

EKİP ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN KÜME BÖLME MODELİ İLE ÇÖZÜMÜ

Emre İPEKÇİ ÇETİN *

Akdeniz Üniversitesi
İİBF İşletme Bölümü,
Antalya
ecetin@akdeniz.edu.tr

Ayşe KURUÜZÜM

Akdeniz Üniversitesi
İİBF İşletme Bölümü,
Antalya
kuruuzum@akdeniz.edu.tr

Sezgin IRMAK

Akdeniz Üniversitesi
İİBF İşletme Bölümü,
Antalya
sezgin@akdeniz.edu.tr

Geliş Tarihi: 20 Mayıs 2008, Kabul Tarihi: 09 Temmuz 2008

ÖZET

Havayolu taşımacılığında uçuş ekibi maliyetlerinin ekonomik olarak önemli bir paya sahip olması uzun yıllardan beri şirketlerle yöneylem araştırmacılarını ve matematik topluluklarını aynı amaç etrafında bir araya getirmektedir. Üretilen matematiksel modeller ve yazılan bilgisayar programlarındaki temel hedef ekip üyelerinin maliyetini minimize edecek çözümler üretmektir. Ekip planlamanın iki aşamasını oluşturan ve genellikle ayrı olarak ele alınan ekip eşleştirme ve ekip atama problemleri bu çalışmada bütünlük bir yapıda ele alınmıştır. Çalışmada küme bölme modeli formunda ifade edilen ekip eşleştirme probleminin tamsayılı programlama ile çözümü MATLAB bilgisayar programından faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın ikinci kısmını oluşturan ve ekip eşleştirme sonuçlarının girdi olarak kullanıldığı ekip atama problemi yine küme bölme modeline dönüştürülmüş ve tamsayılı programlama yöntemiyle çözümü aranmıştır. Xpress-MP programı yardımıyla elde edilen sonuçlarla, uygulamanın yapıldığı havayolu şirketinin ekip planlama uzmanının gerçekleştirdiği atamalar karşılaştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen atama planıyla maliyetler açısından tasarruflar sağlanabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Havayolu Çizelgeleme, Uçuş Ekibi Çizelgeleme, Küme Bölme Problemi.

THE SOLUTION OF CREW SCHEDULING PROBLEM WITH SET PARTITIONING MODEL

ABSTRACT

Airline crew costs, becoming a major economical element, has been taking attention of both operation researchers and mathematic community and bringing them together with companies to work in cooperation for long years. The proposed mathematical models and computer programs have the aim of cost minimization of crew members. Crew pairing and crew assignment problems, which constitute the two phases of airline crew scheduling and are generally considered separate, are taken as a whole in this study. The airline crew pairing problem expressed in a set partitioning model is first solved by integer programming with MATLAB. In the second part of the application, the results of the crew pairing solutions are used as inputs for the crew assignment, again it's converted to the set partitioning model and solutions are searched with integer programming. The solutions found by using Xpress-MP are compared with the crew assignment of the firm's planning expert, where the study is executed. The solutions of the study propose that cost advantage can be obtained by using the assignment plan developed in this study.

Keywords: Airline Scheduling, Crew Scheduling, Set Partitioning Problem.

1. GİRİŞ

Personel çizelgeleme, işletmelerin mal üretimi ve hizmetlerini sağlayabilmek için personelin çalışma sürelerini planlama sürecidir. Bu sürecin ilk aşaması talep edilen hizmeti sağlayacak şekilde belirli

özellikteki çalışan sayısının belirlenmesini içerir. Çizelgeleme problemi, bir personel çizelgesinde her personelin çalıştığı ya da çalışmadığı günleri gösterir ve günlük personel ihtiyacını karşılayacak gerekli işgücü miktarını sağlar. Amaç, uygun sayıda personeli minimum işgücü maliyeti ile yerleştirmektir [1,2].

* Sorumlu Yazar

Personel çizelgeleme ve atama problemi havayolu, demiryolu ve karayollarında “ekip çizelgeleme” veya “ekip atama” olarak adlandırılır. Bunların çözüm yöntemleri olarak talep modelleme, yapay zeka yaklaşımları, kısıtlı programlama, meta sezgiseller ve matematiksel programlama gibi yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir [1].

Hizmet endüstrilerinde personel çizelgeleme probleminin bazı ayırt edici özellikleri vardır. İlk özellik, talebin kısa vadede çok fazla dalgalanma ve haftanın 7 günü meydana gelme eğiliminde olmasıdır. İkinci bir özellik; insan performansının, hizmetinin stoklanamamasıdır. Üçüncü bir özellik ise müşteri memnuniyetinin önemli olmasıdır. Personel sayısındaki azalmanın, hizmet kalitesini kötüleştirebileceği, uzun bekleme hatları oluşturabileceği ve sonucunda müşteri memnuniyetsizliğine yol açabileceği görülmektedir [2].

