

Havayolu Operasyonlarında Planlama ve Çizelgeleme

Planning and Scheduling of Airline Operations

İlkay ORHAN^{a,*}, Muzaffer KAPANOĞLU^b ve T. Hikmet KARAKOÇ^a

^a Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, 26470, Eskişehir

^b Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir

Geliş Tarihi/Received : 15.05.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 11.01.2010

ÖZET

Türk Sivil Havacılık sektörü, 2002-2008 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.

Anahtar Kelimeler : *Filo ataması, Uçak rotalama, Ekip çizelgeleme, Düzensiz olayların yönetimi, Sivil havacılık yönetimi.*

ABSTRACT

The Turkish Civil Aviation sector has grown at a rate of 53 % between the years 2002-2008 owing to country-wide 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.

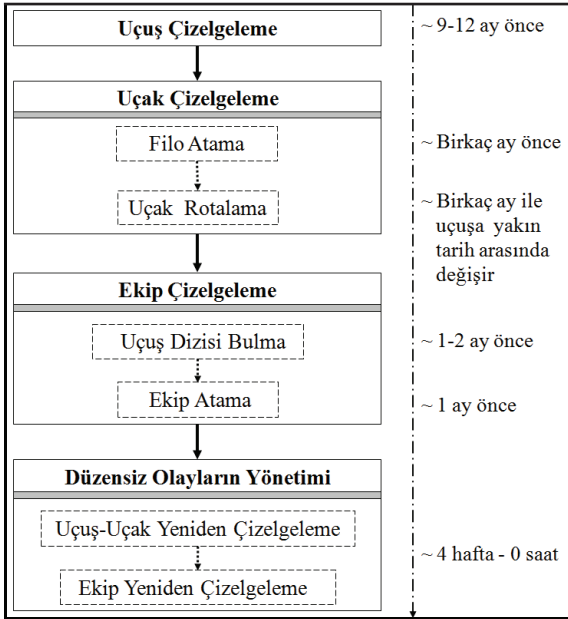
Keywords : *Fleet assignment, Aircraft routing, Crew scheduling, Disruptions management, Civil aviation management.*

1. GİRİŞ

Havayolu işletmeleri, 2007 yılında yaklaşık olarak 2.25 milyar yolcu taşımış, 490 milyar dolar gelir ile 5.6 milyar dolar global kar elde etmiştir (IATA, 2008). 2007-2026 yılları arasında dünya yolcu trafiğinin yıllık % 4.9 ve kargo trafiğinin yıllık % 5.8 oranında artacağı tahmin edilmektedir (Airbus, 2007). Türk Sivil Havacılık sektörü, 2002-2008 yılları arasında gelişen ekonomi ve havacılık alanındaki bazı kısıtlamaların kaldırılmasıyla % 53 oranında büyümüştür (SHGMY,

2009). Bu büyümenin önümüzdeki yıllarda yıllık % 5 oranında artarak devam edeceği tahmin edilmektedir (http-1, http-2, 2009). Bu çalışmada, havayolu sektöründe çözülmesi gereken dört temel operasyonel planlama ve çizelgeleme problemi ayrıntılı bir şekilde incelenerek hızla gelişen havayolu sektöründe çalışma yapacak kişiler için bir kaynak oluşturulmuştur. Havayolu endüstrisindeki operasyonel planlama ve çizelgeleme problemlerinin süreci ve birbiriyle olan etkileşimi Şekil 1'de gösterilmiştir.

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : iorhan@anadolu.edu.tr (İ. Orhan)



Şekil 1. Havayolu işletmelerinde operasyonel planlama ve çizelgeleme süreci.

