

## ATATÜRK HAVALİMANI DIŞ HATLAR TERMİNALİNDE KONTUAR ATAMALARI İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

*Abdullah TAŞKINCAN, Erkin BAYRAKÇI, Onur BABAT, Selim YÜKSEL, Özden Onur DALGIÇ, Ayşegül ALTIN\*, Hakan GÜLTEKİN*

*TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06560 Söğütözü, Ankara*

### ÖZET

TAV Havalimanları Holding A.Ş., işletmeciliğini yaptığı Atatürk Havalimanı'ndaki hava yolu şirketlerinin beklentileri ve kendi beklentileri doğrultusunda dış hatlar terminalindeki check-in kontuarlarının kullanımı ve uçuşlara tahsisi ile ilgili mevcut kontuar atamalarının manuel olarak yapılmasından kaynaklanan sorunlar yaşamaktadır. Öncelikle belirlenen problem ile ilgili literatür taraması yapılmış ve benzer araştırmalar incelenerek hangi varsayımlar altında hangi problemlerin çalışıldığı araştırılmıştır. Daha sonra problemin matematiksel modeli kurulmuş ve özgün bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Geçmiş uçuş verileri kullanılarak algoritma test edilmiş ve elde edilen sonuçlar firmada uygulanan sistemin verdiği sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Baz alınan performans ölçütlerine göre; tüm gün için kontuar doluluk oranlarında ortalama %21,5 ve günün yoğun saatleri olan 11:00 – 14:00 saatlerinde ise ortalama %50 oranında iyileştirmeler sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kontuar atama, matematiksel modelleme, sezgisel yöntemler

### DESIGN OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR COUNTER ASSIGNMENT IN THE INTERNATIONAL FLIGHTS TERMINAL OF ISTANBUL ATATURK AIRPORT

#### ABSTRACT

TAV Airports Holding Company, operator of the İstanbul Ataturk Airport, was having difficulties with the usage and the allocation of check-in counters in the International Terminal of the Ataturk Airport. The current check-in counter assignment system was unable to satisfy expectations of both TAV and the airline companies using these counters. In order to solve this problem, first relevant literature is reviewed. Then, the mathematical model of the problem is developed and a novel heuristic algorithm is developed. Using the flight data of various past weeks, the developed algorithm is tested. The attained results are compared with the results of the existing system. According to these results, the developed algorithm improved all-day utilization rate of counters by 21.5% and the rush-hour (11:00 - 14:00 time interval) utilization rate by 50%.

**Keywords:** Check-in counter assignment, mathematical modelling, heuristic methods

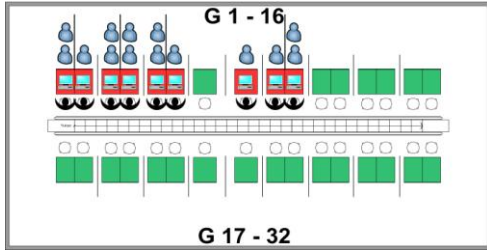
---

\* İletişim yazarı, aaltin@etu.edu.tr

Sakarya Üniversitesi tarafından düzenlenen 31. Yöneyim Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Proje Yarışması'nda birincilik ödülü kazanan çalışmanın ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

## 1. GİRİŞ

Check-in kontuarları, havalimanı içerisinde bagaj alım ve bilet onaylama işleminin yapıldığı bölümlerdir. Atatürk Havalimanı dış hatlar terminalinde kontuarlar ada şeklinde konumlandırılmıştır. Adaların her bir yüzünde 16 adet olmak üzere, bir adada toplam 32 adet kontuar bulunmaktadır. Toplam ada sayısı ise yedidir. Adanın yapısı ve kontuarların örnek yerleşimi Şekil 1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. G Adası İçin Kontuarların Yerleşimi

Havaalanlarında kullanılan check-in kontuarları, atanma ve kullanım kurallarına göre iki gruba ayrılmaktadır. Bunlardan ilki belirli bir hava yolu firmasının sürekli kullanımına tahsis edilen ve sadece ilgili firma tarafından kullanılabilen kontuarlar, diğeri ise ortak kullanılan check-in kontuarlarıdır. Ortak kullanımda; kontuarlar gün içerisinde sabit bir hava yoluna verilmeyip uçuşu bulunan hava yolu firmalarına istedikleri zaman aralıkları için tahsis edilmektedirler. Kontuarların tahsisi tarifeli uçuşların altı aylık uçuş bilgileri doğrultusunda belirlenmektedir. Bu işlem uzun dönem kontuar atamaları olarak adlandırılmaktadır.

Bu çalışmada, tarifeli uçuş seferleri olan hava yolu firmalarının kontuar atamaları altı aylık dönem için planlanmış; uçuşları tarifeli olmayan firmalar için yapılacak olan kısa dönem atamaları ise bu uzun dönemli plana entegre edilmiştir. Proje sonucunda elde edilen çıktı, mevcut atama sistemi için bir karar destek sistemi ve bu sistem içerisindeki algoritmaya bağlı olarak çalışan bir kullanıcı arayüzüdür.

Hava yolu firmalarının büyümesi ve uçuş sayılarının artması, bu firmalara sabit kontuarlar vermeyi zorlaştırmıştır. Birçok hava yolu firması günün farklı saatlerinde ortak kullanım kontuarlarından fayda-

lanmaktadır. Atatürk Havalimanı'nda sadece THY, Lufthansa, Atlas Jet, KLM ve Air France uçuşlarına kontuarlar sabit olarak atanmaktadır.

Problemin atama aşaması farklı havalimanı işletmelerinin prensiplerine göre değişiklik göstermektedir. Bunun sonucunda atama işlemi iki ayrı aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, belirli bir performans ölçütü dâhilinde her uçuş için gerekli kontuar sayısı belirlenmektedir. İkinci aşamada ise birinci aşamada elde edilen sonuçlara göre ilgili uçuşlara kontuarların atanması yapılmaktadır. TAV'ın prensipleri doğrultusunda her uçuş için gerekli kontuar sayısı hava yolu şirketlerinin isteğine göre belirlenmektedir. Bu sebeple birinci aşama proje kapsamının dışında kalmaktadır.

## 2. FİRMA TANITIMI

Giderek artan iş hacmi ve gerçekleştirdiği başarılı projeler sayesinde uluslararası bilinirliğe kavuşan TAV Havalimanları Holding A.Ş., vizyonunu, havalimanı işletmeciliği konusunda Türkiye, Doğu Avrupa, Kafkaslar, Ortadoğu ve Kuzey Afrika'nın en bilinen markası olma hedefine ulaşmak olarak belirlemiştir. Yolcuların uçağa biniş ve uçaktan iniş sürecinde havalimanında geçirecekleri zamanda kendilerini güvende ve konforlu hissetmelerini sağlamak, ülkemize giriş kapısı olan havalimanlarında ülkemizi en iyi şekilde temsil etmek TAV Havalimanları Holding A.Ş.'nin misyonudur.

### 2.1 Sektördeki Önemi ve Yeri

TAV Havalimanları Holding, Türkiye'de İstanbul Atatürk, Ankara Esenboğa iç ve dış hatlar terminalleri ile İzmir Adnan Menderes Havalimanı dış hatlar terminalini, yurtdışında ise Gürcistan'ın Tiflis ile Batum Uluslararası Havalimanları ve Tunus'un Monastir Habib Bourguiba Uluslararası Havalimanı'nı işletmektedir. Şirket, yer hizmetleri ve işletme hizmetleri, gümrük hattı dışı eşya satış mağazacılığı, yiyecek ve içecek hizmetleri, bilgi işlem ve güvenlik hizmetleri gibi havalimanı operasyonlarının diğer alanlarında da faaliyet göstermekte, yılda yaklaşık 300 hava yolu şirketinin 315 bin uçak seferine ve ortalama 35 milyon yolcuya hizmet vermektedir.

## 2.2 Firma Alanı

Firmada yapılan çalışma sadece dış hatlar terminalini kapsamaktadır. Dış hatlar terminali ile ilgili yolcu sayıları Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** İstanbul Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali Yolcu Sayıları

Yıl	Dış Hatlar Yolcu Sayısı
2010	20.344.620
2009	18.363.739
2008	17.069.069

## 3. ANALİZ

### 3.1 Firma ve Hava Yolu Şirketlerinin Beklentileri

TAV Havalimanları Holding A.Ş.’nin projeden beklentisi, tarifeli uçuşların altı ayda bir yapılan planlarının otomasyonu, iyileştirilmesi ve tarifeli olmayıp, ataması günlük yapılan uçuşların da bu plana sorunsuz bir biçimde intibakını otomatik olarak yapan sistemin geliştirilmesidir. Kısaca firmanın beklentisi, kontuar atamalarının yapılabilmesi için bir karar destek sisteminin tasarlanması olarak tanımlanabilir.

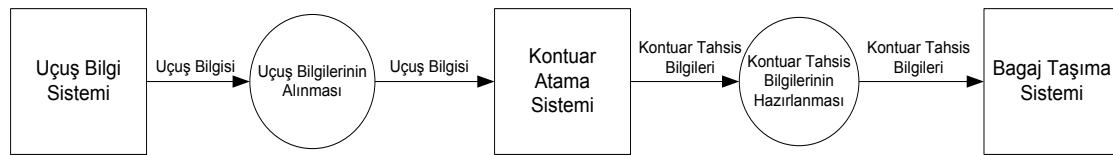
Beklentiler dikkate alındığında hava yolu şirketleri dört ayrı grupta incelenebilir. Bunlardan ilk grupta olanlar, altı aylık süreç içerisinde kendilerine verilen kontuarların yerlerinin sabit olmasını ve farklı zaman dilimlerinde başka hava yolu şirketlerine atanmasını beklemektedirler. Bu şirketler ortak check-in uygulaması yapmakta ve kontuarları gün içerisinde sürekli açık kalmaktadır. İkinci grupta olan şirketler uzun dönemlik atamada kendilerine farklı uçuşları için verilen kontuar yerlerinin sabit olmasını beklemektedirler. Bu gruptaki şirketlere atanan kontuarlar, bu firmaların uçuşu olmadığı zamanlarda farklı şirketlerin uçuşlarına atanabilmektedirler. Üçüncü grupta olan şirketlerin ise sabit bir kontuar yeri talep

etmediği; fakat tarifeli uçuşlara sahip olmalarından dolayı uçuşlarının kontuarlara uzun dönem atamalar dâhilinde yapılmasını bekledikleri anlaşılmaktadır. Son grupta olan şirketler ise günlük uçuşları olan şirketlerdir. Bu şirketlerin uçuşları tarifeli değildir ve kendilerine verilen kontuarların yerlerinin sabit ya da değişken olmasıyla ilgili bir kaygıları bulunmamaktadır. Öte yandan tüm hava yolu şirketleri kendilerine verilecek kontuar yerlerinin kendi bilet satış ofislerine yakın olmasını beklemektedirler. İlk iki gruptaki hava yolu şirketlerinin bayrak taşıyıcı olmaları, itibarlarının yüksek olması ve havaalanı operatörü ile önemli ticari anlaşmalara imza atmaları sebebiyle, bu şirketlerin, kontuarlar ve atanan kontuarların bilet satış ofislerine olan uzaklığı ile ilgili beklentilerinin karşılanması TAV Havalimanları Holding A.Ş. açısından önem taşımaktadır.