Personel atama problemlerinde dağıtım işlemi yapılırken;

- İş kanunlarının emredici hükümleri,
- Yapılacak işin özelliği,
- Fazla mesai ücretinin maliyet yükü,
- Personelin tam zamanlı veya kısmi zamanlı çalışıp çalışmadığı,
- Tam zamanlı çalışan personelin haftada en az çalışma süresi,
- Tam zamanlı çalışan personelin haftalık çalışma sürelerinin eşit (veya eşite yakın) olması
- Personelin özel istekleri,
- İşyeri yönetiminin özel istekleri gibi unsurlar dikkate alınmaktadır [3]. Bu özellikleriyle personel çizelgeleme problemleri birçok kısıtın bir arada ele alınması gerektirmektedir.

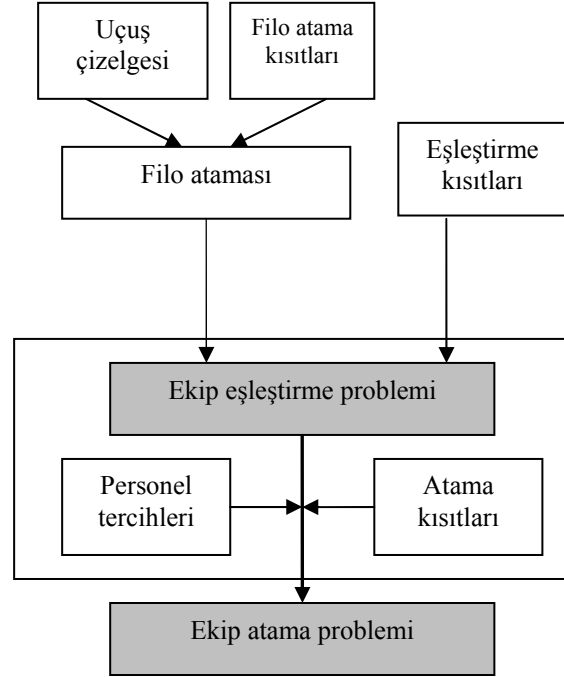
Havayollarında çalışan uçuş ekibi personelinin çizelgelenmesi bu çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Çizelgeleme, tüm yasal kriterleri karşılayarak kurallara, anlaşmalara uygun olarak yapılmalıdır. Düşünülmesi gerekli ana kısıtlar; pilot, kabin görevlileri ve diğer ekip üyeleri ile ilişkili olan uluslararası ve yerel yasal düzenlemeler, sivil havacılık kuralları, iş akdi kuralları, havayolu şirketinin kendi iç düzenlemeleri ve politikaları gibi hususlardır [4,5,6,7,8]. Bu çalışmada, özel bir havayolu şirketinin İzmir merkezli yaz dönemi uçuşlarını dikkate alan çizelgeleme problemi bir haftalık periyot için ele alınmaktadır. Küme bölme modeliyle elde edilen çözüm ile havayolu şirketinin çizelgesinin karşılaştırması yapılarak maliyetler açısından değerlendirilmektedir.

2. HAVAYOLU ÇİZELGELEME

Havayollarında uçakların ve ekiplerin planlanması ve çizelgelenmesi karışık ve zor olduğu için ayrı planlama adımlarına bölünmektedir. Bir adımdan elde edilen sonuçlar diğer bir adımın verilerini oluşturmaktadır. Genellikle her bir adım farklı bir

departman tarafından yapılarak bütünsel olarak işbirliği içinde bulunmaktadır. Adımlardan birinde yapılan bir düzeltme ya da değişiklik diğer adımları da etkilemektedir [9].

Uçuş ekibi çizelgelemenin havayolu çizelgeleme planı içindeki yeri Şekil 1’de görülmektedir [4,10,11].



Şekil 1. Havayolu ekip planlamanın çizelgeleme içindeki yeri

Havayolu çizelge planlamanın başlangıç noktası havayolunun basılmış uçuş çizelgesidir. Bu aşamada belirlenen periyotta hangi uçuşların uçulacağına karar verilir. Amaç pazarlama departmanının taleplerinin göz önüne alındığı, hangi şehirlere ne zaman uçulacağını gösteren planın yapılmasıdır. Bu çizelgede uçuşların kalkış yeri, varış yeri ve zamanları gibi bilgiler yer almaktadır [9,12,13].

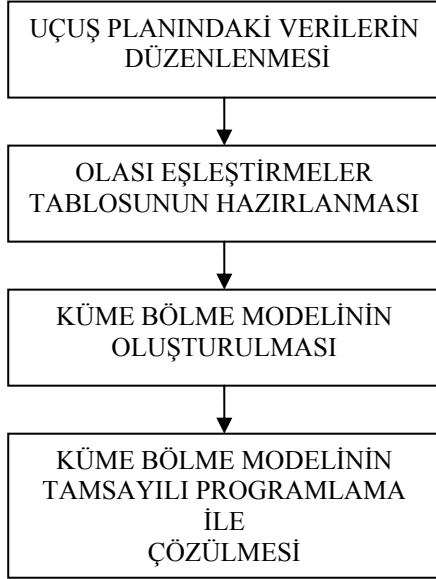
İkinci aşama olan filo ataması, bir önceki adımda belirlenmiş olan plana uygun uçak tipinin atanmasıdır. Burada potansiyel müşteri sayısı ile uçağın koltuk sayısı arasındaki farkı minimize edecek atamanın yapılması gerekmektedir [9,12,13,14]. Bundan sonraki aşama uçuş ekibinin çizelgelenmesi aşamasıdır.

