

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR HAVAYOLU ŞİRKETİNDE GELİŞ VE GİDİŞ  
SEFERLERİNİN SENKRONİZASYONU VE  
OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Süraka DERViŞ**

**Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim DEMİR**

**Aralık 2021**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR HAVAYOLU ŞİRKETİNDE GELİŞ VE GİDİŞ  
SEFERLERİNİN SENKRONİZASYONU VE  
OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Süraka DERVİŞ**

**Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 30.12.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.**

**Dr. Öğr. Üyesi Halil  
İbrahim DEMİR  
Jüri Başkanı**

**Dr. Öğr. Üyesi Abdullah  
Hulusi KÖKÇAM  
Üye**

**Dr. Öğr. Üyesi  
Muharrem ÜNVER  
Üye**

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Süraka DERVİŞ

19.01.2022

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın başından sonuna kadar, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, samimiyetini benden esirgemeyen kıymetli hocam aynı zamanda tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi. Halil İbrahim Demir'e teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum.

Teşekkürlerin az kalacağı diğer yüksek lisans hocalarımdan da bana kazandırdıkları her şey için hepsine teşekkürlerimi sunuyorum ve son olarak beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen beni hep motive eden bu hayattaki en büyük şansım olan aileme sonsuz teşekkürler.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	v
TABLolar LİSTESİ .....	vi
ÖZET .....	vii
SUMMARY .....	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
HAVACILIK SEKTÖRÜNDE ÇALIŞILAN OPTİMİZASYON PROBLEMLERİ	4
2.1. Ekip Çizelgeleme .....	4
2.2. Havaalanı İniş Kalkış Pistlerinin ve Kule Kontrolü Optimizasyonu ....	5
2.3. Gelir Yönetimi Optimizasyonu .....	7
2.4. Uçak İçi İkram Optimizasyonu .....	10
2.5. Bakım Planlaması ve Optimizasyonu .....	11
2.6. Havaalanı ve Yer Hizmetleri Optimizasyonu .....	13
2.7. Talep Planlama .....	14
2.8. Göbek ve İspit Dağıtım Optimizasyonu.....	15
2.9. Uçuş Planlama .....	15
2.9. Geliş ve Gidiş Seferlerinin Senkronizasyonu ve Optimizasyonu .....	16
BÖLÜM 3.	

KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	17
3.1. Havacılık Sektöründeki Optimizasyon Çalışmaları.....	17
3.2. Genetik Algoritmalarla İlgili Optimizasyon Çalışmaları.....	22
3.3. PSO Algoritmasıyla İlgili Optimizasyon Çalışmaları.....	23
BÖLÜM 4.	
PROBLEMİN TANIMI .....	25
BÖLÜM 5.	
KULLANILAN YÖNTEMLER .....	27
5.1. Matematiksel Model .....	27
5.2. Genetik Algoritmalar .....	29
5.3. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu .....	33
5.4. Evrimsel Stratejiler .....	35
BÖLÜM 6.	
ARAŞTIRMA BULGULARI .....	38
6.1. Matematiksel Model .....	38
6.2. Genetik Algoritmalar .....	39
6.3. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu .....	43
6.4. Evrimsel Stratejiler .....	45
BÖLÜM 7.	
TARTIŞMA VE SONUÇ .....	49
KAYNAKLAR .....	53
EKLER .....	61
ÖZGEÇMİŞ .....	68

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ES	: Evrimsel stratejiler
GA	: Genetik algoritmalar
PSO	: Parçacık sürüsü optimizasyonu
HTK	: Hava trafik kontrolü
FAA	: Federal havacılık idaresi
HTY	: Hava trafik yönetimi
BOR	: Bakım, onarım ve revizyon

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 5.1. Plan ve gen gösterimi .....	30
Şekil 5.2. genetik algoritma akış şeması .....	32
Şekil 5.3. PSO algoritması akış şeması .....	34
Şekil 5.4. ES algoritması akış şeması .....	36
Şekil 6.1. GA-1 seed-1 için toplam yolcu sayısı .....	41
Şekil 6.2. GA-2 seed-1 için toplam yolcu sayısı .....	42
Şekil 6.3. GA-3 seed-1 için toplam yolcu sayısı .....	43
Şekil 6.4. PSO seed-1 için toplam yolcu sayısı .....	44
Şekil 6.5. ES seed-1 için toplam yolcu sayısı.....	46
Şekil 6.6. ES- parametre optimizasyonu seed-1 için toplam yolcu sayısı .....	47
Şekil 6.7. ES- parametre optimizasyonu seed-2 için toplam yolcu sayısı .....	48
Şekil 6.8. ES- parametre optimizasyonu seed-3 için toplam yolcu sayısı .....	48
Şekil 7.1. Son iterasyonda algortimaların en iyi sonuçlarının karşılaştırılması....	50
Şekil 7.2. seed-1 için algortimaların en iyi sonuçlarının karşılaştırılması .....	51
Şekil 7.3. ES- 5 kromozom-300 gen seed 2 için sonuçlar .....	52

