

# ANKARA ESENBOĞA HAVALİMANI PARK ALANI ATAMA KARAR DESTEK SİSTEMİ TASARIMI

Gamze GEDİK, Gülin Begüm ÜNAL, Mehmet Serkan TOKGÖZ, Seda Nur KAYA, Tuğçe KABADAYI, Gültekin KUYZU,  
Hakan GÜLTEKİN\*

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

gmz.gedik@gmail.com, gbegumunal@gmail.com, serkantokgoz09@gmail.com, kaya.sedanur@gmail.com,  
kabadayi.tugce@gmail.com, gkuyzu@etu.edu.tr, hgultekin@etu.edu.tr

## ÖZET

Havalimanlarında park alanı atama işlemi, uçakların çeşitli ölçütler ve kısıtlar göz önünde bulundurularak köprülü veya açık park alanlarına atanmasıdır. Bu atamalar yapılırken köprülü park alanlarına atanan uçak sayısının enbüyüklenmesi amaçlanırken, park alanlarının verimli kullanımı, yolcuların yürüme mesafesi, uçuşlara ait zaman çizelgeleri, uçak park alanı boyutlarının uyumu gibi birçok ölçüt ve kısıt dikkate alınmaktadır. Ankara Esenboğa Havalimanı'nda atama çizelgelerinin manuel olarak yapılmasından kaynaklanan çeşitli sorunlar yaşanmaktadır. Problemin çözümü için bir matematiksel model kurulmuş ve ayrıca bir sezgisel algoritma geliştirilmiş ve Java programlama dilinde kodlanmıştır. Gerçek veriler kullanılarak yapılan testlerde, mevcut sisteme göre, günlük köprülü park alanına atama oranı, matematiksel model ile %7, sezgisel yöntemle ise %5 artırılmıştır. Ayrıca manuel olan mevcut sistemdeki çıktı alma süresi 4 saatten, matematiksel model ile 1 dakikaya, sezgisel ile 8 saniyeye kadar indirilmiş, böylece çalışanın zamanından tasarruf sağlanmıştır. Ayrıca, sistemin performansının daha da iyileştirilmesi ve çözüm yöntemlerinin parametrelere duyarlılığını belirlemek için çok sayıda analiz yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Havalimanı park alanı atama, matematiksel programlama, sezgisel, duyarlılık analizi

## DESIGN OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR GATE ASSIGNMENT AT ANKARA ESENBOĞA AIRPORT

### ABSTRACT

Aircraft parking space assignment is the problem of assigning aircrafts to bridge-equipped or remote parking positions under a number of objectives and constraints. The main objective is to maximize the number of aircrafts assigned to bridge-equipped parking positions. Besides this, the efficient use of parking positions, walking distance of passengers, timetables of the flights, and compatibility of aircrafts with the parking positions are also considered. There are a number of problematic issues in Esenboğa Airport of Ankara where the assignments are made manually. A mathematical programming formulation as well as a heuristic algorithm is developed for the problem, which is coded in Java programming language. According to the tests performed using real life data, the number of aircrafts assigned to bridge-equipped parking positions is increased by 7% using the mathematical model and by 5% using the heuristic in comparison to the current system. Furthermore, the solution time is reduced from the current 4 hours to 1 minute using the mathematical model and to 8 seconds using the heuristic. Large number of parametric analysis are performed in order to improve the system performance even further and to determine the sensitivity of the solution methods to problem parameters.

**Keywords:** Airport parking space assignment, mathematical programming, heuristics, sensitivity analysis

\* İletişim yazarı

33. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Proje Yarışması'nda üçüncülük ödülü kazanan çalışmanın ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

## 1. GİRİŞ

Apron, hava alanlarında uçakların uçuşa hazırlanmasına, manevra yapmasına, yolcuların inip binmesine yarayan, uçuş pistiyle terminal binası ve yapıları arasındaki düz ve sert yüzeyli alandır. Apronlarda köprülülük alanları ve/veya açık park alanları bulunmaktadır. Köprülülük alanlarında yolcular için, uçak-terminal binası/terminal binası-uçak arasında bağlantı sağlayan hareketli teleskopik tünel bulunur. Açık park alanında ise yolcular terminale otobüsle taşınır. Köprülülük alanı havalimanına iniş yapan uçakların köprü ve/veya park hizmeti, açık park alanları ise sadece park hizmeti aldıkları yerlerdir.

Ankara Esenboğa Havalimanı'nda 4 adet apron bulunur. Proje kapsamında ele alınacak apron yolcu uçaklarının yanaştığı köprülülük ve açık park alanlarının bulunduğu 4 numaralı aprondur. Bu apronda 13 adet iç hat, 5 adet dış hat olmak üzere 18 adet köprülülük park alanı ve 9 adet açık park alanı mevcuttur. Apronun yerleşim planı Ek 1'de verilmiştir.

Projenin amacı, mevcut durumda manuel olarak yapılmakta olan ve hem personel için zaman kaybına neden olan ve hem de istenilen kalitede çözüm çıkartamayan park alanı atama problemini çözmek üzere bir karar destek sistemi geliştirmektir.

Problemin çözümü için öncelikle bütün kısıtları göz önüne alan bir matematiksel model oluşturulmuştur. Bu model CPLEX OPL 12.2 kullanılarak çözdürülmüştür. Ayrıca bir sezgisel algoritma geliştirilmiş ve Java programlama dilinde kodlanmıştır. Her iki yöntemin de doğrulama ve geçiş analizleri yapıldıktan sonra, gerçek veriler kullanılarak performans testleri ve duyarlılık analizleri yapılmıştır.

## 2. FİRMA TANITIMI

1997'de İstanbul Atatürk Havalimanı dış hatlar terminali ihalesiyle sektöre adım atan TAV Havalimanları Holding A.Ş. vizyonunu, Avrupa, Rusya ile Bağımsız Devletler Topluluğu, Orta Doğu, Afrika ve Hindistan bölgelerinde havalimanı işletmeciliğinde lider ve öncü kuruluş olarak belirlemiştir. TAV Havalimanları bugün Türkiye'de İstanbul, Ankara, İzmir ve Antalya'da;

yurt dışında ise Gürcistan, Tunus, Makedonya, Suudi Arabistan ve Letonya'da faaliyet göstermektedir. TAV Havalimanları Holding A.Ş. duty-free, yiyecek-içecek hizmetleri, yer hizmetleri, bilişim, güvenlik ve işletme hizmetleri gibi yolcuların otoparka girişinden, uçağa binişine dek her aşamada hizmet vermektedir.

Yıllık 10 milyon yolcu kapasitesi ile 2006 yılında hizmet vermeye başlayan Ankara Esenboğa Havalimanı İç ve Dış Hatlar Terminali, 182.000 m<sup>2</sup> lik bir alan üzerine kuruludur. Her gün yaklaşık 21.000 yolcuya hizmet veren Ankara Esenboğa Havalimanı'nda günde ortalama 175 uçak inip kalkmaktadır. Esenboğa Havalimanı'nda dünyanın farklı yerlerinden yaklaşık 25 havayolu şirketine hizmet verilmektedir.