Uçuş ekibi çizelgeleme probleminin çözümünde, ilk olarak uçuşların eşleştirilmesi yapılmaktadır. Burada minimum maliyetli eşleştirmelerin bulunarak tüm uçuşların kapsanması problemi üzerinde durulmaktadır. Ekip eşleştirme, aynı hava üssünde başlayıp biten ve yasal kuralları dikkate alan uçuşlar dizisidir. İkinci aşamada, ekip üyelerinin uçuş çizelgelerinin oluşturulduğu ekip atama problemi yer almaktadır. Bu aşamada personel tercihleri ile atama kısıtları dikkate alınarak eşlenen uçuşlara ekiplerin

ataması yapılmakta ve boş zamanları belirlenmektedir [15]. Böylece her bir ekip üyesinin çalışma güzergâhı düzenlenmiş olur.

3. EKİP EŞLEŞTİRME PROBLEMİ

Çalışmada ilk olarak ekip eşleştirme problemi, daha sonra ekip atama probleminin küme bölme modeli yardımıyla tam sayılı programlama kullanılarak elde edilen çözümü üzerinde durulmaktadır. Havayolu ekip eşleştirme probleminin uygulanma sürecinde izlenen adımlar aşağıdaki akış şemasında özetlenmektedir.



Şekil 2. Eşleştirme problemi çözümünün akış şeması

Ekip çizelgeleme probleminin çözümünde özel bir havayolu şirketinin 2007 yılı yaz dönemine ait İzmir merkezli yurtiçi ve yurtdışı uçuşları göz önüne alınmıştır. Havayolu şirketinin İzmir merkezli uçuş noktaları Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 3. Havayolu şirketinin İzmir merkezli uçuşları

İzmir’den başlayan her uçuş ayağının yine İzmir’de sonlanacağı göz önüne alınarak, haftalık 178 adet uçuştan 89 adet uçuş çifti oluşturulmuştur. Oluşturulan uçuş çiftlerinden 1. gün içerisinde yer

alan 13 tanesi bir örnek teşkil etmesi bakımından Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Uçuş bilgilerinden elde edilen uçuş çiftleri

UN	KY	KS	VS	VY ve KY	KS	VS	VY
1	ADB	6:45	8:25	GZT	8:55	10:45	ADB
2	ADB	7:00	8:55	TZX	9:25	11:30	ADB
3	ADB	7:30	9:30	ERZ	10:00	12:15	ADB
4	ADB	8:15	9:15	AYT	9:45	10:45	ADB
5	ADB	11:50	14:10	FRA	15:20	19:25	ADB
6	ADB	12:15	14:05	DIY	14:35	16:40	ADB
7	ADB	12:45	14:55	VAN	15:25	17:40	ADB
8	ADB	17:10	18:45	ASR	19:15	20:55	ADB
9	ADB	18:25	19:25	AYT	19:55	20:55	ADB
10	ADB	19:00	21:10	STR	22:00	2:00	ADB
11	ADB	20:10	21:35	ADA	22:10	23:45	ADB
12	ADB	21:40	0:10	CGN	1:10	5:20	ADB
13	ADB	21:40	0:10	HAY	1:20	5:30	ADB

UN: Uçuş no, KY: Kalkış yeri, KS: Kalkış saati, VY: Varış yeri, VS: Varış saati bilgilerini göstermektedir.

Problemin çözümüne geçmeden önce küme bölme modeli ile ilgili bilgi aşağıda kısaca anlatılmaktadır.

3.1. Küme Bölme Modeli

Kesikli optimizasyon problemlerinin büyük bir sınıfını tamsayılı programlama problemleri oluşturmaktadır. 0-1 tamsayılı programlama problemlerinin bir sınıfını da küme örtüleme ve küme bölme problemleri oluşturmaktadır. Bu problemler kombinatoriyel problemlerin en bilinenlerindendir ve çizelgelemede, yerleşimde, rotalamada ve diğer birçok alanda önemli uygulamalara sahiptirler.

Küme bölme problemlerinin bilinen en iyi uygulaması ekip çizelgelemedir. Bu formülasyonda her bir satır ($i=1, \dots, m$) uçulması gereken bir uçuş ayağını, sütunlar ($j=1, \dots, n$) ise ekipler için uygun rotasyonları gösterir. Amaç, toplam eşleme maliyetini minimize etmektir ve kısıtlar tüm uçuşların sadece bir kez kapsandığını garanti etmektedir. Küme bölme problemi aşağıdaki şekilde formüle edilir [18].