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. En büyük havayolu firmalarının karşılaştırılması .....	3
Tablo 3.1. Havacılık sektöründeki bazı çalışmaların özeti .....	20
Tablo 4.1. Aktarmalı uçuşlarda yolcuların bekleme oranları .....	25
Tablo 5.1. matematiksel modelde kullanılan 5 uçuş noktası arasındaki talepler....	27
Tablo 5.2. gen gösterimi .....	30
Tablo 5.3. kalkış ve varış planı gösterimi .....	31
Tablo 6.1. matematiksel model kalkış ve varış zamanı sonuçlar .....	38
Tablo 6.2. matematiksel model kazanılan yolcu sayısı .....	38
Tablo 6.3. matematiksel model kalkış ve varış uçuş sayısı .....	39
Tablo 6.4. 1 noktalı çaprazlamalı genetik algoritma sonuçları .....	40
Tablo 6.5. 2 noktalı çaprazlamalı genetik algoritma sonuçları .....	41
Tablo 6.6. 3 noktalı çaprazlamalı genetik algoritma sonuçları .....	43
Tablo 6.7. PSO algoritması sonuçları .....	44
Tablo 6.8. ES algoritması sonuçları .....	45
Tablo 6.9. parametre optimizasyonu bütün kombinasyonların en iyi sonuçları ...	46
Tablo 6.10. parametre optimizasyonu ES- seed 2 sonuçları .....	47
Tablo 7.1. bütün algoritmaların CPU süreleri .....	49
Tablo 7.2. parametre optimizasyonu için bütün kombinasyonların CPU süreleri ...	51

## ÖZET

Anahtar kelimeler: havayolu geliş ve gidiş senkronizasyonu, havayolu geliş ve gidiş optimizasyonu, matematiksel model, genetik algoritmalar, parçacık sürüsü optimizasyonu

Havayolu seyahati insanlığın uçmayı keşfetmesinden bu yana giderek daha cazip hale gelmiştir, uzun mesafelerin kısa sürede katedilmesinden dolayı uzun seyahatlerde özellikle tercih edilmektedir. Türkiyede ve dünyada havayolu seyahatleri sürekli artmaktadır. Türkiyede de gerek yurtiçi gerek yurtdışı seyahatleri büyük oranda artmıştır. Yolcu maksimizasyonu için yurtiçi ve yurtdışı seferlerinin senkronizasyonu ve optimizasyonu oldukça önemlidir. Yolcuların bazıları ülkedeki ana havalimanının şehrinde kalmak istemezler veya gitmek istedikleri yere direkt uçuş olmayabilir, bu nedenle en az iki uçuş rezervasyonu yapmaları gerekir. Ama doğal olarak insanlar beklemeyi sevmezler, transit süresinin uzun olması durumunda başka bir havayolu şirketini tercih ederler. Bu çalışmada geliş ve gidiş arasındaki yolcu sayısını maksimize etmeye çalışılmıştır. Problem karmaşık bir problem olduğu için küçük çapta bir probleme matematiksel model geliştirilecek ve çözülecektir. Çok fazla kısıt ve değişken gerektiği için büyük ölçekli problemlerde matematiksel model yerine problemi pratikçe çözebilecek, optimum sonuç vermese de makul sürede iyi bir çözüm verecek metasezgiseller uygulanacaktır. Bu problem için uygun olduğu düşünülen karmaşık problemlerde sıkça uygulanan dünyada da popüler olan genetik algoritmalar (GA) ve son zamanlarda geliştirilen ve pek çok çalışmada kullanılan parçacık sürü optimizasyonu (PSO) metasezgiselleri kullanılacaktır.

# **SYNCHRONIZATION AND OPTIMIZATION OF ARRIVAL AND DEPARTURE PLANS OF AIRLINE PASSENGER AIRCRAFT**

## **SUMMARY**

Keywords: airline arrival and departure synchronization, airline arrival and departure optimization, mathematical model, genetic algorithms, particle swarm optimization

Air travel became more attractive since humanity has learned to fly, and it is preferred for long distance travels because long distances are covered in a short time. Air travels continuously increased in Turkey and the world. The volume of passengers in Turkey increased in domestic and international lines. Synchronization and optimization of international and domestic flights are important for passenger maximization. Some of passengers don't stay in the city of the main Airport in the country or there is no direct flight to their destination, so they have to book two flights at least. But naturally humans don't like waiting. In case of long transit time, they tend to book from another airline company. In this study, we will try to maximize total passenger number between arrival and departure. Since the problem is a complex problem, a mathematical model will be developed and solved for a small-scale problem. Since too many constraints and variables are required, metaheuristics will be applied to solve the problem practically instead of the mathematical model in large-scale problems and will provide a good solution in a reasonable time even if it does not give optimum results. Genetic algorithms (GA), which are popular in the world, and particle swarm optimization (PSO) metaheuristics, which are recently developed and used in many studies, are used in complex problems and we think that they are suitable for this problem.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Havayolu, yolcuları veya malları hava yoluyla taşımak için düzenli hizmetler sunan bir şirket olarak tanımlanabilir. Bu şirketlerin, havacılık sektörünün bir alt sektörü ve daha geniş seyahat endüstrisi olarak da kabul edilen havayolu endüstrisini oluşturduğu söylenmektedir (<https://www.icao.int>).

Her geçen gün artan rekabet, zorlaşan ekonomik koşullar ve pazar payını koruma veya artırma yarışı, havayolu firmalarını yolcu sayısını artırma noktasında zorlayıcı unsurlardan olmuştur. Hava taşımacılığı son yirmi yılda hızlı bir şekilde gelişti, sektörün serbestleşmesi ve kuralılaşması, yeni firmaların girişini kolaylaştırmış ve bu da rekabeti ve yenilikçiliği olumlu yönde etkilemiştir. Kuralılaşma ve serbestleştirme, yapıyı önemli ölçüde değiştirerek bayraklı havayolu taşıyıcılarının birleşmesine ve çeşitli iş birliği biçimlerine yol açtı (<https://www.icao.int>).

