği zorunluluklardan daha sıkı bir titizlikle uygulanır. Pratikte, A kontrolü her 40-45

uçuş saatinde, uçağın günlük kullanım oranına bağlı olarak en çok 3-4 takvim gününde bir gerçekleştirilir (Barnhart ve diğ., 1998; Sriram ve Haghani, 2003; Clarke ve diğ.,1996; Qi ve diğ., 2004).

İkinci temel bakım, B kontrol olarak adlandırılmıştır. Her 300-600 uçuş saati arasında gerçekleştirilir. B kontrolü, uçağın bakım hangarında 10-15 saat kalmasını gerektirir. Bakım süreci, 100-300 adam-saat gerektirir (Sriram ve Haghani, 2003; Clarke ve diğ., 1996). C ve D türü olarak adlandırılan en temel kontroller, sırasıyla her 1 ve 4 yılda bir yapılır. Bazı durumlarda uçağın 1 ay kadar servis dışı kalması gerekebilir. Bazı havayolları, C kontrolünü çeyrek C kontrolüne böler. Bu duruma dengeli kontrol denir. Böylece uçağa, her seferinde bakım yapılabilmesi için daha az zaman harcanır. Fakat uçak, kontrol istasyonunu daha sık ziyaret eder. C ve D türü kontrolün gerçekleştirilmesi maliyetlidir. Özel teçhizat ve oldukça fazla insan gücü gerektirir. Sabit maliyetleri kapsamaması nedeniyle, her filo tipi için C ve D türü kontrollerin gerçekleştirileceği bir bakım istasyonunun olduğu kabul edilir. Bazı havayolları, her filo için birden fazla C ve D türü bakım istasyonuna sahip olabilir. Fakat tipik olarak bu sayı küçüktür (Gopalan ve Talluri 1998; Clarke ve diğ., 1997; Sriram ve Haghani 2003; Talluri, 1998).

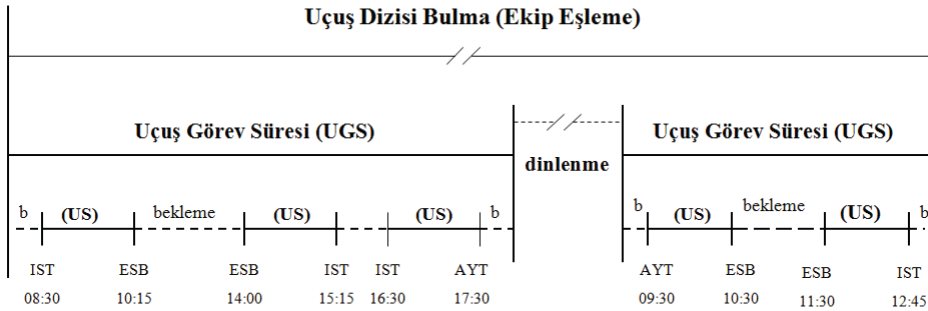
### **2.3 Ekip Çizelgeleme**

Ekip çizelgeleme probleminde, belli bir uçuş çizelgelemesindeki her uçuş bacağına uçuş için ekip gereksinimini karşılayacak şekilde ekip ataması yapılır. Uçuş çizelgelemesindeki her uçuş bacağı, belli bir havaalanından ayrılan ve bir diğerine varan bir uçağı temsil eder. Bir uçuş bacağı için ekip gereksinimi, uçak içinde gerekli olan pilot, yardımcı pilot, uçuş mühendisi, uçuş kabin görevlileri gibi havayolu personelini ifade eder. Uçuşlarda gereken uçuş ekip üye sayısı, uçağın boyutlarına, uçuş süresine, uçuşun gün içerisindeki başlama zamanına ve sunulacak servis seviyesine bağlı olarak değişir. Ekip çizelgeleme problemi, uçuş dizisi bulma problemi (ekip eşleme-crew pairing) ve ekip atama problemi olarak iki ayrı adımda çözülür (Shaw, 2003; Kohl ve Karisch, 2004; Barnhart ve diğ., 2003b; Lettovsky, 1997; Qi ve diğ., 2004; Clausen ve diğ., 2009; Özdemir, 2009).

#### **2.3.1 Uçuş Dizisi Bulma**

Uçuş dizisi bulma problemi, ekip eşleme (crew pairing) olarak da adlandırılır. Bu problemde, aynı filo tipi için ekibin yaşadığı şehirdeki havaalanında başlayan ve son

bulan ardışık uçuş bacak dizisi bulunur. Büyük havayolu işletmelerinde genellikle birden fazla ekip üssü vardır. Uçuş dizisi bulma probleminin boyutu, havayoluna bağlı olarak bir ile beş gün arasında değişen uçuş dizilerinden oluşabilir. Bu süreçte, ekip üyeleri yaşamlarını sürdürdükleri şehir dışında bazı şehirlerde genellikle geceyi dinlenerek geçirirler. Uçuş görev süresi (UGS), tek bir uçuş ya da uçuş dizilerinden oluşmuş bir uçuş görevi için, uçuş ekip üyesinin uçuş hazırlığı ile başlayan ve aynı uçuş veya uçuş dizilerinin sonundaki tüm uçuş görevlerinden muaf tutulduğu toplam süredir. Oluşturulan her bir uçuş görevi süresi (UGS), uçuşun programlandığı zamandan bir saat önce ve bir uçuş veya dizi uçuşun sona ermesi ile motor kapatma zamanından 30 dakika sonra son bulur. UGS hesaplanırken, ilk uçuş bacağından 1 saat önce mesaiye başlama süresi, iki şehir arası uçuş süresi, bir şehre varış ve şehirden ayrılış arası yerde geçen zaman ve iş periyoduna son uçuş bacağından sonra 30 dakika mesai kapama süresi eklenir. Uçuş süresi (US); bir hava aracının kalkış yapmak maksadıyla, kendi gücü ile veya harici bir güç uygulanmak suretiyle ilk hareketine başlama anından, uçuşun veya görevin sonunda tam olarak durarak yolcu, yük veya diğer muhteviyatı indirme ve/veya bindirme amacıyla kendisine tahsis edilen park yerine gelme anına kadar geçen toplam süreyi ifade etmektedir. Şekil 2.2’de, merkez üssü İstanbul olan ekip için oluşturulmuş iki günlük uçuş dizisi gösterilmektedir. Birinci görev, üç uçuş bacağına, ikinci görev ise iki uçuş bacağına içerir. Uçuş dizisi bulma probleminde uçuş bacakları arasındaki süre, gün bağlantısı veya bekleme (sit) olarak adlandırılır. Günlük uçuş görevleri arasındaki süre, gece bağlantısı veya dinlenme olarak adlandırılır. Briefing almak (b olarak gösterilmiştir) ve briefing vermek olarak bilinen (b olarak gösterilmiştir) görevden önceki ve sonraki zaman periyodunda, ekip tarafından düzenlenmesi gereken evrak işleri tamamlanır (Shaw, 2003).



**Şekil 2.2:** Merkez üssü İstanbul olan ekip için iki günlük uçuş dizisi

Uçuş dizisi bulma probleminde amaç, sendika, sivil havacılık otoritesi ve işletmenin kurallarına uygun olarak bütün uçuşları kapsayacak şekilde toplam ekip maliyetini en küçükmektir. Ekip maliyetleri içinde toplam uçuş maliyeti, bağlantılar arasında beklerken oluşan konaklama, yemek, havaalanına ulaşım maliyetleri de yer alır. Probleme aynı zamanda ekibin uçuşta geçirdiği zamanın en büyük olması ve gün içerisindeki uçuşlar arasındaki bağlantı zamanlarının en küçük olması sağlanmaya çalışılır. Havayolu işletmeleri mümkün olduğu sürece birçok uçuş bacağına ekibi aynı uçakta tutmak için çaba gösterir. Böylece, farklı uçaklarda görev alacak ekibin iptal olan bağlantılı uçuş veya uçuş gecikmeleri gibi olaylar sonucunda görev uçuşuna yetişememesi durumundan kaynaklanacak problemlerle karşılaşma riski önlenir. Bu durumlar ile karşılaşıldığında ekip gelir getirmeyen yolcu statüsünde uçarak görev alacakları uçağa yetişir (Bazargan, 2004; Yu ve Thengvall, 2002; Cordeau ve diğ., 2001).

Uçuş dizisi bulma problemi ile uçak rotalama probleminin çözümleri aynı olamaz. Uçaklar bakım kısıtları sağlandığı sürece gün içerisinde saat sınırlaması olmadan çizelgelemede uygun uçuşlara atanarak bir günde istenildiği kadar kullanılabilir. Buna karşılık, ekibin 24 saatlik zaman diliminde 8 saat uçuşta görev (US) yapmasına izin verilir. Eğer, uçuş 8 saatten fazla ise, uçakta ikinci ve gerekiyorsa üçüncü ekip bulundurulur. Görev süresini tamamlayan ekip uçakta özel olarak hazırlanmış bölümde dinlenir. İkinci olarak, uçuş dizisi bulma problemi aynı şehirde başlayıp aynı şehirde son bulması gerekirken, uçak bakım kısıtları sağlandığı sürece farklı şehirlerde konaklayabilir. Son olarak, uçak rotalama probleminde uçakların ardışık olarak bir sonraki uçuşa verilebilmesi için en az 30 dakika gerekir. Bu süreye, uçağın içinin temizlenmesi, yolcuların inmesi-binmesi, kargo ve yüklerin indirilmesi-yüklenmesi ve yakıt ikmali için ihtiyaç vardır. Uçuş dizisi bulma probleminde özellikle uçak değiştirecek ekip için iki uçuş arasındaki en küçük süre çok önemlidir. Uçuş dizisi bulma probleminde uçuş bacakları arasındaki gün bağlantısı veya bekleme olarak adlandırılan süreyi 10 dakika kabul ederek uygulayan havayolları mevcuttur (Bazargan, 2004; Yu ve Thengvall, 2002).

Uçuş dizisi bulma problemi sonucunda elde edilen uçuş dizilerinin yasal olarak uygulanabilmesi için ülkelerdeki sivil havacılık otoritelerinin, sendika ve havayolu işletmelerinin kurallarına uygun olarak hazırlanması gerekir. Bir görevin belli bir zamanı geçmesine izin verilmeyebilir veya uçuş saatinde veya uçuş çizelgelemesinin içerdiği uçuş bacak sayısında ve ekibin ana üsten uzak olduğu sürede belli bir limit

olabilir. Görevler arasında geçen enküçük ve enbüyük zaman veya uçuş bacakları arasında bekleme zamanının enküçük ve enbüyük periyodu belli olabilir. Bunlar, havayolu ekip çizelgeleme problemlerinde kullanılan kurallardan bazılarına birkaç örnektir. Bazı kurallar tamamen karmaşık olabilir. Görev sonrası dinlenme periyodu, en azından görevde geçen en fazla zaman ve bazı sabit değerler olabilir. Örneğin, eğer her hangi bir 24 saatlik periyot içinde 8 saatten az, 8-9 saat arası ve 9 saatten fazla uçuş süresi için sırasıyla, 9, 10 ve 11 saatlik en az dinlenme zamanları kural olarak uygulanır (Shaw, 2003; Yu ve Thengvall, 2002).

Türkiye’de havayolu şirketleri ekip çizelgelerini oluştururken, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan “Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı”nı dikkate almaktadırlar. Görev başlangıç saati yaz dönemi için 06.00-15:00 arasındaysa 4 inişe kadar 14 saat, 5 iniş için 13 saatlik azami uçuş görev süresi vardır. Görev başlangıç saati yaz dönemi için 15:01-18:00 arasındaysa 4 inişe kadar 13 saat, 5 iniş için 12 saatlik azami uçuş görev süresi vardır. Görev başlangıç saati yaz dönemi için 18:01- 05:59 arasındaysa 4 inişe kadar 12 saat, 5 iniş için 11 saatlik azami uçuş görev süresi vardır ( Çetin ve diğ., 2008).

### **2.3.2 Ekip Atama**

Uçuş çizelgesindeki bütün uçuşları kapsayacak şekilde uçuş dizisi bulma problemi çözüldükten sonra her bir ekip üyesi, oluşturulan dizilere atanarak aylık olarak her bir ekibin görev çizelgesi oluşturulur. Ekip üyelerinin aylık görev çizelgeleri, çalışanın izin günlerini, eğitim süreçlerini, yasal düzenlemeleri ve diğer sözleşme mecburiyetlerini içermesi gerekmektedir. Temel amaçlardan biri ekipten yararlanma oranını en büyükmektir. Bu problemi çözmek için iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Birinci aylık ekip atama (rostering) yaklaşımında problem, ekibi oluşturan bireylerin ihtiyaçları ve tercihleri dikkate alındıktan sonra ekip üyeleri, eşit bir yaklaşım içerisinde, hazırlanan bütün uçuş dizileri kapsanacak şekilde uçuşlara atanır. Ekibin görev listesi oluşturulurken kullanılan ikinci ekip atama (bidline) yaklaşımında, her ekip üyesinin kıdemi göz önüne alınır. Kıdem derecesi yüksek ekip üyesinin tercihi öncelikli olarak sağlanır ve ekip üyelerinin uçuş çizelgesindeki uçuşlara ataması yapılır. Ekip görev listesi oluşturulurken, birinci yaklaşım Avrupa’da, ikinci yaklaşım ise Kuzey Amerika’da daha yaygın olarak kullanılır (Qi ve diğ., 2004).

İkinci yaklaşımda, ilk olarak her bir ekip üyesinin seçebileceği şekilde uçuş dizileri tespit edilir. Daha sonra her ekip üyesi kıdemlerine göre bireysel uçuş programlarından birini seçer. Doğal olarak, bazı uçuş dizileri gece uçuşunun uzunluğu, zaman kuşağını çakışması gibi zorluklardan dolayı diğerlerine göre tercih edilir. Sonuç olarak, kıdemli ekip üyeleri her zaman en ideal görevleri seçerken, yeni ekip üyeleri istenmeyen görevleri almak zorunda kalır. Bu yüzden, bireysel uçuş programlarının oluşturulması sürecinde kullanılan sistemin görev dağılımının adaletli yapması beklenir.

Aylık ekip atama problemi, her homojen ekip üye grubu dikkate alınarak ayrı ayrı çözülür. Kokpit ekip üyesi yalnızca gerekli lisansa sahip olduğu belli bir flo tipinde uçmak için görevlendirilirken, kabin ekip üyesi farklı uçak tiplerinde görev alabilecek şekilde eğitim aldıklarından farklı filolara atanabilir (Bazargan, 2004; Yu ve Thengvall, 2002).

#### **2.4 Düzensiz Olayların Yönetilmesi**

Uçuş, uçak ve ekip çizelgelerinin hepsi havayolu planlama aşamasında önceden oluşturulur. Bununla birlikte, planlanan programlar gerçekleştirilirken meydana gelen çeşitli aksamalar, eğer değiştirilemezse çizelgeler uygulanamaz duruma gelebilir. Olası aksamalar, öngörülemeyen uçak arızası, ekip üyesinin hastalığı, kötü hava koşulları, hava trafik kontrol sınırlamaları veya diğer sebeplerden kaynaklanır. Bu olaylar ile ne zaman karşılaşılacağı belli olmadığı için problem, düzensiz olayların yönetimi olarak adlandırılır. Amerika'da ortalama bir günde, bütün uçuş planlarının yaklaşık olarak % 15 ile % 20 arası on beş dakikadan fazla gecikmeli olarak gerçekleşir ve yaklaşık olarak tüm uçuşların % 1-3'ü iptal edilir (Yu ve diğ., 2003). Düzensiz olaylar ile karşılaşıldığında orijinal operasyonel planlar, artık eniyi ve hatta uygun olmayabilir. Bu yüzden, orijinal planların revize edilip yeni koşullara uygun hale getirilmesi gerekebilir (Bazargan, 2004; Qi ve diğ., 2004; Clausen ve diğ., 2009).

Beklenmeyen olayların sonucunda operasyonel programın artık uygulanamaz hale gelmesinden sonra, mümkün olan en kısa zaman içerisinde eniyi çizelgeleme şekline karar vermek bir zorunluluktur. Havayolunun önceden kararlaştırılmış bir çizelgelemenin yerine yeni bir çizelgemeyi uygulamaya koyması maliyetli olabilir.

Bu yüzden, yeni çizelgelemenin belli bir zamandan sonra orijinal çizelgelemeye yakınsaması gerekir.

Havayolu ortamında, bütün planlama periyodunu kapsayacak, bütün kaynak ve taahhütlerin dikkate alınarak çok kısa bir süre içerisinde çok kaliteli ve yeni bir planın üretimi bazen mümkün olmayabilir. Böyle durumlar ile karşılaşıldığında, havayolu ilk olarak çok acil ve çok önemli kararı alacak şekilde kısmi çözümler bulabilir. Kısmi çözümün uygulama aşamasında, kısmi çözümden uzun dönemli planlara geçiş yapılabilecek daha uygun çözümler araştırılır (Qi ve diğ., 2004).

Düzensiz operasyonların yönetilmesinde, uçuş-uçak yeniden çizelgelemesi ve ekip yeniden çizelgelemesi ardışık olarak çözümlür.

#### **2.4.1 Uçuş-Uçak Yeniden Çizelgeleme**

Beklenmeyen bir durumla karşılaşıldığında uçuş, uçak ve ekip üyelerinin çizelgelemesini yeniden yapmak gerekebilir. Pratikte ilk olarak, uçuş ve uçak yeniden çizelgelemesi yapılır. Eğer yeni uçuş-uçak çizelgelemesi oluşturulduktan sonra oluşturulan yeni plan, ekip çizelgelemesi için uygun değilse, tüm sürecin tekrar edilmesi gerekir. Bu süreç, uygun çözüm bulununcaya kadar devam eder (Qi ve diğ., 2004; Yu ve Thengvall, 2002).

Uçuş-uçak yeniden çizelgeleme probleminin iki önemli noktası, orijinal uçuş-uçak çizelgeleme ile ilişkilidir. İlk olarak, düzensiz olayların yönetimi için belirli bir zaman periyodu tespit edilir. Yeni oluşturulacak çizelgelemenin, karşılaşılan problemin uzun dönemli etkisini azaltmak için önceden tespit edilmiş zaman periyodu içerisinde orijinal plana yakınsaması gerekir. Özellikle bütün uçakların, belirlenen zaman periyodu sonunda doğru hava alanlarında olması gerekir. İkinci olarak, yeni planın belirlenen zaman periyodu içerisinde orijinal çizelgelemeden mümkün olduğu kadar az bir şekilde sapması tercih edilmelidir.

Uçuş ve uçak birlikte yeniden çizelgelemesi yapılırken, yeni ve orijinal faaliyetler arasındaki maliyetlerin farkı gibi farklı sapma maliyetli seçenekler dikkate alınabilir. Bu seçenekler arasında, orijinal planlardaki gibi aynı uçağın uçuşlarını yine kapsamıyla birlikte bazı uçuşların belirli bir süre geciktirilmesi, bazı uçuşların iptal edilmesi, uçuşları kapsayacak şekilde orijinal uçak yerine başka veya kullanılabiliriyorsa farklı filodan uçak kullanılması ve bütün uçuşları kapsamak için herhangi bir havaalanındaki uygun uçağın boş olarak ihtiyaç duyulan havaalanına

uçurulması yer alabilir. Düzensiz olayları yönetilmesinde amaç, belirli bir zaman periyodu içerisinde orijinal çizelgelemeye yakınsayacak Şekilde en düşük toplam sapma maliyetli yeni uçuş-uçak çizelgelemesini müşteri memnuniyetini de sağlayarak bulmaktır.