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \quad & \sum_{j=1}^n c_j x_j \\
 & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = 1 \quad i=1,2,\dots,m \\
 & x_j = 0 \text{ veya } x_j = 1 \quad j=1,2,\dots,n
 \end{aligned}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{i. uçuş ayağı, j. eşleşme tarafından} \\ & \text{kapsanıyorsa,} \\ 0, & \text{kapsanmıyorsa} \end{cases}$$

c_j : j. eşleşmenin maliyetini
 n : üretilen eşleşme sayısını
 m : kapsanacak uçuş ayağı sayısını göstermektedir.
 $m \times n$ boyutunda olan $A=(a_{ij})$ matrisi 0 ve 1 değerlerinden oluşan bir matristir. i. eleman j. altküme içinde yer alıyorsa $a_{ij}=1$, diğer durumlarda $a_{ij}=0$ değerini alır. C, $1 \times n$ boyutunda olup pozitif katsayılarından oluşan bir vektördür. Bu katsayılar, küme bölme probleminin uygulanacağı ana küme içinden önceden belirlenen olası bütün alt kümelerin (n tane) oluşum maliyetleridir. X, x_j değişkenlerinden oluşan $n \times 1$ boyutunda bir vektördür. j. alt küme optimum çözüm içinde yer alacak alt kümelerden biri ise $x_j=1$, diğer durumlarda $x_j=0$ değerini alır [19].

3.2. Eşleştirme Probleminin Küme Bölme Modeli ile Gösterimi

Çalışmada küme bölme modelinin girdisini oluşturacak olası eşleştirmeler oluşturulurken düşünülmesi gerekli ana kısıtlar Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı göz önüne alındığında aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Eşleştirme aynı hava üssünde başlayıp bitmelidir.
2. İki uçuş ayağı arasındaki bekleme süresi en az 30 dakika olmalıdır.
3. 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.
4. 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.
5. 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.

Uçuş Görev Süresi (UGS); 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 süredir. Oluşturulan her bir uçuş görevi (UGS), uçuşun programlandığı zamandan bir saat önce ve bir uçuş veya seri 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.

Belirtilen kısıtlar dikkate alınarak mevcut problem için uçuşlara ait olası tüm eşleştirmeler Visual Basic’le programlama yapılarak bulunmuş, 172 olası eşleştirme hesaplanarak Excel’e yazdırılmıştır. Elde edilen olası eşleştirmeler küme bölme modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Birinci günkü 13 uçuşa ait oluşan 27 adet olası eşleşme bir örnek teşkil etmesi amacıyla Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Olası eşleşmeler tablosu

EN	GÜN	UN	BS	UN	US	UGS
1	1	1			3:30	5:30
2	1	1	1:30	6	7:25	11:25
3	1	1	2:00	7	7:55	12:25
4	1	2			4:00	6:00
5	1	2	0:45	6	7:55	11:10
6	1	2	1:15	7	8:25	12:10
7	1	3			4:15	6:15
8	1	3	0:30	7	8:40	11:40
9	1	4			2:00	4:00
10	1	4	1:05	5	8:25	12:40
11	1	4	1:30	6	5:55	9:55
12	1	4	2:00	7	6:25	10:55
13	1	5			6:25	9:05
14	1	5	0:45	11	9:25	13:25
15	1	6			3:55	5:55
16	1	6	0:30	8	7:10	10:10
17	1	6	1:45	9	5:55	10:10
18	1	6	3:30	11	6:55	13:00
19	1	7			4:25	6:25
20	1	7	0:45	9	6:25	9:40
21	1	7	2:30	11	7:25	12:30
22	1	8			3:15	5:15
23	1	9			2:00	4:00
24	1	10			6:10	8:30
25	1	11			3:00	5:05
26	1	12			6:40	9:10
27	1	13			6:40	9:20

EN: Eşleşme no, UN: Uçuş no, BS: Bekleme süresi, US: Uçuş süresi, UGS: Uçuş görev süresi bilgilerini göstermektedir.

Toplam 89 uçuş çiftine ait tüm olası eşleştirmeler dikkate alındığında 172 değişken ve 89 kısıttan oluşan bir küme bölme modeli oluşmuştur. Modelde her bir kısıt her bir uçuşun kapsandığı olası eşleştirmeleri göstermektedir. Örneğin 1. kısıt, 1 numaralı uçuşun (yani 1. gün ADB-GZT-ADB 06:45-10:45 uçuşunun) olası eşleşmeler tablosundaki (bkz. Tablo 2) 1. 2. ve 3. olasılıkta (EN) mevcut olduğunu göstermektedir.

$X_1+X_2+X_3=1$ (1. gün ADB-GZT-ADB 06:45-10:45 uçuşunu kapsayan olası eşleştirmeler)

$X_4+X_5+X_6=1$ (1.gün ADB-TZX-ADB 07:00-11:30 uçuşunu kapsayan olası eşleştirmeler)

$X_7+X_8=1$ (1.gün ADB-ERZ-ADB 07:30-12:15 uçuşunu kapsayan olası eşleştirmeler)

$X_{172} = 1$ (7. gün ADB-CGN-ADB 21.40-05.20 uçuşunu kapsayan olası eşleştirmeler)
Bir örnek oluşturması için X_1, X_2, X_3 eşleştirmeleri ve bu eşleştirmelerdeki uçuş süreleri ile uçuş görev süreleri aşağıda gösterilmektedir.