Havacılık endüstrisi hızla büyüyor ve tüketicileri ucuz biletlerle çekiyor. Özellikle çok sayıda düşük maliyetli havayolunun bulunduğu orta doğu ve avrupa bölgelerinde. Türkiyede de gerek yurtdışı gerek yurtiçi yolcu kapasitesi büyük oranda artmıştır, Son yıllarda özellikle istanbul ve Ankaraya uzak şehirlere pek çok açılan havalimanı dolayısıyla bu şehirlere yolculuk büyük oranda havayolu ile olmaya başlamıştır. Avrupada ve dünyada pek çok Türkiye Cumhuriyeti vatandaşı olduğu için yurtdışı havayolu yolcu kapasitesi oldukça fazladır. Yolcu maksimizasyonu için yurtdışı ve yurtiçi seferlerinin senkronizasyonu ve optimizasyonu oldukça önemlidir.

ICAO'ya 193 ülke kayıtlıdır ve dünyada ICAO kodu almış 5000'den fazla havayolu firması bulunmaktadır. 2018 Rakamlarına göre Dünyada 45 milyon uçuş gerçekleştirilmiş ve 845 milyar dolara 4,4 milyar yolcu taşınmıştır. Son iki yılda

pandemi dolayısı ile havacılık ağır darbe olsa da bazı firmalar krize girse de havayolu taşımacılığının artarak devam edeceği beklenmektedir. Pandemi süresinde bazı firmalar iflas etmiş fakat yeni firmalar kurulmuş ve iflas eden firmalardaki uçaklar hemen başka hava yollarında uçmaya başlamıştır. Havacılık sektöründeki çalışan sayısı da giderek artmaktadır. Karayolu, denizyolu, demiryolu taşımacılığı havayolu taşımacılığındaki artışa yetişememektedir. 2037 yılına kadar yolcu kapasitesinin 8 milyar hatta 9 milyarı geçeceği öngörülmektedir. 2028 de havayolu pazarının 16 trilyon dolar olacağı öngörülmekte, Boeing firmasının ise o tarihe kadar 3,1 trilyon dolar satış hacmi hedeflediği bilinmektedir (<https://www.icao.int>).

Havayolu ulaşımında teknolojik gelişmeler uzun seyahatleri çok fazla kısaltacağı için bu havayolu taşımalarına rağbeti büyük ölçüde artıracaktır. Bu da havayolu taşımacılığının geleceğinin parlak olduğunu ve artarak devam edeceğini göstermektedir. Türkiye de ise benzer durum söz konusudur. Yedi aylık (Ocak – Temmuz 2021) dönemde ise; havalimanlarına iniş-kalkış yapan uçak trafiği, iç hatlarda 379 bin 545, dış hatlarda 206 bin 779 oldu. Böylece üst geçişler ile toplam 708 bin 827 uçak trafiği gerçekleşti. 2019 Ocak-Ağustos arası toplam yolcu sayısı 49 milyon 674 bin iken, 2021-pandemi şartlarında ve aynı dönemde 26 milyon 46 bin yolcu taşınmıştır. En büyük havayolu firmalarının karşılaştırılması tablo 1.1.'de gösterilmiştir.

Dünya havacılık sektörü yarattığı 600 milyar ABD dolarını aşan ekonomik katkısı ile ilaç (451 milyar dolar), tekstil (223 milyar dolar) ve hatta otomotiv (555 milyar dolar) sektörlerinden finansal hacim olarak daha büyüktür. Ülkemizde sektör cirosu 3 milyar TL'den 110 Milyar TL'ye yükselmiştir. Sivil havacılık sektörünün dünya gayri safi hasılasına olan katkısı, insanlar için ihtiyaçlar hiyerarşisinin başında gelen yeme-içme sektörünün yarısından daha fazladır. Türk markalı hava yolu operatörleri, dünya standartlarında kaliteye sahip olup, zirve yarışında üst sıraları zorlamaktadır.