#### **2.4.2 Ekip Yeniden izelgeleme**

Uçuş-uçak yeniden izelgelemesinden sonraki adımda yeni uçuş-uçak çizelgelemesi dikkate alınarak, uçuş ekibinin çizelgelemesi revize edilir. Ekip izelgeleme sürecinin birinci aşamasında uçuş dizileri bütün uçuşları kapsayacak Şekilde 2-5 gün arası için oluşturulmuş ve ekip üyelerinin uçuş dizilerine ataması gerçekleŐtirilmiŐti. Ekip yesinin hastalığı ve acil ayrılmalar gibi bazı aksamalar, orijinal ekip çizelgelemesini uygulanamaz duruma getirebilir.

Ekibin yeniden izelgelenmesindeki amaç, belli bir periyot içerisinde bozulan ekip uçuş çizelgelemesini orijinal çizelgelemeye uygun hale getirmektir. Karşılaşılan problemlerin çözüm sürecinde, uçuş dizisi bulma probleminin yeniden çözülmesi, eski uçuş dizisi bulma probleminde bulunan dizilerin parçalara bölünmesi, yedek ekip üyelerinin kullanılması ve ekibin gelir getirmeyen yolcu statüsünde ihtiyaç duyulan havaalanındaki uçuşa katılabilmesi için uçurulması yer alabilir (Qi ve diğ., 2004; Kohl ve diğ., 2007)



### 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde havayolu ekip çizelgeleme problemine çözüm getirmeyi amaçlayan birçok çalışma yer almaktadır.

Bazı araştırmacıların problemi şebeke yaklaşımı kullanarak çözdükleri görülmektedir. Carraresi ve Gallo (1984), toplu taşıma sistemlerinde araç rotalama ve ekip çizelgeleme problemlerinin çözümünde şebeke modellerinin ve yöntemlerinin kullanımını incelemişlerdir.

Yan ve Tu (2002) Taiwan havayolu şirketinin ekip çizelgeleme problemini çözmek için bir şebeke modeli önermişlerdir .

Ball ve Roberts (1985), havayolu ekip çizelgeleme için, problemi bir dizi alt probleme ayrıştırarak, küme ayrıştırmayı bir şebeke üzerinde gerçekleştiren bir prosedür olarak önermişlerdir.

Gamache ve diğerleri (2007) öncelik atamalı aylık bir ekip çizelgeleme problemini çözmek için, şebeke boyama ve tabu arama algoritması tabanlı bir yöntem kullanmışlardır.

Bunun yanında ekip çizelgeleme problemlerine kesin çözümler elde edebilmeyi hedefleyen çok sayıda tam sayılı programlama algoritması da geliştirilmiştir.

Hoffman ve Padberg (1993), havayolu endüstrisinde ortaya çıkan büyük çaplı küme ayrıştırma problemlerini optimal olarak çözebilmek için bir branch-and-cut yaklaşımı önermişler ve gerçek yaşam problemleri üzerinde uygulamışlardır.

Chu ve diğerleri (1997) eşleştirmelerin bir altkümesinden oluşan kısıtlı küme ayrıştırma problemine, şebeke tabanlı bir sezgisel yaklaşım uygulamışlardır .

Friberg ve Haase (1999) şehir içi toplu taşıma sistemlerinde araç ve ekip çizelgelemeyi birleştirerek ve bu modele ekiplerin maaş sözleşmeleri ve şirket anlaşmalarını içeren kısıtları da dâhil ederek yeni bir model oluşturmuşlardır. Bir sütun oluşturma algoritması kullanarak problemin sürekli gevşetmesini elde ettikten sonra, tamsayı bir çözüm elde etmek için bir dal-sınır yaklaşımı uygulamışlardır.

Mingozzi ve diğeri (1999) küme ayrıştırma matrisini kullanmadan, küme ayrıştırma modelinin doğrusal programlama gevşetmesinin dualine sezgisel bir çözüm olarak, ekip çizelgeleme problemine bir alt sınır hesaplamışlardır. Dual çözümleri, problemin bir dal-sınır algoritması ile çözülebilmesi için, modeldeki değişken sayısını azaltmada kullanılmışlardır.

Alefragis ve diğeri (2000) büyük çaplı 0-1 tamsayılı doğrusal programları, özellikle havayolu ve demiryolu ekip çizelgeleme problemlerini çözmek için sezgisel tabanlı bir Lagrange gevşetme yaklaşımının başarısını araştırmak üzere çalışmalar yapmışlardır. Bu yaklaşım, İsviçre Carmen Systems'in üretiminde kullanılan ve problemi değişkenlere ayırmayı temel alan orjinal algoritmanın ölçeklenebilir paralelleştirilmiş bir şeklidir.

Yen ve Birge (2006) ekip çizelgeleme problemini, olası kesintileri dikkate almaksızın deterministik olarak modellemek yerine, kesintileri dikkate alan stokastik bir model olarak geliştirmişlerdir. Bu bilgileri kullanarak daha iyi çözümler elde etmeyi ve gecikme etkilerini minimize etmeyi amaçlamışlardır.

Literatürde, ekip çizelgeleme problemine yaklaşık ya da optimal çözümler verebilen, çözüm zamanında büyük azalmalar sağlayan sezgisel yaklaşımlar da önerilmiştir. Meta sezgisel yöntemler arasında genetik algoritmayı kullanan çalışmalar sayıca fazla olup, bunun dışında tabu arama, tavlama benzetimi ve karınca kolonisi algoritmasının temel alan çalışmaları da mevcuttur.

Levine (1996) havayolu ekip çizelgeleme problemini, durağan-durum genetik algoritma ve bir yerel arama sezgiselini birleştiren melez bir algoritma kullanarak çözmüş ve gerçek yaşam problemleri üzerinde test etmiştir. Elde edilen sonuçları, dal-sınır ve branch-and-cut algoritmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır.

Özdemir ve Mohan (2001) havayolu ekip çizelgeleme problemini, probleme özgü çok sayıda kısıtı gösteren ve bir uçuş şebeke gösterimine uygulayan bir genetik algoritma kullanarak çözmüşler ve çok sayıda havayolundan alınan uçuş verilerini kullanarak, uyguladıkları yöntemin karşılaştırmasını yapmışlardır.

Kornilakis ve Stamatopoulos (2002) ilkinde öncelikle derinlik yaklaşımına göre eşleştirme oluşturulduğu, ikincisinde ise optimale yakın maliyetlerle oluşturulan eşleştirmelerin bir alt kümesinin seçildiği, iki aşamalı bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Küme kaplama modeli ile formüle edilen problemi, genetik algoritma ile çözmüşler ve Olympic Havayolları verilerini kullanarak etkinliğini test etmişlerdir.

Adachi ve Kobayashi (2004) çok amaçlı bir uçuş ekibi atama problemini ele alarak, tavlama benzetimi yöntemini ve genetik algoritmayı birleştiren hibrit bir yöntem önermişlerdir.

Park ve Ryu (2006/b) metro ekibi çizelgelemede eşleştirmelerin optimizasyonu problemini çözmek için özel olarak tasarlanmış yeni çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanan bir genetik algoritma önermişlerdir. Yeni tasarlanmış genetik operatörlerle aramanın etkinliğini arttırabilmek için, bir kromozomun açıklanmış ve açıklanmamış iki parçadan oluşması sağlanmıştır. Her iki parçadaki genler de evrim geçirmesine rağmen, yeni bir birey değerlendirildiğinde sadece açıklanmış parça kullanılmıştır. Açıklanmamış parçanın amacı, genetik operatörlerin uygulanmasıyla kaybolması olası bilgileri korumak ve böylece aramanın farklılığını sağlamaktır.

Park ve Ryu (2006/a) ekip eşleştirme optimizasyonu için önerdikleri yaklaşımla, ilk olarak çok sayıda eşleştirme oluşturup, daha sonra açıklanmamış genleri dahil eden bir genetik algoritma kullanarak eşleştirmelerin en iyi alt kümesini bulmuşlardır.

Cavique ve diğerleri (1999) ekip çizelgeleme problemi için Lizbon metrosunun ekip çizelgeleme yönetimi için geliştirilen bir karar destek sisteminin parçası olan bir tabu arama algoritması kullanmışlardır

Xu ve diğerleri (2006) çok amaçlı uçuş eğitmeni çizelgeleme problemini çözmek için dinamik komşuluk tabanlı bir tabu arama algoritması tasarlamışlardır. Algoritma, farklı komşuluk değişimi tiplerini kullanmış ve büyük bir Amerikan havayolu şirketinden alınan verilere uygulanmıştır.

Emden-Weinert ve Proksch (1999) havayolu ekip eşleştirme problemine bir tavlama benzetimi algoritması uygulamışlardır. Probleme özgü bir başlangıç çözümü kullanarak, kısıtları olabildiğince gevşeterek, tavlama benzetimini probleme özel başka bir yerel sezgiselle birleştirerek ve bunları bağımsız olarak çalıştırarak, programın çalışma zaman ve çözüm kalitesinde iyileşmeler sağlanabileceğini göstermişlerdir.

Crawford ve diğerleri (2006) ekip eşleştirme probleminin çözümünde karınca kolonisi optimizasyonu algoritmasının performansını ve karınca kolonisinin kısıt programlama tekniği ile melezlenmesini incelemişlerdir.

Ayrıştırma algoritmaları ve ayrıştırma algoritmasının özel bir bileşeni olan sütun oluşturma algoritmaları da ekip çizelgeleme literatüründe önemli bir yer tutmaktadır.

Desaulniers ve diğerleri (1997/b), karışık tamsayı programlama modelleri için kullanılan Dantzig-Wolfe ayrıştırma algoritması ile ana problemi bir küme ayrıştırma modeli, alt problemi ise okların görev periyotlarını ifade ettiği bir çok ürünlü akış şebekesi olarak modellemişler ve doğrusal olmayan maliyetlerin yaklaşık değil kesin olarak yer aldığı bir maliyet fonksiyonu kullanmışlardır. Yaklaşımı Air France'tan alınan gerçek verilere uygulamışlardır.

Vance ve diğerleri (1997), geleneksel olarak bir küme ayrıştırma problemi olarak modellenen ekip çizelgeleme problemini çözebilmek için, karar sürecini iki aşamaya ayıran bir yaklaşım önermişlerdir. İlk aşamada çizelgedeki tüm uçuş seferlerini kapsayacak bir görev periyotlar kümesi seçip, ikinci aşamada bu görev periyotlarını kullanarak eşleştirmeleri oluşturmuşlardır. Modeli çözmek için bir ayrıştırma yaklaşımı önermişler ve büyük bir havayolundan alınan veriler üzerinde test etmişlerdir.

Cordeau ve diğerleri (2001) tek bir filo tipi için ekip çizelgeleme ve uçak rotalama problemlerini eşzamanlı olarak çözebilmek için Benders ayrıştırma yaklaşımını önermişlerdir. Yaklaşım, uçak rotalama problemini çözen bir ana problem ve ekip eşleştirme problemini çözen bir alt problem arasında tekrarlayan bir çözüm sürecinden oluşmuştur. Her iki problem de sütun oluşturma algoritması ile çözülmüştür.

Mercier ve diğerleri (2005) Benders ayrıştırma yaklaşımını kullanarak, uçak rotalama ve ekip çizelgeleme problemlerini bütünleşik olarak çözmeye çalışan bir yaklaşım önermişlerdir.

Vanderbeck ve Savelsbergh (2006) Dantzig-Wolfe ayrıştırma yöntemini açıklayan bir inceleme çalışması yapmışlardır.

Desrosiers ve diğerleri (1984) okul servisi çizelgeleme problemi için, başlangıç, hedef, seyahat süresi ve maliyet dışında, her seferi, başlaması gereken bir zaman aralığı ile tanımlamışlardır. Çalışmada, rota ve çizelgeleriyle birlikte gerekli araç sayısı belirlenerek ve araç sayısına göre sabit bir maliyet değeri atanarak, her seferin belirlenen bir zaman aralığı içinde başlaması ve seyahat maliyetlerinin minimizasyonu sağlanmıştır. Kullanılan model gezgin satıcı modelidir. Sütun oluşturma algoritması, simpleks ve dal-sınır ile çözülen bir küme ayrıştırma problemi üzerinde uygulanmıştır. Sütunlar, düğümler üzerindeki zaman aralıklarıyla bir en kısa yol algoritması kullanılarak oluşturulmuştur.

Lavoie ve diğeri (1988) ekip eşleştirme problemi için önerdikleri yaklaşımda, eşleştirmelere karşılık gelen çok sayıda değişken ya da sütunun yer aldığı büyük çaplı bir küme kaplama modeli oluşturmuşlardır. Daha sonra bu büyük çaplı modelin sürekli doğrusal programlama gevşetmesini çözebilmek için bir çözüm prosedürü önermişlerdir.

Desrochers ve Soumis (1989) ana problemi bir küme kaplama, alt problemi ise bir en kısa yol problemi olarak formüle ederek, şehir toplu taşıma ekip çizelgeleme problemine sütun oluşturma yaklaşımını uygulamışlar ve gerçek yaşam problemleri üzerinde yaklaşımlarını test etmişlerdir.

Housos ve Elmroth (1997) problemlerin boyutunu azaltan ve çözüm kalitesini arttıran alt problemlerin seçimi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Haftalık ve ileri tarihli bir probleme odaklanarak, bir günün tüm olası bağlantılarını hesaplayan alt problemlerin çözümü için bir yöntem önermişlerdir. Uygulama sonucunda bu yöntemin günlük ekip çizelgelerinin mevcut olmadığı durumda, haftalık ve ileri tarihli problem için kaliteli çözümler ürettiği görülmüştür.

Desaulniers ve diğeri (1997/a) günlük ekip çizelgeleme ve araç rotalama problemleri için bir küme ayrıştırma ve zaman kısıtlı çok ürünlü akış şebekesinden oluşan iki model önermişlerdir. İlk modelin doğrusal programlama gevşetmesini çözmek için, alt problemin bir şebeke yapısıyla açıklandığı bir sütun oluşturma tekniği; ikinci modelin doğrusal programlama gevşetmesini çözmek için ise bir Dantzig-Wolfe ayrıştırmasını kullanmışlardır. Daha sonra bir dal-sınır yöntemi uygulayarak tüm probleme tamsayı bir çözüm elde etmişlerdir. İki model arasındaki eşdeğerliği kullanarak, sütun oluşturma algoritması ile uyumlu, çeşitli dallanma stratejileri önermişlerdir.

Barnhart ve diğeri (1998) yeni sütunlar oluşturmak için ya da bir dal-sınır ağacında doğrusal programlamanın optimalitesini kantlamak için, temelde yer almayan değişkenlerin etiketlenmesine dayanan bir sütun oluşturma algoritması kullanarak çok değişkenli tam sayılı programlama formülasyonları üzerinde çalışmışlardır.

Junker ve diğeri (1999) karmaşık kısıtlı yöneylem araştırması problemlerinden biri olan ekip atama problemine sütun oluşturma algoritmasını, alt problemi kısıt tatmini problemi olarak formüle ederek uygulamışlardır. En kısa yol problemine, negatif indirgenmiş maliyetli yollara ulaşmayacak olan düğümleri dışarda bırakmak için ana

problemden gelen dual değerleri kullanan bir yol kısıtı oluşturarak, en kısa yol probleminin özel durumlarını etkin bir şekilde ele almışlar ve ekip atama problemini çözmek için gereken zamanı da önemli ölçüde azaltmışlardır.

Gustafsson (1999) sütun oluşturma algoritmasında ana problem seçiminin çözüm hızını ve kalitesini etkileyen önemli bir unsur olduğu gerçeğinden yola çıkarak, ana problemde sezgisel tabanlı bir tamsayılı optimizasyon programının kullanıldığı durumu, simpleks tabanlı bir algoritma ile karşılaştırmıştır.

Klabjan ve diğerleri (2001/b) rassal olarak yüz milyonlarca eşleştirme oluşturmaya dayanan bir yaklaşım önermişlerdir. İlk olarak doğrusal programlama gevşetmesi çözülmüş, daha sonra tam sayılı program için en iyi indirgenmiş maliyete sahip milyonlarca sütun seçilmiştir. Sütunların sayısı, daha sonra, doğrusal programlama tabanlı bir sezgiselle azaltılmıştır. Sonuç olarak tam sayılı bir çözüm elde edilmiştir. Kullanılan programın dallandırma kuralı, güçlü dallanma ve özel bir dallanma kuralının bir kombinasyonu ile geliştirilmiştir. Algoritma, uygulamada kullanılanlardan çok daha iyi bir çözüm üretmiştir.

Klabjan ve diğerleri (2002) daha sonra yaptıkları çalışmada, havayolu planlama sürecinin çizelge planlama, uçak rotalama ve ekip çizelgelemeden oluşan üç temel aşamasını kısmen entegre ederek çözen bir yaklaşım sunmuşlardır. Ekip çizelgeleme problemine uçak sayısı kısıtlarını da ekleyip uygun bir araç rotası elde ederek, daha esnek bir ekip çizelgesi sağlamışlardır. Bunun yanında uçuş seferlerinin kalkış zamanları sabit değil belirli bir zaman aralığında olduğu için, gerektiğinde bu zamanları değiştirebilme esnekliğini göz önünde bulundurmuşlardır. Geleneksel modele göre maliyetlerde önemli tasarruflar sağlamışlardır.

Yan ve Chang (2002) kabin ekibi maliyetlerini minimize etmeye ve kabin ekibi eşleştirmelerini doğru planlamaya yardımcı olacak, Taiwan Uluslararası Havayolları'ndan alınan gerçek verileri kullanarak, bir küme ayrıştırma modeli ve iki çizelgeleme şebekesi geliştirmişlerdir. Problemi çözmek için bir sütun oluşturma algoritması kullanmışlardır.

Makri ve Klabjan (2004) sütun sıralamayı anlamak için yaklaşık ve tam olarak kategorize edilmiş çok sayıda dallanma kuralı kullanan bir sütun oluşturma planı geliştirmişlerdir. Doğrusal olmayan bir fiyatlama stratejisi kullanarak hesaplama denemelerini gerçeğleştirmişlerdir.

Lübbecke ve Desrosiers (2005) büyük çaplı doğrusal programlar için geliştirilen Dantzig-Wolfe ayrıştırması ile sütun oluşturma algoritmalarını incelemiş ve birbirleriyle olan ilişkilerini ele almışlardır.

Borndörfer ve diğerleri (2005) havayolu ekip çizelgeleme problemini çözmek için, küme ayrıştırma modelini temel alan bir sütun oluşturma yaklaşımı önermişler ve birçok endüstriyel örneğe ait uygulama sonuçlarını sunmuşlardır.

Demasse ve diğerleri (2006) sütun oluşturma alt problemlerinin modellenmesinde ve çözümünde yarar sağlayan ve düzenli maliyet olarak adlandırdıkları, yönlü bir şebekedeki en kısa ve en uzun yolları hesaplamaya dayanan yeni bir optimizasyon kısıtı önermişlerdir. Bu kısıtın davranışını, kısıt programlama tabanlı esnek bir sütun oluşturma yaklaşımı aracılığıyla, karmaşık personel çizelgeleme problemleri üzerinde incelemişlerdir.

Desaulniers (2007) kaynak kısıtlarını dahil ederek ya da yok sayarak, sütun oluşturma algoritmasının alt probleminin bir en kısa yol problemi olarak alındığı bir dal-sınır yaklaşımı ile çözülebilen araç rotalama ve ekip çizelgeleme problemlerini incelemiştir. Bunlar arasından, özellikle, birincil amacın kullanılan araç ya da ekip sayısını, ikincil amacın işletme maliyetlerini minimize etmeyi amaçladığı, iki seviyeli hiyerarşik bir amaç fonksiyonu içeren çalışmalarla ilgilenmiştir.