## 3. MEVCUT SİSTEM ANALİZİ

Proje kapsamında ele alınacak apron, yolcu uçaklarının yanaştığı köprülülük ve açık park alanlarının bulunduğu 4 numaralı aprondur. Bu apronda 13 adet iç hat, 5 adet dış hat olmak üzere 18 adet köprülülük park alanı ve 9 adet açık park alanı mevcuttur.

Bir sonraki gün için yapılacak park alanı atama sisteminin en önemli girdileri, Havaş Yer Hizmetleri, Türk Hava Yolları ve Çelebi Yer Hizmetleri'nin 12 saat önceden e-posta ile farklı formatlarda yolladıkları uçuş bilgileridir. Tablolarda yer alan bu bilgiler, bir sonraki gün için planlanan uçuş saatleri, uçak tipleri ve uçakların geliş-gidiş meydanlarıdır.

Mevcut sistemde karar mekanizması, DHMİ'de çalışan personelin tecrübe ve bilgisine dayanarak işlenmektedir. Bu süreç Ek 2'de gösterilmektedir. Öncelikle gönderilen uçuş bilgileri, DHMİ personeli tarafından bir tablo haline getirilir. Personel, hangi uçağın hangi park alanına atanacağına karar verirken uçuş bilgileri tablosuna göre hareket eder. Bu bilgiler ışığında personel belli ölçüt ve kısıtları göz önünde bulundurmaya zorundadır. Bu ölçüt ve kısıtlar sırasıyla:

- **İç/Dış Hat Ayrımı:** Öncelikle uçağın geliş yönüne bakılmalıdır. Yurt içinden gelip yurt içine gidiş yapacak uçaklar iç hat köprülerine, yurt dışından gelip yurt dışına gidiş yapacak uçaklar ise dış hat köprülerine atanmalıdır. Ayrıca yurt içinden gelip

yurt dışına gidiş yapacak uçaklar öncelikli olarak dış hat köprülerine yer yoksa iç hat köprülerine atanmalıdır. Yurt dışından gelip yurt içine gidecek uçaklar ise sadece dış hat köprülerine atanmalıdır.

- **Uçakların Boyutu ve Fiziksel Özellikleri:** Havalimanında bulunan köprülül ve açık park alanlarının boyutları birbirinden farklı olduğu için her uçak her park alanına yanaşamamaktadır. Bu yüzden firma uçakları boyutlarına göre üç sınıfa ayırmakta ve gelen uçağı teknik özelliklerine uygun olan köprülül park ve açık park alanlarına yönlendirmektedir.
- **Köprü ve Park Hizmeti:** Köprü hizmeti almayarak sadece park servisi alacak uçakların mümkün olduğunca köprülül park alanlarına atanması TAV'ın gelirini arttırmaktadır. Açık park alanlarına veya köprülere atanan uçağın havalimanında kalacağı zaman boyunca yeri mecbur olunmadıkça değiştirilmemektedir.
- **Merkezi Köprü Önceliği:** Firma, yürüme mesafesini enaza indirerek müşteri memnuniyeti sağlamak; elektrik, havalandırma maliyetlerini azaltmak; Duty Free gibi işletmeye kâr sağlayacak mağazaların kullanımı arttırmak amacıyla uçakların iç ve dış hat merkezlerindeki köprülerin kullanımına öncelik verilmesini istemektedir. Ek 2'de de gösterildiği gibi, iç hat köprüleri 103-115 arası numaralarla adlandırılan köprülerdir ve 108 numaralı köprü merkez kabul edilmektedir. Dış hat köprüleri ise 116-120 arası numaralarla adlandırılan köprülerdir ve 118 numaralı köprü merkez kabul edilmektedir.
- **Art Arda Atanacak 2 Uçak Arasındaki Süre:** Aynı köprüye art arda atanacak uçaklar arasında ise 15 dakika olmalıdır.
- **Düşman Ülke Uçakları:** Siyasi nedenlerden dolayı birbirine düşman iki ülkenin uçaklarının olası saldırıları engellemek amacıyla yan yana park alanlarına atanmaması gerekmektedir. Örneğin, İsrail - Filistin, İran - Amerika, Irak - Amerika havayollarının uçakları komşu park alanlarına aynı anda atanamaz.
- **Büyük Uçak Önceliği:** Boyut olarak büyük olan uçaklar daha fazla yolcu taşıdığından müşteri memnuniyeti sağlamak amaçlı mutlaka köprülere atanmalıdır.

- **Köprü Bakımları:** 6 ayda bir yapılan köprü bakımları önceden bildirilir ve bakım günlerinde o köprülere uçaklar atanamaz.

Atanmak üzere seçilen uçağın, havalimanına iniş yaptığı saatte köprülerin boş olmaması, fiziksel özelliklerinin köprülere uygun olmaması durumunda uçak direkt açık park alanlarına yönlendirilir. Ayrıca uçağın, atanmak istendiği köprüden bir önceki uçağın kalkış zamanının 15 dakikadan az olması, park alanlarının komşularında düşman ülke havayoluna ait uçağın bulunması, köprülül park alanlarının bakımda olması gibi durumlarda uçak, uygun başka bir köprülül park alanına, uygun köprülül park alanı bulunamaması durumunda da açık park alanına yönlendirilir.

DHMI personeli ertesi gün için 24 saatlik planlanan park atama çizelgesini "Çarşaf Liste" adı verilen kağıtta manuel olarak 4 saatte hazırlar. Daha sonra bu liste bilgisayara geçirilir. Çizelgeleme işlemi sonucunda elde edilen bir çizelge örneği Ek 3'te verilmiştir.

Firma, mevcut sistemin manuel olmasından dolayı çok fazla zaman ve iş gücü kaybı olduğunu, ayrıca geliştirilen çizelgelerin köprülül park alanlarına atanan uçak sayıları, merkezi köprülerin kullanım oranları gibi kriterler düşünüldüğünde istenen performansı sağlamadığından şikayet etmektedir.

Sonuç olarak, Ankara Esenboğa Havalimanı'nda kullanılmak üzere park alanı atama karar destek sistemi geliştirilmesine karar verilmiştir. Proje sonucunda, 4 saatte hazırlanan çizelgeler birkaç saniyeye düşürülerek zaman ve iş gücü kazancı sağlanacaktır. Ayrıca, daha çok uçağın köprülül park alanlarına atanmasından dolayı kira gelirleri ve müşteri memnuniyeti artacak, merkezi köprülerin daha çok kullanılmasıyla da elektrik, ısıtma gibi giderlerden tasarruf, yolcu yürüme mesafelerinde azalma ve yer hizmetlerinden elde edilen gelirlerde artış sağlanacaktır. Geliştirilecek sistem, yurt içi veya yurt dışında herhangi bir havalimanında kullanılabilecek esnek bir yapıda tasarlanacaktır.