### 3.2 Mevcut Sistemin Analizi ve İşleyişi

Mevcut kontuar atama sisteminde, öncelikle tarifeli uçuş yapan firmaların uçuş bilgileri yılda iki dönem (Ekim ve Mart) için toplanır. Bunlardan birisi yaz, diğeri ise kış dönemidir. Atamaları, TAV bünyesindeki Kontuar Tahsis Müdürlüğü personeli manuel olarak yapmakta ve kontuar atama sistemine girmektedir. Daha sonra, tarifeli uçuş vermeyen hava yolu şirketlerinin uçuşları (charter uçuşlar), uygun kontuarlara imkânlar dâhilinde atanmaktadır. Bu sürecin temel girdisi, hava yolu şirketlerinden gelen uçuş bilgileridir. Mevcut sistemde karar mekanizması Kontuar Tahsis Müdürlüğü’nde çalışan personelin tecrübe ve bilgisine dayanmaktadır.

Uçuş bilgi sistemi ve bagaj taşıma sistemi kontuar atama sisteminin etkileştiği diğer sistemlerdir. Kontuar atama sisteminin temel girdisi, uçuş bilgi sisteminin çıktısı olan uçuş bilgileridir. Kontuar atama sisteminin temel çıktısı ise bagaj taşıma sisteminde bagaj



**Şekil 2.** Kontuar Atama Sisteminin Etkileştiği Sistemler

şutlarının atamasının yapılabilmesi için girdi olarak kullanılmaktadır (bkz. Şekil 2). Kontuar atama sistemi için IDEFO içerik diyagramı ve bilgi akış diyagramı ise Ek – 1 ve Ek – 2’de verilmiştir.

Firmada, kullanıcıların manuel olarak belirlenen atama çizelgelerini girdikleri TAMS isimli bir bilişim alt yapısı bulunmaktadır. Kontuar tahsis ofisi personeli ise TAMS’e bağlı modüllerden aşağıdaki iki tanesini aktif olarak kullanmaktadır:

#### 1. AFMS (Airport Flight Management System)

Kontuarlardaki login sisteminin aktif hâle getirilmesi, bilgi ekranlarının açılması ve ücretlendirme işlemlerinin yapılması bu sistem tarafından sağlanmaktadır. Uçuş bilgi birimi tarafından her gece AFMS’ye uçuş bilgileri girilmekte ve atama için gerekli bilgiler burada tutulmaktadır.

#### 2. SOLARY

Yolculara hitap eden görsel sistem, SOLARY ile kontrol edilmektedir. Uçuş bilgi panoları üzerindeki bilgiler buradan girilmekte ve yolcular için kontuarlarla alakalı gerekli bilgilendirmeler bu panolar üzerinden yapılmaktadır.

### 4. PROBLEM TANIMI

#### 4.1 Problemin Tanımı ve Semptomları

Mevcut sistemde kontuarların hava yolu şirketlerine tahsisi, bu iş için görevlendirilmiş çalışanlar tarafından manuel olarak yapılmaktadır. Yapılan gözlemler sonucunda atamadan sorumlu çalışanların iş yüklerinin ağır olmasının, kontuar kullanımının en üst düzeyde olduğu 11:00 - 14:00 saatleri arası için bütün hava yolu firmalarını memnun edecek bir çizelge oluşturmakta zorlanılmasının ve hava şartları, rötarlar vb. sebeplerden ötürü uçuş bilgilerinde meydana gelen ani değişiklikler nedeniyle çizelgelerde yapılması gereken uyarlamaların sisteme kolayca aktarılamamasının mevcut sistemin başlıca sorunları olduğu anlaşılmıştır.

Bunun sonucunda problem; TAV Havalimanı Holding A.Ş.de, azami dikkat gerektiren kontuar atama işleminin çalışanlar tarafından manuel olarak yapıl-

ması ve oluşturulan çizelgelerin müşteri beklentilerini tam olarak karşılayamaması olarak belirlenmiştir.

#### 4.2 Problemin Kapsamı ve Tasarımı Etkileyen Faktörler

Problemin kapsamı, dış hatlar terminalindeki uçuşlar ve bu uçuşlara tahsis edilecek kontuarlardan oluşmaktadır.

Girdi olarak, Atatürk Havalimanı dış hatlar terminalinin yerleşim planı, mevcut kontuarların sayısı ve konumu ile uçuş bilgileri ele alınmıştır. Bunun yanı sıra; ilk aşamada elde edilen uzun dönem kontuar tahsis çizelgeleri, günlük kontuar tahsis çizelgelerinin oluşturulması için bir girdi olarak kullanılmıştır.

Uzun dönem kontuar atama modelinin parametreleri olarak uçuş bilgileri, hava yolu firmalarının atanmak istedikleri ada yüzü bilgileri, uçuşlar için talep edilen kontuar sayıları ve yan yana olması istenmeyen hava yolu şirketleri kümesi kullanılmıştır.

TAV’ın taleplerine ve yapılan analizlere dayanarak belirlenen kısıtlar;

- Uçuşların belirlenmiş zaman aralıkları içinde kontuarlara tahsis edilmesi,
- Aynı uçuşa atanacak kontuarların blok halinde, bir adanın aynı yüzüne tahsis edilmesi,
- Siyasi ve kültürel sebeplerden ötürü bazı firmaların kontuarlarının yan yana ve hatta karşılıklı yüzlere tahsis edilememesi,
- Farklı günlerde düzenlenen aynı numaralı uçuşların mümkün olduğunca aynı kontuarlara tahsis edilmesi,
- Aynı firmaya ait farklı uçuşların aynı kontuarlara tahsis edilmesi olarak belirlenmiştir.

Bunlara ek olarak, kapalı olan adalar kullanıma açıldığında ek bir sorter (bagaj sınıflayıcısı) maliyeti olduğundan mümkün olduğunca az adanın açık duruma getirilmesi amaçlanmıştır.

#### 4.3 Proje Çıktıları ve Başarı Ölçütlerinin Tanımlanması

Kaynakları etkin kullanan dönemlik ve günlük kontuar tahsis çizelgeleri ve bunların kullanıcıyla

etkileşimini sağlayan bir arayüz, projenin çıktıları oluşturulmaktadır. Oluşturulan çizelgelerin başarısı ise firmaların memnuniyet derecesindeki ve atamadan sorumlu görevlilerin iş yükündeki değişimin ölçülmesi ile belirlenmiştir. Bunların yanı sıra mevcut sistemde ve yeni sistemde oluşturulan uzun dönem (altı aylık) çizelgelerin esnekliği ile kontuarların kullanım oranları karşılaştırılarak başarı boyutu ölçülmüştür. Çizelgelerin uçuş bilgilerindeki değişikliklerden etkilenmemesi veya değişikliklere karşı kısa sürede kendini yenileyebilmesi esneklik ölçütü olarak belirlenmiştir.

## 5. LİTERATÜR TARAMASI

Kontuar atama problemi, diğer atama problemlerinden amaç fonksiyonu ve kısıtlar açısından ayrılmaktadır. Bu problemin temelini oluşturan genelleştirilmiş atama probleminden de farklılaştığı noktalar vardır.

### 5.1 Genelleştirilmiş Atama Problemi ve Kontuar Atama Problemi Arasındaki Farklar

Genelleştirilmiş kontuar atama probleminde,  $n$  adet varlık ve  $m$  adet kaynak vardır. Söz konusu genelleştirilmiş atama problemi, her varlığın tam olarak bir kaynağa atanmasını, her kaynağa atanan varlıkların kaynaktaki toplam kullanım değerinin, kaynağın kullanılabilirlik değerini aşmamasını ve verilen maliyet fonksiyonunun minimize edilmesini gerektirir (Cohen vd., 2006).

Kontuar atama problemi, amaç fonksiyonu ve kısıtlar hususunda genelleştirilmiş atama probleminden ayrılmaktadır. Kontuar atama literatüründe, yürüme mesafesini ve aşağıda açıklanacak olan tutarsızlık değerini minimize eden amaç fonksiyonlarına rastlanmıştır. Kısıtlarda rastlanan başlıca farklılıklar ise; kontuar atamalarının bloklar halinde yapılması, bazı blok atamalarının yan yana ve karşılıklı olarak yapılmasının istenmemesi, atamaların belirlenmiş zaman aralıkları için yapılması, uçuş çizelgelerindeki güncellemelere bağlı olarak atamaların dinamik olmasıdır. Bütün bu farklılıklar, kontuar atama probleminin genelleştirilmiş atama probleminden farklı şekilde ele alınmasını gerektirmektedir.

### 5.2. Kontuar Atama Problemi Literatüründe İncelenen Makaleler

Firma beklentileri doğrultusunda yapılan literatür taramasında önceden belirlenmiş sayıdaki kontuarların atanmasıyla alakalı çalışmalar irdelenmiş ve ilgili literatür taraması üç başlıkta ele alınmıştır. Kurulan model için amaç fonksiyonu, kısıtlar ve çözüm yöntemi ile ilgili alternatif bakış açıları her başlıkta sırasıyla incelenmiştir.