Crainic ve Rousseau (1987) genel yaklaşım yerine yaklaşık çözüm veren hacim algoritmasını kullanarak, doğrusal bir program geliştirmişler ve çözüm zamanını oldukça kısaltmışlardır.

Anbil ve diğerleri (1998) havayolu ekip çizelgeleme problemine yaklaşık çözüm getiren ancak çözüm zamanında önemli azalmalar sağlayan bir doğrusal programlama yöntemi olan hacim algoritmasını önermişlerdir.

Barnhart ve diğerleri (1995) ekip eşleştirme çözümlerini iyileştirmek için, deadhead uçuş seferlerini etkin bir şekilde seçmeye ve kullanmaya dayanan, sezgisel bir yöntem geliştirmişlerdir.

Klincewicz ve Rosenwein (1995), havayolu çizelge planlamada karşılaşılan, günlük ekip çizelgelemede dikkate alınmayan ancak çizelgeye sonradan eklenmesi gereken değişiklikleri, bir şebeke akış modeli ile çizelgeye dahil eden bir yaklaşım önermişlerdir.

Beasley ve Cao (1996) ekip çizelgeleme problemine bir alt sınır sağlamak için Lagrange yoluyla gevşetilen bir 0-1 tamsayı programlama formülasyonu uygulamışlar ve bu alt sınırı bir ağaç arama prosedürüne dahil ederek optimal bir çözüm elde etmişlerdir.

Beasley ve Cao (1998) ekiplerin çalışarak harcadıkları toplam zamanı, bir sınırı aşmayacak şekilde görevleri başlama ve bitirme zamanlarının sabit olduğu bir ekip çizelgeleme problemi için dinamik programlamayı kullanmışlardır.

Barnhart ve Shenoı (1998) ekip çizelgeleme problemine, ilk olarak problemin yaklaşık bir modelini çözen ve daha sonra bu çözümü klasik çözümler için iyi bir başlangıç çözümü olarak kullanan bir yöntem önermişlerdir. Başlangıç çözümü kullanarak çözüm sürecini hızlandırmışlar ve ekip eşleştirmelerinin çözümünün kalitesini arttırabilmek için, yöntemin bir deadhead seçici ile beraber kullanılmasını önermişlerdir.

Freling ve diğerleri (1999) araç ve ekip çizelgeleme problemlerini birlikte ele alarak çözenin sağlayacağı faydayı göstermek için, önce bu problemleri birbirinden bağımsız olarak çözen bir yöntem geliştirmişler, ardından eş zamanlı olarak çözmüşlerdir. Geliştirdikleri matematiksel modeli Hollanda'da RET adlı toplu taşıma şirketinden aldıkları verilere uygulamışlar.

Lettofsky ve diğerleri (2000), havayolu çizelgelerinde meydana gelen gecikme, bakım ya da hava şartlarından kaynaklanan kesintiler yüzünden uçakların ya da ekiplerin yeniden atanmasını kapsayan iyileştirme problemi için bir yaklaşım geliştirmişlerdir.

Alefragis ve diğerleri (1998) Avrupa havayollarının çoğunda kullanılan Carmen Systems'i temel alan bir çalışmada paralelleşme tekniğini kullanmışlardır.

Lagerholm ve diğerleri (1997,2000) havayolu ekip çizelgeleme problemine iyi çözümler bulmak için Potts yapay sinir ağı yaklaşımı kullanmışlardır.

Klabjan ve diğerleri (2001/a) havayolu ekip çizelgeleme problemini, maliyetleri minimize etmenin yanında, haftalık bir zaman ekseni boyunca seyahat planlarının devamlılığını ya da tekrarını maksimize etmeyi amaçlayan ikinci bir amaç ekleyerek modellemişlerdir.

Schaefer ve diğerleri (2005) ekip çizelgeleme problemini kesintileri dikkate alarak belirsizlik altında modellemişler ve optimal izelge maliyetlerinde daha dūřuk bir alt sınır elde etmeyi başarmışlardır.

Tran ve diğerleri (2006) ekip eşleştirme probleminde, dual noktaların salınımını durağanlaştırmak için; bir durağanlaştırılmış sūtun oluşturma yōntemini önermişler ve bu yōntemin performansını artırmada box-step yōntemlerinden yararlanmışlardır.

Guo ve diđerleri (2006) ekip ūyelerinin merkez ūsleri arasında dūzensiz dađılım gōsterdiđi havayollar için ekip çizelgeleme ve atama problemlerini ele almıřlardır. İlkinde haftalık ekip eřleřtirmeleri zincirinin oluřturulduđu, ikincisinde ise bu eřleřtirme zincirinin parçalarını ekip ūyeleri çizelgelerine gōre yeniden dūzenlendiđi, kısmi būtūnleřik bir yaklařım önermiřlerdir.



## 4. SÜPÜRME ALGORİTMASI TABANLI SEZGİSEL ALGORİTMANIN OLUŞUMU VE PROBLEME UYGULANMASI

### 4.1 Süpürme Algoritması

1974 yılında Gillet ve Miller tarafından geliştirilen Süpürme Algoritmasında rotalarda yer alacak müşteriler, depo merkezli bir doğrunun döndürülmesi ile elde edilmektedir. Döndürme esnasında doğrunun üzerinden geçtiği müşteriler bir gruba ayrılır ve kapasite veya mesafe kısıtı aşıldığı zaman grup kapatılarak yeni bir grup ile devam edilir. Oluşturulan nokta gruplarına merkez depo da eklenip, genel olarak 1974 yılında Gillet ve Miller tarafından geliştirilen Süpürme Algoritmasında rotalarda yer alacak müşteriler, depo merkezli bir doğrunun döndürülmesi ile elde edilmektedir. Döndürme esnasında doğrunun üzerinden geçtiği müşteriler bir gruba ayrılır ve kapasite veya mesafe kısıtı aşıldığı zaman grup kapatılarak yeni bir grup ile devam edilir. Oluşturulan nokta gruplarına merkez depo da eklenip, genel olarak GSP gibi çözümlenerek rotalar belirlenir (Cordeau ve diğ., 2002). Bu yöntemde müşterilerin koordinatları Öklidyen formatta  $(x, y)$  değil,  $\theta$  açı ve  $\rho$  doğru uzunluğu olmak üzere polar formatta  $(\theta_i, \rho_i)$  tutulur. Böylece talep noktaları  $\theta$  açısına göre küçükten büyüğe sıralanıp, kapasite ve mesafe kısıtları dikkate alınarak gruplanır. Genel olarak Süpürme Algoritmasının çözüm adımları aşağıdaki açıklanmaktadır (Laporte ve diğ., 2000):

**Adım 1.** Bir harita üzerinde depo ve müşteri noktalarının yeri tespit edilir ve koordinatlar polar formata  $(\theta_i, \rho_i)$  çevrilir. Rotaya atanmamış herhangi bir araç belirlenir.

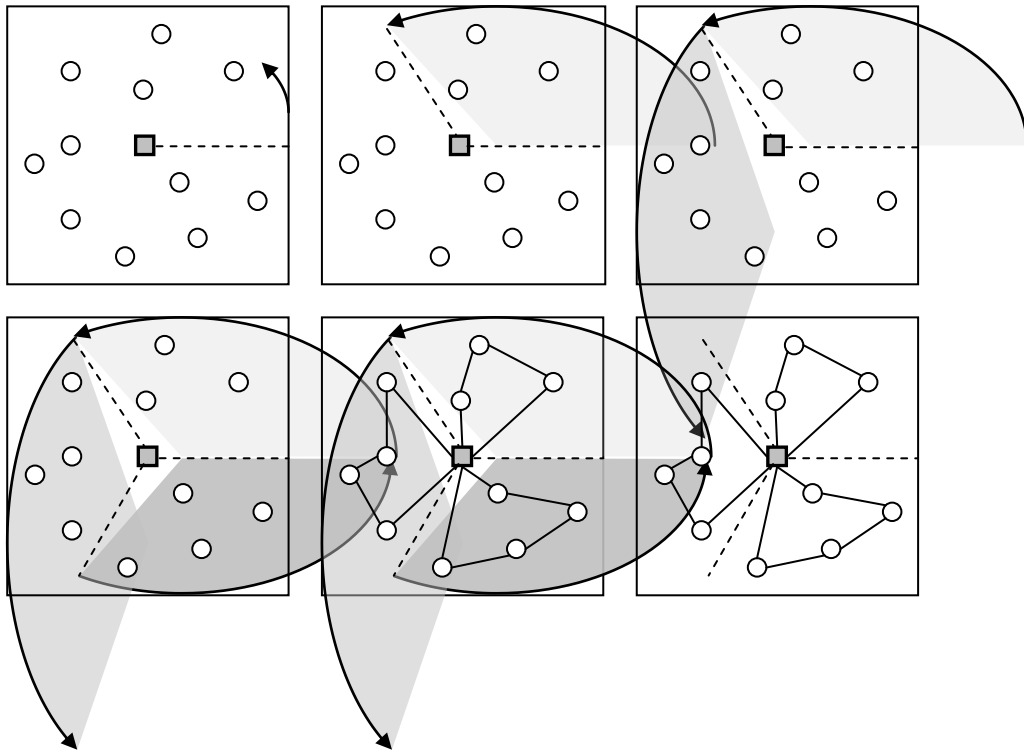
**Adım 2.** Depodan yatayla  $0^\circ$  açı ile başlanarak saat yönünün tersine doğru taranmaya başlanır. Eğer bir müşteri ile karşılaşılırsa ve eğer müşterinin talep miktarı aracın kapasitesini geçmiyorsa müşteri araca atanır. Aksi takdirde saat yönünün tersi yönde hareket edilir. Eğer araca her iki yönde de müşteri atanamıyorsa, diğer araca geçilir.

**Adım 3.** Eski aracın kaldığı yerden taramaya devam edilir. Eğer daha önce rotalanmayan müşteri ile karşılaşılırsa ve müşterinin araca atanması kapasite kısıtının

aşılmasına sebep olmuyorsa, müşteri araca atanır. Bu süreç açıkta bir talep noktası kalmayınca kadar (tüm noktalar rotalanıncaya kadar) sürer.

**Adım 4.** Tüm noktalar araçlara atandıktan sonra gruplar uygun bir şekilde optimize edilerek rotalar belirlenir.

Süpürme Algoritmasının adımları Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Şekilde  $0^\circ$  açısından başlanarak saat yönünün tersi yönünde dönülmektedir. Kapasite veya mesafe kısıtı ihlal edildiğinde ise diğer gruba geçilmektedir. Daha sonra noktalar birleştirilerek rotalar oluşturulmaktadır.



**Şekil 4.1** : Süpürme Algoritması adımları

## 4.2 En Yakın Komşu Yöntemi

En yakın komşu sezgiselinde her iterasyonda gidilecek noktayı seçerken bulunulan noktaya en yakın noktanın seçilmesinden oluşur. Algoritma bütün noktalar ziyaret edilene kadar devam eder ve bütün noktalar ziyaret edildikten sonra tekrar başlangıç noktasına döner. Bu sezgisel Gezgin Satıcı Problemi(GSP)’nde yaygın olarak kullanılan bir metottur. Satıcı bir şehirden başlar ve başlangıç şehrine en yakın olan şehri ziyaret eder. Ziyaret edilecek şehir kalmadığında satıcı başlangıç şehrine geri döner. Bu metodun basamakları şu şekildedir (Marikanis, 2001):

**Adım 1.** Herhangi bir nokta ile başla.

**Adım 2.** Henüz rotada olmayan ve en son eklenen noktaya en yakın olan noktaya git.

**Adım 3.** 2. adımı bütün noktalar rotaya dahil olana kadar tekrarla. Daha sonra rotanın ilk ve son noktalarını birleştir.

GSP için yaygın olarak kullanılan bu sezgisel ARP çözümü için de uygulanmaktadır. TSP de satıcı yerine ARP de araç rota oluşturmak için yola çıkar ve GSP'nde başlangıç şehri ARP de depodur ve araç rota oluşturmaya buradan başlar ve tüm müşteriler ziyaret edildikten sonra araç tekrar depoya döner.

### **4.3 Problemle İlgili Tanımlar**

**Ana Üs;** Havacılık işletmesinin uçuş faaliyetlerini yürüttüğü ve işletme ruhsatında ana merkez olarak belirlenen, uçucu ekiplerin kendi imkânları ile konaklama ve yaşelerini sağladığı mahali,

**Boş Süre;** Uçucu ekiplere uçuş görev süresi, dinlenme süresi, nöbetçi ekip görev süresi, yedek ekip görev süresi, konaklama süresi dışında, hiçbir uçuş görevi veya ilave görev verilmediği serbest süreyi,

**Dinlenme Süresi;** Bir uçucu ekibin, bir önceki uçuş görev süresinin bittiği andan itibaren başlayan ve yeni bir uçuş görev süresinin başlama saatine kadar süren, her türlü görevden muaf tutulduğu süreyi,

**Geçici Üs;** Ana üs veya üslerin dışında, uçuş harekâtının devamlılığı için, uçucu ekip üyesinin uçuş görev süresinin başlayıp sona erdiği ve uçucu ekip üyesine, havacılık işletmesinin uygun konaklama tesisi ve iâşe imkânı sağlamakla yükümlü olduğu, uçucu ekiplerin geçici bir süre kalacağı, havacılık işletmeleri tarafından belirlenen yurt içi ve/veya yurt dışındaki yerleşim merkezini,

**Kabin Ekibi;** Bir uçuş görevinin yapılmasında kokpit ekibinin dışında, esas görev yeri hava aracının kabini olan ve işletmeciler tarafından yolcu emniyetini ve gereksinimlerini karşılamak üzere gerekli temel ve tazeleme eğitimlerini alarak sertifikalandırılmış personeli,

**Kesintili Uçuş Görev Süresi;** Her bir uçucu ekip için, uçuş süreleri arasında bekleme olan uçuş görev süresini,

**Kesintisiz Uçuş Görev Süresi;** Her bir uçucu ekip için, uçuş süreleri arasında, havacılık işletmesinin planladığı, yeni bir uçuş görevi için hazırlık süresi haricinde bekleme yapılmayan uçuş görev süresini,

**Kokpit Ekibi;** Hava aracının sevk ve idaresi ile kullanımından sorumlu ve SHGM tarafından lisanslandırılmış gerekli olan asgari sayıdaki pilot/pilotlar ile eğer varsa uçuş mühendislerini,

**Konaklama Meydanı;** Ana üs veya geçici üs kapsamı dışındaki meydanların, havacılık işletmelerinin uygun konaklama tesisi ve iaşe imkânı sağlamakla yükümlü olduğu, süresi konaklama süresindeki tarife uyan yurt içi ve yurt dışında konaklamalı görevlerin yapıldığı meydanı,

**Konaklama Süresi;** Konaklama meydanında, uçuş dışı eğitim ve idari görevler hariç uçucu ekip için 7 (dahil) günü aşmayan süreyle ve içinde asgari dinlenme süresi olacak şekilde yapılacak görev süresini,

**SHGM;** Sivil Havacılık Genel Müdürlüğünü,

**Pas Görev Süresi;** Uçucu ekiplerin, havacılık işletmesinin talimatı üzerine, herhangi bir görev icra etmeksizin, en son uçuş görevinin bittiği meydandan, yeni bir uçuş görevi icra edeceği meydana, ana/geçici üs'ten uçuş harekâtına başlayacağı meydana veya uçuş harekâtının sona ermesinden sonra ana /geçici üsse ulaşım maksadıyla yaptığı hava veya bir satıh ulaşım aracında geçen süreyi,

**Pilot;** Hava aracının sevk ve idaresiyle görevli olan sorumlu kaptan pilot ve/veya kaptan pilot haricindeki SHGM tarafından yetkilendirilmiş, diğer pilot ya da pilotları,

**Sorumlu Kaptan Pilot;** Havacılık İşletmeleri tarafından belirlenen ve uçuşun sevk ve idaresinden sorumlu kaptan pilot veya acil durumlarda, kaptan pilotun görev yapamaması durumunda geçici olarak bu görevi üstlenecek pilotu,

**Sorumlu Kaptan Pilot Kararı;** Bu talimatta belirtilen kıstaslar dahilinde uçuş görev ve dinlenme sürelerinin uzatılması ve/veya kısaltılması için sorumlu kaptan pilot tarafından alınan kararı,

**Uçucu Ekip;** Havacılık işletmeleri tarafından belirlenen, hava aracının sevk ve idaresiyle görevli pilotlar, uçuş mühendisleri ile sertifikalı kabin içi emniyet ve diğer hizmetlerin yürütülmesiyle görevli kabin ekibini ve yükleme görevlilerini, uçak tipine göre uçuş mühendisi kapsamında gerektiğinde seyrüsefer ve radyo operatörlerini,

**Uçucu Ekip Planlama ve Koordinasyon Sorumlusu;** Havacılık işletmeleri tarafından belirlenen ve uçuş faaliyetlerinin bu talimat kapsamındaki hükümlerinin planlanması, yayınlanması, dağıtılmasından ve takibinden sorumlu olan ve SHGM tarafından hazırlanacak olan ayrı bir talimata göre yetkilendirilecek personeli,

**Uçuş Görev Süresi;** Tek bir uçuş ya da uçuş serilerinden oluşmuş bir uçuş görevi için, uçuş ekip üyesinin uçuş hazırlığı ile başlayan ve aynı uçuş veya uçuş serilerinin sonundaki tüm uçuş görevlerinden muaf tutulduğu toplam süreyi,

**Uçuş Mühendisi;** Uçuş işletme el kitapları gereğince hava aracında bulunması ve pilotlardan başka kokpitte görev yapması gerekli olan sertifikalı personeli,

**Uçuş Süresi (Blok Süresi);** Bir hava aracının kalkış yapmak maksadıyla, kendi gücü ile veya harici bir güç uygulanmak suretiyle ilk hareketine başlama anından, uçuşun veya görevin sonunda tam olarak durarak yolcu, yük veya diğer muhteviyatı indirme ve/veya bindirme amacıyla kendisine tahsis edilen park yerine gelme anına kadar geçen toplam süreyi,

#### **Zaman Tanımları;**

**GÜN** : 00.01 UTC ile 24.00 UTC arasındaki süreyi,

**HAFTA** : Birbirini takip eden 7 günü,

**AY** : Bir takvim ayını,

**3 AY** : Birbirini takip eden üç takvim ayını,

**YIL** : Bir takvim yılını,

**ICAO ;** (International Civil Aviation Organization) Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatını,

**JAA ;** (Joint Aviation Authorities) Havacılık Otoriteleri Birliğini,

**JAR ;** (Joint Aviation Requirements) Ortak Havacılık Kurallarını,

**UTC;** (Universal Time Coordinated) Uluslararası Koordine Edilmiş Zamanı; ifade eder.

#### **4.4 Problem İle İlgili Kısıtlar**

**Uçuş Görev Süresi** aşağıda belirtilen sürelerin toplamıdır.

Tek bir uçuş ya da uçuş serilerinden oluşmuş bir uçuş görevi için hazırlık yapılması ile ilk uçuş süresinin başlaması arasında geçen süredir. Bu süre hiçbir şekilde 60 dakikanın altında olamaz. Üst limiti ise havacılık işletmelerinin uçuş işletme el kitaplarında belirtilen süredir (a)

İşletme tarafından verilen tek bir uçuş ya da uçuş serilerinden oluşmuş bir uçuş görevinde, ilk uçuş süresinin başlangıcı ile uçuş/uçuş serileri sonunda uçuş süresinin sona erdiği ana kadar geçen toplam süredir.(b)

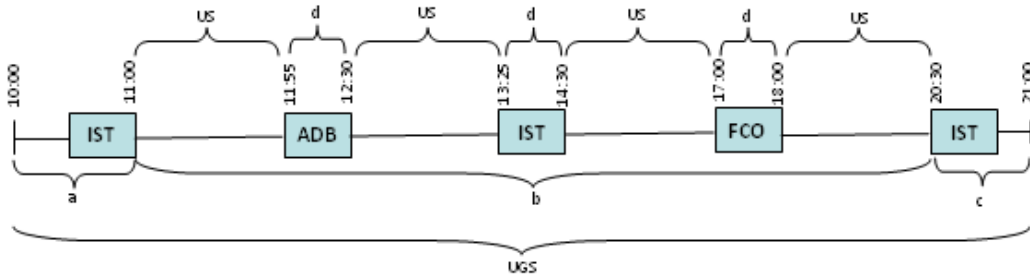
Uçuş / Uçuş serilerinin sona ermesinden itibaren 30 dakikalık süredir. Üst limiti ise havacılık işletmelerinin uçuş işletme el kitaplarında belirtilen süredir.(c)

Kesintisiz uçuş görev süresi, yukarıda belirtilen 3 ayrı sürenin toplamı olup her bir uçuşu ekip üyesi için maksimum 14 saattir.(UGS)

Uçuş seferleri arasındaki mola süreleri ise, en az 30 en fazla 300 dk olacak şekilde uçuş seferleri eşleştirilmelidir.(d)

14 saatlik uçuş görev süresi için izin verilen maksimum iniş sayısı ise 4'tür.