2. TEMEL OPERASYONEL PROBLEMLER

Problemlerden birincisi, hangi uçuş noktalarına hangi sıklıkla uçuş hizmeti verileceği ve bu sıklığı karşılamak için uçuşların nasıl planlanması gerektiğini tanımlayan uçuş çizelgeleme problemidir. Boyd ve Kallesen (2004), yolcuların satın alım davranışlarının gelir yönetimi üzerindeki davranışını, uçuş sınıfına özel ve ücrete dayalı iki farklı model tipini ele alarak incelemiştir. Lohatepanont ve Barnhart (2004), uçuş bacaklarını ve seçilen uçuş bacaklarına atanan uçak tiplerini eniyileyen bütünlük model ve çözüm algoritması geliştirmiştir. American Airlines için gerçekleştirilen çalışma sonucunda uçakların kullanımındaki potansiyel iyileşme ve gelirdeki önemli artışın yıllık 200 milyon doların üstünde olduğu belirtilmiştir. Armacost v.d., (2002), hızlı paket servisi için yeni veya eniyeye yakın uçuş serim tasarımı oluşturmak için model ve algoritmalar hazırlamıştır. Bir kargo işletmesinde (UPS) yapılan çalışmalar sonucunda operasyon maliyetlerinin % 7 ve gerekli filo sayısının % 10 oranında azaltıldığı rapor edilmiştir.

İkinci problem, uçak çizelgeleme problemidir. Bu problem, bir dizi karar sürecinden oluşur. İlk olarak, filoların uçuş rotalarına atanması gerçekleştirilir. Daha sonra, her uçak için bakım kısıtları dikkate alınarak uçuş rota planları oluşturulur. Daskin ve Panayotopoulos (1989), tek bir topla-dağıt (hub and spoke) serim yapısında uçakları rotalarına atayarak işletme karının enbüyüklenebileceğini göstermiştir. Problem, karma tamsayılı doğrusal programlama problemi olarak modellenmiş ve Lagrangian gevşetmesi ile çözülmüştür. Feo ve Bard (1989), hem bakım merkezlerinin yerleştirilebileceği hem de

Atipi kontrol gereksiniminin daha iyi karşılanabileceği uçuş programı geliştiren model sunmuştur. Problem, American Airlines için enküçük maliyetli bütünlük kısıtlı çok ürünlü akış problemi olarak formüle edilmiştir. Doğrusal problemin gevşetilmesi çözüm için çok büyük olduğundan, iki aşamalı sezgisel bir yöntem kullanılmıştır. Kabbani ve Patty (1992), uçak rotalama problemini Amerikan Havayolları için her sütunun olası haftalık uçak rotasını ve satırların uçuşları temsil ettiği küme belirleme problemi olarak formüle etmiştir. Çalışmada bakımların her üç günde bir gerçekleştirildiği kabul edilmiştir. Subramanian v.d., (1994), Delta Airlines için filo atama problemini çözerek işletmenin yıllık 100 milyon dolar tasarruf etmesini sağlamıştır. Hane v.d., (1995), filo atama problemini yan kısıtlarıyla birlikte büyük çok ürünlü akış problemi olarak zaman genişletilmiş serim yapısında modellemiştir. Problemi çözmek için kullanılan yöntem, iç nokta algoritması ve dallandırmasıdır. Yazarlar ayrıca problemin boyutunu küçültmek için bazı serim ön süreç yöntemleri kullanmıştır. Rushmeier ve Kontogiorgis (1997), havayolu çizelgelemesinde karşılaşılan büyük ölçekli filo atama probleminin çözümü ve formülasyonu için gelişmiş bir model sunmuştur. US Airways için yapılan çalışmalar, işletmenin yıllık 15 milyon dolar tasarruf ettiğini göstermiştir. Clarke v.d., (1997), uçak rotasyon problemini, bakım kısıtlarını sağlayan ve bağlantılı uçuşların kesintisiz uçuş değerini enbüyükleyen yan kısıtlı Eulerian tur problemi olarak modellemiştir. Model, ön süreç teknikleriyle basitleştirilmiş, Lagrangian gevşetmesi ve subgradient eniyilemesi ile çözülmüştür. Desaulniers v.d., (1997), heterojen uçak filosundan elde edilecek karı enbüyükleyen günlük uçak rotalama ve çizelgeleme problemini incelemiş ve iki model sunmuştur. Birinci modelin doğrusal gevşetilmesi sütun türetme tekniği kullanılarak, ikinci modelin doğrusal gevşetilmesi Dantzig-Wolfe ayrıştırması yaklaşımı kullanılarak çözülmüştür. Gopalan ve Talluri (1998), uçak rotalama problemini US Airways için modellemiş ve üç günlük bakım kontrolü ve dengeli kontrol gereksinimi için polinom zamanlı bir algoritma kullanmıştır. Modelde, uygun uçak bakım rotalaması elde edebilmek için uçuşlar ve hatta filolar arasında değiş-tokuş yapılmıştır. Barnhart v.d., (1998), bütünlük filo atama ve uçak rotalama problemini dizi (string) tabanlı modelleyerek dal-bedel (branch-and-price) yaklaşımı kullanarak çözmüştür. Bu modelin dezavantajı, yüzlerce uçuşa sahip uçuş programının milyonlarca diziyeye sahip olmasıdır. Rexing v.d., (2000), mevcut uçuş programında 5 ile 20 dakikalık gecikmelerle mevcut uçuş bacak zamanlarında yeniden zamanlamaya imkan verirken, uçuş bacaklarına filo tipi atanması gerçekleştiren bütünlük filo atama ve çizelgeleme problemini United Airlines için incelemiştir. Çalışmanın sonucunda işletmenin yıllık 50 milyon dolar