**Amaç Fonksiyonu:** İncelenen makalelerde *minimum tutarsızlık değeri* ve *minimum yürüme mesafesi* olmak üzere başlıca iki amaç fonksiyonu göze çarpmıştır. Bunlardan ilki olan tutarsızlık değeri yolcu check-in işlemleri, rutin hava yolu operasyonları, mevcut servis seviyesi gibi konularla ilgili aksaklıkların gerçekleşmesine atanmış sayısal bir değer olarak tanımlanmıştır. Bu değerler, kullanıcı tarafından uçuş atamalarına verilen ceza puanlarıdır (Yan vd., 2004).

Yan vd. (2006) tutarsızlık değerini yer tutarsızlığı, süreklilik tutarsızlığı ve zaman tutarsızlığı alt gruplarına ayırarak net bir şekilde tanımlamıştır.

Yürüme mesafesinin en aza indirilmesinin hedeflendiği çalışmada (Yan vd., 2003) ise atamalar aylık yapılmakta ve hava yolu firmalarına atanan kontuar sayıları değişkenlik göstermektedir.

**Kısıtlar:** Check-in kontuarlarının atanmasıyla ilgili literatürde göze çarpan kısıtların büyük çoğunluğu blok halinde atama ve yan yana atanması veya atanmaması gereken hava yolu firmaları ile ilgili kısıtlardır. Blok halinde atama ile ilgili kritik kısıtlar; herhangi bir zamandaki her uçuşun yalnızca bir kontuar bloğuna atanması, bir servis hattının bir zaman aralığında en fazla bir uçuşa atanmış olması ve ilgili uçuşa ait zaman aralığının o uçuşun başlangıç zamanını takip etmesidir (Yan vd., 2006). Atama yerleri ile ilgili kısıtların büyük çoğunluğu insan faktörü ile alakalı olup, siyasi veya kültürel sebeplerle yan yana gelmemesi gereken hava yollarına ait uçuşların atamalarını düzenleyen kısıtlardır (Chun, 1996).

**Çözüm Yöntemi:** Literatürde optimum çözümü garanti eden bir çalışmaya rastlanmamıştır. Makale-

lerde sezgisel metotlar geliştirip makul sonuçlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Asıl problemin alt problemlere ayrıldığı ve her birinin ayrı ayrı çözülmesiyle elde edilen sonuçların karşılıklı olarak değiştirildiği sezgiselleri içeren çalışmalar mevcuttur (Yan vd., 2004).

Bir başka çözüm yöntemi ise problemde yer alan kapsamlı kısıtları çıkararak en iyi amaç fonksiyonu değeri için bir alt sınır bulunmasına dayanan gevşetme yaklaşımıdır (Yan vd., 2006).

Sezgisel metotların haricinde, benzetim verilerinin hava yolu kısıtları ile birlikte girdi olarak kullanıldığı bilgisayar destekli algoritmalar da geliştirilmiştir (Chun, 1996).

### 5.3 Ele Alınan Problem ile İncelenen Makaleler Arasındaki Temel Farklılıklar

Üzerinde çalışılan problemin kendine has bazı kısıtları olması nedeniyle problemin modelleme ve çözüm aşamalarında önceki çalışmalarda önerilen metotlardan farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu farklılıkları da içeren problemin temel bileşenleri; aynı uçuşa atanan kontuarların yan yana olmasını gerektiren *blok atama kısıtları*, dış hatlar terminalindeki yerleşim düzeninden kaynaklanan *havalimanı yapısal kısıtları*, ortaklığı bulunan hava yolu firmalarını ilgilendiren *pozitif alan kısıtları* ve yan yana olmaması gereken hava yolu firmalarından kaynaklanan *negatif alan kısıtları*'dır.

Literatürde bahsedilen kısıtları tek tek ele alan çalışmalar olsa da, tümünü beraberce ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu hususta, daha önce yapılmış çalışmalarda önerilen alternatiflerin birebir uygulanmasından ziyade, mevcut kısıtları karşılayabilecek bir bakış açısının geliştirilmesinin zorunlu olduğu sonucuna varılmıştır.

## 6. ÖNERİLEN YÖNTEM

### 6.1 Genel Yaklaşım

Belirlenen kısıtlar ve mevcut amaç fonksiyonu doğrultusunda uzun ve kısa dönem atamaları entegre eden bir matematiksel model kurulmuş ve çözüm için kullanılması muhtemel yöntemlerin avantaj ve

dezavantajları değerlendirilmiştir. Bunlar, kesin çözüm yaklaşımı ve sezgisel algoritma yaklaşımıdır.

Kurulan modelin genel yapısı incelendiğinde NP-zor yapı göze çarpmaktadır. NP-zor problemlerde, problemin boyutu arttıkça çözüm zamanı da probleme özgü olarak üssel bir şekilde artış göstermektedir. Bu hususta, kesin çözüm yaklaşımının uygulanabilirliği için denemeler yapılmış, ancak mevcut verilerle GAMS CPLEX çözdürücüsü kullanılarak makul sürelerde çözüm elde edilememiştir. Bu nedenle kesin çözüm yaklaşımından vazgeçilmiştir.

Uygulanmasına karar verilen sezgisel algoritma yaklaşımında iki alternatif öne çıkmaktadır. Bunlardan ilki, daha önceki çalışmalara benzer şekilde, kurulan matematiksel modelin gevşetmeleriyle çeşitli alt sınırlar bulan ve bunları kullanan bir sezgisel algoritma kullanmak, ikincisi ise özgün bir algoritma geliştirmektir. Bu aşamada, probleme ait özgün kısıtlara cevap verebilen olurlu bir çözüm elde etmeyi sağlayacak ve firma için ek bir maliyet oluşturacak ticari çözdürücülere ihtiyaç duymayan bir çözüm yönteminin firmaya uygulanabilirliğinin daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

### 6.2 Matematiksel Model

Kurulan matematiksel model; uzun dönem atamaları hava yolu şirketlerinin beklentileri doğrultusunda yapılabilmesi, kısa dönem atamalar için ise her bir zaman dilimindeki uçuşları atayabilecek kadar boş kontuar sağlayabilmesi halinde başarılıdır. Bu nedenle uzun dönem uçuş bilgilerinin yanı sıra kısa dönem atamalarına ait geçmiş çizelgelerden problemin olurluluğu bozmayacak şekilde en fazla sayıda uçuş içerene de girdi olarak kullanılmaktadır. Bunun sebebi en kötü senaryo durumunda dahi atamaların yapılabilmesine imkân tanımadır. Modelin bu parametreler doğrultusunda tüm atamaları eksiksiz yapabilmesi, hem uzun dönem uçuşlar için hava yolu şirketlerinin beklentilerine cevap vermesi hem de her bir kısa dönem uçuş çizelgesi için atanacak yeterli boş kontuar bulabilmesi anlamına gelmektedir.

Çalışmanın bu aşamasında kullanılmak üzere geliştirilen model aşağıdaki gibidir:

$G$  = Hava yolu şirketleri kümesi

$H$  = Tüm uçuşlar kümesi

$H_1$  = 24 saat aynı kontuarda olan hava yolu şirketlerinin uçuşları kümesi  $H_1 \subset H$

$H_2$  = Farklı uçuşlar için aynı sabit kontuarları kullanan hava yolu şirketlerinin uçuşları kümesi  $H_2 \subset H$

$H_3$  = Tarifeli uçuşları olup, istenen kontuara atanabilecek hava yolu şirketlerinin uçuşları kümesi  $H_3 \subset H$

$H_4$  = Günlük (charter) uçuşlar kümesi  $H_4 \subset H$

$A$  = Tüm ada yüzlerinin kümesi

$B_a$  =  $a$  ada yüzündeki kontuarların kümesi  $\forall a \in A$

$E$  = Yan yana atanmaması gereken uçuş ikililerinin kümesi

$K$  = Karşılıklı ada yüzleri ikililerinin kümesi

$F_l$  =  $l$  firmasına ait uçuşların kümesi  $l \in G, F_l \subset H$

$\beta_m = \{(1, 2, \dots, m), (2, 3, \dots, m+1), \dots, (n_a - m + 1, \dots, n_a - 1, n_a)\} \quad \forall m = 1, 2, \dots, n_a, \forall a \in A$

Parametreler:

$D_j$  =  $j$  uçuşu için ihtiyaç duyulan toplam kontuar sayısı  $j \in H$

$C_j$  =  $j$  uçuşu için kontuar kapatma zamanı  $j \in H$

$T_j$  =  $j$  uçuşu için kontuar açma zamanı  $j \in H$

$n_a$  =  $a$  ada yüzündeki toplam kontuar sayısı  $\forall a \in A$

$\alpha_{(k,m)} = \beta_m$  kümesindeki  $k$ . eleman  $\forall \alpha_{(k,m)} \in \beta_m, (k, m) \mid m \in \{1, 2, \dots, n_a\}, k \in \{1, 2, \dots, n_a - (m-1)\}$

Değişkenler:

$$x_j^{ac} = \begin{cases} 1 & ; j \text{ uçuşu } a \text{ ada yüzünün } c \text{ kontuarına atandıysa} \\ 0 & ; \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad \forall j \in H, \forall a \in A, \forall c \in B_a$$

$$y_{ij}^{ab} = \begin{cases} 1 & ; \text{eğer } \sum_c x_i^{ac} = D_i \text{ ise} \\ 0 & ; \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad \forall (a, b) \in K, \forall (i, j) \in E$$

$$u_l^{ac} = \begin{cases} 1 & ; \text{eğer } \sum_{j \in F_l} x_j^{ac} = |F_l| \text{ ise (} l \text{ firmasının uçuşları } a \text{ ada yüzündeki } c \text{ kontuarına atanırsa)} \\ 0 & ; \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad \forall l \in G, \forall a \in A, \forall c \in B_a$$

$$v_{jk}^a = \begin{cases} 1 & ; \text{eğer } \sum_{c \in \alpha_{(k,m)}} x_j^{ac} = D_j \text{ ise (} j \text{ uçuşu } a \text{ ada yüzündeki } D_j \text{ tane kontuara atanırsa)} \\ \forall j \in H, \forall a \in A, \forall c \in B_a, m \in \{1, 2, \dots, n_a\}, k \in \{1, 2, \dots, n_a - (m-1)\} \\ 0 & ; \text{diğer durumlarda} \end{cases}$$

$$w_{jk}^a = \begin{cases} 1 ; \text{ eğer } \sum_{c=1}^{n_a} x_j^{ac} 2^c = \sum_{s=0}^{D_j-1} 2^s \sum_{k=1}^{n_a-2} 2^k \text{ ise } \forall j \in H, \forall a \in A, k \in \{1, \dots, n_a - 2\} \\ 0 ; \text{ diğer durumlarda} \end{cases}$$