X_1 : ADB-GZT-ADB 6:45-10:45 US:3.30 UGS: 5.30

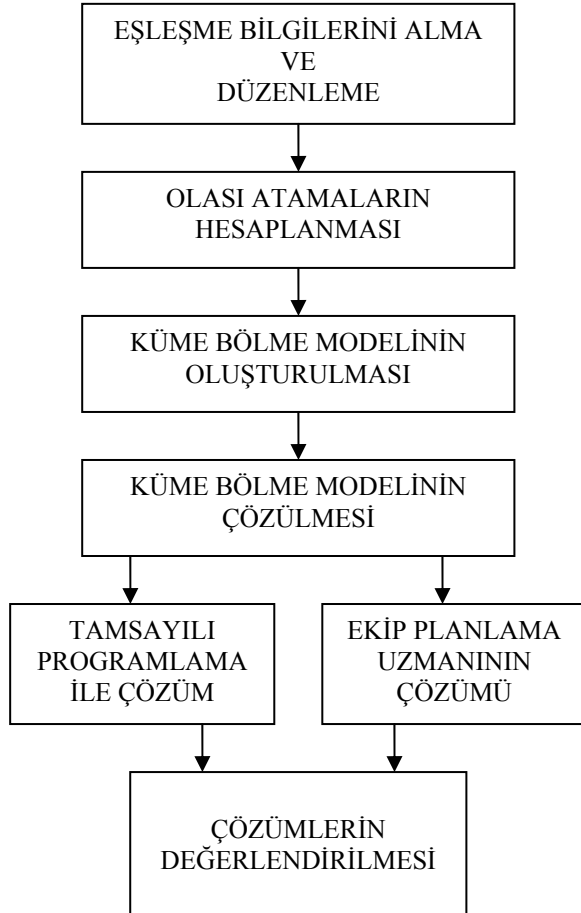
X_2 : ADB-GZT-ZDB 6:45-10:45 ile ADB-DIY-ADB 12:15-16:45 eşleştirmesi US: 7.25 UGS: 11.25

X_3 : ADB-GZT-ZDB 6:45-10:45 ile ADB-VAN-ADB 12:45-17:40 eşleştirmesi US: 7.55 UGS: 12.25

Modelde amaç eşleşme sayısının minimize edilmesi olduğundan amaç fonksiyonu katsayılarının her biri 1 olarak alınmıştır. Problemin tamsayı çözümü MATLAB bilgisayar programı yardımıyla bulunmuş ve 66 eşleştirme ile tüm uçuşların kapsanabileceği görülmüştür.

4. EKİP ATAMA PROBLEMİ

Ekip çizelgeleme sürecinin ekip atama kısmında oluşan 66 eşleşmeyi gerçekleştirebilecek uçuş ekibinin görev çizelgelerinin belirlenmesi gündeme gelmektedir. Bununla ilgili çözümün akış şeması Şekil 4.'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Atama problemi çözümünün akış şeması

Ekip atama probleminin çözülebilmesi için girdi olarak uygulamanın ilk kısmında elde edilen eşleştirmelere ihtiyacı vardır. Buradan alınan veriler düzenlenerek atama probleminin küme bölme modelinde kullanılacak olası atamaların belirlenmesinde kullanılır. Bu aşamada tamsayı programlama ile çözülen İzmir merkezli 66 adet eşleştirmenin bulunduğu optimal çözüm başlangıç verisi olarak alınmıştır.

4.1. Olası Atamaların Hesaplanması

Veriler düzenlendikten sonraki aşama küme bölme modelinin girdisini oluşturacak olası atamaların hesaplanmasıdır. Uçuş ekibi ataması problemi Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı'nda belirtilen ve havayolu şirketleri tarafından uyulması gereken kısıtlar açısından ekip eşleştirme problemine kıyasla daha büyük ve karmaşık bir problemidir. Ekip üyesinin atanmasında dinlenme süresi, azami uçuş süresi ve asgari boş süre olmak üzere üç farklı kısıt vardır.

4.1.1. Dinlenme Süresi Kısıtları

Uçucu ekiplerin dinlenmesi için iki görev arasının bir dinlenme süresi ile bölünmesi gereklidir. Dinlenme süresinin uzunluğu görevin süresine bağlıdır, görev süresi uzadıkça verilmesi gereken dinlenme süresi de uzar. Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı'nda belirtilen dinlenme süreleri kısıtı aşağıdaki gibidir:

1. Bir ekip üyesinin uçuş görev süresi 14 saati geçmemelidir.
2. Bir ekip üyesinin bir önceki uçuş görev süresi 6 saate kadar ise en az 8 saat, 11 saate kadar ise en az 10 saat, 11 saatten daha fazla ise en az 12 saat ve 12-14 saat arası ise en az 14 saat dinlenmesi gerekmektedir.