civarında tasarruf ettiği ve operasyon maliyetlerini azalttığı görülmüştür. Cordeau v.d., (2001), uçak rotalama ve ekip çizelgeleme problemini eş zamanlı olarak modellemiş ve çözüm için Bender ayrıştırması yaklaşımını kullanmıştır. Sriram ve Haghani (2003), bakım çizelgelemesi ve uçağın yeniden atanması problemini incelemiştir. Yazarlar, hem A hem de B tipi kontrolü modellemede dikkate almış ve çözüm için rassal araştırma ve derin ilk araştırma (depth first search) yaklaşımlarını karma olarak kullanan bir sezgisel yöntem kullanmıştır. Sarac v.d., (2006), bakım slotları (slots) ve bakım istasyonlarında kullanılabilir adam-saatini dikkate alan operasyonel uçak bakım rotalama problemini modelleyerek çözmüştür. Orhan (2007), uçak rotalarının bakım gereksinimleri ile birlikte ele almış, böylece uçakların etkin kullanımının yanı sıra bakım maliyetlerinin enküçüklenmesini hedeflemiştir. Belirtilen hedef doğrultusunda, uçakların bakıma girmeden önceki yasal kullanılabilir uçuş zamanlarını da enküçükleyen bütünlük çok-amaçlı karma tamsayılı doğrusal bir modelleme yaklaşımı önermiştir. Yaklaşım, uçuş sayılarını ve/veya sürelerini de karar vericinin öncelikleri doğrultusunda dengelemekte, böylece uçak kullanım oranları ve bakım maliyetlerinin olabildiğince eşit tutulmasını sağlamıştır.

Üçüncü problem, her uçuş için kokpit ve kabin görevlisi olarak adlandırılan ekip üyelerinin belirlenmesini içeren ekip çizelgeleme problemidir. Ekip çizelgeleme problemi iki alt problemden oluşur: uçuş dizisi bulma problemi (ekipeşleme-crew pairing) ve ekip atama problemi (Özdemir, 2009). Birinci problemde, yönetmeliklere uygun olarak minimum maliyetli ardışık uçuş bacak dizileri oluşturulurken, ikincisinde bu dizilerde görev alacak ekip üyelerinin ataması yapılır. Birinci problemin çözümünde ekipleri oluşturan bireyler dikkate alınmaz. Ryan (1992), uçuş ekibinin toplam memnuniyetini enbüyükleyecek şekilde ekip atama problemini, önce ilkel (primal) simpleks algoritmasıyla, sonra tam sayı sonuç elde etmek için dal ve sınır yaklaşımıyla çözmüştür. Clarke v.d, (1996), Hane v.d., (1995) çalışmasını modele bakım ve ekip kısıtı ilave ederek genişletmiştir. Bakım kısıtlarını sağlamayan çözümlerin, uygun olmadığı kabul edilmiştir. Bakım gereksinimi, kısa dönem ve uzun dönem olarak gerçekleştirildikleri süreler göre sınıflandırılmıştır. Çalışmada, bakım kısıtı ve ekip çizelgelemesinin filo atama modeliyle nasıl birleştirildiği açık olarak verilmemiştir. Gamache v.d., (1998), en kıdemli personelin tercihlerini enbüyükleyecek şekilde problemin çözülebilir koşullar altında kalmasını sağlayarak ekip atama problemini Canada Air için incelemiştir. Gamache v.d., (1999), büyük boyutlu uçuş ekip atama problemini doğrusal gevşetme ve sütun türetme yaklaşımıyla çözmüş ve tamsayı çözüm elde etmek için yerel araştırma algoritması kullanmıştır.