Şekil 4.2'de bu süreler detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Sürelerin örnek bir eşleme üzerinde gösterilmesi

#### 4.5 Süpürme Algoritması Adımlarının Modele Uyarlanması

Örnek bir uçuş çizelgesinde uçuş numarası, kalkış-iniş meydan bilgileri, uçuş süresi, kalkış ve iniş zamanları gibi bilgiler bulunmaktadır. Algoritmanın adımlarını modelimizin mantığına şu şekilde uyarladık;

**Adım 1.** Ana üssü kordinat düzleminin merkezine ve herbir uçuş noktasını da rassal olarak belirlediğimiz  $\theta_i$  açılara göre 0-360 derece aralığına yerleştirdik. Burada  $\rho_i$  ise ilgili uçuş noktasının ana üsden olan uzaklığını ifade etmektedir. Ana üsden herhangi bir uçuş noktasına uçan uçağın, gittiği noktadan sonraki ilk uçuşu yine ana

üsse olmaktadır. Bu sebeple bir seferin ana üsden herhangi bir noktaya uçtuğunda aldığı  $\theta_i$  değeri, o noktadan ana üsse dönüş seferi için aldığı  $\theta_i$  değeri ile aynı olmaktadır.

**Adım 2.** Ana üsden yatayla  $0^\circ$  açı ile başlanarak saat yönünün tersine doğru taramaya başlanır. Eğer bir uçuş noktası ile karşılaşılırsa ve uçuş noktasına gidiş-dönüş süresi toplam uçuş görev süresini aşmıyorsa o uçuş noktası uçağa atanır. Bundan sonra aynı uçağa başka bir uçuş atamak için ilk atanan seferin ana üsde bitiş zamanı ile yeni atanabilecek uçuşlar arasında minimum dinlenme süresi 30 dakikaya en yakın olan uçuş seçilir. Algoritmanın buradaki amacı kalan uçuş noktaları arasından dinlenme zamanını minimize eden ve toplam uçuş görev süresini aşmayacak şekilde atama yapmaktır. Saat yönünün tersi yönünde başladığımız açiya kadar gelip herhangi bir noktanın atanıp atanmadığı kontrol edilir. Eğer uçağa uçuş noktası atanamıyorsa, diğer uçağa geçilir ve başlangıç açısından itibaren yeniden taramaya devam edilir. Bu aşamada farklı başlangıç açıları kullanılarak sonucun optimizasyonu yapılabilir.

**Adım 3.** Bir önceki uçağın başladığı açıdan taramaya devam edilir. Eğer daha önce atanamayan uçuş noktası ile karşılaşılırsa ve noktanın uçağa atanması, toplam uçuş görev süresi kısıtının aşılmasına sebep olmuyorsa, ilgili nokta uçağa atanır. Bu süreç açıkta bir uçuş noktası kalmayınca kadar (tüm noktalar herhangi bir eşleşmeye dahil oluncaya kadar) sürer.

**Adım 4.** Tüm noktalar uçaklara atandıktan sonra eşleşmelerin ayrı ayrı maliyetleri belirlenir ve toplam maliyet değeri ortaya çıkartılır. Eşleşmelerin maliyetleri belirlenirken herbir eşleşmenin toplam uçuş görev süresi 840 dakikadan çıkartılır. Eğer bir eşleşmenin toplam uçuş görev süresi 840 dakikaya ne kadar yaklaşırsa eşleşme o kadar etkin yapılmış olur. Herbir eşleşmenin maliyeti ayrı ayrı toplanarak, toplam bir maliyet değeri bulunur ve farklı açılar için yapılan eşleşme setleri arasında en az değere sahip olan eşleşme seti seçilir.



## 5. UYGULAMA

### 5.1 Boeing 737-800 Filosuna Ait 262 Uçuşlu Ekip Eşleme Problemi

Boeing 737-800 uçaklarına daha önceden tanımlanmış olan 262 adet uçuş bacağına ait uçuş çizelgesi Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelge rassal olarak belirlenen  $\theta_i$  açılarının küçükten büyüğe doğru sıralanmasıyla oluşturulmuştur. Çizelgede uçuşa ait hat bilgisi, iniş ve kalkış meydanı bilgisi, HDG olarak belirtilen  $\theta_i$  bilgisi, toplam uçuş süresi bilgisi ve iniş kalkış saati bilgisi verilmiştir. İniş-kalkış saatleri bilgisi Türkiye yerel saatine göre verilmiştir.

Çizelge 5.1: B-738 filosuna ait uçuş çizelgesi

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	HDG.	Flt. Time Süre(dk)	Flt. Time Süre	Dep. Kalkış	Arr. Varış
1	1895	İstanbul - Milan	IST	MPX	1	175	02:55	12:05	15:00
2	1896	Milan - İstanbul	MPX	IST	1	165	02:45	16:00	18:45
3	1025	İstanbul - Sarajevo	IST	SJJ	2	115	01:55	17:05	19:00
4	1026	Sarajevo - İstanbul	SJJ	IST	2	110	01:50	19:55	21:45
5	1995	İstanbul - Manchester	IST	MAN	3	255	04:15	13:15	17:30
6	1996	Manchester - İstanbul	MAN	IST	3	240	04:00	18:30	22:30
7	1919	İstanbul - Geneva	IST	GVA	4	195	03:15	15:15	18:30
8	1920	Geneva - İstanbul	GVA	IST	4	185	03:05	19:30	22:35
9	2340	İstanbul - İzmir	IST	ADB	8	65	01:05	20:00	21:05
10	2341	İzmir - İstanbul	ADB	IST	8	70	01:10	22:30	23:40
11	2718	İstanbul - Iğdır	IST	IGD	12	135	02:15	10:40	12:55
12	2719	Iğdır - İstanbul	IGD	IST	12	140	02:20	13:40	16:00
13	2576	İstanbul - Denizli	IST	DNZ	13	70	01:10	06:30	07:40
14	2577	Denizli - İstanbul	DNZ	IST	13	65	01:05	08:25	09:30
15	2220	İstanbul - Gaziantep	IST	GZT	14	100	01:40	06:20	08:00
16	2221	Gaziantep - İstanbul	GZT	IST	14	105	01:45	08:50	10:35
17	2432	İstanbul - Antalya	IST	AYT	22	75	01:15	15:00	16:15
18	2433	Antalya - İstanbul	AYT	IST	22	75	01:15	17:00	18:15
19	2174	İstanbul - Ankara	IST	ESB	24	65	01:05	19:00	20:05
20	2175	Ankara - İstanbul	ESB	IST	24	65	01:05	21:00	22:05
21	2018	İstanbul - Kayseri	IST	ASR	36	80	01:20	20:55	22:15
22	2019	Kayseri - İstanbul	ASR	IST	36	90	01:30	23:00	00:30
23	271	İstanbul - Chisinau	IST	KIV	37	80	01:20	19:25	20:45
24	272	Chisinau - İstanbul	KIV	IST	37	85	01:25	21:45	23:10
25	2032	İstanbul - Konya	IST	KYA	39	75	01:15	06:55	08:10
26	2033	Konya - İstanbul	KYA	IST	39	80	01:20	08:55	10:15
27	2142	İstanbul - Ankara	IST	ESB	40	65	01:05	11:00	12:05
28	2143	Ankara - İstanbul	ESB	IST	40	65	01:05	13:00	14:05
29	2138	İstanbul - Ankara	IST	ESB	42	65	01:05	10:00	11:05
30	2139	Ankara - İstanbul	ESB	IST	42	65	01:05	11:50	12:55
31	884	İstanbul - Shiraz	IST	SYZ	43	215	03:35	21:10	00:45

Çizelge 5.1 (devam): B-738 filosuna ait uçuş çizelgesi

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	HDG.	Flt. Time Süre(dk)	Flt. Time Süre	Dep. Kalkış	Arr. Varış
32	885	Shiraz - İstanbul	SYZ	IST	43	255	04:15	02:35	06:50
33	269	İstanbul - Chisinau	IST	KIV	47	90	01:30	07:45	09:15
34	270	Chisinau - İstanbul	KIV	IST	47	85	01:25	10:15	11:40
35	1553	İstanbul - Hannover	IST	HAI	48	200	03:20	07:50	11:10
36	1554	Hannover - İstanbul	HAI	IST	48	185	03:05	12:05	15:10
37	2466	İstanbul - Adana	IST	ADA	53	90	01:30	16:00	17:30
38	2467	Adana - İstanbul	ADA	IST	53	100	01:40	18:15	19:55
39	2334	İstanbul - İzmir	IST	ADB	56	65	01:05	18:00	19:05
40	2335	İzmir - İstanbul	ADB	IST	56	65	01:05	20:00	21:05
41	1761	İstanbul - Helsinki	IST	HEL	58	210	03:30	08:50	12:20
42	1762	Helsinki - İstanbul	HEL	IST	58	205	03:25	13:20	16:45
43	882	İstanbul - Tabriz	IST	TBZ	61	155	02:35	00:20	02:55
44	883	Tabriz - İstanbul	TBZ	IST	61	170	02:50	04:00	06:50
45	324	İstanbul - Ashgabad	IST	ASB	64	215	03:35	00:40	04:15
46	325	Ashgabad - İstanbul	ASB	IST	64	250	04:10	05:35	09:45
47	2222	İstanbul - Gaziantep	IST	GZT	65	95	01:35	13:10	14:45
48	2223	Gaziantep - İstanbul	GZT	IST	65	105	01:45	15:45	17:30
49	2560	İstanbul - Dalaman	IST	DLM	67	80	01:20	17:30	18:50
50	2561	Dalaman - İstanbul	DLM	IST	67	85	01:25	19:35	21:00
51	962	İstanbul - Lefkoşa	IST	ECN	68	95	01:35	18:10	19:45
52	963	Lefkoşa - İstanbul	ECN	IST	68	95	01:35	20:30	22:05
53	2256	İstanbul - Hatay	IST	HTY	69	105	01:45	23:55	01:40
54	2257	Hatay - İstanbul	HTY	IST	69	110	01:50	05:00	06:50
55	1955	İstanbul - Amsterdam	IST	AMS	70	230	03:50	20:45	00:35
56	1956	Amsterdam - İstanbul	AMS	IST	70	210	03:30	01:55	05:25
57	2122	İstanbul - Ankara	IST	ESB	71	65	01:05	07:00	08:05
58	2123	Ankara - İstanbul	ESB	IST	71	65	01:05	09:00	10:05
59	346	İstanbul - Bishkek	IST	FRU	72	325	05:25	18:10	23:35
60	347	Bishkek - İstanbul	FRU	IST	72	355	05:55	00:45	06:40
61	1525	İstanbul - Dusseldorf	IST	DUS	73	200	03:20	11:05	14:25
62	1526	Dusseldorf - İstanbul	DUZ	IST	73	195	03:15	15:25	18:40
63	2012	İstanbul - Kayseri	IST	ASR	77	80	01:20	13:00	14:20
64	2013	Kayseri - İstanbul	ASR	IST	77	90	01:30	15:05	16:35
65	2808	İstanbul - Samsun	IST	SZF	85	85	01:25	13:30	14:55
66	2809	Samsun - İstanbul	SZF	IST	85	95	01:35	15:40	17:15
67	2316	İstanbul - İzmir	IST	ADB	86	65	01:05	09:00	10:05
68	2317	İzmir - İstanbul	ADB	IST	86	65	01:05	11:00	12:05
69	824	İstanbul - Beirut	IST	BEY	87	105	01:45	12:40	14:25
70	825	Beirut - İstanbul	BEY	IST	87	115	01:55	15:40	17:35
71	2828	İstanbul - Trabzon	IST	TBZ	89	105	01:45	10:50	12:35
72	2829	Trabzon - İstanbul	TBZ	IST	89	110	01:50	13:30	15:20
73	2038	İstanbul - Konya	IST	KYA	93	75	01:15	17:50	19:05
74	2039	Konya - İstanbul	KYA	IST	93	85	01:25	19:50	21:15
75	786	İstanbul - Tel Aviv	IST	TLV	96	115	01:55	12:40	14:35
76	787	Tel Aviv - İstanbul	TLV	IST	96	145	02:25	15:35	18:00
77	1807	İstanbul - Lyon	IST	LYS	97	195	03:15	09:10	12:25
78	1808	Lyon - İstanbul	LYS	IST	97	190	03:10	13:25	16:35
79	2408	İstanbul - Antalya	IST	AYT	99	75	01:15	06:30	07:45
80	2409	Antalya - İstanbul	AYT	IST	99	75	01:15	08:30	09:45
81	647	İstanbul - Benghazi	IST	BEN	113	145	02:25	07:30	09:55
82	648	Benghazi - İstanbul	BEN	IST	113	145	02:25	10:55	13:20
83	1943	İstanbul - Brussels	IST	BRU	117	215	03:35	11:50	15:25
84	1944	Brussels - İstanbul	BRU	IST	117	200	03:20	16:25	19:45
85	1805	İstanbul - Toulouse	IST	TLS	118	220	03:40	11:15	14:55

Çizelge 5.1 (devam): B-738 filosuna ait uçuş çizelgesi

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	HDG.	Flt. Time Süre(dk)	Flt. Time Süre	Dep. Kalkış	Arr. Varış
86	1806	Toulouse - İstanbul	TLS	IST	118	210	03:30	15:55	19:25
87	2838	İstanbul - Trabzon	IST	TBZ	120	105	01:45	00:35	02:20
88	2839	Trabzon - İstanbul	TBZ	IST	120	110	01:50	07:00	08:50
89	802	İstanbul - Bağdad	IST	BGW	125	155	02:35	03:50	06:25
90	803	Bağdad - İstanbul	BGW	IST	125	190	03:10	08:40	11:50
91	2480	İstanbul - Adana	IST	ADA	129	90	01:30	20:40	22:10
92	2481	Adana - İstanbul	ADA	IST	129	90	01:30	22:55	00:25
93	1793	İstanbul - Stockholm	IST	ARN	134	215	03:35	08:40	12:15
94	1794	Stockholm - İstanbul	ARN	IST	134	205	03:25	13:15	16:40
95	354	İstanbul - Astana	IST	TSE	140	305	05:05	18:40	23:45
96	355	Astana - İstanbul	TSE	IST	140	345	05:45	01:00	06:45
97	828	İstanbul - Beirut	IST	BEY	142	105	01:45	01:00	02:45
98	829	Beirut - İstanbul	BEY	IST	142	115	01:55	04:10	06:05
99	1967	İstanbul - Birmingham	IST	BHX	145	255	04:15	08:00	12:15
100	1968	Birmingham - İstanbul	BHX	IST	145	235	03:55	13:15	17:10
101	1305	İstanbul - Malaga	IST	AGP	146	270	04:30	09:40	14:10
102	1306	Malaga - İstanbul	AGP	IST	146	250	04:10	15:05	19:15
103	1859	İstanbul - Madrid	IST	MAD	148	265	04:25	13:25	17:50
104	1860	Madrid - İstanbul	MAD	IST	148	255	04:15	18:50	23:05
105	960	İstanbul - Lefkoşa	IST	ECN	150	95	01:35	07:15	08:50
106	961	Lefkoşa - İstanbul	ECN	IST	150	95	01:35	09:40	11:15
107	114	İstanbul - Yanbu	IST	YNB	157	205	03:25	03:05	06:30
108	115	Yanbu - İstanbul	YNB	IST	157	210	03:30	07:30	11:00
109	888	İstanbul - Mashad	IST	MHD	160	235	03:55	20:50	00:45
110	889	Mashad - İstanbul	MHD	IST	160	275	04:35	01:45	06:20
111	116	İstanbul - Taif	IST	TIF	162	215	03:35	00:25	04:00
112	117	Taif - İstanbul	TIF	IST	162	220	03:40	05:00	08:40
113	2188	İstanbul - Ankara	IST	ESB	164	65	01:05	23:00	00:05
114	2189	Ankara - İstanbul	ESB	IST	164	70	01:10	01:00	02:10
115	676	İstanbul - Addis Ababa	IST	ADD	167	320	05:20	18:50	00:10
116	677	Addis Ababa - İstanbul	ADD	IST	167	330	05:30	01:10	06:40
117	661	İstanbul - Tunis	IST	TUN	168	170	02:50	11:20	14:10
118	662	Tunis - İstanbul	TUN	IST	168	165	02:45	15:05	17:50
119	1957	İstanbul - Amsterdam	IST	AMS	171	225	03:45	11:05	14:50
120	1958	Amsterdam - İstanbul	AMS	IST	171	210	03:30	15:50	19:20
121	784	İstanbul - Tel Aviv	IST	TLV	174	120	02:00	06:45	08:45
122	785	Tel Aviv - İstanbul	TLV	IST	174	140	02:20	09:50	12:10
123	1795	İstanbul - Stockholm	IST	ARN	181	215	03:35	13:45	17:20
124	1796	Stockholm - İstanbul	ARN	IST	181	205	03:25	18:20	21:45
125	794	İstanbul - Tel Aviv	IST	TLV	182	120	02:00	09:30	11:30
126	795	Tel Aviv - İstanbul	TLV	IST	182	140	02:20	12:30	14:50
127	1631	İstanbul - Munich	IST	MUC	183	165	02:45	11:50	14:35
128	1632	Munich - İstanbul	MUC	IST	183	155	02:35	15:35	18:10
129	2602	İstanbul - Diyarbakır	IST	DIY	185	110	01:50	07:15	09:05
130	2603	Diyarbakır - İstanbul	DIY	IST	185	125	02:05	09:50	11:55
131	1783	İstanbul - Copenhagen	IST	CPH	186	205	03:25	09:05	12:30
132	1784	Copenhagen - İstanbul	CPH	IST	186	195	03:15	13:30	16:45
133	2750	İstanbul - Van	IST	VAN	187	125	02:05	09:10	11:15
134	2751	Van - İstanbul	VAN	IST	187	145	02:25	12:00	14:25
135	2420	İstanbul - Antalya	IST	AYT	190	75	01:15	18:15	19:30
136	2421	Antalya - İstanbul	AYT	IST	190	75	01:15	20:15	21:30
137	338	İstanbul - Baku	IST	GYD	198	160	02:40	00:30	03:10
138	339	Baku - İstanbul	GYD	IST	198	185	03:05	05:00	08:05
139	2146	İstanbul - Ankara	IST	ESB	202	65	01:05	12:00	13:05