Enk

$$Z = 0$$

s.t.

$$\sum_c x_j^{ac} + \sum_c x_j^{bc} \leq D_j (1 - y_{ij}^{ab}) \quad \forall (a, b) \in K, (i, j) \in E, i, j \in H \quad (1)$$

$$\sum_c x_i^{ac} \leq D_i y_{ij}^{ab} \quad \forall (a, b) \in K, (i, j) \in E, i, j \in H \quad (2)$$

$$x_i^{ac} + x_j^{ac} \leq 1 \quad \forall (i, j) : (C_i - T_j)(C_j - T_i) \geq 0 \quad (3)$$

$$\sum_{j \in F_i} x_j^{ac} = |F_i| u_l^{ac} \quad \forall l \in G, a \in A, c \in B_a, F_i \subset H_2 \quad (4)$$

$$\sum_{c=1}^n x_j^{ac} 2^c = \sum_{s=0}^{D_j-1} 2^s \sum_{k=1}^{n_a-D_j+1} 2^k w_{jk}^a \quad \forall j \in H, a \in A \quad (5)$$

$$\sum_a \sum_{k=1}^{n_a-D_j+1} w_{jk}^a = 1 \quad \forall j \in H \quad (6)$$

$$\begin{aligned} x_j^{ac} &\in \{0, 1\} & \forall j \in H, a \in A, c \in B_a \\ y_{ij}^{ab} &\in \{0, 1\} & \forall (a, b) \in K, (i, j) \in E \\ u_l^{ac} &\in \{0, 1\} & \forall l \in G, a \in A, c \in B_a \\ v_{jk}^a &\in \{0, 1\} & \forall j \in H, a \in A, c \in B_a \\ w_{jk}^a &\in \{0, 1\} & \forall j \in H, a \in A, k \in \{1, \dots, n_a - 2\} \end{aligned} \quad (7)$$



**Modelin Açıklaması:** Model oluşturulurken  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  ve  $H_4$  kümelerindeki tüm uçuşlar dikkate alınmıştır. Uzun dönem için oluşturulan bu model kısa dönemde planlanan tarifersiz uçuşları da kapsamaktadır. Burada amaçlanan, geçmiş charter uçuş ( $H_4$ ) verilerine dayanarak bu modelin yoğun saatler için çözdürülmesi ve elde edilecek sonuca göre de  $H_4$  kümesindeki uçuşların çıkarılarak uzun dönemde planlanan uçuşların atamalarının yapılmasıdır. Tüm kısıtları sağlayabilen olurlu bir çözüm bulunması için amaç fonksiyonu 0 olarak tanımlanmış, yani model bir olurluk problemi olarak kurulmuştur. Bütün kısıtların tatmini bu aşama için yeterlidir. Benzer bir yaklaşım sudoku çözme problemi için de kullanılmıştır (Moon ve Gunther, 2006).

#### Kısıt Açıklamaları:

i. *Negatif Alan Kısıtları:* (1) ve (2) numaralı kısıtlar, bazı firmaların uçuşları için açılan kontuarların, firmaların yolcuları arasındaki kültürel ve vatandaşlı oldukları ülkeler arasındaki siyasi uyuşmazlıklar sebebiyle adaların aynı yüzüne ya da aynı koridordaki karşılıklı ada yüzlerine atanmamalarını sağlar. Burada (2); bu firmaların uçuşlarından birinin bir yüze atanması durumunda, (1)'in sağ tarafını sıfır yaparak bu uçuşun ait olduğu firmayla arasında anlaşmazlık bulunan firmaların uçuşlarının aynı yüze ya da karşılıklı yüzlere atanmalarını engeller.

ii. *Atama Kısıtları:* (3) numaralı kısıt aynı zaman dilimine düşen uçuşların aynı kontuarlara atanmalarını engeller. Aynı zaman dilimine düşen iki uçuşun atama değişkenlerinin toplamının en fazla bir olmasını sağlayarak, en az bir atama değişkeninin pozitif değer almamasını zorlar.

iii. *Aynı Firma Uçuşlarının Aynı Kontuarlara Atanması Kısıtı:* (4) numaralı kısıt  $H_2$  kümesindeki bir firmaya ait olan tüm uçuşların aynı kontuarlara atanmalarını sağlar. Bir firmanın aynı anda veya kesişen zaman dilimlerinde iki uçuşunun olduğu durumlarda ise bu uçuşlardan sadece bir tanesi alınıp kontuar açma ve kapama zaman aralığı her iki uçuşu da kapsayacak şekilde belirlenir.

iv. *Blok Atama Kısıtları:* (6) numaralı kısıt sayesinde (5) numaralı kısıtın sağ taraf değeri belirlenmektedir. Bu değer, sadece talep edilen miktarda art arda gelen kontuarların değişkenlerinin katsayılarının toplamını vermektedir. Sonuç olarak, ilk kısıtın sol tarafında art arda gelen ilgili atama değişkenlerinin değer alması zorlanır.

### 6.3 Modelin GAMS'de Çözümü

Matematiksel model, GAMS'de kodlanmış ve CPLEX 9.1.2 kullanılarak gerçek verilerle çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. Model kurulurken oluşturulan dört gruptan biri olan  $H_1$  kümesi uçuşlarına verilen sabit kontuarlar sebebiyle Tablo 2'de gösterildiği gibi kullanılabilir kontuar sayısı 224'ten 128'e düşürülmüştür. Düzenlenmiş gerçek verilerden alınan çeşitli sayıdaki uçuşlar kullanılarak model koşturulmuştur. Koşturumlar 2,27 Ghz işlemcili, 4 GB RAM kapasitesine sahip bir bilgisayarda Windows 7 işletim sistemi altında GAMS CPLEX 9.1.2 kullanılarak yapılmıştır.

**Tablo 2.**  $H_1$  Kümesi Firmalarına Tahsis Edilmiş Kontuarlar

$H_1$ Firmalar	Sabit Kontuarlar
THY	A 1-32, B 1-32, E 17-32
Lufthansa	G 1-9
Air France/KLM	H 17-21
Atlas Jet	H 17-32

İlk aşamada GAMS'e matematiksel modelde belirtilen tüm kısıtlar verilmiş, ancak az sayıda uçuş için bile olurlu bir çözüm bulunamamıştır. Bunun sonucunda, negatif alan kısıtı modelden çıkartılıp çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu aşamada negatif alan kısıtının modelden tamamen çıkarılmasına ek olarak  $H_2$  kümesine ait olan tek bir firmanın tüm uçuşlarının modele girdi olarak verilmesi denenmiş; fakat dokuz saat içerisinde olurlu bir çözüme ulaşılamamıştır. Son olarak ise, negatif alan kısıtları ve aynı firma uçuşlarının aynı kontuarlara atanma kısıtları modelden çıkarılarak sonuç alınmaya çalışılmıştır. Bu şartlar altındaki koşturum sonuçları Tablo 3'teki gibidir.

**Tablo 3.** Koşturum Süreleri ve Sonuçları

Uçuş Sayısı	Koşturum Süresi (saniye)	Koşturum Sonucu	Değişken Sayısı
40	1	Optimal	9489
43	21	Optimal	10.137
44	8650 (145 dk.)	Çözülemedi	10.345
45	8679 (145 dk.)	Çözülemedi	10.553
50	8690 (145 dk.)	Çözülemedi	11.593

#### 6.4 Sezgisel Algoritma

Geliştirilen algoritma, sistem için kurulan matematiksel modelin kısıtlarına uygun olarak tasarlanmış ve firmanın önceliklerine bağlı olarak hazırlanmıştır.

**Algoritma Hakkında Temel Kavramlar ve Açıklamalar:**  $H_1$  grubu firmalarının yüksek prestijli firmalar olması ve kontuarlarının gün boyu açık kalması sebebiyle bu gruptaki firmalara istedikleri kontuar kümeleri verilmektedir. Bu gruptaki firmalara verilen kontuarlar algoritmanın kullandığı parametreler arasındadır.

$H_2$  grubu firmalarının uçuşları gün içerisinde sabit kontuarlara atanması gerektiğinden, bu gruptaki firmaların uçuşları birlikte değerlendirilmiştir.  $H_2$  grubu firmalarının uçuşları arasında en fazla sayıda kontuar atanacak uçuşa göre talep edilen kontuar sayıları belirlenmektedir.

$H_3$  grubuna dâhil olan firmalar sabit kontuarlara yerleştirilmediklerinden bu firmaların uçuşları sürekli farklı kontuarlarda açılmaktadır. Dolayısıyla algoritmada bu gruptaki firmaların her bir uçuşu ilgili firmanın tek uçuşuymuş gibi ele alınmaktadır.

Uçuşları firma olarak kabul edilen  $H_3$  grubu uçuşları ile  $H_2$  grubu firmalarının çakışma puanlarını belirlemek için bir çakışma matrisi oluşturulmuştur. Bu matrise göre diğer firma ya da uçuşlarla en çok çakışma yaşayan uçuş ya da firmanın çakışma puanı en yüksek değeri almaktadır. Bu çakışma matrisinin örnek görüntüsü Tablo 4'te verilmiştir.

Oluşturulan matriste; hücreler iki firmanın kontuarlarının açık bulunduğu zamanlar arasında bir çakışma var ise bir, yok ise sıfır değerini almaktadır.