#### 4. PROBLEM TANIMI

Yapılan sistem analizi ve gözlemler sonucunda problem tanımlanmış bu tanım doğrultusunda proje çıktıları ve başarı ölçütleri belirlenmiştir.

#### 4.1 Problem Tanımı

Ankara Esenboğa Havalimanı'nda Park Alanı Atama projesi kapsamındaki problem, park alanları atama işleminin elle yapılıyor olması, çizelgeleri oluşturma sürecinin çok uzun sürmesi ve oluşturulan çizelgelerin beklentileri karşılamaktan uzak olmasıdır.

#### 4.2 Çıktılar ve Başarı Ölçütleri

Bu sistemin çıktısı olarak gün içinde gelen uçakların havalimanında yanaşacağı köprülülük park alanları/ açık park alanlarını belirten park alanı atama çizelgelerinin kolaylıkla hazırlanabilmesi için bir karar destek sistemi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu karar destek sistemi kullanıcı ara yüzü bir program olarak kullanıcıya sunulmuştur.

Yapılan analizlere göre proje,

- Bir gün içerisinde gelen uçakların mümkün olduğunca çoğunun (firma beklentisi en az %96'sının) köprülülük park alanına atanması,
- Köprü atama maliyetlerinin minimize edilmesi,
- Yolcuların minimum yürüme mesafesiyle terminale ulaştırılması,
- Personelin iş yükünü azaltarak memnuniyetinin artırılması,
- Atama süresinin kısaltılması,
- Gün içinde meydana gelen beklenmeyen durumlarda (rötarlar gibi) önerilen sistem çıktısının firmanın tasarladığı arayüze entegre edilmesiyle planlanan atamaların manuel olarak değiştirilmesinin kolaylaştırılması.

#### 5. KAYNAKÇA TARAMASI

Köprülere atanmamış uçak sayısını düşürmek ve yolcuların yürüme mesafesini enaza indirerek müşteri memnuniyetini arttırmak, park alanı atama sisteminin anahtar bileşenleridir. Bu nedenle, atama maliyeti, köprülerin iki uçak arası boş kalma süresi, uzun süre kalacak uçakların ücreti ve müşterilerin akış mesafesi kısıtları baz alınan çalışmalar üzerine bir kaynakça taraması gerçekleştirilmiştir.

Mevcut literatürde “çok kısıtlı havalimanı köprü atama problemi” olarak geçen bu problemin kısıtları

bizim çalışmamızda ele alınan kısıtlarla paralellik göstermektedir. Kumar vd. (2011) yaptıkları çalışmada atama maliyetini enazlarken, köprülerin iki uçak arası boş kalma süresi, uzun süre kalacak uçakların ücreti, ceza maliyetlerinin enazlanması, planlanan uçuşları köprülere günlük bazda ve müşterilerin yürüme mesafesini enazlayacak şekilde ayarlayabilme kısıtlarını göz önüne almışlardır. Bu konuda çalışmalar yapan Wipro Technologies (2009) firması ise problemin çözümü için ağgözlü sezgisel, tabu arama ve benzetim kullanımı ile desteklenen hibrid bir sezgisel algoritma geliştirmiştir. Drexl ve Nikulin (2008), problemi çok amaçlı ve ikinci dereceden denklemlerle tamsayı programlama modeli şeklinde olarak formüle etmiştir. Ding vd. (2005), uçakların köprülere atanması kısıtlarının çözümü için ağgözlü algoritması, yürüme mesafesinin enazlanması için de tabu arama ve benzetim kullanmıştır.

Görüldüğü gibi, literatürde ve pratikte benzer sistemler bulunmaktadır. Fakat uçakların park alanlarına atanmasını belirlemek üzere bu çalışmada geliştirilen algoritmalar tamamen özgün algoritmalarlardır.

#### 6. ÖNERİLEN YÖNTEM

Yapılan problem tanımı doğrultusunda kesin çözüm yöntemi olan matematiksel modelleme ile kısa sürede “iyi” çözümler elde etmek için sezgisel algoritmalar kullanılmıştır.

##### 6.1 Matematiksel Model

Park alanı atama çizelgelerinin düzenlenmesinde öncelikle Tam Sayılı Doğrusal Programlama kullanılmıştır. Optimal çözüme ulaşmak için geliştirilen matematiksel model “CPLEX Studio IDE” programında kodlanmıştır.

Model, 4. aprona ait tüm köprülülük ve açık park alanlarını, gün içinde meydana gelecek tüm uçuşları, bir günlük periyot sayısını, uçakların havalimanına geliş ve havalimanından gidiş zamanlarını ve uçakların köprülülük park alanlarına atanabilirlik matrisini parametre olarak almaktadır. Model, havalimanının ve uçakların uygunluğu açısından birçok kısıt içermektedir.

**Parametreler:**

$K$	= tüm apronlardaki köprülü ve açık park alanlarının kümesi	$S$	= bir günlük periyot sayısı = 300
$N$	= 4. Aprondaki köprülü ve açık park alanlarının kümesi	$D$	= düşman ülke uçuşlarının kümesi
$AP$	= 4. Apron dışındaki diğer apronlardaki açık park alanlarının kümesi	$a_j$	= $j$ uçağının havalimanına planlanan geliş periyodu
$P$	= 4. Aprondaki tüm açık park alanlarının kümesi	$p_j$	= $j$ uçağının havalimanında planlanan kalacağı periyot sayısı
$DK$	= 4. Apronda önceki günden dolu olan köprülü ve açık park alanlarının kümesi	$gs_j$	= $j$ uçağının gidiş sefer kodu
$T_{DK}$	= 4. Apronda önceki günden dolu olan köprülerin boşalacağı periyot	$Y^{gs}$	= Gidiş seferi yatı olan uçakların kümesi
$MD$	= 4. Aprona gelecek olan yatı uçaklarının atanamayacağı köprülerin kümesi	$gy_j$	= $j$ uçağının geliş yeri
$w_k$	= $k$ park alanının ağırlığı	$gd_j$	= $j$ uçağının gidiş yeri
$w_{jk}$	= $j$ uçağının $k$ park alanındaki ağırlığı	$C$	= Ülke kodlarının kümesi
$L_k$	= $k$ park alanlarının komşularının kümesi	$E_C$	= Her ülkenin düşman ülkesinin kümesi
$U$	= tüm uçuşların kümesi	$g_j$	= $j$ uçağının havalimanından planlanan gidiş periyodu
		$B$	: Atanabilirlik matrisinin $j$ - $k$ elemanı ( $b_{jk}$ ), $j$ uçağı $k$ park alanına atanabiliyorsa 1, atanamıyorsa 0 değerini alır.
		$M$	= Büyük bir sayı. Geliştirilen model için 500 yeterli bir sayıdır.