Çizelge 5.1 (devam): B-738 filosuna ait uçuş çizelgesi

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	HDG.	Flt. Time Süre(dk)	Flt. Time Süre	Dep. Kalkış	Arr. Varış
140	2147	Ankara - İstanbul	ESB	IST	202	65	01:05	14:00	15:05
141	283	İstanbul - Minsk	IST	MSQ	209	150	02:30	12:35	15:05
142	284	Minsk - İstanbul	MSQ	IST	209	150	02:30	16:05	18:35
143	2014	İstanbul - Kayseri	IST	ASR	211	80	01:20	17:25	18:45
144	2015	Kayseri - İstanbul	ASR	IST	211	90	01:30	19:30	21:00
145	2414	İstanbul - Antalya	IST	AYT	213	75	01:15	10:50	12:05
146	2415	Antalya - İstanbul	AYT	IST	213	75	01:15	12:50	14:05
147	1759	İstanbul - Lisbon	IST	LIS	216	300	05:00	10:55	15:55
148	1760	Lisbon - İstanbul	LIS	IST	216	280	04:40	16:55	21:35
149	2662	İstanbul - Sivas	IST	VAS	222	95	01:35	09:50	11:25
150	2663	Sivas - İstanbul	VAS	IST	222	90	01:30	12:10	13:40
151	788	İstanbul - Tel Aviv	IST	TLV	223	120	02:00	18:10	20:10
152	789	Tel Aviv - İstanbul	TLV	IST	223	140	02:20	21:20	23:40
153	417	İstanbul - Moscow	IST	DME	224	170	02:50	11:45	14:35
154	418	Moscow - İstanbul	DME	IST	224	185	03:05	15:40	18:45
155	1751	İstanbul - Oslo	IST	OSL	225	240	04:00	08:30	12:30
156	1752	Oslo - İstanbul	OSL	IST	225	225	03:45	13:25	17:10
157	322	İstanbul - Ashgabad	IST	ASB	226	215	03:35	21:10	00:45
158	323	Ashgabad - İstanbul	ASB	IST	226	250	04:10	02:10	06:20
159	2416	İstanbul - Antalya	IST	AYT	228	75	01:15	13:30	14:45
160	2417	Antalya - İstanbul	AYT	IST	228	75	01:15	15:35	16:50
161	1753	İstanbul - Oslo	IST	OSL	234	240	04:00	14:20	18:20
162	1754	Oslo - İstanbul	OSL	IST	234	220	03:40	19:20	23:00
163	2458	İstanbul - Adana	IST	ADA	237	90	01:30	08:50	10:20
164	2459	Adana - İstanbul	ADA	IST	237	100	01:40	11:05	12:45
165	2170	İstanbul - Ankara	IST	ESB	241	65	01:05	18:00	19:05
166	2171	Ankara - İstanbul	ESB	IST	241	65	01:05	20:00	21:05
167	1083	İstanbul - Belgrade	IST	BEG	242	105	01:45	18:35	20:20
168	1084	Belgrade - İstanbul	BEG	IST	242	100	01:40	21:20	23:00
169	2310	İstanbul - İzmir	IST	AYT	246	65	01:05	07:00	08:05
170	2311	İzmir - İstanbul	AYT	IST	246	65	01:05	09:00	10:05
171	2024	İstanbul - Kayseri	IST	ASR	254	80	01:20	01:35	02:55
172	2025	Kayseri - İstanbul	ASR	IST	254	85	01:25	04:00	05:25
173	1301	İstanbul - Valencia	IST	VLC	255	235	03:55	10:10	14:05
174	1302	Valencia - İstanbul	VLC	IST	255	225	03:45	15:05	18:50
175	2418	İstanbul - Antalya	IST	AYT	262	75	01:15	17:00	18:15
176	2419	Antalya - İstanbul	AYT	IST	262	75	01:15	19:00	20:15
177	1809	İstanbul - Lyon	IST	LYS	263	195	03:15	14:20	17:35
178	1810	Lyon - İstanbul	LYS	IST	263	190	03:10	18:35	21:45
179	1081	İstanbul - Belgrade	IST	BEG	264	105	01:45	07:50	09:35
180	1082	Belgrade - İstanbul	BEG	IST	264	100	01:40	10:30	12:10
181	649	İstanbul - Benghazi	IST	BEN	266	145	02:25	13:20	15:45
182	650	Benghazi - İstanbul	BEN	IST	266	140	02:20	16:45	19:05
183	700	İstanbul - Sharm El	IST	SSH	268	155	02:35	02:05	04:40
184	701	Sharm El - İstanbul	SSH	IST	268	165	02:45	06:40	09:25
185	2324	İstanbul - İzmir	IST	ADB	269	65	01:05	13:00	14:05
186	2325	İzmir - İstanbul	ADB	IST	269	65	01:05	15:00	16:05
187	1021	İstanbul - Sarajevo	IST	SJJ	270	115	01:55	09:30	11:25
188	1022	Sarajevo - İstanbul	SJJ	IST	270	110	01:50	12:20	14:10
189	2226	İstanbul - Gaziantep	IST	GZT	271	100	01:40	17:15	18:55
190	2227	Gaziantep - İstanbul	GZT	IST	271	105	01:45	19:45	21:30
191	2818	İstanbul - Samsun	IST	SZF	273	85	01:25	01:25	02:50
192	2819	Samsun - İstanbul	SZF	IST	273	95	01:35	06:00	07:35
193	690	İstanbul - Cairo	IST	CAI	274	140	02:20	06:45	09:05

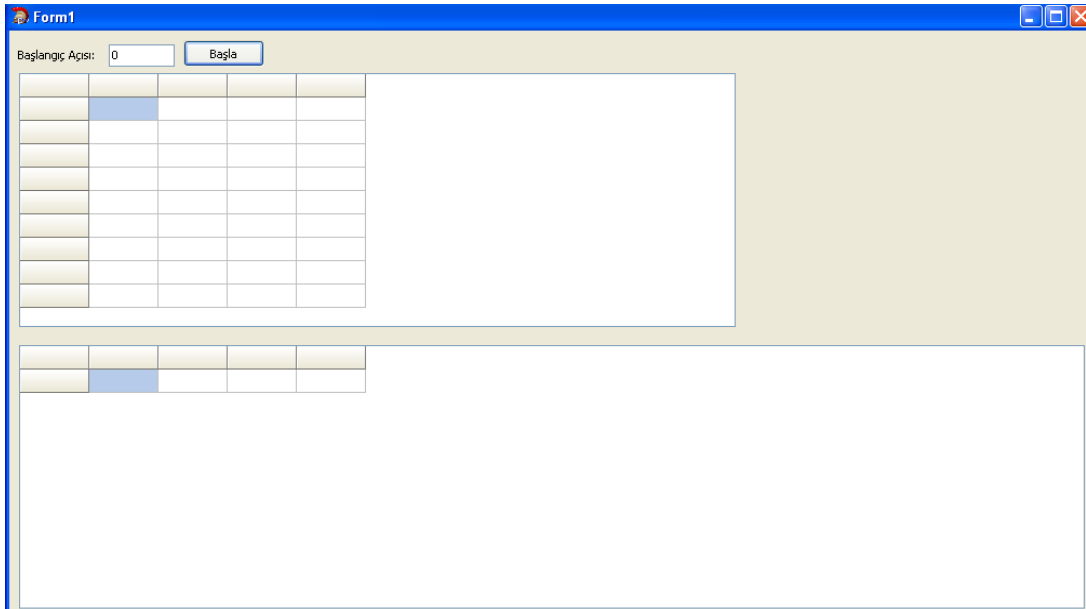
Çizelge 5.1 (devam): B-738 filosuna ait uçuş çizelgesi

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	HDG.	Flt. Time Süre(dk)	Flt. Time Süre	Dep. Kalkış	Arr. Varış
194	691	Cairo - İstanbul	CAI	IST	274	140	02:20	10:05	12:25
195	694	İstanbul - Cairo	IST	CAI	275	140	02:20	18:05	20:25
196	695	Cairo - İstanbul	CAI	IST	275	145	02:25	21:25	23:50
197	2832	İstanbul - Trabzon	IST	TZX	277	105	01:45	17:00	18:45
198	2833	Trabzon - İstanbul	TZX	IST	277	110	01:50	19:35	21:25
199	1879	İstanbul - Naples	IST	NAP	278	145	02:25	11:40	14:05
200	1880	Naples - İstanbul	NAP	IST	278	135	02:15	14:55	17:10
201	1785	İstanbul - Copenhagen	IST	CPH	279	200	03:20	14:50	18:10
202	1786	Copenhagen - İstanbul	CPH	IST	279	190	03:10	19:05	22:15
203	2552	İstanbul - Dalaman	IST	DLM	280	80	01:20	09:25	10:45
204	2553	Dalaman - İstanbul	DLM	IST	280	80	01:20	11:30	12:50
205	1923	İstanbul - Basel	IST	BSL	281	190	03:10	11:55	15:05
206	1924	Basel - İstanbul	BSL	IST	281	175	02:55	16:05	19:00
207	2332	İstanbul - İzmir	IST	ABD	282	65	01:05	17:00	18:05
208	2333	İzmir - İstanbul	ADB	IST	282	65	01:05	19:10	20:15
209	2036	İstanbul - Konya	IST	KYA	285	75	01:15	13:45	15:00
210	2037	Konya - İstanbul	KYA	IST	285	80	01:20	15:45	17:05
211	334	İstanbul - Baku	IST	GYP	287	160	02:40	14:55	17:35
212	335	Baku - İstanbul	GYP	IST	287	190	03:10	18:35	21:45
213	1555	İstanbul - Hannover	IST	HAI	291	200	03:20	14:35	17:55
214	1556	Hannover - İstanbul	HAI	IST	291	185	03:05	18:55	22:00
215	1763	İstanbul - Helsinki	IST	HEL	292	210	03:30	14:05	17:35
216	1764	Helsinki - İstanbul	HEL	IST	292	200	03:20	18:35	21:55
217	2706	İstanbul - Erzurum	IST	ERZ	293	125	02:05	19:55	22:00
218	2707	Erzurum - İstanbul	ERZ	IST	293	120	02:00	22:50	00:50
219	1969	İstanbul - Birmingham	IST	BHX	295	250	04:10	13:20	17:30
220	1970	Birmingham - İstanbul	BHX	IST	295	230	03:50	18:30	22:20
221	2134	İstanbul - Ankara	IST	ESB	296	65	01:05	09:00	10:05
222	2135	Ankara - İstanbul	ESB	IST	296	65	01:05	11:00	12:05
223	1857	İstanbul - Madrid	IST	MAD	299	265	04:25	08:05	12:30
224	1858	Madrid - İstanbul	MAD	IST	299	255	04:15	13:25	17:40
225	2454	İstanbul - Adana	IST	ADA	307	90	01:30	06:30	08:00
226	2455	Adana - İstanbul	ADA	IST	307	100	01:40	08:45	10:25
227	1053	İstanbul - Zagreb	IST	ZAG	309	125	02:05	09:10	11:15
228	1054	Zagreb - İstanbul	ZAG	IST	309	125	02:05	12:10	14:15
229	2746	İstanbul - Van	IST	VAN	310	125	02:05	12:30	14:35
230	2747	Van - İstanbul	VAN	IST	310	140	02:20	15:15	17:35
231	332	İstanbul - Baku	IST	GYP	311	160	02:40	08:50	11:30
232	333	Baku - İstanbul	GYP	IST	311	190	03:10	12:30	15:40
233	2200	İstanbul - K.Maraş	IST	KCM	320	95	01:35	09:50	11:25
234	2201	K.Maraş - İstanbul	KCM	IST	320	105	01:45	12:10	13:55
235	2228	İstanbul - Gaziantep	IST	GZT	321	95	01:35	20:15	21:50
236	2229	Gaziantep - İstanbul	GZT	IST	321	110	01:50	22:40	00:30
237	2116	İstanbul - Ankara	IST	ESB	322	65	01:05	06:00	07:05
238	2117	Ankara - İstanbul	ESB	IST	322	65	01:05	08:00	09:05
239	2236	İstanbul - Gaziantep	IST	GZT	323	95	01:35	01:20	02:55
240	2237	Gaziantep - İstanbul	GZT	IST	323	105	01:45	03:50	05:35
241	2610	İstanbul - Diyarbakır	IST	DIY	330	110	01:50	18:45	20:35
242	2611	Diyarbakır - İstanbul	DIY	IST	330	125	02:05	21:40	23:45
243	2410	İstanbul - Antalya	IST	AYT	331	75	01:15	09:00	10:15
244	2411	Antalya - İstanbul	AYT	IST	331	80	01:20	11:10	12:30
245	2320	İstanbul - İzmir	IST	ADB	335	65	01:05	11:00	12:05
246	2321	İzmir - İstanbul	ADB	IST	335	65	01:05	12:50	13:55
247	293	İstanbul - Rostov	IST	ROV	338	135	02:15	00:40	02:55

**Çizelge 5.1 (devam):** B-738 filosuna ait uçuş çizelgesi

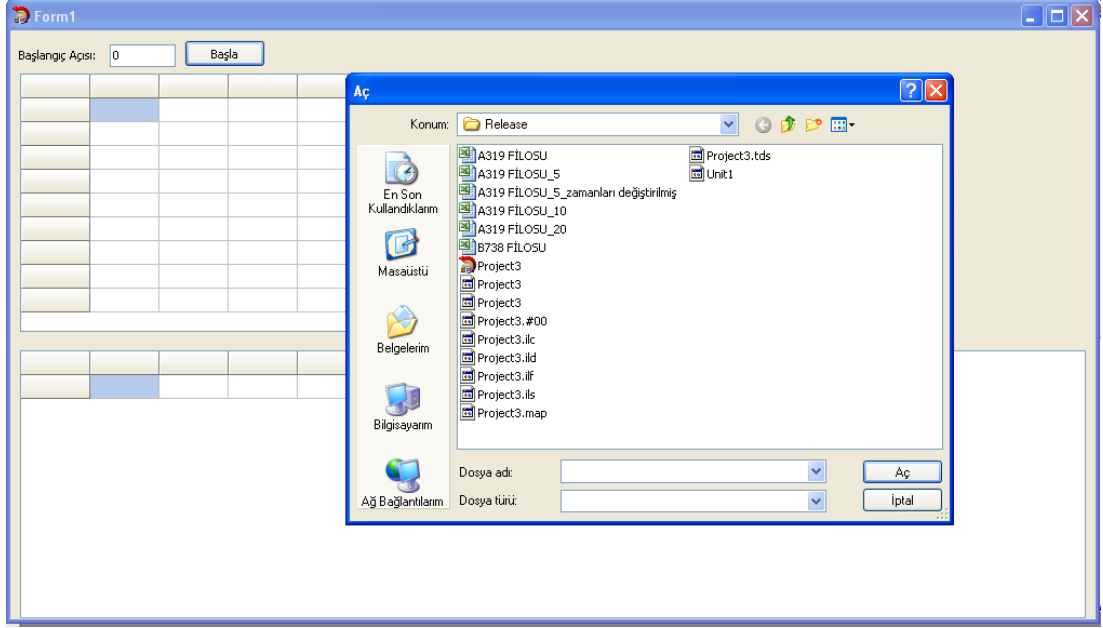
S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	HDG.	Flt. Time Süre(dk)	Flt. Time Süre	Dep. Kalkış	Arr. Varış
247	293	İstanbul - Rostov	IST	ROV	338	135	02:15	00:40	02:55
248	294	Rostov - İstanbul	ROV	IST	338	145	02:25	04:35	07:00
249	451	İstanbul - Donetsk	IST	DOK	339	125	02:05	07:25	09:30
250	452	Donetsk - İstanbul	DOK	IST	339	125	02:05	10:25	12:30
251	453	İstanbul - Donetsk	IST	DOK	347	125	02:05	18:15	20:20
252	454	Donetsk - İstanbul	DOK	IST	347	125	02:05	21:15	23:20
253	1003	İstanbul - Skopje	IST	SKP	349	85	01:25	07:55	09:20
254	1004	Skopje - İstanbul	SKP	IST	349	85	01:25	10:15	11:40
255	1005	İstanbul - Skopje	IST	SKP	350	85	01:25	19:25	20:50
256	1006	Skopje - İstanbul	SKP	IST	350	80	01:20	21:45	23:05
257	1085	İstanbul - Podgorica	IST	TGD	357	105	01:45	12:40	14:25
258	1086	Podgorica - İstanbul	TGD	IST	357	100	01:40	15:25	17:05
259	1757	İstanbul - Riga	IST	RIX	359	180	03:00	11:45	14:45
260	1758	Riga - İstanbul	RIX	IST	359	175	02:55	15:45	18:40
261	2254	İstanbul - Hatay	IST	HTY	360	105	01:45	15:30	17:15
262	2255	Hatay - İstanbul	HTY	IST	360	105	01:45	18:00	19:45

Bir önceki bölümde anlattığımız algoritmanın kısıt yapısı C++ proglama dili ile yazdığımız program sayesinde ekip eşlemesini oluşturmaktadır. Program ilk açıldığında karşımıza Şekil 5.1'deki ekran çıkmaktadır.



**Şekil 5.1 :** Programın açılış görüntüsü

Burada başlangıç açısına algoritmanın çalışmaya başlamasını istediğimiz 0 ile 360 derece arasında bir değeri girerek ardından 'Başla' tuşuna basarız. Tuşa bastıktan sonra karşımıza Şekil 5.2'deki görüntü çıkmaktadır.



**Şekil 5.2 : Programın ikinci aşama görüntüsü**

Açılan yeni sayfada Excel'de oluşturulan Çizelge 5.1'de örneğini verdiğimiz çizelge seçilerek programın eşleşmeyi oluşturması istenir. Bu aşamadan sonra programın görüntüsü Şekil 5.3'deki gibi olacaktır.

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	HDG.	Radyan	cos
1	360	İstanbul - St Petersburg	IST	LED	12	0,209440	0,978148
2	361	St Petersburg - İstanbul	LED	IST	12	0,209440	0,978148
3	386	İstanbul - Tbilisi	IST	TB5	24	0,418879	0,913545
4	387	Tbilisi - İstanbul	TB5	IST	24	0,418879	0,913545
5	435	İstanbul - Dnepropetrovsk	IST	DNK	48	0,837758	0,669131
6	436	Dnepropetrovsk - İstanbul	DNK	IST	48	0,837758	0,669131
7	441	İstanbul - Lviv	IST	LWO	60	1,047198	0,500000

386 İstanbul - Tbilisi IST TB5 14.01.1900 00:05:00 14.01.1900 02:20:00
387 Tbilisi - İstanbul TB5 IST 14.01.1900 03:15:00 14.01.1900 05:45:00
2806 İstanbul - Samsun IST SZF 14.01.1900 06:40:00 14.01.1900 08:05:00
2807 Samsun - İstanbul SZF IST 14.01.1900 08:50:00 14.01.1900 10:25:00
TGZ:710 Ceza:130
435 İstanbul - Dnepropetrovsk IST DNK 14.01.1900 12:45:00 14.01.1900 14:35:00
436 Dnepropetrovsk - İstanbul DNK IST 14.01.1900 15:30:00 14.01.1900 17:40:00
441 İstanbul - Lviv IST LWO 14.01.1900 18:05:00 14.01.1900 20:45:00

**Şekil 5.3 : Programın sonuç çıktısı**

Programın sonuç çıktısı iki kısımdan oluşmaktadır. Üst kısımda uçuş çizelgesinden alınan veriler alt kısımda ise oluşturulan eşleşmeler yer almaktadır. Ayrıca eşleşmelere ait zaman bilgilerinin yer aldığı bu kısımda eşleşmenin toplam görev

zamanı ve eşleşmeye ait ceza puanı da verilmektedir. Alt kısmın en alt bölümünde ise eşleşme setinin toplam ceza puanı verilmektedir.