Kurulan algoritma, iki temel alt algoritmayı içermektedir. Uçuşların adalara yerleştirilmeden önce gruplandırılmasının kontuarların etkin kullanımı açısından daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmüş ve bunun için bir gruplama algoritması oluşturulmuştur. Gruplandırılan uçuşlar daha sonra yerleştirme algoritmasıyla adalara atanmıştır.

Gruplama algoritması, temel olarak bir puanlama sistemine dayanmakta ve bir takım puan kontrolleri yardımıyla uçuş grupları oluşturulmaktadır. Bu aşamada kullanılan kontuarların doluluk oranları yüksek olacak şekilde grupların oluşturulması esas alınmıştır. Gruplama algoritmasında kullanılan puanlar için birtakım parametrelerin tanımlanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu parametreler tanımlanan aralıklarda değerler alabilmekte ve buna göre algoritma sonuçları değişebilmektedir. Farklı problemler için farklı parametre değerlerinin daha etkin çalıştığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak iyi çözümler elde edebilmek için gruplama algoritması değişik parametreler ile çalıştırılmakta ve

**Tablo 4.** Çakışma Matrisi

	Firma 1	Firma 2	Firma 3	Firma 4	Firma 5	Firma 6	Firma 7	Firma 8
Firma 1		1	1	0	0	1	1	0
Firma 2	1		0	0	0	1	1	1
Firma 3	1	0		1	1	1	1	0
Firma 4	0	0	1		0	0	1	1
Firma 5	0	0	1	0		0	1	1
Firma 6	1	1	1	0	0		0	1
Firma 7	1	1	1	1	1	0		0
Firma 8	0	1	0	1	1	1	0	

en iyi sonucu veren parametre değerleri o problem için kullanılmaktadır. Bu parametreler aşağıdaki gibidir:

- **Çakışma puanı katsayısı (a):** Çakışmaların etkisinin gruplama puanına etkisini yansıtır.
- **Baz kontuar puanı katsayısı (b):** Yerleşecek olan grubun kontuar sayısı talebinin baz kontuar sayısı talebinden uzaklığının gruplama puanına etkisini belirtir.
- **Kontuar puanı katsayısı (c):** Grubun kontuar talebinin büyüklüğünün gruplama puanına etkisini yansıtır.
- **Yerleşebilme puanı katsayısı (d):** Gruba yerleşmiş olan firmalar arasından, gruba yerleşecek olan firmayla aynı ada yüzeyine atanma isteğine sahip olanlarının sayısının, gruplama puanına etkisini belirler.

Puanlama sisteminde yukarıda bahsedilen parametreler yardımıyla aşağıda bahsedilen puanlar hesaplanmıştır:

- **Çakışma Puanı;** çakışma matrisi yardımıyla yerleştirilecek firmalardan diğer firmalarla aynı zaman aralığına düşen en fazla sayıda uçuşu olan firmaya öncelik tanınmaktadır. Böylece gruplara yerleştirilmesi zor olan firmalar ilk anda yerleştirilerek, aynı gruba atanacak firma bulma sayısı artırılmış ve kontuarlar daha etkin kullanılabilmiştir.
- **Baz Kontuar Puanı;** gruba yerleşecek firmalardan, kontuar talepleri baz kontuar sayısına yakın olan firmalara öncelik tanınmaktadır. Burada baz kontuar sayısı gruba ilk yerleşen firmanın talep ettiği kontuar sayısıdır. Bu nedenle gruba ilk yerleşen firmalar için bu puan dikkate alınmamaktadır.
- **Kontuar Puanı;** talep ettiği kontuar sayısı büyük olan firmalara gruplama sırasında öncelik tanınmaktadır.
- **Yerleşebilme Puanı;** gruba yerleşmiş olan firmaların gruba yeni yerleşecek firmayla aynı adaya atanma isteklerinin bir ölçüsüdür. Bu puanın yüksek olması böyle bir talep taşıyan firmaların aynı gruba atanması olasılığını artırır.

■ **Gruplama Puanı;** yukarıda bahsedilen puanların toplamından oluşmaktadır. Firmaların uçuşları bu toplam puana göre gruplanmaktadır.

$H_2$  ve  $H_3$  kümelerindeki firmaların uçuşları, bütün uçuş ve firmalar bitene kadar gruplanır. İyileştirme algoritması ise her gruplama aşamasının sonunda çalışır ve grup içerisindeki en büyük kontuar talebi ile ikinci büyük kontuar talebi arasındaki farkın büyüklüğünde bir alt grup oluşturarak bu gruba da benzer şekilde firma atamaya çalışır. Böylece gruplara daha fazla firma uçuşunun atanabilmesi sağlanır.

Oluşturulan gruplar yerleştirme algoritması ile ada yüzlerine atanır. Yerleştirme algoritmasında da aşağıdaki sınıflandırmaya dayanan bir puanlama sistemi kullanılmıştır:

- **Prestij Puanı:** Grup içerisindeki her bir firma için sayısal olarak tanımlanmış olan itibar değerlerinin toplanmasıyla oluşturulmuştur. İtibarı yüksek firmaların bulunduğu gruplara yerleştirmede öncelik verilmektedir.
  - **Negatif Alan Puanı:** Karşılıklı veya aynı ada yüzeyine yerleştirilmiş olan düşman uçuşların varlığına göre -1000 veya sıfır değerini almaktadır.
  - **Kontuar Puanı:** Yerleştirilecek grubun azami kontuar sayısı talebine eşit olup daha büyük kontuar talebinde bulunan gruplara yerleştirmede öncelik sağlamaktadır.
  - **Kalan Kontuar Puanı:** Yerleştirilecek grubun kontuar sayısının ada yüzünün kullanılabilir kapasitesinden küçük veya büyük olmasına göre sıfır veya -1000 değerini almakta ve ada yüzünün kullanılabilir kapasitesinin aşılmasını sağlamaktadır.
- Yerleştirme Puanı:** Yukarıda bahsedilen puanların toplamından oluşmaktadır. Yerleştirmeler bu toplam puana göre yapılmaktadır.

Yerleştirme puanı ve gerekli kontroller yardımıyla, problemin kısıtlarına uyularak, bütün gruplar yerleştirilinceye kadar atamalar yapılır. Böylece  $H_2$  ve  $H_3$  kümelerindeki firmaların uçuşları için uzun dönemli çizelgeler elde edilir.

Uçuşların, uzun dönemli atamalarının yapıldığı bu algoritma yardımı ile  $H_4$  kümesindeki firmaların uçuşlarının kısa dönemli atamaları da yapılabilmektedir. Bu atamada uzun dönem çizelgeleri parametre olarak kullanılmakta ve daha önceden gruplama algoritması ile oluşturulmuş olan grupların üzerine  $H_4$  kümesindeki firmaların uçuşlarından eklemeler yapılabilmektedir.

**Pseudo Kod ve Algoritma:** Geliştirilen algoritma aşağıdaki alt-rutinlerden oluşmaktadır:

#### Gruplama Puanı Hesaplama (Her firma için)

- i. Çakışma Puanını hesapla. (Çakışma Puanı =  $a * \text{Firma Çakışma Sayısı}$ )
- ii. Baz Kontuar Puanını hesapla. (Baz Kontuar Puanı =  $b * |\text{Firma Kontuar Talebi} - \text{Baz Kontuar Sayısı}|$ )
- iii. Kontuar Puanını Hesapla. (Kontuar Puanı =  $c * \text{Kontuar Sayısı}$ )
- iv. Yerleşebilme Puanını Hesapla. (Yerleşebilme Puanı =  $d * \text{Grupta firma ile aynı adaya atanma isteği bulunan firma sayısı}$ )
- v. Gruplama Puanını Hesapla. (Gruplama Puanı = Çakışma Puanı + Baz Kontuar Puanı + Kontuar Puanı + Yerleşebilme Puanı)

#### Gruplama

- i.  $a, b, c, d$  parametrelerini belirle.
- ii. Yeni grup aç.
- iii. Baz kontuar puanını dikkate almadan daha önce atanmamış bütün firmalar için gruplama puanını hesapla.
- iv. Gruplama puanı en yüksek olan firmayı seç ve gruba ata, firmanın kontuar talebini grubun baz kontuar sayısı olarak belirle.
- v. Daha önce bir gruba atanmamış ve ilgili gruptaki firmalarla çakışmayan tüm firmalar için gruplama puanını hesapla ve puanı en yüksek olan firmayı gruba ata.
- vi. Gruba atanacak firma kalmayana kadar v. adımı tekrarla.
- vii. Grubun kontuar talebi en büyük olan firmayı belirle ve kontuar talebini grup maksimum kontuar sayısı ( $m_1$ ) olarak ata.
- viii. Grupta maksimum kontuar sayısına en yakın kon-

- tuar sayısı olan firmayı belirle ve kontuar sayısını ikinci maksimum kontuar sayısı ( $m_2$ ) olarak ata.
- ix. Kontuar talebi ( $m_1 - m_2$ )'den daha az olan firmalar için gruba atanacak firma kalmayana kadar v. adımı tekrarla.
- x. Atanamamış firma kalmayana kadar i. adım hariç tüm adımları tekrarla.

#### Yerleştirme Puanı Hesaplama

- i. Her bir firma için prestij puanını ve negatif alan puanını belirle.
- ii. Prestij Puanını hesapla (Grup içerisindeki tüm firmaların sahip oldukları prestij puanlarını topla.).
- iii. Negatif Alan Puanını hesapla. (Karşı veya aynı ada yüzüne yerleşmiş bir düşman uçuş varsa Negatif Alan Puanı = -1000; yoksa Negatif Alan Puanı = 0)
- iv. Kontuar Puanını hesapla. (Kontuar Puanı = Grubun  $m_1$  değeri)
- v. Kalan Kontuar Puanını hesapla. (Kalan Kontuar Sayısı  $< m_1$  ise Kalan Kontuar Puanı = -1000; değilse Kalan Kontuar Puanı = 0)
- vi. Yerleştirme Puanını hesapla. (Yerleştirme Puanı = Prestij Puanı + Negatif Alan Puanı + Kontuar Puanı + Kalan Kontuar Puanı)

#### Yerleştirme

- i. Yeni ada yüzü aç (Sırasıyla  $A_1, A_2, B_1, B_2, \dots, H_1, H_2$ ).
- ii. Daha önce hiçbir adaya yerleştirilmemiş gruplar için yerleştirme puanını hesapla.
- iii. Yerleştirme puanı en yüksek grubu seç ve adaya ata. Ada yüzünün kalan kontuar sayısını yerleştirilen grubun  $m_1$  değeri kadar eksilt.
- iv. Adaya yerleştirilecek grup kalmayana kadar ii. ve iii. adımı tekrarla.
- v. Tüm gruplar adalara yerleştirilene kadar tüm adımları tekrarla.