Yan ve Tu (2002), China Airlines'ın ekip çizelgeleme problemini çözmek için kuramsal serim akış modelini ve serim simpleks algoritmasını kullanmıştır. Özdemir (2009), literatürdeki uçuş dizisi bulma problemi üzerine yapılan çalışmaları inceleyerek, hibrid bir metod geliştirmiştir.

Dördüncü problem, günlük operasyonları gerçekleştirmek üzere uzun dönem dikkate alınarak hazırlanmış olan uçak ve ekip çizelgeleme problemlerinin uçak mekanik arızası, ekip üyesi eksikliği ve kötü hava koşulları gibi hiçbiri önceden beklenmeyen sorunların çözümü içeren düzensiz operasyonların yönetiminden oluşur. Bu aşamada, uçaklar yeniden rotalanır ve ekip çizelgelemesi yeniden yapılır. Bratu ve Barnhart (2006), bütünlük geri kazanımlı iki model üzerinde çalışmıştır. Modeller, hem yolcuların geri kazanılmasını, hem de uçak, ekip çizelgelemesi ile ilgili kural ve düzenlemeleri dikkate almıştır. Her iki modelin amaç fonksiyonu, operasyon maliyetleri ve yolcu geri kazanım maliyetlerini kapsamaktadır. Yu v.d., (2003), Continental Airlines için beklenmeyen olaylar karşısında ekibin yeniden çizelgelenmesi problemini incelemiştir. İşletme, çalışmanın sonucunda yıllık 40 milyon dolar tasarruf sağlamıştır. Abdelghany v.d., (2008), düzensiz operasyonların geri kazanım süreci için bütünlük olarak program simülasyon modeli ve kaynak atama eniyileme modelini bir karar destek sistemine araç olarak uyarlamıştır. Programın simülasyon modeli, bozulan operasyonların ciddiyetini dikkate alarak bozulan uçuşları listelerken, eniyileme modeli yeni uçuş planı ve olası kaynak değişikliklerini araştırarak uçuş gecikmelerini ve iptallerini enküçükleyen etkin geri kazanım planları sunmuştur. Tekiner v.d., (2009), düzenli uçuş programına yeni uçuşların eklenmesi durumundaki uçuş dizisi bulma problemini incelemiştir. Çalışmada, maliyet artışları kabul edilebilir seviyelerde tutularak, önerdikleri model ile elde edilen sonuçlar geleneksel yaklaşımla karşılaştırılmıştır.

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. Tablo 1'de bir havayolunun örnek uçuş çizelgelemesi gösterilmiştir. Tablodaki 301 numaralı uçuşu gerçekleştirecek uçak, 08:30'da İstanbul Atatürk Havaalanı'ndan uçuşa başlayacak ve 10:15'de Trabzon Havaalanı'nda uçuşunu tamamlayacaktır.