5'er derecelik artışlarla elde edilen eşleşme setlerine ait değerler Çizelge 5.2'de verilmiştir. Burada her bir eşleşme setinin başlangıç açısı, eşleşme sayısı ve toplam ceza puanlarına ulaşmak mümkündür. Tüm eşleşme setlerinin içerisinde 90° başlangıç açısına sahip eşleşme seti 16430 ceza puanı değeri ile minimum ceza puanına sahip eşleşme olmuştur. Bu eşleşme setine ait ayrıntılı uçuş eşleşmesi Çizelge 5.3'de verilmiştir.

**Çizelge 5.2:** Eşleşme setleri ceza puanları (B-738)

Başlangıç Açısı	Eşleşme Sayısı	Toplam Ceza Puanı	Başlangıç Açısı	Eşleşme Sayısı	Toplam Ceza Puanı
0	88	19075	190	91	21450
5	88	19180	195	90	20570
10	87	18395	200	91	21380
15	89	20165	205	90	20415
20	89	20165	210	90	20485
25	87	18430	215	90	20215
30	87	18430	220	90	20215
35	87	18430	225	91	21015
40	86	17395	230	90	20445
45	85	16500	235	90	20445
50	85	16565	240	90	20440
55	86	17510	245	88	18760
60	86	17515	250	89	19615
65	87	18300	255	89	19605
70	87	18510	260	89	19660
75	86	17685	265	89	19620
80	86	17335	270	91	21360
85	86	17335	275	91	21370
90	85	16430	280	89	20015
95	86	17295	285	90	20790
100	86	17215	290	90	20980
105	86	17215	295	88	19255
110	86	17215	300	87	18390
115	86	17270	305	87	18390
120	86	17330	310	87	18345
125	87	18225	315	87	18280
130	86	17375	320	87	18280
135	87	18170	325	87	18345
140	87	18170	330	87	18345
145	87	18180	335	86	17365
150	87	18180	340	89	19740
155	87	18145	345	89	19740
160	88	19005	350	89	19930
165	88	18995	355	89	19905
170	88	19000	360	88	19075
175	88	19900			
180	88	19900			
185	90	20680			

Çizelge 5.3: Ayrıntılı uçuş eşleşmesi

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	Dep. Kalkış	Arr. Varış	TGZ	CEZA
1.EKİP	2038	İstanbul - Konya	IST	KYA	17:50	19:05	590	250
	2039	Konya - İstanbul	KYA	IST	19:50	21:15		
	2188	İstanbul - Ankara	IST	ESB	23:00	00:05		
	2189	Ankara - İstanbul	ESB	IST	01:00	02:10		
2.EKİP	786	İstanbul - Tel Aviv	IST	TLV	12:40	14:35	710	130
	787	Tel Aviv - İstanbul	TLV	IST	15:35	18:00		
	1083	İstanbul - Belgrade	IST	BEG	18:35	20:20		
	1084	Belgrade - İstanbul	BEG	IST	21:20	23:00		
3.EKİP	1807	İstanbul - Lyon	IST	LYS	09:10	12:25	830	10
	1808	Lyon - İstanbul	LYS	IST	13:25	16:35		
	2226	İstanbul - Gaziantep	IST	GZT	17:15	18:55		
	2227	Gaziantep - İstanbul	GZT	IST	19:45	21:30		
4.EKİP	2408	İstanbul - Antalya	IST	AYT	06:30	07:45	660	180
	2409	Antalya - İstanbul	AYT	IST	08:30	09:45		
	2718	İstanbul - Iğdir	IST	IGD	10:40	12:55		
	2719	Iğdir - İstanbul	IGD	IST	13:40	16:00		
5.EKİP	647	İstanbul - Benghazi	IST	BEN	07:30	09:55	735	105
	648	Benghazi - İstanbul	BEN	IST	10:55	13:20		
	2432	İstanbul - Antalya	IST	AYT	15:00	16:15		
	2433	Antalya - İstanbul	AYT	IST	17:00	18:15		
6.EKİP	1943	İstanbul - Brussels	IST	BRU	11:50	15:25	565	275
	1944	Brussels - İstanbul	BRU	IST	16:25	19:45		
7.EKİP	1805	İstanbul - Toulouse	IST	TLS	11:15	14:55	835	5
	1806	Toulouse - İstanbul	TLS	IST	15:55	19:25		
	2340	İstanbul - İzmir	IST	ADB	20:00	21:05		
	2341	İzmir - İstanbul	ADB	IST	22:30	23:40		
8.EKİP	2838	İstanbul - Trabzon	IST	TBZ	00:35	02:20	825	15
	2839	Trabzon - İstanbul	TBZ	IST	07:00	08:50		
	2552	İstanbul - Dalaman	IST	DLM	09:25	10:45		
	2553	Dalaman - İstanbul	DLM	IST	11:30	12:50		
9.EKİP	802	İstanbul - Baghdad	IST	BGW	03:50	06:25	825	15
	803	Baghdad - İstanbul	BGW	IST	08:40	11:50		
	2324	İstanbul - İzmir	IST	ADB	13:00	14:05		
	2325	İzmir - İstanbul	ADB	IST	15:00	16:05		
10.EKİP	2480	İstanbul - Adana	IST	ADA	20:40	22:10	315	525
	2481	Adana - İstanbul	ADA	IST	22:55	00:25		
11.EKİP	1793	İstanbul - Stockholm	IST	ARN	08:40	12:15	830	10
	1794	Stockholm - İstanbul	ARN	IST	13:15	16:40		
	2014	İstanbul - Kayseri	IST	ASR	17:25	18:45		
	2015	Kayseri - İstanbul	ASR	IST	19:30	21:00		
12.EKİP	354	İstanbul - Astana	IST	TSE	18:40	23:45	815	25
	355	Astana - İstanbul	TSE	IST	01:00	06:45		
13.EKİP	828	İstanbul - Beirut	IST	BEY	01:00	02:45	760	80
	829	Beirut - İstanbul	BEY	IST	04:10	06:05		
	784	İstanbul - Tel Aviv	IST	TLV	06:45	08:45		
	785	Tel Aviv - İstanbul	TLV	IST	09:50	12:10		
14.EKİP	1967	İstanbul - Birmingham	IST	BHX	08:00	12:15	640	200
	1968	Birmingham - İstanbul	BHX	IST	13:15	17:10		
15.EKİP	1305	İstanbul - Malaga	IST	AGP	09:40	14:10	665	175
	1306	Malaga - İstanbul	AGP	IST	15:05	19:15		
16.EKİP	1859	İstanbul - Madrid	IST	MAD	13:25	17:50	670	170
	1860	Madrid - İstanbul	MAD	IST	18:50	23:05		

Çizelge 5.3 (devam): Ayrıntılı uçuş eşleşmesi

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	Dep. Kalkış	Arr. Varış	TGZ	CEZA
17.EKİP	960	İstanbul - Lefkoşa	IST	ECN	07:15	08:50	780	60
	961	Lefkoşa - İstanbul	ECN	IST	09:40	11:15		
	417	İstanbul - Moscow	IST	DME	11:45	14:35		
	418	Moscow - İstanbul	DME	IST	15:40	18:45		
18.EKİP	114	İstanbul - Yanbu	IST	YNB	03:05	06:30	810	30
	115	Yanbu - İstanbul	YNB	IST	07:30	11:00		
	2146	İstanbul - Ankara	IST	ESB	12:00	13:05		
	2147	Ankara - İstanbul	ESB	IST	14:00	15:05		
19.EKİP	888	İstanbul - Mashad	IST	MHD	20:50	00:45	660	180
	889	Mashad - İstanbul	MHD	IST	01:45	06:20		
20.EKİP	116	İstanbul - Taif	IST	TIF	00:25	04:00	840	0
	117	Taif - İstanbul	TIF	IST	05:00	08:40		
	2138	İstanbul - Ankara	IST	ESB	10:00	11:05		
	2139	Ankara - İstanbul	ESB	IST	11:50	12:55		
21.EKİP	676	İstanbul - Addis Ababa	IST	ADD	18:50	00:10	800	40
	677	Addis Ababa - İstanbul	ADD	IST	01:10	06:40		
22.EKİP	661	İstanbul - Tunis	IST	TUN	11:20	14:10	835	5
	662	Tunis - İstanbul	TUN	IST	15:05	17:50		
	2610	İstanbul - Diyarbakır	IST	DIY	18:45	20:35		
	2611	Diyarbakır - İstanbul	DIY	IST	21:40	23:45		
23.EKİP	1957	İstanbul - Amsterdam	IST	AMS	11:05	14:50	585	255
	1958	Amsterdam - İstanbul	AMS	IST	15:50	19:20		
24.EKİP	1795	İstanbul - Stockholm	IST	ARN	13:45	17:20	570	270
	1796	Stockholm - İstanbul	ARN	IST	18:20	21:45		
25.EKİP	794	İstanbul - Tel Aviv	IST	TLV	09:30	11:30	705	135
	795	Tel Aviv - İstanbul	TLV	IST	12:30	14:50		
	2254	İstanbul - Hatay	IST	HTY	15:30	17:15		
	2255	Hatay - İstanbul	HTY	IST	18:00	19:45		
26.EKİP	1631	İstanbul - Munich	IST	MUC	11:50	14:35	705	135
	1632	Munich - İstanbul	MUC	IST	15:35	18:10		
	2174	İstanbul - Ankara	IST	ESB	19:00	20:05		
	2175	Ankara - İstanbul	ESB	IST	21:00	22:05		
27.EKİP	2602	İstanbul - Diyarbakır	IST	DIY	07:15	09:05	710	130
	2603	Diyarbakır - İstanbul	DIY	IST	09:50	11:55		
	2746	İstanbul - Van	IST	VAN	12:30	14:35		
	2747	Van - İstanbul	VAN	IST	15:15	17:35		
28.EKİP	1783	İstanbul - Copenhagen	IST	CPH	09:05	12:30	805	35
	1784	Copenhagen - İstanbul	CPH	IST	13:30	16:45		
	2560	İstanbul - Dalaman	IST	DLM	17:30	18:50		
	2561	Dalaman - İstanbul	DLM	IST	19:35	21:00		
29.EKİP	2750	İstanbul - Van	IST	VAN	09:10	11:15	735	105
	2751	Van - İstanbul	VAN	IST	12:00	14:25		
	2466	İstanbul - Adana	IST	ADA	16:00	17:30		
	2467	Adana - İstanbul	ADA	IST	18:15	19:55		
30.EKİP	2420	İstanbul - Antalya	IST	AYT	18:15	19:30	285	555
	2421	Antalya - İstanbul	AYT	IST	20:15	21:30		
31.EKİP	338	İstanbul - Baku	IST	GYD	00:30	03:10	825	15
	339	Baku - İstanbul	GYD	IST	05:00	08:05		
	2458	İstanbul - Adana	IST	ADA	08:50	10:20		
	2459	Adana - İstanbul	ADA	IST	11:05	12:45		

Çizelge 5.3 (devam): Ayrıntılı uçuş eşleşmesi

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	Dep. Kalkış	Arr. Varış	TGZ	CEZA
32.EKİP	283	İstanbul - Minsk	IST	MSQ	12:35	15:05	720	120
	284	Minsk - İstanbul	MSQ	IST	16:05	18:35		
	1005	İstanbul - Skopje	IST	SKP	19:25	20:50		
	1006	Skopje - İstanbul	SKP	IST	21:45	23:05		
33.EKİP	2414	İstanbul - Antalya	IST	AYT	10:50	12:05	760	80
	2415	Antalya - İstanbul	AYT	IST	12:50	14:05		
	1555	İstanbul - Hannover	IST	HAI	14:35	17:55		
	1556	Hannover - İstanbul	HAI	IST	18:55	22:00		
34.EKİP	1759	İstanbul - Lisbon	IST	LIS	10:55	15:55	730	110
	1760	Lisbon - İstanbul	LIS	IST	16:55	21:35		
35.EKİP	2662	İstanbul - Sivas	IST	VAS	09:50	11:25	805	35
	2663	Sivas - İstanbul	VAS	IST	12:10	13:40		
	1809	İstanbul - Lyon	IST	LYS	14:20	17:35		
	1810	Lyon - İstanbul	LYS	IST	18:35	21:45		
36.EKİP	788	İstanbul - Tel Aviv	IST	TLV	18:10	20:10	420	420
	789	Tel Aviv - İstanbul	TLV	IST	21:20	23:40		
37.EKİP	1751	İstanbul - Oslo	IST	OSL	08:30	12:30	610	230
	1752	Oslo - İstanbul	OSL	IST	13:25	17:10		
38.EKİP	322	İstanbul - Ashgabad	IST	ASB	21:10	00:45	640	200
	323	Ashgabad - İstanbul	ASB	IST	02:10	06:20		
39.EKİP	2416	İstanbul - Antalya	IST	AYT	13:30	14:45	545	295
	2417	Antalya - İstanbul	AYT	IST	15:35	16:50		
	2170	İstanbul - Ankara	IST	ESB	18:00	19:05		
	2171	Ankara - İstanbul	ESB	IST	20:00	21:05		
40.EKİP	1753	İstanbul - Oslo	IST	OSL	14:20	18:20	610	230
	1754	Oslo - İstanbul	OSL	IST	19:20	23:00		
41.EKİP	2310	İstanbul - İzmir	IST	AYT	07:00	08:05	590	250
	2311	İzmir - İstanbul	AYT	IST	09:00	10:05		
	2828	İstanbul - Trabzon	IST	TBZ	10:50	12:35		
	2829	Trabzon - İstanbul	TBZ	IST	13:30	15:20		
42.EKİP	2024	İstanbul - Kayseri	IST	ASR	01:35	02:55	540	300
	2025	Kayseri - İstanbul	ASR	IST	04:00	05:25		
	2116	İstanbul - Ankara	IST	ESB	06:00	07:05		
	2117	Ankara - İstanbul	ESB	IST	08:00	09:05		
43.EKİP	1301	İstanbul - Valencia	IST	VLC	10:10	14:05	610	230
	1302	Valencia - İstanbul	VLC	IST	15:05	18:50		
44.EKİP	2418	İstanbul - Antalya	IST	AYT	17:00	18:15	835	5
	2419	Antalya - İstanbul	AYT	IST	19:00	20:15		
	1955	İstanbul - Amsterdam	IST	AMS	20:45	00:35		
	1956	Amsterdam - İstanbul	AMS	IST	01:55	05:25		
45.EKİP	1081	İstanbul - Belgrade	IST	BEG	07:50	09:35	645	195
	1082	Belgrade - İstanbul	BEG	IST	10:30	12:10		
	1085	İstanbul - Podgorica	IST	TGD	12:40	14:25		
	1086	Podgorica - İstanbul	TGD	IST	15:25	17:05		
46.EKİP	649	İstanbul - Benghazi	IST	BEN	13:20	15:45	780	60
	650	Benghazi - İstanbul	BEN	IST	16:45	19:05		
	2706	İstanbul - Erzurum	IST	ERZ	19:55	22:00		
	2707	Erzurum - İstanbul	ERZ	IST	22:50	00:50		
47.EKİP	700	İstanbul - Sharm El	IST	SSH	02:05	04:40	800	40
	701	Sharm El - İstanbul	SSH	IST	06:40	09:25		
	2320	İstanbul - İzmir	IST	ADB	11:00	12:05		
	2321	İzmir - İstanbul	ADB	IST	12:50	13:55		

Çizelge 5.3 (devam): Ayrıntılı uçuş eşleşmesi

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	Dep. Kalkış	Arr. Varış	TGZ	CEZA
48.EKİP	1021	İstanbul - Sarajevo	IST	SJJ	09:30	11:25	825	15
	1022	Sarajevo - İstanbul	SJJ	IST	12:20	14:10		
	334	İstanbul - Baku	IST	GYD	14:55	17:35		
	335	Baku - İstanbul	GYD	IST	18:35	21:45		
49.EKİP	2818	İstanbul - Samsun	IST	SZF	01:25	02:50	730	110
	2819	Samsun - İstanbul	SZF	IST	06:00	07:35		
	2134	İstanbul - Ankara	IST	ESB	09:00	10:05		
	2135	Ankara - İstanbul	ESB	IST	11:00	12:05		
50.EKİP	690	İstanbul - Cairo	IST	CAI	06:45	09:05	680	160
	691	Cairo - İstanbul	CAI	IST	10:05	12:25		
	2012	İstanbul - Kayseri	IST	ASR	13:00	14:20		
	2013	Kayseri - İstanbul	ASR	IST	15:05	16:35		
51.EKİP	694	İstanbul - Cairo	IST	CAI	18:05	20:25	435	405
	695	Cairo - İstanbul	CAI	IST	21:25	23:50		
52.EKİP	2832	İstanbul - Trabzon	IST	TZX	17:00	18:45	355	485
	2833	Trabzon - İstanbul	TZX	IST	19:35	21:25		
53.EKİP	1879	İstanbul - Naples	IST	NAP	11:40	14:05	655	185
	1880	Naples - İstanbul	NAP	IST	14:55	17:10		
	2334	İstanbul - İzmir	IST	ADB	18:00	19:05		
	2335	İzmir - İstanbul	ADB	IST	20:00	21:05		
54.EKİP	1785	İstanbul - Copenhagen	IST	CPH	14:50	18:10	535	305
	1786	Copenhagen - İstanbul	CPH	IST	19:05	22:15		
55.EKİP	1923	İstanbul - Basel	IST	BSL	11:55	15:05	515	325
	1924	Basel - İstanbul	BSL	IST	16:05	19:00		
56.EKİP	2332	İstanbul - İzmir	IST	ABD	17:00	18:05	540	300
	2333	İzmir - İstanbul	ADB	IST	19:10	20:15		
	2018	İstanbul - Kayseri	IST	ASR	20:55	22:15		
	2019	Kayseri - İstanbul	ASR	IST	23:00	00:30		
57.EKİP	2036	İstanbul - Konya	IST	KYA	13:45	15:00	590	250
	2037	Konya - İstanbul	KYA	IST	15:45	17:05		
	962	İstanbul - Lefkoşa	IST	ECN	18:10	19:45		
	963	Lefkoşa - İstanbul	ECN	IST	20:30	22:05		
58.EKİP	1763	İstanbul - Helsinki	IST	HEL	14:05	17:35	560	280
	1764	Helsinki - İstanbul	HEL	IST	18:35	21:55		
59.EKİP	1969	İstanbul - Birmingham	IST	BHX	13:20	17:30	630	210
	1970	Birmingham - İstanbul	BHX	IST	18:30	22:20		
60.EKİP	1857	İstanbul - Madrid	IST	MAD	08:05	12:30	665	175
	1858	Madrid - İstanbul	MAD	IST	13:25	17:40		
61.EKİP	2454	İstanbul - Adana	IST	ADA	06:30	08:00	545	295
	2455	Adana - İstanbul	ADA	IST	08:45	10:25		
	2142	İstanbul - Ankara	IST	ESB	11:00	12:05		
	2143	Ankara - İstanbul	ESB	IST	13:00	14:05		
62.EKİP	1053	İstanbul - Zagreb	IST	ZAG	09:10	11:15	395	445
	1054	Zagreb - İstanbul	ZAG	IST	12:10	14:15		
63.EKİP	332	İstanbul - Baku	IST	GYD	08:50	11:30	500	340
	333	Baku - İstanbul	GYD	IST	12:30	15:40		
64.EKİP	2200	İstanbul - K.Maraş	IST	KCM	09:50	11:25	805	35
	2201	K.Maraş - İstanbul	KCM	IST	12:10	13:55		
	1025	İstanbul - Sarajevo	IST	SJJ	17:05	19:00		
	1026	Sarajevo - İstanbul	SJJ	IST	19:55	21:45		