#### 6.5 Test

Bu aşamada proje kapsamında firmaya sunulan çözümün, problemin gereklerine sadık kalarak makul ve mantıklı çıktılar oluşturup oluşturmadığı test edilmiş; firmadaki mevcut sistem ile önerilen sistem çeşitli performans kriterleri açısından karşılaştırılmıştır.

**Doğrulama:** Sunulan çözümün çıktıları farklı haftalar ve farklı uçuş bilgileri kullanılarak oluşturul-

muştur. Bunun sonucunda problemin kısıtları göz önüne alınarak aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır:

- Uçuşlara talep ettikleri kadar kontuar tahsis edilmiştir.
- Aynı uçuşa tahsis edilen kontuarlar art arda olacak şekilde (blok atama) yerleştirilmiştir.
- Kaynak olarak kullanılan kontuarlara herhangi bir zaman diliminde birden fazla uçuş atanması ve böylelikle çakışmaların önüne geçilmiştir.
- Uzun dönemde ataması yapılan ve farklı uçuşlarının her zaman aynı kontuarlara atanmasını talep eden  $H_2$  firmalarının bu istekleri sağlanmıştır.
- Uzun dönemde ataması yapılan  $H_3$  firmalarının uçuşları farklı zamanlarda farklı kontuarlara atanabilmiştir.
- Uzun dönemde atanan  $H_1, H_2$  ve  $H_3$  uçuşlarından geriye kalan veya boş kontuarlara, uçuş bilgileri günlük olarak gelen charter firmalarının oluşturduğu  $H_4$  grubu uçuşları da atanabilmiştir.
- Önceden tanımlanan ilgili firmalar aynı veya karşılıklı ada yüzlerine atanmamıştır.
- Atamalar esnasında firmaların talep ettikleri kontuar sayıları birer artırılmış ve bu sayede blok atamalar arası makul boşluklar bırakılarak check-in kuyruklarının iç içe geçmemesi sağlanmıştır.

Yapılan bu değerlendirmelerle, sunulan çözüm çıktılarının beklentilerin tamamını karşıladığı sonucuna varılmıştır.

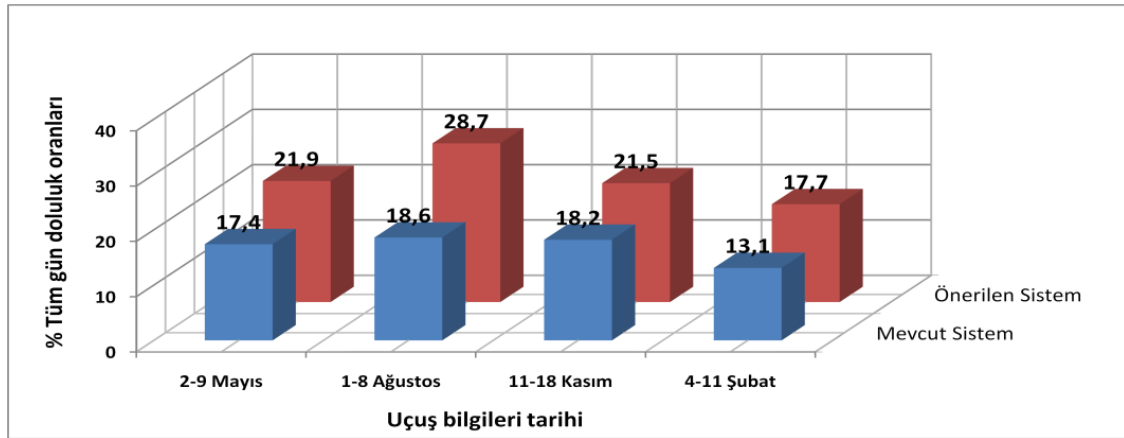
**Performans Ölçümü:** Elde edilen çözüm, farklı kriterlere göre mevcut sistemin çözümü ile karşılaştırılmıştır.

**1. Tüm Gün Doluluk Oranları:** Rastgele seçilen dört ayrı haftanın uçuş bilgilerine göre, firmanın kullandığı mevcut sistemin oluşturduğu çözüm ile proje kapsamında sunulan çözümün kontuarların tüm gün doluluk oranları açısından karşılaştırması Şekil 3'te gösterildiği gibidir.

Sonuç olarak önerilen çözüm sayesinde, tüm gün kontuar doluluk oranlarında mevcut sistem için ortalama %21,5 oranında iyileştirme sağlanmıştır.

**2. Yoğun Saatlerdeki (11:00 – 14:00) Doluluk Oranları:** Tüm gün doluluk oranları, günün belirli dilimlerinde uçuş yoğunluklarının değişmesi sebebiyle yansız bir performans ölçütü için gerekli koşulları tam olarak sağlamamaktadır. Bu sebeple, günün en yoğun saatleri olan ve firmanın mevcut sisteminde aksaklıklara yol açan 11:00 – 14:00 saatlerindeki doluluk oranları da karşılaştırılmıştır (Bkz. Şekil 4).

Sonuç olarak önerilen çözüm sayesinde, 11:00 – 14:00 saatleri arasındaki kontuar doluluk oranlarında mevcut sistem için ortalama %50 oranında iyileştirme sağlanmıştır.



Şekil 3. Mevcut Sistem ile Önerilen Sistemin Tüm Gün Doluluk Oran Karşılaştırması

### 3. Hiç Kullanılmayan Kontuar Miktarları:

Mevcut kontuar kaynaklarına uçuşları, toplam kullanılan kontuar sayısını en aza indirecek şekilde atayabilmek TAV'a  $H_1$  grubunda olan firma sayısını arttırabilme imkânını sunmaktadır. Bu sayede TAV'ın gelirlerini arttırabileceği öngörülmektedir (Bkz. Şekil 5).

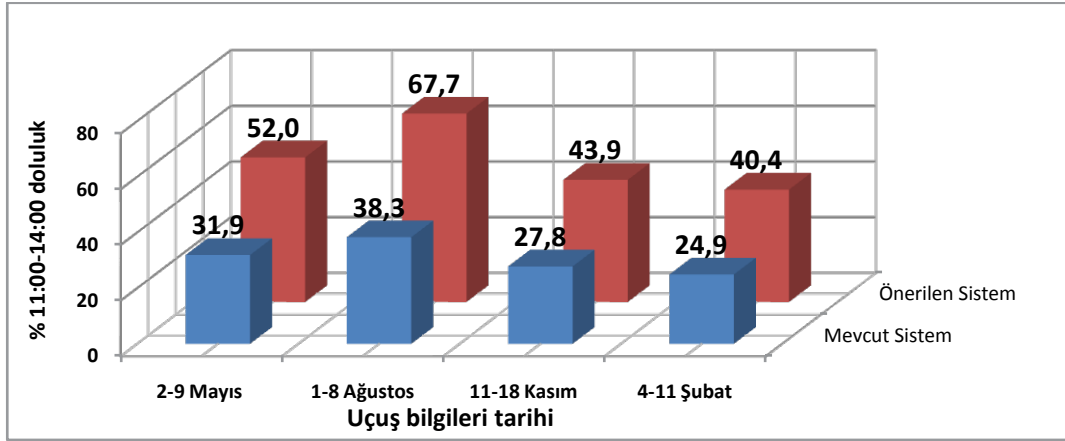
Önerilen çözüm ile kullanılan uçuş bilgilerine göre uzun dönemde ortalama 30 kontuar hiç kullanılmayacak şekilde atamalar yapılabilmektedir.

**4. Çözüm Hızları:** Mevcut sistemin manüel, sunulan çözümün ise yazılım ve bilgisayar destekli olan

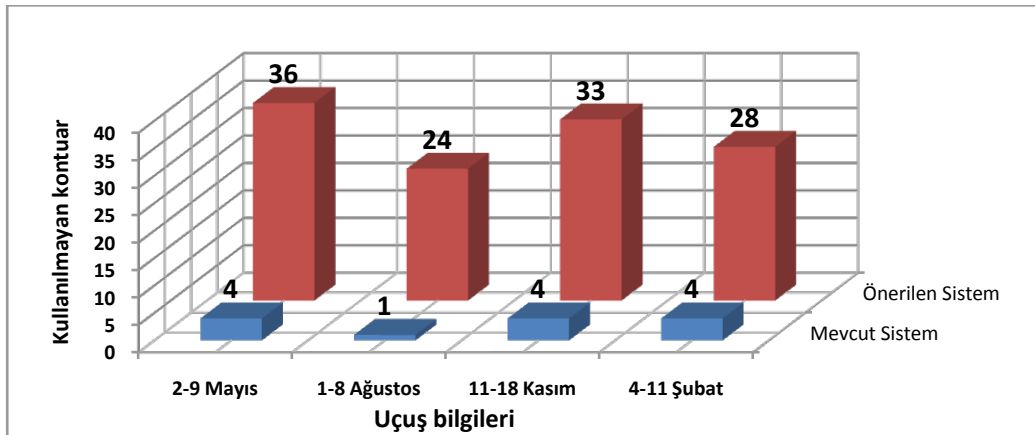
bir karar destek sistemi olması; iki sistem arasındaki çözüm hızı farkının fazla olmasına yol açmıştır. Bu karşılaştırma Tablo 5'te gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Mevcut Sistem ile Önerilen Sistemin Genel Çözüm Hızı Karşılaştırmaları

	Uzun Dönem	Kısa Dönem
<b>Mevcut Sistem</b>	7-15 gün	2-4 saat
<b>Önerilen Yöntem</b>	3-6 dakika	1-3 dakika



**Şekil 4.** Mevcut Sistem ile Önerilen Sistemin 11:00-14:00 Doluluk Oran Karşılaştırması



**Şekil 5.** Mevcut Sistem ile Önerilen Sistemin Hiç Kullanılmayan Kontuar Sayı Karşılaştırması

## 7. YÖNTEMİN UYGULANMASI

Geliştirilen algoritma farklı veriler için uygulanarak koşturum sonuçları irdelenmiştir. Öte yandan, çeşitli senaryolardan yola çıkılarak kullanılan girdilerde değişiklikler yapılmış ve algoritmanın duyarlılık analizleri yapılmıştır.