301 numaralı uçuş, Perşembe hariç haftanın her günü gerçekleştirileceği günler bölümünde gösterilmektedir (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 çizelgeleme tasarımı için uçuş hatlarındaki yolcu talebinin doğru tahmini, havayolu filosunun kapasitesi, uçağın kapasitesi nedeniyle reddedilen (elde edilemeyen) gelir olan bozulma (spill) maliyeti ve reddedilen yolcuların yeniden geri kazanım oranlarının bilinmesi gereklidir. Bu yüzden uçuş çizelgeleme, havayolu işletmesinin karlılığını ve işletmenin devamlılığını sağlayabilmesini önemli oranda etkilediği için kritik bir süreçtir (Chang, 2001; Barnhart v.d., 2003a; Liu, 2003; Qi, v.d., 2004; Sriram ve Haghani, 2003; Gopalan ve Talluri, 1998; Clarke v.d., 1996).

Tablo 1. Örnek bir uçuş çizelgeleme (IST=İstanbul Atatürk Havaalanı, TZX = Trabzon Havaalanı, ESB = Ankara Esenboğa Havaalanı) (Gopalan ve Talluri, 1998).

Uçuş Numarası	Kalkış Yeri	Varış Yeri	Kalkış Zamanı	Varış 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 en küçük 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 özellikleri, 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 en küçüklemektir. 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 v.d., 2006; Rosenberger, 2001; Barnhart v.d., 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 satılmamış koltuklar çöpe giden ürün gibi kabul edilir. Bu yüzden ideal strateji, sadece yolculara doğru fiyattan doğru sayıda koltuk sağlamak olmalıdır (Sherali v.d., 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 kullanılmayacaktır. 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 v.d., 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 757, Fokker 100 ve Airbus 320 gibi çeşitli uçak gruplarından oluşabilir. Filo kapasitelerine örnek olarak, 169 koltuk kapasiteli Boeing 757 ve 98 koltuk kapasiteli Fokker 100 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 (http-3). 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 v.d., 1998; Sherali, v.d., 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 yolcuları 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 uçuşu 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 v.d., 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 uçağa 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 enküçükmektir (Clarke v.d.,1997; Qi v.d., 2004; Bazargan, 2004; Sriram ve Haghani, 2003; Orhan v.d., 2007).

Uçak rotası, uçuş bacaklarının 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 v.d., 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 edilebilirler.

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 uçmasını 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 v.d., 1998; Sriram ve Haghani, 2003; Clarke v.d., 1996; Qi v.d., 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 v.d., 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 kapsaması 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 v.d., 1997; Sriram ve Haghani 2003; Talluri, 1998).

2. 3. Ekip Çizelgeleme

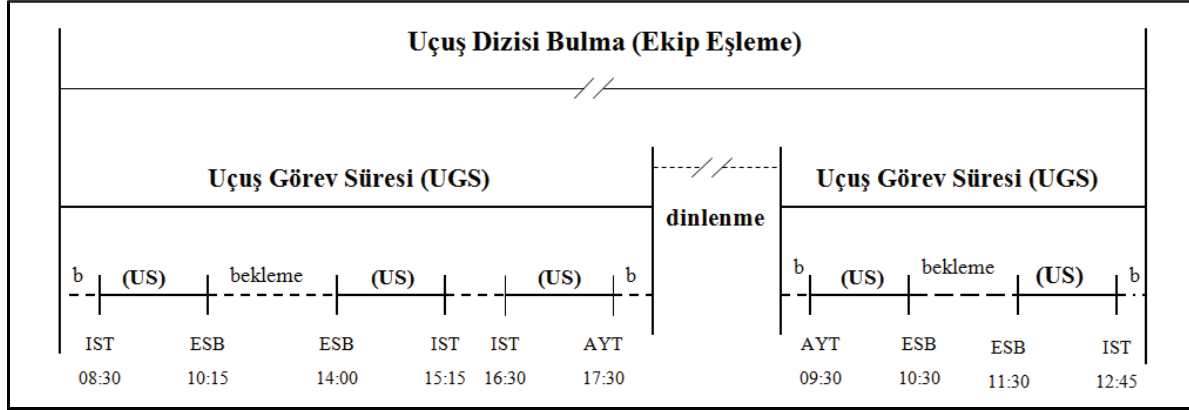
Ekip çizelgeleme probleminde, belli bir uçuş çizelgesindeki her uçuş bacağına uçuş için ekip gereksinimini karşılayacak şekilde ekip ataması yapılır. Uçuş çizelgesindeki her uçuş bacağı, belli bir havaalanından ayrılan ve bir diğerine varan bir uçağı temsil eder. Bir uçuş bacağı için ekip gereksinimi, uçak içinde gerekli olan pilot, yardımcı pilot, uçuş mühendisi, uçuş kabin görevlileri gibi havayolu personelinin 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 v.d., 2003b; Lettovsky, 1997; Qi v.d., 2004; Clausen v.d., 2009; Özdemir, 2009).