Tablo 1.1. En büyük havayolu firmalarının karşılaştırılması

<b>En Büyük 10 Hava Yolu Şirketi</b>	<b>Dünyanın En Çok Ülkesine Uçan Havayolu Firmaları</b>	<b>Dünyada En Çok Rotada Uçuş Yapan Havayolu Firmaları</b>	<b>Türkiye'de En Fazla Uçağa Sahip İlk 5 Havayolu Firması</b>
<b>1. American Airlines</b> Kapasite: 256.928.663 Koltuk Filo Büyüklüğü: 956 Uçak	<b>1- Türk Hava Yolları:</b> 121 ülke	<b>1- Ryanair:</b> 1,831 rota	<b>1- Türk Hava Yolları:</b> 341 uçak (18'i kargo)
<b>2. Delta Air Lines</b> Kapasite: 233.758.798 Koltuk Filo Büyüklüğü: 879 Uçak	<b>2- Air France:</b> 91 ülke	<b>2- American Airlines:</b> 1,106 rota	<b>2- Pegasus</b> 93 uçak
<b>3. Southwest Airlines</b> Kapasite: 209.526.838 Koltuk Filo Büyüklüğü: 749 Uçak	<b>3- British Airways:</b> 82 ülke	<b>3- United Airlines:</b> 950 rota	<b>3- Sun Express</b> 58 uçak
<b>4. United Airlines</b> Kapasite: 193.981.547 Koltuk Filo Büyüklüğü: 765 Uçak	<b>4- Etiyopya Havayolları:</b> 81 ülke	<b>4- easyJet:</b> 945 rota	<b>4- Onur Air</b> 23 uçak
<b>5. Ryanair</b> Kapasite: 142.540.776 Koltuk Filo Büyüklüğü: 439 Uçak	<b>5- Emirates:</b> 78 ülke	<b>5- Delta Air Lines:</b> 939 rota	<b>5- Corendon</b> 13 uçak
6. China Southern Airlines Kapasite: 131.972.745 Koltuk Filo Büyüklüğü: 597 Uçak	<b>6- Katar Havayolları:</b> 78 ülke	<b>6- Southwest Airlines:</b> 754 rota	
7. China Eastern Airlines Kapasite: 122.917.175 Koltuk Filo Büyüklüğü: 525 Uçak	<b>7- Lufthansa:</b> 75 ülke	<b>7- China Southern:</b> 667 rota	
8. EasyJet Kapasite: 100.082.969 Koltuk Filo Büyüklüğü: 317 Uçak	<b>8- KLM:</b> 67 ülke	<b>8- China Eastern:</b> 648 rota	
9. Turkish Airlines Kapasite: 93.109.025 Koltuk Filo Büyüklüğü: 350 Uçak	<b>9- American Airlines:</b> 62 ülke	<b>9- Wizz Air:</b> 615 rota <b>10- Air China:</b> 470 rota <b>11- TUI Airways:</b> 470 rota	
10. Air China Kapasite: 90.531.776 Koltuk Filo Büyüklüğü: 418 Uçak	<b>10- United Airlines:</b> 62 ülke	<b>12- Türk Hava Yolları:</b> 450 rota	

Problem karmaşık bir problem olduğu için küçük çapta bir probleme matematiksel model geliştirilecek ve çözülecektir. Çok fazla kısıt ve değişken gerektiği için büyük ölçekli problemlerde matematiksel model yerine problemi pratikçe çözebilecek, optimum sonuc vermese de makul sürede iyi bir çözüm verecek metasezgiseller uygulanacaktır. Bu problem için uygun olduğunu düşündüğümüz karmaşık problemlerde sıkça uygulanan dünyada da popüler olan genetik algoritmalar (GA) ve son zamanlarda geliştirilen ve pek çok çalışmada kullanılan parçacık sürü optimizasyonu (PSO) metasezgiselleri ve Evrimsel stratejiler de kullanılacaktır.

## BÖLÜM 2. HAVACILIK SEKTÖRÜNDE ÇALIŞILAN OPTİMİZASYON PROBLEMLERİ

### 2.1. Ekip Çizelgeleme

Yakıtle eşit koşullarda, mürettebatla ilgili maliyetler havayolları için büyük bir işletme gideridir. İşgücü kaynakları ile uğraşırken küçük hatalar bile önemli mali kayıplara neden olabilir. Mürettebat planlaması veya programlaması, havacılık endüstrisindeki en zorlu ve bilgi işlem yoğunluklu görevlerden biridir ve mürettebat büyüklüğü ve uçuş sayısı arttıkça karmaşıklığı da artar. Havayolu mürettebatının çizelgeleme problemi, ticari havayolları için onlarca yıldır çok önemli ancak zorlu bir görev haline geldi. Havayolları iki tür hava ekibi ile faaliyet göstermektedir: kokpit ekibi ve kabin ekibi. Benzersiz işletim özellikleri nedeniyle, bu iki mürettebat türü için çizelgeleme sorunları çok farklıdır. Ayrıca, planlama aşamasına göre, havayolu mürettebatının çizelgeleme sorunu, taktik planlama sorunları (geleneksel çizelgeleme ve sağlam çizelgeleme, fiili operasyonlardan haftalar veya aylar önce) ve operasyonel planlama sorunları (kurtarma, operasyonel aşamada meydana gelen kesintiler sonrası) olarak sınıflandırılabilir (Wen ve ark., 2021).

Mürettebat, başarılı havayolu operasyonlarının temel maliyet etkenlerinden biridir. En verimli rotayı bulmak ve bu rotayı uygun niteliklere sahip personelle donatmak kritik bir finansal değerlendirmedir. Bu nedenle, tüm filonun ve mürettebatın etkin kullanımını için iyi bir planlama çok önemli bir konudur.

Mürettebat planlamasını bu kadar zor bir süreç haline getiren ana faktörlerden biri, havayollarının pazar durumlarındaki sık değişikliklerdir. Özellikle bu, filo ve mürettebatın yeterince kullanılmamasına veya daha da kötüsü kaynak sıkıntısına yol açabilecek verimli operasyonları sürdürmeyi zorlaştırmaktadır.

Genel olarak havayolu şirketlerinde mürettebat yönetimi süreci ayrı bir sanat dalı olarak değerlendirilebilir. Sürekli olarak bir düzine öngörülebilir ve öngörülemeyen olaydan etkilenir: mürettebat eksikliği, değişen hava koşulları, siyasi huzursuzluk vb, ekiplerin planlama ve çizelgeleme süreci genellikle birkaç planlama aşamasına ayrılır. Bu nedenle havayollarında ekiplerin uçuş, görev ve dinlenme süreleri, kaynak planlamasında eş zamanlı olarak çalışan farklı departmanlar tarafından yönetilmektedir. Bu departmanlar, planlarını ayarlamak ve değişikliklerle birbirlerini güncellemek için iletişim kurarlar.