4.1.2. Azami Süre Kısıtları

Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı'na göre bir ekip üyesinin haftalık uçuş görev süresi (UGS) en fazla 56 saat ve uçuş süresi (US) en fazla 36 saat olabilir.

4.1.3. Boş Süre Kısıtları

Uçucu Ekip Uçuş Görev ve Dinlenme Süreleri ile Uygulama Esasları Talimatı'na göre ekiplere dinlenme süreleri dışında haftalık 1 gün asgari boş süre verilmelidir.

Tüm kısıtlar bir arada ele alınarak olası atamaların kombinasyonları Visual Basic'te yazılan bir program yardımıyla ACCESS veri tabanına yazdırılmıştır. Böylece bir ekip için bir haftalık dönemde atama yapılabilecek tüm rotasyonların oluşturulması sağlanmıştır. Tüm olasılıklar göz önüne alındığında

toplam 709587 tane olası rotasyon elde edilmiştir. Bu rotasyonlar arasından uçuş görev süresi 45'in üzerinde olan olasılıklar dikkate alınarak 216970 değişkenden oluşan bir veri seti elde edilmiştir. Elde edilen 216970 rotasyondan 1. eşleştirmeyi kapsayanlar modelin birinci kısıtını, 2. eşleştirmeyi kapsayanlar modelin ikinci kısıtını vb. oluşturacak şekilde küme bölme modeli formuna dönüştürülmüştür. Böylece 66 kısıt ve 216970 değişkenden oluşan bir tamsayılı programlama modeli elde edilmiştir. Amaç fonksiyonu oluşturulurken ekip sayısını minimize edecek şekilde her bir rotasyonun katsayısı 1 olarak alınmıştır. Xpress-MP programından faydalanılarak toplam 12 atamayla tüm olası rotasyonların kapsanabileceği görülmüştür.

Elde edilen eşleşmelere bağlı olarak yapılan ekip atamaları Tablo 3'de, şirketin ekip planlama uzmanı tarafından yapılan atamalar Tablo 4.'de görülmektedir. " / " işaretiyle günler birbirinden ayrılmakta, numaralar, uçuş çiftleri tablosundaki uçuş numaralarını simgelemektedir. Örneğin 14 numaralı uçuş, 2. günkü ADB-TZX-ADB 07.00-11.30 uçuşunu ifade etmektedir. BOŞ yazan yerlerde ekip üyeleri haftalık kullanmaları gereken serbest günlerini kullanmaktadırlar. Her bir ekibin uçacağı uçuş süresi (US) ve uçuş görev süreleri (UGS) de Tablo 3 ve Tablo 4'de görülmektedir.

Tablo 3. Ekiplerin bir haftalık çalışma çizelgesi

1.Ekip	BOŞ / 14 / 28-33 / 42 / 55 / 67-41 / 82-85 US: 34.40 UGS:55.45
2.Ekip	BOŞ / 15-21 / 31 / 40 / 54 / 66 / 77-83 US: 30:55 UGS: 52:55
3. Ekip	5-11 / BOŞ / 29 / 49 / 59 / 72 / 86 US: 33:15 UGS: 48:00
4.Ekip	2 / 16-20 / BOŞ / 50 / 62 / 74 / - US: 33:40 UGS: 46:55
5.Ekip	4 / 17 / BOŞ / 43-44 / 57 / 67 / 84-88 US: 30:05 UGS: 46:25
6.Ekip	8 / 18-25 / BOŞ / 46-51 / 63 / - / 79 US: 32:15 UGS: 46:30
7.Ekip	1 / 19-23 / 32-37 / BOŞ / 60 / 76 / 87 US: 35:15 UGS: 52:20
8.Ekip	13 / - / 30-34 / BOŞ / 56-61 / - / 80-81 US: 34:35 UGS: 49:20
9.Ekip	12 / 26 / 36 / 45-47 / BOŞ / 65-70 / 78 US: 35:55 UGS: 54:15
10.Ekip	10 / 22 / 38 / 48 / - / BOŞ / 89 US: 34:25 UGS: 46:30
11.Ekip	3-7 / 24 / 39 / - / 52-58 / 69-73 / BOŞ US: 35:20 UGS: 52:15
12.Ekip	6-9 / 27 / 35 / 41 / 53 / 68-75 / BOŞ US: 31:25 UGS: 53:10

Tablo 4'de havayolu şirketinin ekip planlama uzmanının 15 ekiplik atamayla çözüme gittiği görülmektedir.