**Karar değişkeni:**

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & i \text{ periyodunda } j \text{ uçağı ilk olarak } k \text{ park alanına atanmış ise} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}$$

**Model:**

$$\text{Mak } z = \sum_{i \in S} \sum_{j \in U} \sum_{k \in N} (w_{jk} w_k x_{ijk}) - \sum_{i \in S} \sum_{j \in U} \sum_{k \in P} (w_{jk} w_k x_{ijk})$$

Öyle ki

$$\sum_{k \in K} x_{ajk} = 1, \quad \forall j \in U \quad (1)$$

$$\sum_{r \in L_k} (x_{ajk} + x_{ahr}) \leq 1, \quad \forall j, h \in D; h > j; g_j - a_h \geq 0; g_h \geq g_j \\ \forall gy_j, gy_h \in E_{gy_j}; \forall k \in N \quad (2)$$

$$\sum_{r \in L_k} (x_{ajk} + x_{ahr}) \leq 1, \quad \forall j, h \in D; h > j; g_j \geq g_h; a_h > a_j \\ \forall gy_j, gy_h \in E_{gy_j}; \forall k \in N \quad (3)$$

$$\sum_{r \in L_k} (x_{ajk} + x_{ahr}) \leq 1, \quad \forall j, h \in D; h > j; g_h - a_j \geq 0; g_j \geq g_h; a_j \geq a_h \\ \forall gy_j, gy_h \in E_{gy_j}; \forall k \in N \quad (4)$$

$$\sum_{i \in S} x_{ijk} \leq b_{jk}, \quad \forall j \in U, \forall k \in N \quad (5)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{k \in N} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall j \in U \quad (6)$$

$$\sum_{j \in U} x_{ijk} \leq 1, \quad \forall i \in S, \forall k \in N \quad (7)$$

$$\sum_{\substack{u \in U \\ u \neq j}} \sum_{\substack{i=a_j \\ i \leq 288}}^{a_j+p_j+2} x_{iuk} \leq M(1 - x_{ijk}), \quad \forall j \in U, \forall k \in N \quad (8)$$

$$\sum_{k \in MD} x_{ajjk} = 0, \quad \forall g s_j \in Y_{gs} \quad (9)$$

$$\sum_{k \in DK} x_{ajjk} = 0, \quad a_j \leq t_{DK} + 2; t_{DK} \neq 0; \forall j \in U, \forall k \in DK \quad (10)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}$$

Model oluşturulurken, amaç fonksiyonunda temel olarak maksimum sayıda uçağın köprülülük alanına atanması amacı güdülmüştür. Bunun yanında maliyeti düşürmek ve yolcuların yürüme mesafesini azaltmak amacıyla merkezi köprülerin daha çok kullanılması için amaç fonksiyonunda park alanları ağırlıklandırılmıştır. Ağırlık katsayıları köprülülük alanlarının merkezi köprülere olan uzaklıklarına göre belirlenmiştir. İç hat köprülerinde 108, dış hat köprülerinde ise 118 numaralı köprülülük alanları merkez kabul edilmektedir. Modelin amaç fonksiyonunda tüm köprülülük alanlarının ağırlık katsayısı iç/dış merkez köprüsüne olan uzaklığı ile ters orantılı olarak belirlenmiştir. Açık park alanları ise en düşük ağırlığa sahip ve negatif değer almaktadır. Böylece merkezi köprülülük alanlarına atanma oranı maksimize edilmiştir.

Modelde; (1) her uçağın geleceği periyotta bir park alanına atanmasını sağlar. (2), (3) ve (4), düşman ülke uçaklarının aynı anda ardışık köprülere atanmamasını sağlar. (5), her uçağın boyutlarının ve uçuş ayaklarının izin verdiği köprülere atanmasını sağlar. (6), her uçağın en fazla bir köprüye atanmasını; (7), bir köprüye aynı periyotta birden fazla uçak atanmamasını sağlar. (8), bir uçağın kalacağı süre boyunca atandığı köprüye başka bir uçağın atanmamasını sağlar. (9), yatı uçaklarının 116-118-120 numaralı köprülülük alanlarına atanmamasını; (10), önceki günden dolu olan bir köprüye boşalacağı saate kadar herhangi bir uçağın atanmamasını sağlar.

## 6.2 Sezgisel Algoritma

Matematiksel modellerin çözdürüldüğü ticari çözümler endüstriyel kullanım için yüksek lisans ücretleri

talep etmektedirler. Ayrıca, Ankara gibi, günlük uçuş sayıları günden güne artan havalimanlarında belirli bir uçuş sayısından sonra matematiksel modelleme ile kısa sürede çözümler elde etmek mümkün değildir. Bu sebeple, firmaya alternatif çözüm yöntemi olarak özgün bir sezgisel algoritma geliştirilerek sunulmuştur. Bu algoritma ve geliştirildiği JAVA programlama dili açısından herhangi bir ücret söz konusu değildir. Ayrıca, algoritma uçuş sayısı ne kadar artarsa artsın, kısa sürede uygulanabilir çözümler üretmekte ve çözümlerin optimal olma garantisi olmasa da optimalden sapma miktarları çok düşük olmaktadır. Geliştirilen sezgisel algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir.

**Algoritmanın Başlangıç Aşaması:** Uçuşlar için atanabilirlik matrisini oluştur.

### Algoritmanın Çalışma Prensipleri:

1. Bütün uçuşlar kümesini havaalanına geliş saatine göre sırala, ilk uçuştan başlayarak bütün uçuşlar için:
  - 1.1 Uçağın atanabileceği park alanlarına bak.
  - 1.2 Uçağın atanması için müsait Köprülülük Park Alanı (KPA) sayısı 3'ten fazla ise ve uçağın boyutu uygunsa, uçağı atanabildiği herhangi bir KPA'ya ata; değilse, Açık Park Alanına (APA) ata.
  - 1.3 KPA sayısı 3'ten az ise ve uçağın park alanında kalacağı periyot uzunluğu 6.5 saatten büyük ise; APA'ya; değilse, müsait KPA'lardan rastgele birine ata.
2. Tüm uçuşların atamaları bittikten sonra, APA'ya atanmış bütün «büyük» uçaklar için:

- 2.1 KPA'lara atanabilirliğini kontrol et. Aynı zaman diliminde havaalanında olan iki uçağın atamalarını, bütün kısıtlar sağlanıyorsa, büyük uçağın KPA'da olacak şekilde karşılıklı değiştir.
3. Küçük ve orta boyutlu uçaklar için:
- 3.1 Rastgele iki uçak seç, kısıtları sağlanıyorsa, uçakların atamalarını kendi aralarında değiştir.
- 3.2 Park alanlarının değişmesi durumunda KPA'larda yeni oluşan boşluklara APA'lerden bir uçak atanıp atanamayacağını kontrol et, kısıtlar sağlanıyorsa atamayı yap. Elde edilen yeni çizelgeyi arama ağacına kaydet.
- 3.3 Belirli sayıda deneme yapıldıkça kadar tekrar et.
4. Arama ağacında minimum amaç fonksiyon değerini veren atamayı belirle ve DUR.