## **2.2. Havaalanı İniş Kalkış Pistlerinin ve Kule Kontrolü Optimizasyonu**

Hava trafik kontrolü (HTK), uçakları yerde ve kontrollü hava sahası üzerinden yönlendiren ve kontrolsüz hava sahasında uçaklara danışmanlık hizmeti verebilen yer tabanlı hava trafik kontrolörleri tarafından sağlanan bir hizmettir. HTK'nın dünya çapındaki birincil amacı, çarpışmaları önlemek, hava trafiği akışını düzenlemek ve hızlandırmak ve pilotlara bilgi ve diğer destek sağlamaktır. Bazı ülkelerde HTK, güvenlik veya savunma rolü oynar veya ordu tarafından işletilir.

Hava trafik kontrolü, sürekli büyüyen uçak yolculuğu alanında gerekli bir sorumluluktur. Federal Havacılık İdaresi (FAA) tarafından eğitilmiş ve sertifikalandırılmış yerdeki personel tarafından yürütülen hava trafik kontrol sorumlulukları, belirli bir alandaki hava trafiğinin, özellikle de kule kontrolü, yaklaşma ve kalkış kontrolünün izlenmesine odaklanır.

Gökyüzünde trafik ışıkları, işaretler ve kaldırım işaretleri bulunmadığından, hava trafik yönetimi bir zorunluluktur. Uçakların havaalanları arasında güvenli bir şekilde uçmasını sağlayan bağlantı altyapısı olan havayolu trafik yönetimi (HTY) ile güvenli ve verimli hava taşımacılığı sağlanmaktadır.

Hava trafik kontrolör uzmanları, ülkenin sivil havacılık güvenliğini düzenleyen ve denetleyen Federal Havacılık İdaresi'ne (FAA) göre pilotları, uçaklarını ve günlük

2,2 milyon yolcuyla kalkışa, havada ve yerde güvenli bir şekilde yönlendiren eğitimli personeldir.

Varış hava trafik yönetiminde, uçağa belirli bir noktada bir öncekinden gerekli zaman aralığını karşılamak için her birinin planlanmış varış zamanı sağlanır, örn. pist eşiği, ölçüm ve birleştirme noktaları vb. Genel olarak, bir trafik akışındaki uçaklar arasındaki aralık, aşağıdakini geciktirerek kontrol edilir, bu da kaçınılmaz olarak gecikme birikimi ve operasyonel verimsizliğe neden olur. Planlanan varış zamanı aynı zamanda belirli noktalara yönelik nominal uçuş süresine de bağlı olduğundan, tüm trafik akışının işletme maliyetini en aza indirmek için nominal uçuş süresinin optimize edilmesinin mümkün olduğu düşünülmektedir (Takeichi, 2017).

Uçuş gecikmeleri, yolcuların seyahat maliyetlerinin artması, havayollarının işletme maliyetleri, daha fazla yakıt tüketiminden kaynaklanan çevresel zararlar ve gaz emisyonları gibi birçok olumsuz etkiye yol açmaktadır. Gecikmelerin temel nedeni, yüksek trafik akışı talebi ile düşük kapasite arasındaki dengesizliktir. 2015 yılında Çin'in toplam sivil havacılık cirosu, yolcu cirosu ve kargo-posta cirosu sırasıyla 85.165 milyar ton-kilometreye, 728.255 milyar yolcu-kilometreye ve 20.807 milyar ton-kilometreye ulaşarak, bir önceki yıla göre %13,8, %15,0 ve %10,8 artış göstermiştir, bununla birlikte, ABD'deki hava sahasının yaklaşık %80'ine kıyasla, Çin'deki hava sahasının %30'dan azı sivil havacılık operasyonları için ayrılmıştır. Bu arada, büyük miktarda radar vektörü, yaklaşma kontrolörleri tarafından Çin'deki yoğun geliş ve gidişleri yönetmek için sıklıkla kullanılmaktadır (Liang ve ark, 2018).

Uçuş geliş ve gidiş çizelgeleme problemi, çok sayıda geliş ve gidiş uçuşunun genellikle ardışık zamanda birleştiği ve havalimanı çevresinde sınırlı bir hava sahası içinde geliş/kalkış prosedürlerini gerçekleştirmesi gereken terminal manevra alanları için önemli bir fonksiyondur (Yang ve ark, 2020).

Hava trafik kontrol sisteminin karşılaştığı günlük sorunlar, öncelikle sistem ve hava durumu üzerine yerleştirilen hava trafik talebinin hacmi ile ilgilidir ([https://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_traffic\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/Air_traffic_control)).

Belirli bir süre içinde bir havaalanına inebilecek trafik miktarını birkaç faktör belirler. Her inen uçak, bir sonraki pistin yaklaşma ucunu geçmeden önce yere temas etmeli, yavaşlamalı ve pistten çıkmalıdır. Bu işlem, her uçak için en az bir ve en fazla dört dakika gerektirir. Gelişler arasında kalkışlara izin veren her bir pist, böylece saatte yaklaşık 30 varış gerçekleştirebilir. İki varış pistine sahip büyük bir havaalanı, iyi havalarda saatte yaklaşık 60 varış gerçekleştirebilir. Sorunlar, Havayollarının bir havaalanına kapasiteden fazla varış planlaması yaptığıında, başka yerlerdeki gecikmeler ve uçak gruplarının aynı anda geldiğinde başlar. Böyle bir durumda uçaklar güvenli bir şekilde piste sıralanana kadar belirtilen konumlar üzerinde tutularak havada geciktirilir. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_traffic\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/Air_traffic_control)).