Tablo 4. Ekip planlama uzmanının yaptığı haftalık çizelge

1.Ekip	BOŞ / 14-19 / 28 / 40 / 55 / 64 / 79 US: 29.15 UGS:42.55
2.Ekip	2 / 16 / 29 / 41 / 54 / BOŞ / 87 US: 23:05 UGS: 40:05
3. Ekip	BOŞ / 17-18 / 35 / 46 / 60 / - / 77 US: 23:20 UGS: 35:55
4.Ekip	4-5 / BOŞ / 33 / 47 / 61 / - / 80-81 US:25:45 UGS: 40:20
5.Ekip	6 / 20 / 37 / 48 / - / 65 / BOŞ US: 25:10 UGS: 36:00
6.Ekip	7-9 / 24 / 36 / - / BOŞ / 66-69 / 86 US: 33:20 UGS: 46:45
7.Ekip	8 / 22 / 34 / BOŞ / 52 / 67-68 / 82-84 US: 34:00 UGS: 49:40
8.Ekip	10 / 25 / 38 / - / 56 / 71 / BOŞ US: 26:15 UGS: 37:50
9.Ekip	11 / 26 / 39 / - / 57 / 70-73 / BOŞ US: 28:50 UGS: 41:50
10.Ekip	12 / 27 / - / 50 / 63 / - / BOŞ US: 26:40 UGS: 36:50
11.Ekip	13 / - / 30 / 42-45 / - / BOŞ / 78 US: 22:10 UGS: 35:15
12.Ekip	BOŞ / 15 / 31 / - / 58-59 / 72 / - US: 22:45 UGS: 37:40
13.Ekip	BOŞ / 23 / 32 / 51 / 62 / 76 / 88 US: 32:25 UGS: 46:45
14.Ekip	1 / 21 / BOŞ / 49 / - / 75 / 89 US: 21:30 UGS: 32:05
15.Ekip	3 / - / BOŞ / 43-44 / 53 / 74 / 83-85 US: 27:15 UGS: 41:00

5. SONUÇ

Bu çalışmada uçuş ekibi planlanmasında tam sayılı programlama ile çözüm üzerinde durulmuştur. Havayolu ekip planlama problemi için özel bir havayolu şirketinin 2007 yaz dönemi uçuş verilerinden faydalanılmıştır. Öncelikle yurtiçi ve yurtdışı toplam 178 uçuş 89 uçuş çiftine dönüştürülmüştür. Ekip planlama probleminin iki aşamasını oluşturan ve genellikle ayrı problemler olarak ele alınan ekip eşleştirme ve ekip atama problemleri bu çalışmada bütünlük bir yapıda ele alınmıştır

Atama problemi havayolu şirketinin ekip planlama uzmanı tarafından gerçekleştirildiğinde, bir haftalık dönem için İzmir merkezli toplam 89 uçuş çiftine 15 ekiple atama gerçekleştirildiği, mevcut çalışmayla elde edilen 66 eşleşmeye ise 12 ekibin atanmasının yeterli olduğu görülmüştür. Her ekipte 1 pilot, 1 pilot yardımcısı, 1 kabin amiri, 1 kıdemli hostes, 2 de normal hostes olduğu düşünüldüğünde haftalık bir planda 3 ekibin yani 18 ekip üyesinin maliyetinden tasarruf edilebileceği söylenebilir. Havayolu şirketinin bu ekip üyelerini bünyesinde tutmaya devam etmek istemesi durumunda ekip üyesi başına düşen uçuş

süresinde düşüş olacak, bunun da ekip üyelerinin yaşam kalitesini ve memnuniyetini arttırmakla sonuçlanabileceği düşünülmektedir.

Havayolu şirketlerinde akaryakıt maliyetlerinden sonraki en önemli maliyet kalemini uçuş ekibi maliyetleri oluşturmaktadır. Özellikle büyük havayolu şirketlerinin ufak bir iyileştirme ile bile önemli büyüklükte tasarruflar sağladığı görülmektedir. Bu özelliği itibariyle havayolu şirketleri havayolu ekip planlama problemine oldukça özen göstermektedir. Bu yönüyle ekip planlama problemi yöneylem araştırmacıları ve matematik topluluklarının dikkatini çekmekte ve bu yönde çözümler üretebilmek için matematiksel modeller yardımıyla uzun yıllardır çalışmalar yapılmaktadır.

Çalışmada bazı sınırlılıklarının olduğu da belirtilmelidir. Ekip planlama probleminin çözümünde sadece 1 haftalık periyodun alınmasının, çalışmanın sınırlılıklarından birini oluşturduğu söylenebilir. Periyot uzadıkça problemin de büyüyeceği ve çözümün güçleşeceği aşikardır. Atamaların yapılmasında personel tercihleri gözardı edilmiştir. Personelin tercihleri ve anlık değişimler göz önüne alındığında problem daha da karmaşık bir hale dönüşecektir. Literatürde de bu nedenle ekip atama kısmında genellikle sınırlı sayıda personelin çalıştığı durumlar ve sınırlı sayıda personel talebi göz önüne alınmıştır. Bu durumda tek amaçlı çözümler yerine çok amaçlı çözümlerin denenmesi gündeme gelebilir.