### 6.3 Doğrulama

Oluşturulan matematiksel model "CPLEX Studio IDE" programında, geliştirilen algoritma ise Java programında kodlanmış ve 2.53 Ghz işlemcili, 3GB RAM kapasitesine sahip bilgisayarda Windows 7 işletim sistemi altında çalıştırılmıştır. Bu aşamada proje kapsamında firmaya sunulan çözümün, firmanın belirlediği kısıt ve ölçütlerin sağlayıp sağlamadığı test edilmiştir. Gerçek verilerle test problemleri çöz-

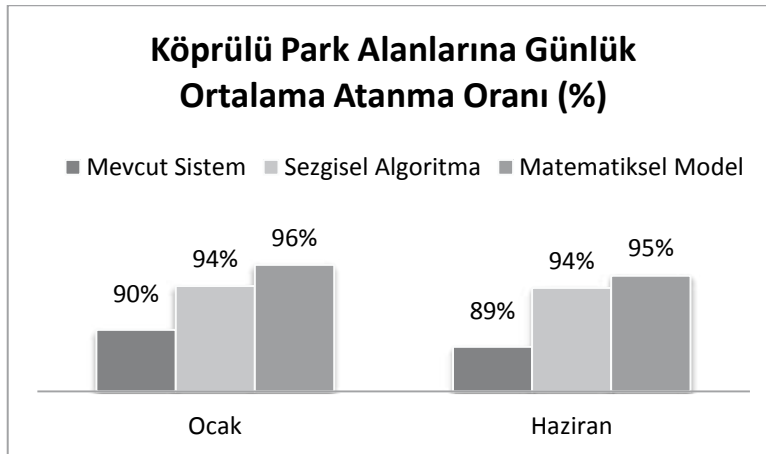
dürülmüş ve hem matematiksel modelin ve hem de sezgisel algoritmanın mevcut bütün kısıtları sağladığı doğrulanmıştır. Çıkan sonuçlar firma yetkililerine de sunulmuş ve uygulanabilir oldukları onaylanmıştır.

## 7. PERFORMANS ANALİZİ

Geliştirilen matematiksel modelin ve sezgisel algoritmanın etkinliklerini test etmek için yılın farklı zamanlarından geçmiş veriler toplanmış ve performans analizi yapılmıştır. Bu kapsamda ocak ve haziran aylarından seçilen ardışık 15'er günlük uçuş bilgileri, hem ticari bir yazılım olan CPLEX kullanılarak matematiksel model ile çözdürülmüş ve hem de sezgisel algoritma ile çözdürülmüştür. Her ikisinden de elde edilen sonuçlar farklı kriterlere göre mevcut sistem çözümleri ile karşılaştırılmıştır. Bu analizlere aşağıda yer verilmektedir:

### 7.1 Uçakların Köprülü Park Alanlarına Günlük Atanma Oranları

İlk karşılaştırma kriteri, firmanın projeden en büyük beklentisi olan uçakların köprülü park alanlarına günlük ortalama atanma oranlarıdır. Mevcut sistem ve önerilen sistemlerin karşılaştırılması Şekil 1'de gösterilmiştir. Buna göre uçakların köprülü park alanlarına günlük atanma oranında mevcut sistem için matematiksel modelle ortalama %7, sezgisel algoritmayla ise ortalama %5 oranında iyileştirme sağlanmıştır.



**Şekil 1.** Mevcut Sistem ve Önerilen Sistemlerin Köprülü Park Alanlarına Günlük Ortalama Atanma Oranlarının Karşılaştırması

Matematiksel model mevcut duruma göre toplamda 135, sezgisel model 105 uçağı köprülü park alanına atamaktadır.

## 7.2 Yoğun Saatlerde (10:00 – 14:00) Uçakların Köprülü Park Alanlarına Atanma Oranları

Uçakların köprülü park alanlarına günlük ortalama atanma oranlarına ilaveten günün en yoğun saatleri olan 10:00 – 14:00 saatlerindeki köprülü park alanına atanma oranları da karşılaştırılmıştır. Mevcut sistem ve önerilen sistemlerin karşılaştırılması Şekil 2’de gösterilmiştir. 10:00 – 14:00 saatleri arasında uçakların köprülü park alanları atanma oranında mevcut sistem için matematiksel model ve sezgisel algoritmayla ortalama %2 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Haziran ayının verisinde ocak ayına göre yoğun saatlerde daha fazla uçuş bulunduğu için köprülü park alanına atanma oranları arasında farka sebep olmaktadır. Matematiksel ve sezgisel model, mevcut durumdan toplamda 11 daha fazla uçağı köprülü park alanına atamaktadır.

## 7.3 Merkezi Köprülü Park Alanları Bazında Kullanım Oranları

Firma merkezi köprülü park alanları (108, 118 ve komşuları) kullanımına öncelik vermek istediğinden, mevcut sistem ile önerilen sistemlerin köprülü park

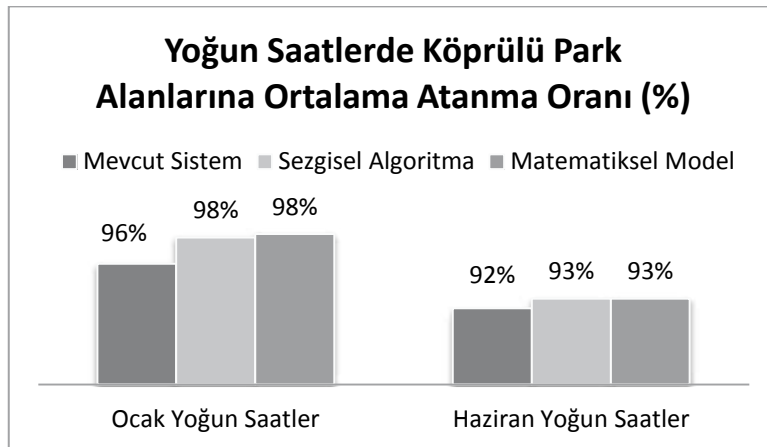
alanları bazında atama oranları da karşılaştırılmıştır. Firmanın isteğı olan merkezi köprülü park alanı kullanımını matematiksel modelde neredeyse iki katına çıkarmıştır. Sezgisel kullanıldığında ise mevcut sisteme oranla bir değışiklik gözlemlenmemiştir.

## 7.4 Çözüm Hızları

Mevcut sistem manuel, sunulan çözümler ise bilgisayar destekli karar destek sistemleridir. Mevcut sistemle yaklaşık 4 saatte planlanan çizelgeler, matematiksel modelle 1 dakikada, sezgisel algoritmayla ise 8 saniyede oluşturulmaktadır.