Çizelge 5.3 (devam): Ayrıntılı uçuş eşleşmesi

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	Dep. Kalkış	Arr. Varış	TGZ	CEZA
65.EKİP	2228	İstanbul - Gaziantep	IST	GZT	20:15	21:50	345	495
	2229	Gaziantep - İstanbul	GZT	IST	22:40	00:30		
66.EKİP	2236	İstanbul - Gaziantep	IST	GZT	01:20	02:55	645	195
	2237	Gaziantep - İstanbul	GZT	IST	03:50	05:35		
	2220	İstanbul - Gaziantep	IST	GZT	06:20	08:00		
	2221	Gaziantep - İstanbul	GZT	IST	08:50	10:35		
67.EKİP	2410	İstanbul - Antalya	IST	AYT	09:00	10:15	600	240
	2411	Antalya - İstanbul	AYT	IST	11:10	12:30		
	2222	İstanbul - Gaziantep	IST	GZT	13:10	14:45		
	2223	Gaziantep - İstanbul	GZT	IST	15:45	17:30		
68.EKİP	293	İstanbul - Rostov	IST	ROV	00:40	02:55	750	90
	294	Rostov - İstanbul	ROV	IST	04:35	07:00		
	269	İstanbul - Chisinau	IST	KIV	07:45	09:15		
	270	Chisinau - İstanbul	KIV	IST	10:15	11:40		
69.EKİP	451	İstanbul - Donetsk	IST	DOK	07:25	09:30	680	160
	452	Donetsk - İstanbul	DOK	IST	10:25	12:30		
	2808	İstanbul - Samsun	IST	SZF	13:30	14:55		
	2809	Samsun - İstanbul	SZF	IST	15:40	17:15		
70.EKİP	453	İstanbul - Donetsk	IST	DOK	18:15	20:20	395	445
	454	Donetsk - İstanbul	DOK	IST	21:15	23:20		
71.EKİP	1003	İstanbul - Skopje	IST	SKP	07:55	09:20	670	170
	1004	Skopje - İstanbul	SKP	IST	10:15	11:40		
	824	İstanbul - Beirut	IST	BEY	12:40	14:25		
	825	Beirut - İstanbul	BEY	IST	15:40	17:35		
72.EKİP	1757	İstanbul - Riga	IST	RIX	11:45	14:45	775	65
	1758	Riga - İstanbul	RIX	IST	15:45	18:40		
	271	İstanbul - Chisinau	IST	KIV	19:25	20:45		
	272	Chisinau - İstanbul	KIV	IST	21:45	23:10		
73.EKİP	1895	İstanbul - Milan	IST	MLX	12:05	15:00	490	350
	1896	Milan - İstanbul	MLX	IST	16:00	18:45		
74.EKİP	1995	İstanbul - Manchester	IST	MAN	13:15	17:30	645	195
	1996	Manchester - İstanbul	MAN	IST	18:30	22:30		
75.EKİP	1919	İstanbul - Geneva	IST	GVA	15:15	18:30	530	310
	1920	Geneva - İstanbul	GVA	IST	19:30	22:35		
76.EKİP	2576	İstanbul - Denizli	IST	DNZ	06:30	07:40	820	20
	2577	Denizli - İstanbul	DNZ	IST	08:25	09:30		
	1525	İstanbul - Dusseldorf	IST	DUS	11:05	14:25		
	1526	Dusseldorf - İstanbul	DUZ	IST	15:25	18:40		
77.EKİP	2032	İstanbul - Konya	IST	KYA	06:55	08:10	290	550
	2033	Konya - İstanbul	KYA	IST	08:55	10:15		
78.EKİP	884	İstanbul - Shiraz	IST	SYZ	21:10	00:45	670	170
	885	Shiraz - İstanbul	SYZ	IST	02:35	06:50		
79.EKİP	1553	İstanbul - Hannover	IST	HAI	07:50	11:10	530	310
	1554	Hannover - İstanbul	HAI	IST	12:05	15:10		
80.EKİP	1761	İstanbul - Helsinki	IST	HEL	08:50	12:20	565	275
	1762	Helsinki - İstanbul	HEL	IST	13:20	16:45		
81.EKİP	882	İstanbul - Tabriz	IST	TBZ	00:20	02:55	795	45
	883	Tabriz - İstanbul	TBZ	IST	04:00	06:50		
	2316	İstanbul - İzmir	IST	ADB	09:00	10:05		
	2317	İzmir - İstanbul	ADB	IST	11:00	12:05		
82.EKİP	324	İstanbul - Ashgabad	IST	ASB	00:40	04:15	635	205
	325	Ashgabad - İstanbul	ASB	IST	05:35	09:45		

**Çizelge 5.3 (devam):** Ayrıntılı uçuş eşleşmesi

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	Dep. Kalkış	Arr. Varış	TGZ	CEZA
83.EKİP	2256	İstanbul - Hatay	IST	HTY	23:55	01:40	505	335
	2257	Hatay - İstanbul	HTY	IST	05:00	06:50		
84.EKİP	2122	İstanbul - Ankara	IST	ESB	07:00	08:05	275	565
	2123	Ankara - İstanbul	ESB	IST	09:00	10:05		
85.EKİP	346	İstanbul - Bishkek	IST	FRU	18:10	23:35	840	0
	347	Bishkek - İstanbul	FRU	IST	00:45	06:40		
<b>TOPLAM CEZA</b>								<b>16430</b>

## 5.2 Airbus A-319 Filosuna Ait 52 Uçuşlu Ekip Eşleme Problemi

Airbus A-319 uçaklarına daha önceden tanımlanmış olan 52 adet uçuş bacağına ait uçuş çizelgesi Çizelge 5.4’de verilmiştir. Çizelge rassal olarak belirlenen  $\theta_i$  açılarının küçükten büyüğe doğru sıralanmasıyla oluşturulmuştur. Çizelgede uçuşa ait hat bilgisi, iniş ve kalkış meydana bilgisi, HDG olarak belirtilen  $\theta_i$  bilgisi, toplam uçuş süresi bilgisi ve iniş kalkış saati bilgisi verilmiştir. İniş-kalkış saatleri bilgisi Türkiye yerel saatine göre verilmiştir.

**Çizelge 5.4:** A-319 filosuna ait uçuş çizelgesi

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	HDG.	Flt. Time Süre(dk)	Flt. Time Süre	Dep. Kalkış	Arr. Varış
1	360	İstanbul - St Petersburg	IST	LED	12	210	03:30	13:25	16:55
2	361	St Petersburg - İstanbul	LED	IST	12	210	03:30	17:55	21:25
3	386	İstanbul - Tbilisi	IST	TBS	24	135	02:15	00:05	02:20
4	387	Tbilisi - İstanbul	TBS	IST	24	150	02:30	03:15	05:45
5	435	İstanbul - Dnepetrovsk	IST	DNK	48	110	01:50	12:45	14:35
6	436	Dnepetrovsk - İstanbul	DNK	IST	48	130	02:10	15:30	17:40
7	441	İstanbul - Lviv	IST	LWO	60	125	02:05	12:30	14:35
8	442	Lviv - İstanbul	LWO	IST	60	125	02:05	15:30	17:35
9	446	İstanbul - Ufa	IST	UFA	72	230	03:50	00:30	04:20
10	447	Ufa - İstanbul	UFA	IST	72	245	04:05	05:40	09:45
11	461	İstanbul - Simferopol	IST	SIP	84	100	01:40	19:05	20:45
12	462	Simferopol - İstanbul	SIP	IST	84	100	01:40	21:45	23:25
13	463	İstanbul - Simferopol	IST	SIP	96	100	01:40	07:40	09:20
14	464	Simferopol - İstanbul	SIP	IST	96	100	01:40	10:25	12:05
15	702	İstanbul - Hurghada	IST	HRG	108	165	02:45	02:05	04:50
16	703	Hurghada - İstanbul	HRG	IST	108	170	02:50	06:35	09:25
17	1017	İstanbul - Pristina	IST	PRN	120	95	01:35	07:45	09:20
18	1018	Pristina - İstanbul	PRN	IST	120	95	01:35	10:15	11:50
19	1019	İstanbul - Pristina	IST	PRN	132	95	01:35	19:15	20:50
20	1020	Pristina - İstanbul	PRN	IST	132	90	01:30	21:45	23:15
21	1061	İstanbul - Ljubljana	IST	LJU	144	135	02:15	12:25	14:40
22	1062	Ljubljana - İstanbul	LJU	IST	144	135	02:15	15:35	17:50
23	1073	İstanbul - Tirana	IST	TIA	156	105	01:45	07:30	09:15

**Çizelge 5.4 (devam):** A-319 filosuna ait uçuş çizelgesi

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	HDG.	Flt. Time Süre(dk)	Flt. Time Süre	Dep. Kalkış	Arr. Varış
24	1074	Tirana - İstanbul	TIA	IST	156	95	01:35	10:15	11:50
25	1077	İstanbul - Tirana	IST	TIA	168	105	01:45	19:05	20:50
26	1078	Tirana - İstanbul	TIA	IST	168	95	01:35	21:45	23:20
27	1307	İstanbul - Genoa	IST	GOA	180	175	02:55	11:05	14:00
28	1308	Genoa - İstanbul	GOA	IST	180	170	02:50	14:55	17:45
29	1317	İstanbul - Bilbao	IST	BIO	192	250	04:10	09:25	13:35
30	1318	Bilbao - İstanbul	BIO	IST	192	235	03:55	14:35	18:30
31	1879	İstanbul - Naples	IST	NAP	204	145	02:25	11:40	14:05
32	1880	Naples - İstanbul	NAP	IST	204	135	02:15	14:55	17:10
33	2006	İstanbul - Nevşehir	IST	NAV	216	80	01:20	09:55	11:15
34	2007	Nevşehir - İstanbul	NAV	IST	216	80	01:20	12:00	13:20
35	2008	İstanbul - Nevşehir	IST	NAV	228	85	01:25	19:55	21:20
36	2009	Nevşehir - İstanbul	NAV	IST	228	85	01:25	22:05	23:30
37	2246	İstanbul - Şanlıurfa	IST	GNV	240	105	01:45	09:30	11:15
38	2247	Şanlıurfa - İstanbul	GNV	IST	240	120	02:00	12:00	14:00
39	2248	İstanbul - Şanlıurfa	IST	GNV	252	105	01:45	16:55	18:40
40	2249	Şanlıurfa - İstanbul	GNV	IST	252	120	02:00	19:25	21:25
41	2578	İstanbul - Denizli	IST	DNZ	264	70	01:10	17:10	18:20
42	2579	Denizli - İstanbul	DNZ	IST	264	70	01:10	19:05	20:15
43	2654	İstanbul - Erzincan	IST	ERC	276	120	02:00	06:55	08:55
44	2655	Erzincan - İstanbul	ERC	IST	276	115	01:55	11:05	13:00
45	2684	İstanbul - Batman	IST	BAL	288	115	01:55	13:20	15:15
46	2685	Batman - İstanbul	BAL	IST	288	140	02:20	16:00	18:20
47	2806	İstanbul - Samsun	IST	SZF	300	85	01:25	06:40	08:05
48	2807	Samsun - İstanbul	SZF	IST	300	95	01:35	08:50	10:25
49	2830	İstanbul - Trabzon	IST	TZX	312	105	01:45	20:20	22:05
50	2831	Trabzon - İstanbul	TZX	IST	312	115	01:55	22:50	00:45
51	2854	İstanbul - Merzifon	IST	MZH	324	95	01:35	22:30	00:05
52	2855	Merzifon - İstanbul	MZH	IST	324	90	01:30	06:05	07:35

10'ar derecelik artışlarla elde edilen eşleşme setlerine ait değerler Çizelge 5.5'de verilmiştir. Burada her bir eşleşme setinin başlangıç açısı, eşleşme sayısı ve toplam ceza puanlarına ulaşmak mümkündür. Tüm eşleşme setlerinin içerisinde 130° başlangıç açısına sahip eşleşme seti 3225 ceza puanı değeri ile minimum ceza puanına sahip eşleşme olmuştur. Bu eşleşme setine ait ayrıntılı uçuş eşleşmesi Çizelge 5.6'de verilmiştir.

**Çizelge 5.5:** Eşleşme setleri ceza puanları (A-319)

Başlangıç Açısı	Eşleşme Sayısı	Toplam Ceza Puanı	Başlangıç Açısı	Eşleşme Sayısı	Toplam Ceza Puanı
0	18	4440	190	18	4275
10	18	4440	200	18	4275
20	18	4440	210	18	4300
30	19	5245	220	18	4500
40	19	5245	230	17	3585
50	19	5275	240	17	3585
60	19	5275	250	18	4510
70	19	5295	260	17	3585
80	19	5295	270	17	3585
90	18	4430	280	17	3585
100	17	3465	290	17	3565
110	17	3265	300	17	3565
120	17	3265	310	18	4440
130	17	3225	320	18	4440
140	17	3265	330	18	4440
150	18	4110	340	18	4440
160	19	4910	350	18	4440
170	19	4985	360	18	4440

**Çizelge 5.6:** Ayrıntılı uçuş eşleşmesi (A-319)

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	Dep. Kalkış	Arr. Varış	TGZ	CEZA
1.EKİP	1019	İstanbul - Pristina	IST	PRN	19:15	20:50	330	510
	1020	Pristina - İstanbul	PRN	IST	21:45	23:15		
2.EKİP	1061	İstanbul - Ljubljana	IST	LJU	12:25	14:40	745	95
	1062	Ljubljana - İstanbul	LJU	IST	15:35	17:50		
	1077	İstanbul - Tirana	IST	TIA	19:05	20:50		
	1078	Tirana - İstanbul	TIA	IST	21:45	23:20		
3.EKİP	1073	İstanbul - Tirana	IST	TIA	07:30	09:15	695	145
	1074	Tirana - İstanbul	TIA	IST	10:15	11:50		
	441	İstanbul - Lviv	IST	LWO	12:30	14:35		
	442	Lviv - İstanbul	LWO	IST	15:30	17:35		
4.EKİP	1307	İstanbul - Genoa	IST	GOA	11:05	14:00	830	10
	1308	Genoa - İstanbul	GOA	IST	14:55	17:45		
	461	İstanbul - Simferopol	IST	SIP	19:05	20:45		
	462	Simferopol - İstanbul	SIP	IST	21:45	23:25		
5.EKİP	1317	İstanbul - Bilbao	IST	BIO	09:25	13:35	635	205
	1318	Bilbao - İstanbul	BIO	IST	14:35	18:30		
6.EKİP	1879	İstanbul - Naples	IST	NAP	11:40	14:05	800	40
	1880	Naples - İstanbul	NAP	IST	14:55	17:10		
	2008	İstanbul - Nevşehir	IST	NAV	19:55	21:20		
	2009	Nevşehir - İstanbul	NAV	IST	22:05	23:30		
7.EKİP	2006	İstanbul - Nevşehir	IST	NAV	09:55	11:15	780	60
	2007	Nevşehir - İstanbul	NAV	IST	12:00	13:20		
	2248	İstanbul - Şanlıurfa	IST	GNY	16:55	18:40		
	2249	Şanlıurfa - İstanbul	GNY	IST	19:25	21:25		

**Çizelge 5.6 (devam):** Ayrıntılı uçuş eşleşmesi (A-319)

S/N	Flt. No. Uç. No.	Route Hatlar	Dep. Kalkış	Arr. Varış	Dep. Kalkış	Arr. Varış	TGZ	CEZA
8.EKİP	2246	İstanbul - Şanlıurfa	IST	GNV	09:30	11:15	735	105
	2247	Şanlıurfa - İstanbul	GNV	IST	12:00	14:00		
	2578	İstanbul - Denizli	IST	DNZ	17:10	18:20		
	2579	Denizli - İstanbul	DNZ	IST	19:05	20:15		
9.EKİP	2654	İstanbul - Erzincan	IST	ERC	06:55	08:55	455	385
	2655	Erzincan - İstanbul	ERC	IST	11:05	13:00		
10.EKİP	2684	İstanbul - Batman	IST	BAL	13:20	15:15	775	65
	2685	Batman - İstanbul	BAL	IST	16:00	18:20		
	2830	İstanbul - Trabzon	IST	TZX	20:20	22:05		
	2831	Trabzon - İstanbul	TZK	IST	22:50	00:45		
11.EKİP	2806	İstanbul - Samsun	IST	SZF	06:40	08:05	750	90
	2807	Samsun - İstanbul	SZF	IST	08:50	10:25		
	435	İstanbul - Dnepetrovsk	IST	DNK	12:45	14:35		
	436	Dnepetrovsk - İstanbul	DNK	IST	15:30	17:40		
12.EKİP	2854	İstanbul - Merzifon	IST	MZH	22:30	00:05	635	205
	2855	Merzifon - İstanbul	MZH	IST	06:05	07:35		
13.EKİP	360	İstanbul - St Petersburg	IST	LED	13:25	16:55	570	270
	361	St Petersburg - İstanbul	LED	IST	17:55	21:25		
14.EKİP	386	İstanbul - Tbilisi	IST	TBS	00:05	02:20	810	30
	387	Tbilisi - İstanbul	TBS	IST	03:15	05:45		
	463	İstanbul - Simferopol	IST	SIP	07:40	09:20		
	464	Simferopol - İstanbul	SIP	IST	10:25	12:05		
15.EKİP	446	İstanbul - Ufa	IST	UFA	00:30	04:20	645	195
	447	Ufa - İstanbul	UFA	IST	05:40	09:45		
16.EKİP	702	İstanbul - Hurghada	IST	HRG	02:05	04:50	530	310
	703	Hurghada - İstanbul	HRG	IST	06:35	09:25		
17.EKİP	1017	İstanbul - Pristina	IST	PRN	07:45	09:20	335	505
	1018	Pristina - İstanbul	PRN	IST	10:15	11:50		
<b>TOPLAM CEZA</b>							<b>3225</b>	



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında önerilen algoritmanın C++ programlama dili ile yazılan program üzerinden çözülmesi AMD Turion™ 64 X2 1.60 GHz işlemci ve 2 GB ön belleğe sahip bir bilgisayar tarafından çözümü 262 uçuşlu B-738 filosu için 20 sn, A-319 filosu için ise 3 sn gibi kısa bir sürede gerçekleşmektedir. Bu da planlama safhasında etkin bir rol alan zaman problemini büyük ölçüde indirgemektedir.

Süpürme Algoritması'nda esas olarak kullanılan  $\theta_i$  açısı uçuş noktalarının ana üsden olan gerçek açısal değerine karşılık gelmektedir. Fakat biz HDG olarak adlandırdığımız rassal olarak seçilen  $\theta_i$  açılarında gerçek açısal konumları ortadan kaldırarak bir ekip eşleşmesinde kapsanan uçuşların çoğunlukla aynı rotalara yakın güzergahlarda olmasının önüne geçmiş olduk. Pratikte uygulanan havayolu eşleşmelerine daha yakın sonuçlar vermesini sağladık. Yani örnekle açıklayacak olursak gerçek açısal değerlerle sıralanan bir çizelgede Van ve Kars gibi açısal değerleri birbirine çok yakın olan iki şehrin aynı eşleşmede yer alma oranını büyük bir ölçüde engellemiş olduk. Bu sayede eşleşmede yer alan uçuşların birtanesi doğuya olurken diğeri batıya, kuzeye ve güneye olabilmektedir. Bu sayede gerçek eşleşmelerle bizim algoritmamızın oluşturduğu eşleşmelerin mantıksal tutarlığı birbirine çok yakın olmaktadır.