Çizelgeleme yapılırken her bir ekip üyesinin nitelikleri ve önceki dönemdeki atamaları, her bir personelin dinlenmesi gereken zaman aralıkları maksimum uçabileceği uçuş saati gibi kısıtlar dikkate alınmalıdır [7]. Ekip atamada maliyetlerin minimizasyonunun yanı sıra ekip üyeleri için yaşam kalitesi de önem kazanmaktadır. Amaç; etkin maliyet ve ekip memnuniyetinin birlikte iyileştirilmesidir

6. KAYNAKLAR

- [1] Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M. and Sier, D., "Staff Scheduling and Rostering: A Review of Applications", *Methods and Models*, 153: 3-27, 2004.
- [2] Sarucan, A., "Bir Raylı Ulaşım Sisteminde Personel Çizelgeleme Problemine Bütünleşik Yaklaşım", Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 1999.
- [3] Güngör, İ., "İşgücü Maliyetlerinin Minimizasyonu, Vardiya Planlaması, Modeller, Algoritmalar ve Uygulamalar", Asil Yayın Dağıtım, 2005.
- [4] İpekçi Çetin, E., Uçuş Ekibi Planlamada Genetik Algoritmalar Yönteminin Kullanılması, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 2008.
- [5] Ulucan, A. ve Eryiğit, M., "Hava Taşımacılığı Planlamasında Yöneylem Araştırması Modellerinin Kullanımı", Ankara Üniversitesi SBF Dergisi, 59(4): 227-248, 2004.
- [6] Barnhart, C. and Shenoi, R.G., "An Approximate Model and Solution Approach for The Long-Haul Crew Pairing Problem", *Transportation Science*, 32(3): 221-231, 1998.
- [7] Stojkovic, M., Soumis, F. and Desrosiers, J., "The Operational Airline Crew Scheduling Problem", *Transportation Science*, 32(3): 232-245, 1998.
- [8] Day, P.R. and Ryan, D.M., "Flight Attendant Rostering for Short-Haul Airline Operations", *Operations Research*, 45(5): 649-661, 1997.
- [9] Şenöz, Ç. "Sivil Havacılık Sektöründeki Küçük İşletmeler İçin Filo Atama Ve Tayfa Eşleştirme Modellerinin Birleştirilerek Uygulanması", Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [10] Kerati, S., Moudani, W.E., Coligny, M.D. and Mora-Camino, F., "A Heuristic Genetic Algorithm Approach For The Airline Crew Scheduling Problem", Workshop on Multiple Objective Metaheuristics, Paris, 2002.
- [11] Moudani, El. W., Cosenza, C.A.N. and Mora-Camino, F., "An Intelligent Approach for Solving the Airline Crew Rostering Problem", Computer Systems and Applications, ACS/IEEE International Conference, 2001.
- [12] Gopalakrishnan, B. and Johnson, E.L., "Airline Crew Scheduling: State of The Art", *Annals of Operations Research*, 140: 305-337, 2005.
- [13] Lohatepanont, M. and Barnhart, C., "Airline Schedule Planning: Integrated Models and Algorithms for Schedule Design and Fleet Assignment", *Transportation Science*, 38(1): 19-32, 2004.
- [14] Gopalan, R. and Talluri, K.T., "Mathematical Models In Airline Schedule Planning: A Survey", *Annals of Operations Research*, 76: 155-185, 1998.
- [15] Gamache, M., Soumis, F., Marquis, G. and Desrosiers, J., "A Column Generation Approach For Large-Scale Air Crew Rostering Problems", *Operations Research*, 47(2): 247-263, 1999.
- [16] Chu, P.C. and Beasley, A., "A Genetic Algorithm for The Set Partitioning Problem", Technical Report, Imperial College, The Management School, London, England, 1995. <http://citeseer.ist.psu.edu/chu95genetic.html> (erişim tarihi 13.11.2006)

[17] Güngör, İ. ve Eroğlu A., “Küme Örtüleme Problemi ve Bir Uygulama”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2: 377-386, 1997.

ÖZGEÇMİŞLER

Dr.Emre İPEKÇİ ÇETİN

Akdeniz Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü’nden 1998 yılında mezun oldu. 2002 yılında Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme ABD’da yüksek lisans eğitimini, 2008 yılında doktora eğitimini tamamladı. Yöneylem araştırması, araştırma yöntemleri, genetik algoritmalar ve matematiksel modelleme konuları ile ilgilenmektedir.

Prof.Dr. Ayşe KURUÜZÜM

İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Bölümünden 1978 yılında mezun oldu. 1981 yılında İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesinde yüksek lisans, 1985 yılında doktora eğitimini tamamladı. Yöneylem araştırması, araştırma yöntemleri, karar destek modelleri konuları ile ilgilenmektedir. Halen Akdeniz Üniversitesi İİBF İşletme ABD’da öğretim üyesi olarak görevini sürdürmektedir.

Arş.Gör. Sezgin IRMAK

Marmara Üniversitesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümünden 2000 yılında mezun oldu. Akdeniz Üniversitesi İşletme Yüksek Lisans eğitimini 2004 yılında tamamladı ve halen aynı Anabilim Dalında doktorasına devam etmektedir. Sayısal araştırma yöntemleri, öğrenen algoritmalar ve veri madenciliği konuları ile ilgilenmektedir. Halen Akdeniz Üniversitesi İİBF İşletme ABD’da öğretim elemanı olarak görevini sürdürmektedir.