### 7.1 Kullanılan Yazılım ve Donanım ile İlgili Bilgi

Kurulan algoritma NetBeans 6.9.1 platformunda Java programlama diliyle kodlanmış ve 2,27 Ghz işlemcili, 4 GB RAM kapasitesine sahip bilgisayarda Windows 7 işletim sistemi altında çalıştırılmıştır.

### 7.2 Koşturum Sonuçları

Algoritma firmadan alınan dört ayrı haftalık uçuş verisi ile test edilmiştir. Bu veriler, ikisi kış ve ikisi yaz dönemine ait olmak üzere rastgele seçilmiştir. 1-8 Ağustos verisi ise yılın en yoğun haftasına ait olduğu için kritiktir. Haftalara göre kullanılan kontuar sayıları, kontuarların doluluk oranları, koşturum süreleri ve

hiç kullanılmamış kontuar sayıları incelenmiştir. Bu sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

Koşturum sonucunda elde edilen çıktı dosyalarının örnek görüntüsü ise Şekil 6'daki gibidir.

### 7.3 Duyarlılık Analizleri

Algoritma için kullanılan girdiler üzerinde çeşitli senaryolara uygun olarak değişiklikler yapılmış ve bunun sonucunda alınan çıktılar incelenerek algoritmanın tüm bu olası değişikliklere olan duyarlılığı tespit edilmiştir.

**Mevcut Kontuarlara Atanacak Uçuş Sayısının Arttırılması:** Bu denemenin amacı uçuş sayılarında meydana gelebilecek artışlara karşı algoritmanın çözüm kalitesinin nasıl etkilendiğini belirlemektir. Algoritma için kullanılan girdi gruplarından 2010 yılı Mart – Ekim ayları arası uçuş bilgilerinde toplam 469 adet uçuş yer almakta ve bu uçuşların tümünün ataması 98 kontuar kullanılarak yapılabilmektedir.

**Tablo 6.** Farklı Veriler İçin Koşturum Sonuçları

Kullanılan Veri	Atama İçin Kullanılan Toplam Kontuar Sayısı	Kontuar Doluluk Oranı(%) (Genel)	Kontuar Doluluk Oranı(%) (11:00-14:00)	Koşturum Süresi	Hiç Kullanılmayan Kontuar Sayısı
2-9 Mayıs	92	21,9	52	3 dakika	36
1-8 Ağustos	104	28,7	67,7	6 dakika	24
11-18 Kasım	95	21,5	43,9	4 dakika	33
4-11 Şubat	100	17,7	40,4	4 dakika	28

Uçuş No	Firma	Kontuar	Gün	Açılış	Kapanış	Kontuar Açık Kalma Süresi (dakika)
Uçuş-0	Air Algeria ( $H_2$ )	C5	Salı	15:00	17:00	120
Uçuş-0	Air Algeria ( $H_2$ )	C6	Salı	15:00	17:00	120
Uçuş-1	Air Algeria ( $H_2$ )	C5	Salı	00:30	02:30	120
Uçuş-1	Air Algeria ( $H_2$ )	C6	Salı	00:30	02:30	120
Uçuş-2	Air Algeria ( $H_2$ )	C5	Çarşamba	00:30	02:30	120

**Şekil 6.** Örnek Çıktı Dosyası

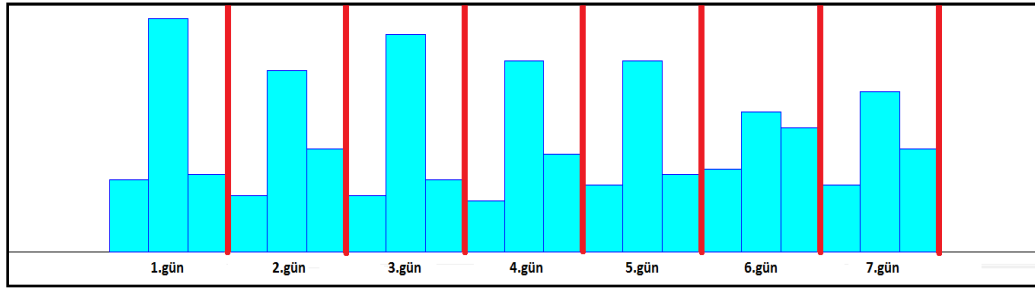
Mevcut girdilerde yer alan 469 uçuş için, kontuar açma ve kapama zamanları Arena 10.0 Input Analyzer'da incelenmiş ve verilerin normal dağılıma uygun olduğu sonucuna varılmıştır. (Bkz. Şekil 7). Her bir güne ait sütunlar sırasıyla sabah, öğle ve gece saatlerini göstermektedir.

Bu sonuçtan yola çıkılarak normal dağılıma uygun olacak şekilde rastgele uçuşlar türetilmiş ve farklı sayıda uçuşlar Mart-Ekim 2010 dönemine ait 469 uçuşa eklenmiştir. Her bir deneme için elde edilen sonuçlar Tablo 7'de gösterilmiştir.

Eklenerek uçuşlar seçilirken, farklı uçuşları için aynı kontuarları talep eden  $H_2$  ve kısa vadede uçuş sayısının artma ihtimali yüksek  $H_4$  kümeleri seçilmiştir.

$H_4$  kümesine eklenecek 269 adet uçuşa kadar, kullanılabilir sayıdaki 128 kontuar ile atama yapılabildiği sonucu elde edilmiştir. Öte yandan,  $H_4$  kümesine ait 259 uçuş ve  $H_2$  kümesine ait iki farklı firmadan beşer uçuş eklenerek 127 kontuarla atama yapılabilmektedir. Yalnızca  $H_2$  kümesine ait uçuşların eklendiği denemelerde ise 50, 100 ve 150 uçuşun eklendiği testler yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

**Uçuş Saatleri Arasındaki Tampon Sürelerin Arttırılması:** Mevcut verilerde uçuş saatleri arasında tampon süre bulunmamakta, aynı kontuara atanmış ardışık uçuşlardan ilkinin kapanış saatinin hemen ardından ikinci uçuşun açılış saati gelmektedir. Uçuşlarda yaşanması muhtemel aksaklıklar düşünülerek uçuş saatleri arasına tampon süre konulması denenmiş,



Şekil 7. 2010 Yılı Mart – Ekim Arası Uçuşlara Ait Dağılım

Tablo 7. Uçuş Sayısının Arttırılmasıyla Elde Edilen Veriler (Mart-Ekim 2010 Verileri)

Eklenen Uçuş Sayısı	Kullanılan Kontuar
200 ( $H_4$ )	117
250 ( $H_4$ )	124
<b>269 (<math>H_4</math>)</b>	<b>128</b>
270 ( $H_4$ )	129
300 ( $H_4$ )	133
50 ( $H_2$ )	102
10 ( $H_2$ ) + 10 ( $H_2$ ) + 10 ( $H_2$ ) + 10 ( $H_2$ ) + 10 ( $H_2$ )*	107
50 ( $H_2$ ) + 50 ( $H_2$ )*	109
50 ( $H_2$ ) + 50 ( $H_2$ ) + 50 ( $H_2$ )*	110
<b>259 (<math>H_4</math>) + 5 (<math>H_2</math>) + 5 (<math>H_2</math>)*</b>	<b>127</b>
259 ( $H_4$ ) + 10 ( $H_2$ )	129

\*Farklı  $H_2$  firmalarına ait uçuşlar eklenmiştir.



farklı süreler için kullanılan toplam kontuar sayıları Tablo 8'de görülebileceği gibi belirlenmiştir.

**Tablo 8.** Eklenen Farklı Tampon Süreleri İçin Elde Edilen Sonuçlar (Mart-Ekim 2010 Verileri)

Eklenen Tampon Süre (dakika)	Kullanılan Kontuar Sayısı
0	98
5	101
10	106
20	109
30	112
60	125

**Girdilerde Yer Alan Uçuşların Kontuar Açık Kalma Sürelerinin Artırılması:** Mevcut verilerde yer alan firmalardan rastgele seçim yapılmış ve kontuar açık kalma süreleri artırılmıştır. Bir veya birden fazla firmanın seçilmesi ve bu firmalara ait sürelerde yapılan değişikliklerle elde edilen sonuçlar Tablo 9'da gösterilmiştir.

**Tablo 9.** Uçuşların Kontuar Açık Kalma Sürelerinin Artırılmasıyla Elde Edilen Veriler (Mart-Ekim 2010 Verileri)

Değiştirilen Uçuş Sayısı	Her Bir Uçuşa Eklenen Zaman (dakika)	Değiştirilen Uçuşların Kullandığı Toplam Kontuar	Kullanılan Toplam Kontuar
1	60	3	98
1	60	7	98
2	60	10	98
5	60	29	98
10	60	65	98

Tüm bu denemeler uçuşların açık kalma sürelerinin artırılmasının, sunulan çözümün esnekliği gereği, toplam kontuar kullanımına etkisinin bulunmadığını göstermiştir.

## 8. ÖNERİLEN ÇÖZÜM İÇİN UYGULAMA PLANI

Proje kapsamında geliştirilen çözümün firmaya uygulanma aşaması, firma yetkilileri tarafından üstlenilmiştir. Bunun nedeni, mevcut manuel kontuar

atama sisteminin etkileştiği sistemler olan AFMS ve Solary sistemlerinin ücretlendirme, faturalama, muhasebeleştirme ve yolcuları kontuarlara yönlendirme gibi kritik süreçleri içermesidir. Bu sebeple, oluşturulan karar destek sisteminin firmaya uygulaması proje kapsamında değerlendirilmemiştir.