Pist kapasitesi sorunlarının ötesinde, hava durumu trafik kapasitesinde önemli bir faktördür. Pistteki yağmur, buz, kar veya dolu, inen uçakların yavaşlamasının ve inmesinin daha uzun sürmesine neden olarak güvenli varış oranını düşürür ve inen uçaklar arasında daha fazla boşluk olmasını gerektirir. Sis ayrıca iniş hızında bir düşüş gerektirir. Bunlar da uçakları tutmak için havadaki gecikmeyi artırır. Havada güvenli ve verimli bir şekilde tutulabilecek olandan daha fazla uçak planlanmışsa, varış havaalanındaki koşullar nedeniyle uçakları kalkıştan önce yerde geciktiren bir yer gecikme programı oluşturulabilir ([https://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_traffic\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/Air_traffic_control)).

### 2.3. Gelir Yönetimi Optimizasyonu

Gelir yönetimi, yolcuları ücret bazında önceliklendirmek ve en yüksek ücrete koltuk vermek için tasarlanmıştır. İstatistiksel olarak en uygun çözüm, bir sonraki alternatiften yalnızca 1\$ daha iyi olsa bile ve bu 1\$'lar, tüm uçuşlarda tüm fiyat noktalarında muazzam bir değer katabilir. Bununla birlikte, stratejik bir araç olarak, gelir yönetiminin, hedeflenmemiş pazar segmentlerinden her zaman ek 1 doları aramak yerine, kullanılabilirliği hedef pazar segmentlerine yönlendiren daha sağlam

bir çözümün değerini tanıması gerekir. Sık uçan yolcular veya kurumsal müşteriler için daha fazla kullanılabilirlik, stratejik girişimlere örnektir.

Bir uçuşta kalan son koltuklar yoğun talep olması durumunda çok yüksek fiyattan satılabilir ya da uçak boşsa uçağı doldurmak için çok ucuz fiyata verilebilir. Gelir maksimizasyon stratejisi zaten karışık olan havayolu fiyatlandırmada daha fazla Pazar kargaşasına yol açabilir. Bu nedenle gelir yönetimi firmaların kısıtlamaları dahilinde çalışmalı ve firmanın marka imajını desteklemeye yönelik olmalıdır.

Yeni bir rakip tarafından tehdit edildiğinde veya yeni bir pazarda yer edinmeye çalışırken, gelir yönetimi modeline göre pazar payı kazanmak, gelir maksimizasyonundan daha önemli olabilir. Ayrıca, birçok havayolu, taktiklerin stratejik hedeflere uygun olması için kilit satış noktalarında varlığını sürdürmek için “stratejik” rotalara hizmet eder.

Bazı şirketler, oteller, havayolları ve yolcu gemileri gibi gelirlerinin optimizasyonu için gelir yönetimi araçlarına başvururlar çünkü ürünleri elle tutulamaz ve stoklanamaz. Bir gece için boş bir otel odası veya bir uçuşta boş bir koltuk, gece veya uçuş bittiğinde gider. Bu nedenle, bu sınırlı ürün kaynakları mümkün olduğunca verimli bir şekilde satılmalıdır. Verimliliği sağlamak için şirketler tarafından gelir yönetimi yöntemleri uygulanmaktadır (Ertugrul ve Sahin, 2020).

Fiyat ayrımcılığı uygulaması neredeyse ticaretin kendisi kadar eskidir ve temeli mekansal farklılıklar (pazarın yeri), zamansal farklılıklar (satış zamanı) veya gelir farklılıkları olabilir. Zamansal farklılıklar, karmaşık bir karar süreci veya yalnızca satıcının sezgisi yoluyla ürün fiyatını dinamik olarak belirlemeye yol açar, bozulabilir mal ve moda ürünlerinin satışındaki indirimler, satıcının olası batık maliyetleri telafi etmek için içgüdüsel olarak fiyatı kontrol ettiği yaygın ticari uygulamalardır. Gelir Yönetimi, gelirleri artırmak için temel olarak müşteri değerlemelerindeki zamansal farklılıklardan yararlanır ve odak noktası, satış ufku boyunca müşterilerin ödeme istekliliğinin artma eğiliminde olduğu sektörlerdir. Fiyat kaymağının en büyük zorluklarından biri, mevcut fiyatı ödemeye istekli ancak

gelecekteki potansiyel olarak daha düşük fiyatlardan yararlanmak için satın almayı erteleyen stratejik müşterilerin ertelenmiş satın alımlarını en aza indirmektir (Selçuk ve Avşar, 2019).

Bir ürünün fiyatı ve talebi birbirine bağımlı ve birbirlerini etkilerler, ancak yine de nadiren ortaklaşa optimize edilirler. Gelir yönetimi literatüründe, fiyatların sabit olduğu ve kapasitenin sabit olduğu varsayılmaktadır. Kontrol bu varsayım altında yapılır veya kapasite tahsisi sabit kabul edilir ve sadece fiyat optimize edilir (Graubeger ve Kimms, 2016).