2. 3. 1. Uçuş Dizisi Bulma

Uçuş dizisi bulma problemi, ekipeşleme (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 (http-4, 2009; Çetin v.d., 2008; Shaw, 2003; Bazargan, 2004; Cordeau v.d., 2001).

Şekil 2'de, merkez üssü İstanbul olan ekip için oluşturulmuş iki günlük uçuş dizisi gösterilmektedir. Birinci görev, üç uçuş bacağı, ikinci görev ise iki uçuş bacağı 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. Brifing almak (b olarak gösterilmiştir) ve brifing vermek olarak bilinen (b olarak gösterilmiştir) görevden önceki ve sonraki zaman periyodunda, ekip tarafından düzenlenmesi gereken evrak işleri tamamlanır (Shaw, 2003).



Şekil 2. Merkez üssü İstanbul olan ekip için iki günlük uçuş dizisi (Shaw, 2003).

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 maliyetler de yer alır. Problemden 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 v.d., 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 en küçük ve en büyük zaman veya uçuş bacakları arasında bekleme zamanının en küçük ve en büyük periyodu belli olabilir. Bunlar, havayolu ekip

çizelgeleme problemlerinde kullanılan kurallardan bazılarının 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 (http-4, 2009; Çetin v.d., 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 v.d., 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 filo 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 aksamlar, eğer değiştirilemezse çizelgeleri uygulanamaz duruma gelebilir. Olası aksamlar, 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 v.d., 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 v.d., 2004; Clausen v.d., 2009).

Beklenmeyen olayların sonucunda operasyonel programın artık uygulanamaz hale gelmesinden sonra, mümkün olan en kısa zaman içerisinde eniyi çizelgeleme şekline karar vermek bir zorluluktur. Havayolunun önceden kararlaştırılmış bir çizelgelemenin yerine yeni bir çizelgemeyi uygulamaya koyması maliyetli olabilir. Bu yüzden, yeni çizelgelemenin belli bir zamandan sonra orijinal çizelgemeye 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 v.d., 2004).

Düzensiz operasyonların yönetilmesinde, uçuş-uçak yeniden çizelgesi ve ekip yeniden çizelgesi ardışık olarak çözülür.

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 v.d., 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 Çizelgeleme

Uçuş-uçak yeniden çizelgelemesinden sonraki adımda yeni uçuş-uçak çizelgelemesi dikkate alınarak, uçuş ekibinin çizelgelemesi revize edilir. Ekip çizelgeleme sürecinin birinci aşamasında uçuş dizileri bütün uçuşları kapsayacak şekilde 2-5 gün arası için oluşturulmuş ve ekip üyelerinin uçuş dizilerine ataması gerçekleştirilmişti. Ekip üyesinin hastalığı ve acil ayrılmalar gibi bazı aksamlar, orijinal ekip çizelgelemesini uygulanamaz duruma getirebilir.

Ekibin yeniden çizelgelemesindeki 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 v.d., 2004; Kohl, 2007).