## 7.5 Duyarlılık Analizleri

Bir önceki bölümde görüldüğü üzere, geliştirilen çözüm yöntemleri hem çözüm kalitesi ve hem de çözüm süresi açısından etkin yöntemlerdir. Bu yöntemlerin mevcut sistem parametrelerine duyarlılıklarını incelemek, ileride olabilecek değışikliklerden nasıl etkileneceklerini belirlemek ve hem de sistem performansını daha da iyileştirmek için yapılabilecek değışiklikleri belirlemek üzere kapsamlı duyarlılık analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda, matematiksel model ve geliştirilen sezgisel algoritma için kullanılan girdiler üzerinde havalimanının mevcut yerleşim planına uygun olarak değışiklikler yapılmış ve bunun sonucunda alınan çıktılar incelenerek önerilen sistemlerin tüm bu olası değışikliklere olan duyarlılığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. Mevcut Sistem ve Önerilen Sistemlerde Uçakların 10:00-14:00 Arasında Köprülü Park Alanlarına Ortalama Atanma Oranlarının Karşılaştırması



### 7.5.1 Havalimanına İniş Yapacak Uçak Sayısının Arttırılması

Bu denemenin amacı uçuş sayılarında ileride meydana gelebilecek artışlara karşı algoritmaların çözüm kalitesinin nasıl etkilendiğini belirtmektedir. Mevcut köprülü ve açık park alanlarıyla günlük uçuş sayısının 125, 130, 135 ve 140 olduğu durumlar için matematiksel modelin köprülü park alanı atanma oranları sırasıyla %86, %85, %84 ve %83'tür. Uçuş sayısı arttıkça, doluluk oranlarının düşme sebebi, mevcut köprülü park alanlarının artan talebi karşılamamasından kaynaklanmaktadır. Çözüm süreleri ise 48, 52, 54 ve 62 saniyedir. 140 uçaktan sonra matematiksel model ile çözüm elde edilememiştir. Sezgisel algoritmanın doluluk oranları ise sırasıyla, %85, %84, %84 ve %83'tür. Bütün çözümler yaklaşık 8 saniyede bulunmuştur. 140 uçuşluk problem için de sezgisel algoritma çözüm vermektedir. Fakat, uçuş sayısının günlük 150'yi aşması durumunda mevcut köprü sayısı yetersiz kalmakta ve olurlu bir çözüm alabilmek için 2 adet daha iç hat köprülü park alanı eklenmesi gerekmektedir. Bu ekleme yapıldığında sezgisel algoritma %82'lik köprülü park alanı atanma oranını 8 saniyede çıkarmaktadır. Bu analiz bize, matematiksel modelin ancak günlük uçuş sayısının 140'tan az olduğu durumlarda kullanılabileceğini ve günlük uçuş sayısının 150'yi aşması durumunda havalimanında genişletme çalışmaları yapılarak yeni park alanları oluşturulması gerektiğini göstermektedir.

### 7.5.2 Mevcut Durumda İç Hat Olan 115 Numaralı Köprülü Park Alanının, Dış Hat Köprülü Park Alanı Olarak Değiştirilmesi

Bu analiz, iç hat ve dış hat köprülü park alanları sayılarının doğru ayarlanıp ayarlanmadığını test etmek

amacıyla yapılmıştır. Bunun için öncelikle mevcut durumda iç hat olan bir köprülü park alanının, dış hat köprülü park alanı olarak değiştirilmesi durumu ele alınmıştır. Sonuçta elde edilen köprülü park alanlarına atanma oranları; matematiksel model için %95'ten %92'ye, sezgisel algoritma için ise %95'ten %92'ye düşmektedir. Buradaki düşüşün sebebi havalimanına gelen uçakların yaklaşık %80'inin yurt içi uçuşu olması ve ihtiyaç duyulan köprülü park alanının dış hat köprülü park alanı değil iç köprülü park alanı olmasıdır.

### 7.5.3 Mevcut Durumda Dış Hat Olan 116 Numaralı Köprülü Park Alanının İç Hat Köprülü Park Alanı Olarak Değiştirilmesi

Bu durumda köprülü park alanı atanma oranları; matematiksel model ile %95'ten %96'ya, sezgisel algoritma ile %94'ten %95'e çıkmaktadır. Bu iyileşmeyle günde ortalama bir uçağın daha açık park alanı yerine, köprülü park alanına atanması sağlanabilmektedir. 116 numaralı park alanı iç hat/dış hat sınırında olduğu için, havalimanında yapılacak küçük ölçekli bir inşaat ile değişiklik yapılabilecektir.

### 7.5.4 102 Numaralı Açık Park Alanının İç Hat Köprülü Park Alanı Olarak Değiştirilmesi

Mevcut sistemde günlük uçuşların büyük bir ağırlığını iç hat uçuşları oluşturmaktadır. 4. apronda terminale köprüyle bağlanabilecek tek açık park alanı 102 numaralı alan olduğu için, bu park alanının köprülü park alanına dönüştürülmesi halinde köprülü park alanına atanma oranları matematiksel model ile %95'ten %97'ye, sezgisel algoritma ile ise %94'ten %95'e çıkmaktadır. Böyle bir iyileştirme yapılması durumunda firmanın hedeflediği köprülü park alanına atama oranı iyileşmektedir.

**Tablo 1.** Duyarlılık Analizleri Özet Tablo

Değişiklik/Sistem	Önerilen Sistem	Mevcut Durumda	Değişiklik Durumunda
İç hat köprülü park alanının dış hat köprülü park alanı olması halinde	Sezgisel	%94	%92
	Matematiksel Model	%95	%92
Dış hat köprülü park alanının iç hat köprülü park alanı olması halinde	Sezgisel	%94	%95
	Matematiksel Model	%95	%96
Açık park alanının köprülü park alanı olması halinde	Sezgisel	%94	%95
	Matematiksel Model	%95	%97

Yukarıdaki üç analiz sonuçları Tablo 1’de özetlenmiştir.

## 8. ÖNERİLEN ÇÖZÜMÜN KURULUŞTA UYGULAMA PLANI

Park alanı atama çizelgelerinin hazırlanmasında bir matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel modelin özürüldüğü lisanslı yazılım satın alınmak istenmediği durum için de Java’da sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir.

Ataması yapılacak uçuşlara ait bilgiler MS Excel formatında hazırlanıp girdi olarak kullanılmaktadır. Değişiklikler, girdiler üzerinden yapılmakta dolayısıyla verilerin dinamik yapısı algoritma kodunda değişikliğe sebebiyet vermemektedir.

Çözüm için geliştirilen algoritmanın, sisteme entegrasyonu ve firmaya uygulanması amacıyla MS Excel programına DHMİ personeli tarafından “havayolu şirketi”, “uçak tipi”, “geliş meydanı”, “geliş seferi”, “geliş çağrı adı”, “geliş saati”, “gidiş seferi”, “gidiş meydanı”, “gidiş çağrı adı” ve “gidiş saati” bilgileri girilir.