Gelir yönetiminin amacı, firmanın gelirini veya getirisini maksimize etmektir. Bir gelir yönetimi sistemi, firmalara, her bir kapasite türünden ne kadarını farklı talep türlerine tahsis edeceklerine karar vermelerinde yardımcı olacaktır. Özellikle havayolu endüstrisinde, gelir yönetimi, farklılaştırılmamış kapasite birimlerinin mevcut talebe, karı veya geliri maksimize edecek şekilde nasıl tahsis edileceğine ilişkin kararlara rehberlik eder. Havayolları uçaklarını daha yüksek ücretli müşterilerle doldurmayı tercih eder, ancak piyasada talep belirsizliği olduğundan, boş koltukların neden olduğu fırsat maliyetlerinden kaçınmak için uçaklarını daha düşük ücretli müşterilerle doldurmaya çalışırlar. Havayolları, daha yüksek ücretli yolculara satış yapmak için yeterli koltukları olduğundan emin olurken aynı zamanda kaç tane daha düşük ücret satacağına karar vermelidir (An ve ark., 2021).

Gelir Yönetiminde, doğru ürünleri doğru müşterilere, doğru zamanda, doğru fiyata satmak için talep yönetimi kararları verilerek gelir maksimize edilir. Havayolu sektöründe olduğu gibi müşteri segmentasyonuna ve fiyat farklılaştırmasına olanak sağlayan sektörlerde de başarılı Gelir Yönetimi uygulamaları görülmektedir, havayolu Gelir Yönetimi problemlerinde, havayolu ağlarının uçuş kapasiteleri şu iki yaklaşımdan biri dikkate alınarak tahsis edilir: koltuk envanteri (kapasite) kontrolü ve dinamik fiyatlandırma. Koltuk envanteri kontrol politikaları, rezervasyon döneminde belirli bir fiyattan satışa açılacak ücret sınıflarının belirlenmesine dayanmaktadır. Öte yandan, dinamik fiyatlandırma, satışa sunulan bir ürünün fiyatını zaman içinde sık sık güncellemektedir (Terciyanlı ve Avşar, 2019).

## 2.4. Uçak İçi İkram Optimizasyonu

Havayolları, uçuş süresine bağlı olarak değişen, ücretsiz veya satın alınabilecek yemekler sunar. Bu yemekler havayolu ikram şirketleri tarafından hazırlanır ve ideal olarak uçuştan hemen önce yüklenir. Ancak yükleme işlemi zaman ve emek gerektirdiğinden ve her uçuştan hemen önce kalkış havaalanında gerekli miktarda yemek bulundurmak maliyetli olduğundan, havayolu şirketleri önceden belirlenen havalimanlarında ikram yüklemesi yapmaktadır. Genel olarak yemek yükleme siteleri, yani havalimanları iki tipte sınıflandırılabilir: normal veya çapraz yükleme siteleri. Normal yükleme sahalarında ikram, sabit bir yükleme maliyeti ve yüklenen miktara ve ilgili lokasyondaki personel maliyetine bağlı olarak değişken bir elleçleme maliyeti ile doğrudan uçağa yüklenebilmektedir. Çapraz yükleme sahalarında, yemek servisi, yükleme işleminden önce bir yemek tesisinden taşınır ve ek bir nakliye maliyetine neden olur. Bir uçuş sırasında, bir uçak bir sonraki uçuşlar için ikram talebini taşıyabilir. Bir uçuş sırasında taşınan toplam ikram miktarı, ikramın raf ömrüne ve uçak kapasitesine bağlıdır ve uçuş sırasındaki yakıt tüketimini etkiler. Uçuş planı dinamik olarak değişebilse de havayolları, oluşturulan uçuş planına ve her uçuş sırasında tüketilen tahmini ikram miktarına bağlı olarak her uçuş sezonundan önce ikram yükleme alanlarını belirler (Yılmaz ve Yücel, 2021).

Havayolu yemekleri. Bu iki kelimenin, havayolu yolcuları arasında hararetli bir tartışmaya yol açması garanti. Havayolu seçerken tek faktör fiyat değildir. Bazı yolcular taşıyıcılarını koltukların rahatlığı nedeniyle seçer, bazıları ise yüksek hizmet standartlarını her şeyden üstün tutar. Ancak artan sayıda müşteri için uçuş sırasında sunulan yemeklerin kalitesinin belirleyici faktör olabileceğine dair kanıtlar var, tatmin edici olmayan yiyecekler sunma konusundaki itibarlarının farkında olan havayolları, menüleri yeniden düzenlemek için en iyi şefleri görevlendirerek tepki veriyor (Messner, 2016).

Uçak hazır yemek şirketleri yüksek hacimli operasyonlardır. Küresel olarak, her biri yıllık 1 milyondan fazla yemek üreten yaklaşık 630 uçuş mutfağı vardır. Uzun

mesafeli bir Boeing 747 ile tek bir uçuş, üzerine 40.000'den fazla ayrı öğenin yüklenmesini gerektirebilir. Bu nedenle, uçuş yiyecek içecek şirketlerinin günlük bazda önemli miktarda ürünle uğraştığı çok açıktır. Uçak mutfakları olarak anılsa da gıda üretimi operasyonun sadece bir aşamasıdır. Daha sonra bir dizi montaj ve tabak montajı, tepsi montajı, bar arabası montajı, yük arabası yükleme ve uçağa teslimat gibi teslimat aşamaları (Chang ve Jones, 2007).