Süpürme Algoritması'nda atamalar yapılırken öncelikle komşuluk esasına göre yapılmaktaydı. Yani ikinci atama seçilen ilk atamaya en yakın ve toplamda kapasite sınırını aşmayan bir atama olmalıydı. Bizim önerdiğimiz algorithmada ise ilk atama yapıldıktan sonra ikinci atama yapılırken, ilk atamanın ana üsde bitiş zamanı ile ikinci atamanın başlama zamanını 30 dakikaya en yakın olarak seçerek ve böylelikle dinlenme zamanlarını minimuma yakınsayarak Uçuş Görev Süresini daha etkin kullanmak amaçlanmaktadır.

B-738 filosuna ait minimum maliyetli eşleşme setini incelediğimizde oluşturulan 85 eşleşmeye karşın 16430 dakikalık bir ceza puanı elde edilmektedir. Eşleşme başına ortalama 193,3 dakikalık oluşan bu kayıp, maksimum süresi 840 dk oabilecek bir

eşleşmede %23 bir kayıp oluşturarak eşleşme setinin etkinliğinin %77 gibi olumlu bir oranda gerçekleştiğini göstermektedir.

A-319 filosunun minimum maliyetli eşleşme setini incelediğimizde oluşturulan 17 eşleşmenin toplam maliyetinin 3225 olduğu bunun da eşleşme setinin etkinliğinin % 78 olmasını sağlayarak, B-738 filosunun etkinliğine çok yakın ve yine olumlu bir sonuç verdiği gözlemlenmektedir. Önerilen algoritma bu sonuçlarla tutarlı ve istikrarlı sonuçlar verdiğini uçuş sayısı değişse dahi göstermektedir.

SHGM uygun gördüğü yasal kısıtlar dahilinde maksimum iniş sayısının 5 olarak algoritmaya dahil edilmesiyle algoritmanın çok daha etkin sonuçlar vereceği öngörülmektedir. Fakat bunun sonucunda oluşabilecek ana üsden farklı meydana son bulacak uçuşların personelin ve uçağın o üsde konaklamasıyla oluşturacağı ilave maliyetlerde geniş kapsamda göz önünde bulundurulmalıdır.

Buradan hareketle önerilen bu yeni algoritma, sivil havayolu şirketlerinin 'Ekip Çizelgeleme' süreçlerinde 'Ekip Eşleme' veya bir başka deyişle 'Uçuş Dizisi Bulma' problemlerinin çözümünde kolayca kullanılabilmesi ve başta zaman maliyeti olmak üzere birçok maliyet kaleminin düşürülmesinde etkin rol oynayacağı öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Adachi, N., Kobayashi, S.** (2004). Crew Roster Scheduling by The Extended Cooperative Genetic Algorithm, *Electronics and Communications in Japan Part Iii-Fundamental Electronic Science*, 87 (10): 44-53.
- Alefragis, P., Goumopoulos, C., Housos, E., et al.** (1998). Parallel Crew Scheduling in PAROS, *Lecture Notes in Computer Science*, 1470: 1104-1113.
- Alefragis, P., Sanders, P., Takkula, T., et al.** (2000). Parallel Integer Optimization for Crew Scheduling , *Annals of Operations Research*, 99: 141-166 .
- Anbil, R., Forrest, J. J., Pulleyblank, W. R.** (1998). Column Generation and The Airline Crew Pairing Problem, *Documenta Mathematica*, Extra Volume ICM (3), 677-686.
- Ball, M., Roberts, A.** (1985). A Graph Partitioning Approach to Airline Crew Scheduling, *Transportation Science*, 19 (2): 107-126.
- Barnhart, C., Hatay, L., Johnson, E. L.** (1995). Deadhead Selection for The Long-Haul Crew Pairing Problem, *Operations Research*, 43 (3): 491-499.
- Barnhart, C., Johnson, E., Nemhauser, G. L., Savelsbergh, M. W. P., Vance, P.** (1998). Branch-and-Price: Column Generation for Solving Huge Integer Programs , *Operations Research*, 46 (3), 316-329.
- Barnhart, C., Sheno, R. G.** (1998). An Approximate Model and Solution Approach for The Long-Haul Crew Pairing Problem, *Transportation Science*, 32 (3): 221-231.
- Barnhart, C. Belobaba, P. and Odoni, A.** (2003a). Application of Operations Research In The Air Transportation Industry, *Transportation Science*, (37), 368-391.
- Barnhart, C., Cohn, A.M., Johnson E.L., Klabjan, D., Nemhauser G.L. and Vance, P.H.** (2003b). Airline Crew Scheduling, *Handbook of Transportation Science (Ed: Randolph W. Hall)*, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, A.B.D., 517-561.
- Bazargan, M.** (2004). Airline Operations and Scheduling, *Ashgate Publishing*, Hampshire, İngiltere.
- Borndörfer, R., Schelten, U., Schlechte, T., Weider, S.** (2005). A Column Generation Approach to Airline Crew Scheduling , *ZIB Report*, Berlin, Germany, 5-37.
- Beasley, J. E., Cao, B.** (1996). A Tree Search Algorithm for The Crew Scheduling Problem, *European Journal of Operational Research*, 94 (3): 517-526.
- Beasley, J. E., Cao, B.** (1998). A Dynamic Programming Based Algorithm for TheCrew Scheduling Problem, *Computers & Operations Research*, 25 (7-8): 567-582.

- Cavique, I., Rego, C., Themido, I.** (1999). Subgraph Ejection Chains and Tabu Search for The Crew Scheduling Problem , *Journal of The Operational Research Society*, 50 (6): 608-616.
- Carraresi, P., Gallo, G.** (1984). Network Models for Vehicle and Crew Scheduling, *European Journal of Operational Research*, 16 (2): 139-151.
- Chang, S.W.** (2001). An Integrated Approach to Flight Scheduling and Fleet Assignment, *Doktora Tezi*, Maryland University, A.B.D.
- Chu, H., Gelman, E., Johnson, E., L.** (1997) . Solving Large Scale Crew Scheduling Problem, *European Journal of Operational Research*, 97 (2): 260-268.
- Clarke, L.W., Hane, C.A., Johnson, E.L. and Nemhauser, G.L.** (1996). Maintenance and Crew Considerations In Fleet Assignment, *Transportation Science*, (30), 249–261.
- Clarke, L.W., Johnson, E.L., Nemhauser, G.L. and Zhu, Z.** (1997). The Aircraft Rotation Problem, *Annals of Operations Research*, (69), 33-46.
- Clausen, J., Larsen, A., Larsen, J. and Rezanova, N.J.** (2009). Disruption Management in the Airline Industry-Concepts, Models, and Methods, *Computers&Operations Research*, 10.1016, Article In Press.
- Cordeau, J.F., Stojkovic, G., Soumis, F., et al.** (2001). Benders Decomposition for Simultaneous Aircraft Routing and Crew Scheduling , *Transportation Science*, 35 (4): 375-388.
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.Y., Semet, F.** (2002). A Guide To Vehicle Routing Heuristics, *Journal of the Operational Research Society*, 53, 512-522.
- Crainic, T. G., Rousseau, J. M.** (1987). The Column Generation Principle and The Airline Crew Scheduling Problem , *INFOR*, 25 (2): 136-151.
- Crawford, B., Castro, C., Monfroy, E.** (2006). A Hybrid Ant Algorithm for The Airline Crew Pairing Problem, *Lecture Notes in Computer Science*, 4293: 381-391.
- Çankaya, G.** (2008). Bir Sütun Oluşturma Yaklaşımı ve Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Türkiye.
- Çetin, E.İ., Kuruüzüm, A. ve Irmak, S.** (2008). Ekip Çizelgeleme Probleminin Küme Bölme Modeli ile Çözümü, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 4 , 47-54.
- Demasse, S., Pesant, G., Rousseau, L. M.** (2006). A Cost-Regular Based Hybrid Column Generation Approach, *Constraints*, 11 (4): 315-333.
- Desaulniers, G., Desrosiers, J., Dumas, Y., Solomon, M. M., Soumis, F.** (1997/a). Daily Aircraft Routing and Scheduling, *Management Science*, 43(6): 841-855.
- Desaulniers, G., Desrosiers, J., Dumas, Y., et al.** (1997/b). Crew Pairing at Air France, *European Journal of Operational Research*, 97 (2): 245-259.

- Desaulniers, G.** (2007). Managing Large Fixed Costs in Vehicle Routing and Crew Scheduling Problems Solved by Column Generation, *Computers & Operations Research*, 34 (4): 1221-1239.
- Desrochers, M., Soumis, F.** (1989). A Column Generation Approach to The Urban Transit Crew Scheduling Problem, *Transportation Science*, 23 (1): 1-14.
- Desrosiers, J., Soumis, F., Desrochers, M.** (1984). Routing with Time Windows by Column Generation, *Networks*, 14: 545-565.
- Emden-Weinert, T., Proksch, M.** (1999). Best Practice Simulated Annealing for The Airline Crew Scheduling Problem, *Journal of Heuristics*, 5 (4): 419-436.
- Freling, R., Wagelmans, A. P. M., Paixao, J. M. P.** (1999). An Overview of Models and Techniques for Integrating Vehicle and Crew Scheduling, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 471: 441-460.
- Friberg, C., Haase, K.** (1999). An Exact Branch and Cut Algorithm for The Vehicle and Crew Scheduling Problem, *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 471: 63-80.
- Gamache, M., Hertz, A., Ouellet, J. O.** (2007). A Graph Coloring Model for A Feasibility Problem in Monthly Crew Scheduling with Preferential Bidding, *Computers & Operations Research*, 34 (8): 2384-2395.
- Gopalan, R. and Talluri, K.** (1998). The Aircraft Maintenance Routing Problem, *Operations Research*, (46), 260–271.
- Guo, Y. F., Mellouli, T., Suhl, L., et al.** (2006). A Partially Integrated Airline Crew Scheduling Approach with Time-Dependent Crew Capacities and Multiple Home Bases, *European Journal of Operational Research*, 171 (3): 1169-1181.
- Gustafsson, T.** (1999). A Heuristic Approach to Column Generation for Airline Crew Scheduling, *Licentiate thesis*, Chalmers University of Technology and Göteborg University, S-412, 96, Göteborg, Sweden.
- Hoffman, K.L., Padberg, M.** (1993). Solving Airline Crew Scheduling Problems by Branch-and-Cut, *Management Science*, 39 (6): 657-682.
- Housos, E., Elmroth, T.** (1997). “Automatic Optimization of Subproblems in Scheduling Airline Crews”, *Interfaces*, 27: 68-77.
- Junker, U., Karisch, S., Kohl, N., Vaaben, B., Fable, T., Sellmann, M.** (1999). A Framework for Constraint Programming Based Column Generation, *5th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming CP'99*, Jaffar, J., Alexandria, VA, USA, 261-275.
- Klabjan, D., Johnson, E. L., Nemhauser, G. L., et al.** (2001/a). Airline Crew Scheduling with Regularity, *Transportation Science*, 35 (4): 359-374.
- Klabjan, D., Johnson, E. L., Nemhauser, G. L., et al.** (2001/b). Solving Large Airline Crew Scheduling Problems: Random Pairing Generation and Strong Branching, *Computational Optimization and Applications*, 20 (1): 73-91.

- Klabjan, D., Johnson, E. L., Nemhauser, G. L., et al.** (2002). Airline Crew Scheduling with Time Windows and Plane-Count Constraints, *Transportation Science*, 36(3): 337-348
- Klabjan, D.** (2005). Large-Scale Models in the Airline Industry, *Column Generation* (Ed: G. Desaulniers, J. Desrosiers ve M. M.Solomon) Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, A.B.D.
- Klincewicz, J. G., Rosenwein, M. B.** (1995). The Airline Exception Scheduling Problem, *Transportation Science*, 29(1): 4-16.
- Kohl, N. and Karisch, S.E.** (2004). Airline Crew Rostering Problems Types, Modeling, and Optimization, *Annalys of Operations Research*, (127), 223-257.
- Kohl, N., Larsen, A., Larsen, J., Ross, A. and Tiourine, S.** (2007). Airline disruption management-Perspectives, experiences, and Outlook, *Journal of Air Transport Management*, (13), 149-162.
- Kornilakis, H., Stamatopoulos, P.** (2002). Crew Pairing Optimization with Genetic Algorithms , *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 2308: 109-120.
- Lagerholm M., Peterson, C., Soderberg, B.** (1997). Airline Crew Scheduling with Potts Neurons , *Neural Computation*, 9 (7): 1589-1599.
- Lagerholm, M., Peterson, C., Soderberg, B.** (2000). Airline Crew Scheduling Using Potts Mean Field Techniques, *European Journal of Operational Research*, 120 (1): 81-96.
- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J. Y., Semet, F.** (2000). Classical And Modern Heuristics For The Vehicle Routing Problem, *International Transactions in Operation Research*, 7, 285-300.
- Lavoie, S., Minoux, M., Odier, E.** (1988). A New Approach for Crew Pairing Problems by Column Generation with An Application to Air Transportation” , *European Journal of Operational Research*, 35 (1): 45-58.
- Lee, C.K.** (1999). A Computerized Analytical Decision Support System For Evaluating Airline Scheduling Interactions, *Doktora Tezi*, The Ohio State University. A.B.D.
- Lettofsky, L.** (1997). Airline Operations Recovery: An Optimization Approach, *Doktora Tezi*, Georgia Institute of Technology, A.B.D.
- Lettofsky, L., Johnson, E. L., Nemhauser, G. L.** (2000). Airline Crew Recovery, *Transportation Science*, 34 (4): 337-348.
- Levine, D.** (1996). Application of A Hybrid Genetic Algorithm to Airline Crew Scheduling , *Computers & Operations Research*, 23 (6): 547-558.
- Liu, J.** (2003). Solving Real-Life Transportation Scheduling Problems, *Doktota Tezi*, University of Florida, A.B.D.
- Lübbecke, M., Desrosiers, J.** (2005). Selected Topics in Column Generation, *Operations Research*, 53(6): 1007-1023.
- Makri, A., Klabjan, D.** (2004). A New Pricing Scheme for Airline Crew Scheduling, *Inform Journal on Computing*, 16 (1): 56-67.

- Marinakis, Y.** (2001). Heuristic Solutions of Vehicle Routing Problems in Supply Chain Management, *DSS Laboratory, Department of Production Engineering and Management*, Technical University of Crete, Greece.
- Mercier, A., Cordeau, J.F., Soumis, F.** (2005). A Computational Study of Benders Decomposition for The Integrated Aircraft Routing and Crew Scheduling Problem , *Computers & Operations Research*, 32 (6): 1451-1476.
- Mingozzi, A., Boschetti, M. A., Ricciardelli, S., et al.** (1999). A Set Partitioning Approach to The Crew Scheduling Problem, *Operations Research*, 47 (6): 873-888.
- Orhan, İ, Kapanoğlu, M. and Karakoç, T.H.** (2007). Flight-Hour Based Optimization for Aircraft Scheduling, *INFORMS*, 369,WD43, A.B.D.
- Orhan, İ, Kapanoğlu, M. and Karakoç, T.H.** (2010). Havayolu Operasyonlarında Planlama ve Çizelgeleme (Planning and Scheduling of Airline Operations), *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 16, Sayı 2, Sayfa 181-191.
- Özdemir, H. T., Mohan, C. K.** (2001). Flight Graph Based Genetic Algorithm for Crew Scheduling in Airlines, *Information Sciences*, 133 (3-4): 165-173.
- Özdemir, U.** (2009). Methodology for Crew-Pairing Problem In Airline Crew A Scheduling, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye.
- Park, T., Ryu, K. R.** (2006/a). Crew Pairing Optimization by A Genetic Algorithm with Unexpressed Genes, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17 (4): 375-383
- Park, T., Ryu, K. R.** (2006/b). Solving A Large-Scaled Crew Pairing Problem by Using A Genetic Algorithm, *Lecture Notes in Computer Science*, 4031: 228-237
- Qi, X., Yang, J. and Yu, G.** (2004). Scheduling Problems In The Airline Industry , *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis*, (Ed: Joseph, Y. ve Leung, T), Chapman&Hall/CRC, 50. Bölüm, New York, A.B.D.
- Rosenberger, J.M.** (2001). Topics in Airline Operations, *Doktora Tezi*, Georgia Institute of Technology, A.B.D.
- Shaw, T.L.** (2003). Hybrid Column Generation for Large Network Routing Problems: with Implementations in Airline Crew Scheduling, *Doktora Tezi*, Georgia Institute of Technology, A.B.D.
- Sherali, H.D., Bish E.K. and Zhu, X.** (2006). Airline Fleet Assignment Concepts, Models, And Algorithms, *European Journal Of Operational Research*, (172), 1-30.
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM)** (2012). Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı, SHT-6A.50 Rev. 05.
- Sriram, C. and Haghani, A.** (2003). An Optimization Model For Aircraft Maintenance Scheduling And Re-Assignment, *Transportation Science*, (37), 29-48.

- Schaefer, A. J., Johnson, E. L., Kleywegt, A. J., et al.** (2005). Airline Crew Scheduling Under Uncertainty”, *Transportation Science*, 39 (3): 340-348.
- Talluri, K.T.** (1998). The Four-day Aircraft Maintenance Routing Problem, *Transportation Science*, (32), 43-53.
- Tran, V. H., Reinelt, G., Bock, H. G.** (2006). Box Step Methods for Crew Pairing Problems, *Optimization and Engineering*, 7 (1): 33-46.
- Vance, P.H., Barnhart, C, Johnson, E.L., et al.** (1997). Airline Crew Scheduling: A New Formulation and Decomposition Algorithm , *Operations Research*, 45 (2): 188-200.
- Vanderbeck, F., Savelsbergh, M. W. P.** (2006) A Generic View of Dantzig-Wolfe Decomposition in Mixed Integer Programming, *Operations Research Letters*, 34: 296-306 (2006).
- Xu, J., Sohoni, M., McCleery, M., Bailey, T. G.** (2006). A Dynamic Neighborhood Based Tabu Search Algorithm for Real-World Flight Instructor Scheduling Problems, *European Journal of Operational Research*, 169: 978–993.
- Yan, S., Chang, J.** (2002). Airline Cocpit Crew Scheduling, *European Journal of Operatioal Research*, 136: 501-511.
- Yan, S. Y., Tu, Y. P.** (2002). A Network Model for Airline Cabin Crew Scheduling, *European Journal of Operational Research*, 140 (3): 531-540 .
- Yen, J. W., Birge, J. R.** (2006). A Stochastic Programming Approach to The Airline Crew Scheduling Problem, *Transportation Science*, 40 (1): 3-14.
- Yu, G. and Thengvall, G.** (2002). Airline Optimization, *Handbook of Applied Optimization*, (Ed: Resende P.), Oxford University Press, 2002, New York, Amerika. 689-704.
- Url-1:** Erişim tarihi: 9 Şubat 2013 [http://www.turkishairlines.com/tr-tr/online\\_services/schedule/time\\_table.aspx](http://www.turkishairlines.com/tr-tr/online_services/schedule/time_table.aspx)

## **EKLER**

**EK A:** C++ Program Kodları. (İrtibat kurulduğu takdirde kodlar ile ilgili yardımcı olunacaktır.)



## ÖZGEÇMİŞ

Gökhan KORKMAZ 1984 yılında İstanbul 'da doğdu. İlk ve ortaokul eğitimini Büyükçekmece Yavuz Sultan Selim İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini Büyükçekmece Lisesi'nde tamamladıktan sonra Hava Harp Okulu Endüstri Mühendisliği Bölümünden 2006 yılında mezun oldu.

Burcu KORKMAZ hanımefendi ile evli olup, Doruk adında bir erkek çocuğu babasıdır. İngilizce bilmektedir.

**Ad Soyad:** Gökhan KORKMAZ

**Doğum Yeri ve Tarihi:** İstanbul-1984

**E-Posta:** gokhankorkmaz\_@hotmail.com

**Lisans:** Hava Harp Okulu Endüstri Mühendisliği