Geliştirilen her iki çözüm yöntemi de her aşamasıyla tamamlanmış ve kullanıma hazır hâle getirilmiştir. Önerilen matematiksel modelin personel tarafından kolayca kullanılabilmesi için kullanım kılavuzu oluşturulmuş ve firmaya teslim edilmiştir. Çözüm programı bu kılavuza uygun olarak çalıştırıldığında, 24 saatlik planlanan park alanı atama çizelgesi veri formatında MS Excel çıktısı olarak, firmanın hâlihazırda kullandığı formatta kaydedilmektedir. Firmanın geliştirdiği arayüz programı MS Visual Basic’te firma yetkilileri tarafından kodlanmış ve bu MS Excel çıktısına entegre edilmiştir. Bu da firmanın proje çıktılarını kullanma konusundaki isteklerini göstermektedir.

## 9. SONUÇ

Projenin önerilen sistemler ile:

- DHMİ personelinin yaklaşık 4 saatte oluşturduğu park alanı atama çizelgesinin, matematiksel model ile 1 dakikada, sezgisel algoritma ile 8 saniyede oluşturulması ve personelin iş yükü yoğunluğunu azaltılmıştır.

- Gün içinde meydana gelen beklenmeyen durumlarda (rötarlar gibi), çıktıların firmanın tasarladığı arayüze entegre edilmesiyle planlanan atamaların bütün uçuş bilgileri manuel olarak tek tuşla değiştirilebilirken, bu bilgiler veri tabanında otomatik olarak güncellenecektir. Ayrıca, yeri değiştirilmek istenen bir uçak arayüzde tuş olarak görüldüğü için üzerine tıklandığında atanabileceği bütün boşluklar farklı bir renkle (yeşil) kullanıcıya sunulacak, kullanıcı tuşu istediği boşluğa sürükleyerek atamayı elle değiştirebilecek ve değişiklikler yine veri tabanında otomatik güncellenecektir. Kullanıcı dostu arayüz sayesinde, manuel değişiklik yapması gereken personelin işi kolaylaştırılmıştır.
- Köprülü park alanlarının kullanımı artırılıp firmanın gelirinde büyük bir artış sağlanırken, aynı zamanda merkezi köprülü park alanlarının kullanımı da artırıldığı için müşteri memnuniyeti sağlanmış ve firmanın içinde bulundurduğu alışveriş merkezlerini ziyaret eden yolcu sayısı artırılmıştır. Diğer taraftan, merkeze uzak olan köprülerdeki yükün merkezi köprülere kaydırılmasıyla, uzak köprüler için daha yüksek olan elektrik ve havalandırma gibi maliyet kalemleri azaltılmıştır.

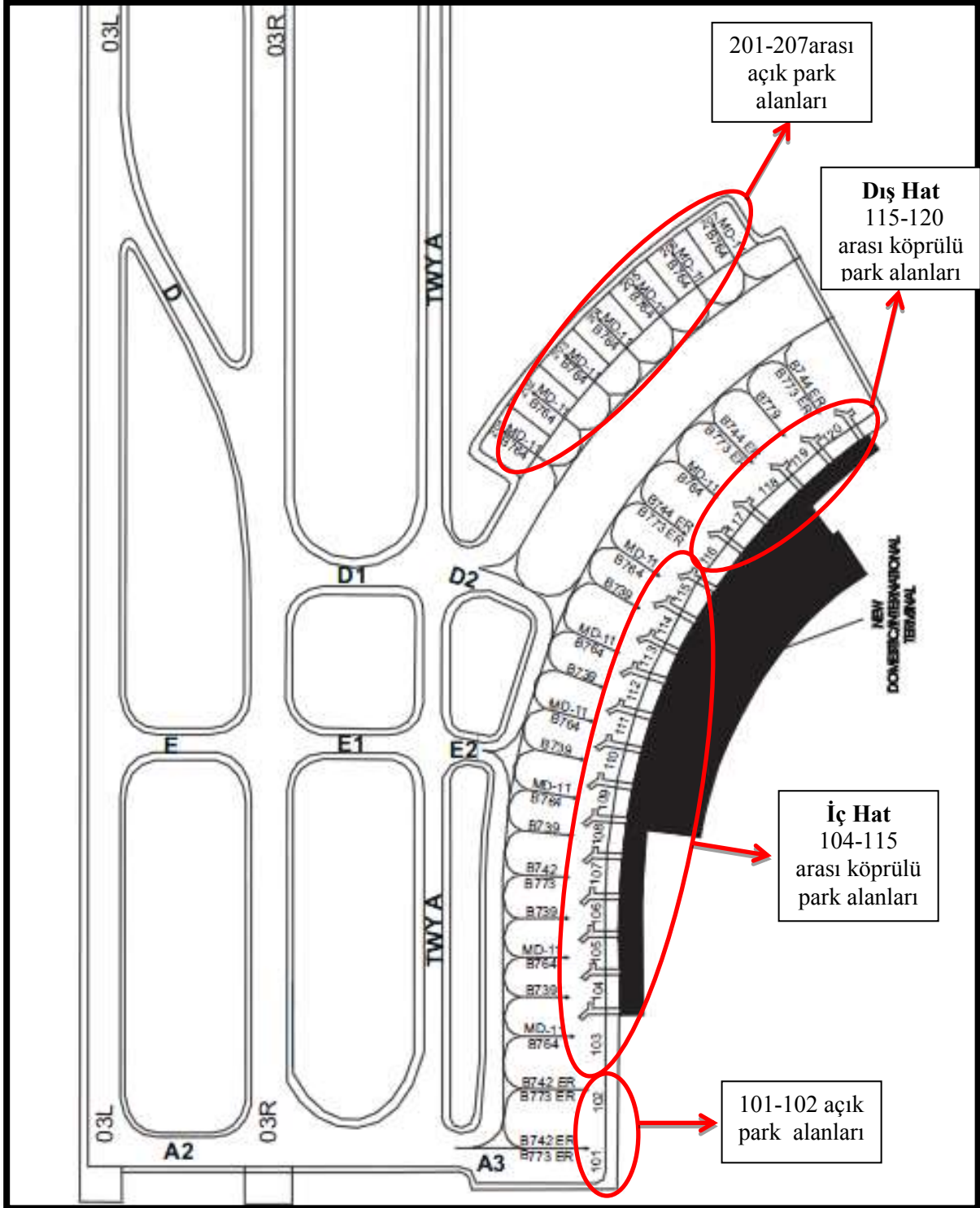
Kısaca özetlemek gerekirse, proje ile firmanın gelirinde ve müşteri memnuniyetinde artış sağlanırken, personel iş yükünde ve elektrik, ısıtma vb. maliyetlerde de azalma sağlanmıştır.