Çözüm için geliştirilen algoritmanın sisteme entegrasyonu ve firmaya uygulanması için tasarlanan arayüz, Java programlama dili aracılığıyla NetBeans platformunda hazırlanmıştır.

Oluşturulan arayüz tasarımında "TAV Kontuar Tahsis Karar Destek Sistemi" başlıklı giriş ekranına, ilgili kullanıcı, kendi kullanıcı adı ve parolasını girerek yetkisi dahilinde sisteme giriş yapmaktadır (Bkz. Şekil 8 ve Şekil 9).

"Uçuş Bilgilerini Al" satırında ataması yapılacak olan uçuşların listelendiği dosya seçilmektedir. "Çıktı Konumunu Belirle" satırında seçilecek dosya ise atama yapıldıktan sonraki verilerin işlenip rapor haline geleceği, önceden belirlenmiş formattaki dosyadır. Dosyalar seçildikten sonra "Çizelgeleri Oluştur" komutuyla beraber algoritma çalışır ve atama sonuçları rapor halinde hazırlanır.

Oluşturulan arayüz ve kodlama altyapısı, mevcut sistemdeki değişikliklere ve kullanılan verilerin güncelliğine duyarlı yapıdadır. Çizelge oluşturma ekranındaki "Ayarlar" sekmesinde kontuarların kullanıma uygunluk durumları değiştirilebilmektedir (Bkz. Şekil 10).

Ataması yapılacak uçuşlara ait bilgiler ise MS Excel formatında hazırlanıp girdi olarak kullanılmakta ve değişiklikler, girdiler üzerinden yapılmaktadır. Dolayısıyla verilerin dinamik yapısı arayüz tasarımında ve algoritma kodunda değişikliğe sebebiyet vermemektedir. Geliştirilen karar destek sisteminde kullanılacak MS Excel formatlı girdi dosyası ise Şekil 11'deki gibidir.

Sunulan çözümün firmaya paket halinde teslim edilmesine ve uygulamaya dönüştürülmesinin, firma tarafından üstlenilmesine ek olarak, karar destek sisteminde kullanılan ve atama sonuçlarını doğru-

Şekil 8. Sisteme Giriş

Şekil 9. Çizelge Oluşturma

Şekil 10. Kontuar Sayı Ayarları Ekranı

11 Nov 2010 03:20:00	11 Nov 2010 05:00:00	0	3	ADRIA AIRWAYS	A	100	Perşembe
12 Nov 2010 03:30:00	12 Nov 2010 04:30:00	0	3	AEGEAN AIRLINES	A	60	Cuma
12 Nov 2010 03:30:00	12 Nov 2010 04:50:00	0	3	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	B	80	Cuma
13 Nov 2010 03:20:00	13 Nov 2010 04:05:00	0	3	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	B	45	Cumartesi
13 Nov 2010 14:30:00	13 Nov 2010 15:40:00	0	3	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	C	70	Cumartesi
14 Nov 2010 03:00:00	14 Nov 2010 03:40:00	0	3	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	C	40	Pazar
15 Nov 2010 03:20:00	15 Nov 2010 04:10:00	0	3	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	D	50	Pazartesi
16 Nov 2010 03:20:00	16 Nov 2010 04:00:00	0	3	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	D	40	Salı
11 Nov 2010 13:20:00	11 Nov 2010 15:10:00	1	5	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	E	110	Perşembe
12 Nov 2010 13:15:00	12 Nov 2010 15:20:00	1	5	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	E	125	Cuma
13 Nov 2010 13:20:00	13 Nov 2010 14:45:00	1	5	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	F	85	Cumartesi
14 Nov 2010 13:20:00	14 Nov 2010 14:45:00	1	5	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	F	85	Pazar
15 Nov 2010 13:20:00	15 Nov 2010 14:50:00	1	5	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	G	90	Pazartesi
16 Nov 2010 13:20:00	16 Nov 2010 15:15:00	1	5	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	G	115	Salı
10 Nov 2010 23:40:00	11 Nov 2010 01:10:00	2	5	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	H	90	Çarşamba
11 Nov 2010 11:55:00	11 Nov 2010 13:25:00	3	8	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES	H	90	Perşembe
11 Nov 2010 19:35:00	11 Nov 2010 20:15:00	4	5	AEROFLOT RUSSIAN AIRLINES		40	Perşembe

Şekil 11. Önerilen Sistemde Kullanılacak Olan Uçuş Bilgileri Dosyası

dan etkileyen hava yolu firmalarının itibarlarının, bulunmak istedikleri ada yüzü ve yan yana gelmeyi tercih etmedikleri firma bilgilerinin zamanla değiş-

bileceği öngörülmüş ve bunun sonucunda bu bilgiler parametrik olarak TAV çalışanlarının inisiyatifine bırakılmıştır.

## 9. GENEL DEĞERLENDİRME

### 9.1 Projenin Firmaya Getirmesi Beklenen Katkılar

Projenin firmada uygulanma sürecinin bitiminde, firmanın temel problemlerinden birisi olan kontuar atama sisteminin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Uygulama sonucunda, ulaşılmaya planlanan hedeflere bağlı kalınarak firmanın olası kazanımları:

- Atamalar için geliştirilecek karar destek sistemi ile önceki karar mekanizması olan Kontuar Tahsis Müdürlüğü personelinin iş yükü yoğunluğunda hafifleme ve atama sürecinde mevcut sisteme göre kısaltmalar olması,
- Çizelgelerin olası değişikliklere karşı esnek davranması veya hızlı cevap verebilmesi,
- Hava yolu şirketlerinin uygulanabilir beklentilerine daha iyi cevap verilebilmesi,
- Sistemdeki temel kaynaklar olan kontuarların etkin kullanılmasıyla (örneğin; uçuş yoğunluğu az olduğunda bazı kontuar adalarının boş bırakılmaya çalışılması) sistemin daha verimli çalışması ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi,
- Hiç kullanılmayan kontuarların ortaya çıkması sonucu THY'nin daha fazla sabit kontuar talebine cevap verilerek gelirlerde artışın sağlanması, şeklindedir.

### 9.2 İleriye Dönük Güncelleme Önerileri

Firmayla yapılan fikir alış verişi sonucunda, projenin tamamlanmasının ardından kontuar atama sistemi üzerinde yapılması muhtemel bazı iyileştirmeler düşünülmüştür. Mevcut çalışmada; literatürde iki aşamada incelenmiş olan kontuar atama probleminin sadece ikinci aşaması olan belirlenen sayıdaki kontuarları atama ile ilgilenilmiş, uçuşlar için kontuar sayısını belirleme üzerine çalışma yapılmamıştır. Firmadaki endüstriyel danışmanların önerisi ile proje bitiminde bu konunun da incelenmesi ve daha sağlıklı bir atama sistemi geliştirilerek hava yolu şirketleri ile firma yö-

neticilerine öneri olarak sunulması planlanmaktadır.

Öte yandan, uçuşların artması ihtimaline karşılık Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali'nde mevcut kontuar sayılarının artırılması TAV yönetimi tarafından düşünülmekte olan bir konudur. Tasarlanmakta olan atama sistemi üzerinde yapılabilecek geliştirmeler ile ihtiyaç duyulan kontuar sayısının belirlenebilmesi ve firmaya sunulması düşünülmektedir.

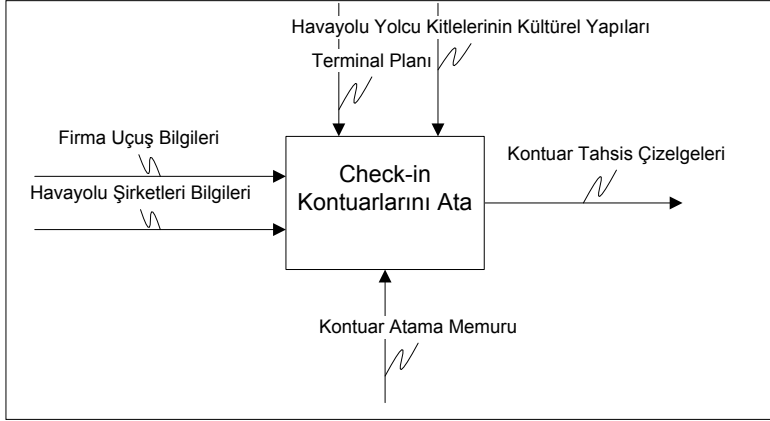
Bunlara ek olarak, sistemin anlık görüntüsüne ulaşılabilmesiyle özel koşullarda istenen kontuarlara istenen uçuşların atanabilmesi seçeneği ve kontuarların açık kalma zamanlarından kaynaklanan olumsuz çizelge durumlarında; hangi kontuar atamasının ne kadar dilimlik bir süre için bu olumsuzluğa sebep olduğunun belirlenmesi de ileriye dönük güncellemeler arasında yer almaktadır.

## 10. KAYNAKÇA

1. Chun, H-W. 1996. "Solving Check-in Counter Constraints with ILOG SOLVER," ILOG Technical Report.
2. Cohen, R., Katzir, L. ve Raz, D. 2006. "An Efficient Approximation for the Generalized Assignment Problem," Information Processing Letters, 100(4), 162-166.
3. Moon, K. , Gunther, J. 2006. "Multiple constraint satisfaction by belief propagation: An example using Sudoku," IEEE Mountain Workshop on Adaptive and Learning Systems, 122-126.
4. Yan, S., Chang, K., Tang, C-H. 2004. "Minimizing Inconsistencies In Airport Common Use Checking Counter Assignments With a Variable Number of Counters," Journal of Air Transport Management 11, 107-116.
5. Yan, S., Tang, C-H., Chen, M. 2003. "A Model and A Solution Algorithm For Airport Common Use Check-In Counter Assignments," Transportation Research Part A 38, 101-125.
6. Yan, S., Tang, C-H., Chen, C-H. 2006. "Reassignments of common-use check-in counters following airport incidents," Journal of the Operational Research Society, 59(8), 1100-1108.

## EKLER

### Ek 1. IDEF0 İçerik Diyagramı



### Ek 2. Bilgi Akış Diyagramı