3. SONUÇ

Türk Sivil Havacılık sektörünün önümüzdeki yıllarda % 5 oranında artarak gelişeceği tahmin edilmektedir. Havayolu sektörü, birçok çizelgeleme ve planlama süreçlerinden oluşmaktadır. Her bir sürecin temel amacı, kar marjlarının çok düşük ve rekabetin çok yoğun olduğu havayolu sektöründe işletme maliyetlerini probleme özel kısıtlar altında en küçükmektir. Bu çalışma ile gelişmekte olan havayolu sektörü için bir kaynak oluşturulmuş ve havayolu sektöründe işletmelerin çözmesi gereken temel operasyonel problemler detaylı olarak incelenmiştir. Bütünleşik olarak çözülen modellerin çözüm sürelerinin büyük ölçekli modellerde karar verici için hala çok uzun olduğu görülmüştür. Çözüm sürelerini en küçükleyecek yeni yöntemlerin geliştirilmesi, karşılaşılan problemlerin daha kısa sürede çözülmesini sağlayarak, işletmelerin maliyetlerinde önemli tasarruflar elde etmesini sağlayacaktır.

4. TEŞEKKÜR

Hakemlerin değerli önerileri için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Abdelghany, K. F., Abdelghany, A.F. and Ekollu, G. 2008. An Integrated Decision Support Tool for Airlines Schedule Recovery During Irregular Operations, *European Journal of Operational Research*. (185), 825-848.
- Airbus, 2007. "Airbus Global Market Forecast 2007-2026".
- Armacost, A, Barnhart, C. and Ware, K. 2002. Composite variable formulations for Express shipment service network design, *Transportation Science*. (36), 1-20.
- Barnhart, C., Boland, N.L., Clarke L.W., Johnson E.L. and Nemhauser, G.L. 1998. Flight String Models for Aircraft Fleeting and Routing, *Transportation Science*. (3), 208-220.
- 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. s. 517-561.
- Bazargan, M. 2004. *Airline Operations and Scheduling*, Ashgate Publishing, Hampshire, İngiltere.
- Bratu, S. and Barnhart, C. 2006. Flight Operations Recovery: New Approaches Considering Passenger Recovery, *Journal of Scheduling*. (9), 279-298.
- Boyd, A. and Kallesen, R. 2004. The science of revenue management when passengers purchase the lowest available fare. *Journal of Revenue and Pricing Management*. (2), 171-177.
- Chang, S.W. 2001. *An Integrated Approach to Flight Scheduling and Fleet Assignment*, Doktora Tezi, Maryland University, A.B.D.
- 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., Stojković, G., Soumis F. and Desrosiers, J. 2001. Benders Decomposition for Simultaneous Aircraft Routing and Crew Scheduling, *Transportation Science*. (35), 375-388.
- 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.
- Daskin, M.S. and Panayotopoulos, N.C. 1989. A lagrangian Relaxation Approach to Assigning Aircraft to routes in Hub and Spoke Networks, *Transportation Science*. (2), 91-99.
- Desaulniers, G., Desrosiers, J. and Dumas, Y. 1997. Daily Aircraft Routing and Scheduling, *Management Science*. (43), 841-855.
- Feo, T.A. and Bard J. F. 1989. Flight Scheduling and Maintenance Base Planning, *Management Science*. (35), 1415-1432.
- Gamache, M., Soumis, F. and Villeneuve, D. 1998. The preferential Bidding System at Air Canada, *Transportation Science*. (32), 246-255.
- Gamache, M., Soumia, F., Marquis, G. and Desrosiers, J. 1999. A Column Generation Approach for Large-scale Aircrew Rostering Problems, *Operatons Research*. (47), 247-263.
- Gopalan, R. and Talluri, K. 1998. The Aircraft Maintenance Routing Problem, *Operations Research*. (46), 260-271.
- Hane, C.A., Barnhart, C., Johnson E.L., Marsten R.E., Nemhauser G.L. and Sigismindi, G. 1995. The Fleet Assignment Problem: Solving A Large Scale Integer Program, *Mathematical Programming*. (70), 211-232.
- <http-1:http://www.shgm.gov.tr/haberhtm/pegasus2.htm>.