## KAYNAKÇA

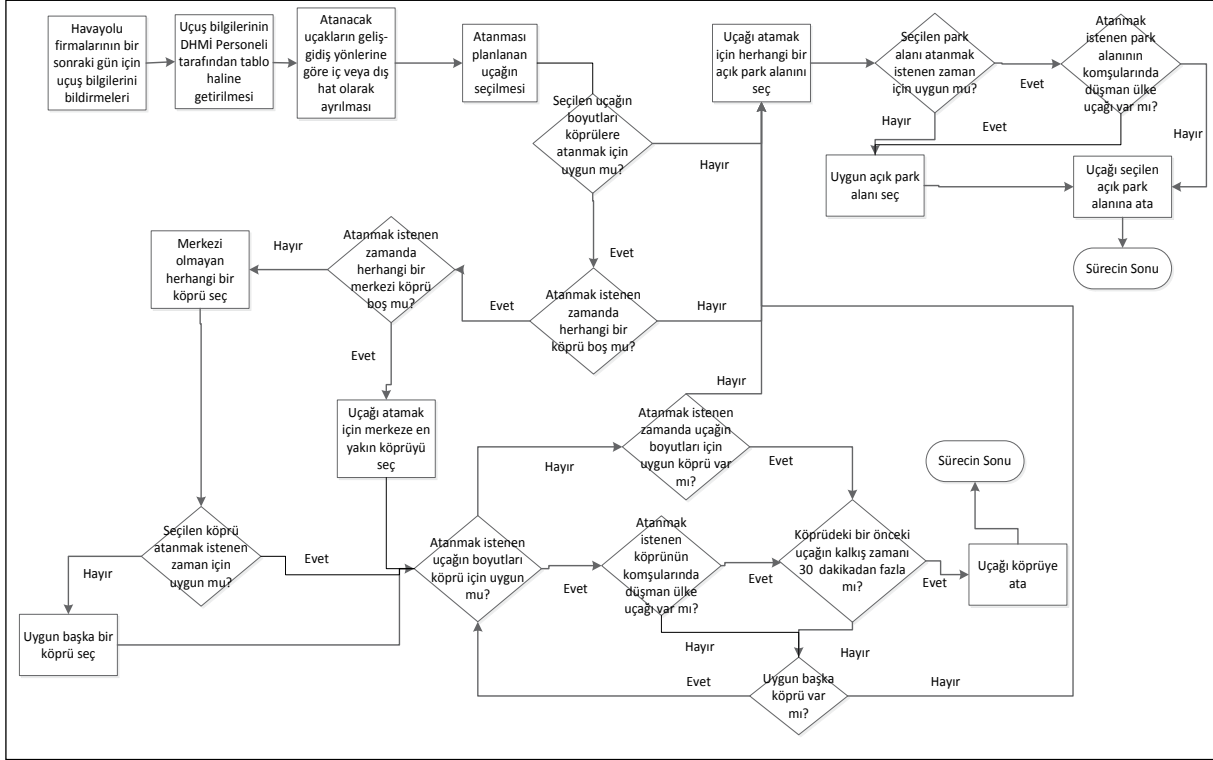
1. Ding, H., Lim, A., Rodrigues, B., Zhu, Y. 2005. “The Over-constrained Airport Gate Assignment Problem” *Computers & Operations Research*, 32, 1867–1880.
2. Drexler, A., Nikulin, Y. 2008. “Multicriteria Airport Gate Assignment and Pareto Simulated Annealing” *IIE Transactions*, 40, 385–397.
3. Kumar, V.P., Kumar, M.B.P., Bierlaire, M. 2011, “Multi Objective Airport Gate Assignment Problem,” 11th Swiss Transport Research Conference, Monte Verita, Ascona, May 11-13.
4. Wipro Technologies 2009. “Gate Assignment Solution (GAM) Using Hybrid Heuristics Algorithm,” Draft Technical White Paper On Gate Assignment Solution.

## EKLER

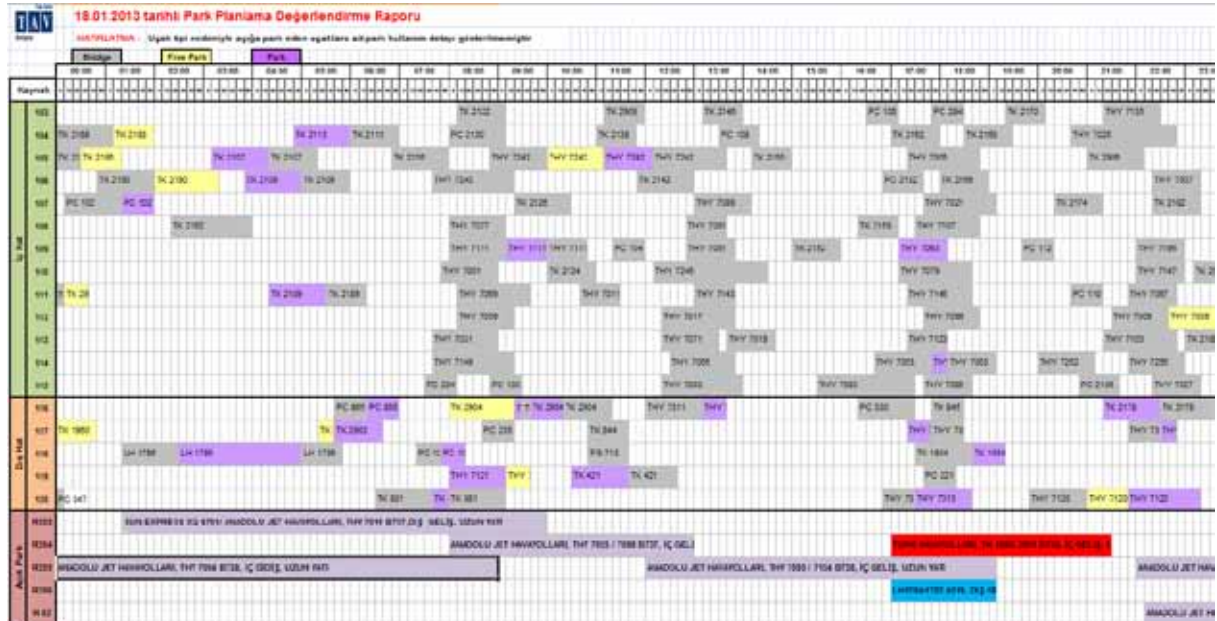
Ek 1. 4. Apron Yerleşim Planı



## Ek 2. Günlük Köprü Atama Çizelgeleme Sistemi Süreç Akış Şeması



## Ek 3. Günlük Köprü Atama Çizelge Örneği



\*\* TK XXXX bu uçağın Anadolu Jet'e, THY XXXX bu uçağın Türk Hava Yollarına ait olduğunu, XXXX ifadesi uçağın sefer numarasını göstermektedir. Taralı alan uçağın havalimanında duracağı zaman dilimini, renkler ise uçağın alacağı hizmeti belirtmektedir.