- <http-2:http://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/6780062.asp?m=1>.
- [http-3: http://www.thy.com](http-3:http://www.thy.com)
- <http-4: www.shgm.gov.tr/doc3/sht6a50.doc>
- IATA, 2008. International Air Transport Association. "IATA 2008 Annual Report".
- Kabbani, N.M. and Patty B.W. 1992. Aircraft Routing at American Airlines, *Proceeding of the 32nd Annual Symposium of AGIFORDS*, Budapest, Hungary.
- 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.
- Kohl, N. and Karisch, S.E. 2004. Airline Crew Rostering: Problems Types, Modeling, and Optimization, *Annals 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.
- Lee, C.K. 1999. A Computerized Analytical Decision Support system For Evaluating Airline Scheduling Interactions, Doktora Tezi, The Ohio State University. A.B.D.
- Letovsky, L. 1997. Airline Operations Recovery: An Optimization Approach, Doktora Tezi, Georgia Institute of Technology, A.B.D.
- Liu, J. 2003. Solving Real-Life Transportation Scheduling Problems, Doktora Tezi, University of Florida, A.B.D.
- Lohatepanont, M. and Barnhart, C. 2004. Airline Schedule Planning: Integrated Models and Algorithms for Schedule Design and Fleet Assignment, *Transportation Science*. (38), 19-32.
- Orhan, İ. 2007. Uçak Bakım Planlamasının Optimizasyonuna Yönelik Bir Karar Destek Sistemi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi.
- Orhan, İ, Kapanoğlu, M. and Karakoç, T.H. 2007. Flight-Hour Based Optimization for Aircraft Scheduling, *INFORMS*, 369,WD43, A.B.D.
- 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.
- Özdemir, U. 2009 Methodology for Crew-Pairing Problem In Airline Crew A Scheduling, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye.
- Rexing, B., Barnhart, C., Kniker, T., Jarrah, A. and Krishnamurthy, N. 2000. Airline fleet Assignment with time Windows, *Transportation Science*. (34), 1-20.
- Rosenberger, J.M. 2001. Topics in Airline Operations, Doktora Tezi, Georgia Institute of Technology, A.B.D.
- Rushmeier, R. and Kontogiorgis, S. 1997. Advanced in the optimization of airline overbooking problem, *Transportation Science*. (31), 159-169.
- Ryan, D. M. 1992. The solution of massive generalized set partitioning problems in aircrew rostering, *The Journal of the Operational Research Society*. (43), 459-467.
- Sarac, A., Batta, R. and Rump, C.M. 2006. A Branch-and-Price Approach For Operational Aircraft Maintenance Routing, *European Journal of Operational Research*. (175), 1850-1869.
- SHGMY. 2009, 2002'den 2008'e Sivil Havacılık, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Yayınları, No: 13.
- Subramanian, R., Scheff, R.P., Quillinan, J.D., Wiper, D.S. and Marten, R.E. 1994. Coldstart: Fleet Assignment at Delta Airlines, *Interfaces*. 24 (1), 104-120.
- Sriram, C. and Haghani, A. 2003. An Optimization Model For Aircraft Maintenance Scheduling And Re-Assignment, *Transportation Science*. (37), 29-48.
- 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.
- Talluri, K.T. 1998. The Four-day Aircraft Maintenance Routing Problem, *Transportation Science*. (32), 43-53.
- Tekiner, H., Birbil, Ş.İ. and Bülbül, K. 2009. Robust crew pairing for managing extra flights, *Computer Operations Research*. (36), 2031-2048.
- Yan, S. and Tu, Y. 2002. A Network Model for Airline Cabin Crew Scheduling. *European Journal of Operational Research*. (140), 531-540.
- Yu, G. and Thengvall, G. 2002. Airline Optimization, *Handbook of Applied Optimization*, (Ed: Resende P.) Oxford University Press, 2002, New York, Amerika. 689-704.
- Yu, G., Arguello, M., Song, M., McCowan, S. and White, A. 2003. A New Era for Crew Recovery at Continental Airlines, *Interface*. (33), 1-22.