Ticari uçaklardaki gıda işleme uygulamaları genellikle yeterince düzenlenmemiştir ve hijyen önlemlerine uyulmasını engelleyen gerçek engeller vardır. Havayolları her yıl yolculara yüz milyonlarca öğün yemek servisi yapmaktadır. Küresel hava taşımacılığındaki artışla birlikte, havacılık ortamlarında giderek daha fazla insan potansiyel olarak yetersiz gıda hijyeni riskine maruz kalmaktadır. Havayolları arasındaki şiddetli rekabet nedeniyle, artan bir “yoğunlaştırma” eğilimi olmuştur, yani uçakların koltuk sayılarını en üst düzeye çıkaracak şekilde tasarlanması, uçak tuvaletlerinde ve mutfaklarında boşluk bırakılması. Daha fazla yolcu taşıyan, daha uzak noktalara ve her zamankinden daha uzun uçuş süreleri olan daha fazla uçuş var (Grout ve Speakman, 2020).

## **2.5. Bakım Planlaması ve Optimizasyonu**

Bir uçağın bakımının planlanması, kısa, orta ve uzun vadede işin ne zaman biteceğini belirlemek için uçak veya ekipman koşullarının izlenmesini içerir. Bakım planlamasındaki kararlar, aletlerin, iş gücünün ve onarım yerlerinin mevcudiyetine bağlıdır. Verimlilik, bakım gerektiğinde kaynakların maksimum kullanımı için iş planlanarak elde edilir.

Uçak veya ekipman için bakım faaliyetlerinin planlanması ve programlanması karmaşık olabilir, çünkü bakım gerektiren uçak veya ekipman genellikle doğru zamanda doğru yerde değildir. Bakım yeri planlaması, Bakım, Onarım ve Operasyon konumlarındaki atamaları, ekipleri ve malzemeleri yönetmeyi ve programlamayı içerir.

Havayolu sektörüne yönelik bakım, onarım ve revizyon (BOR) faaliyetleri, uçuşların güvenliğini ve sürekliliğini sağlamak için genellikle bazı düzenlemelere tabidir.

Uçaktaki kritik ekipman, kullanım izninin devam etmesi için düzenli aralıklarla bakım, onarım ve revizyondan geçmelidir. Bu nedenle, katı son tarihler revizyon faaliyetlerini kısıtlar. Uçaklardaki birçok sistem, sözde dönebilen modül tipindedir, bu pahalı döner modüller, BOR şirketleri tarafından elden geçirilir ve tekrar tekrar kullanılır. BOR şirketleri genellikle pahalı döner modüllerle ilgili olarak müşteri havayolları ile değişim programları gerçekleştirir. Döner modül içeren bir BOR hizmeti için bir uçak geldiğinde, BOR firmasının envanterinden kullanıma hazır bir modül, uçaktan çıkarılan döner modül ile değiştirilir, böylece uçağın hizmet süresi en aza indirilir. Çıkarılan modül, sınırlı bir iş gücü kapasitesine sahip BOR mağazasında elden geçirilir ve elden geçirilen modül, gelecekteki bir değişim için envantere geri döndürülür (Ertogral ve Ozturk, 2019).

Uçak bakımı, bir uçağın uçuşa elverişli bir durumda kalmasını sağlamak için uçak sistemlerinin revizyonu, onarımı, muayenesi, modifikasyonu bileşenler ve yapılar dahil olmak üzere bir dizi faaliyetlerdir. Havacılık endüstrisinde, ticari bir uçak, operasyonlar sırasında bileşen ve sistem arızalarını önlemek için düzenli olarak bakıma tabi tutulmalıdır. Uçak bakım faaliyetlerinin çoğu, bir uçak belirli uçuş saatlerine, uçuş döngülerine veya takvim günlerine göre çalıştıktan sonra gerçekleşir, birçok hava yolu şirketi, uçak bakımını planlamak için Bakım Kontrol Planlaması ve Bakım Görev Tahsisi gibi yukarıdan aşağıya bir yaklaşım benimser (Deng ve ark., 2021).

İşletme maliyetlerinin önemli bir kısmı bakıma ayrılmıştır. Örneğin, orta mesafeli yolculuk başına ortalama doğrudan işletme maliyetinin %20,5'i bir Airbus A330-200'ün bakımına ayrılmıştır. Bu nedenle, havayollarının uçak bakım kararlarını optimize etmelerini sağlayacak karar verme araçlarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bakım türleri, kısa, orta ve uzun vadeli müdahalelere göre sınıflandırılır. Kısa süreli veya hat bakımı, havalimanı kapılarında standart prosedürler olarak gerçekleştirildiği için modelleme veya ileri planlama gerektirmez,

orta ve uzun vadeli bakım müdahaleleri arasında Gövde kontrolleri, Motor performans restorasyonu, İniş takımlarının revizyonu ve Yardımcı güç ünitesi performans restorasyonu yer alır (Sanchez ve ark., 2020).

Uçak Bakım, Onarım ve Revizyon vazgeçilmezdir ve havacılık endüstrisindeki önemli destekleyici faaliyetler. Uçak bakımı, uçak güvenliğini ve uçuşa elverişliliğini korumak için havacılık otoriteleri tarafından sıkı bir şekilde düzenlenir. Bir uçak, öngörülen uçuş saatlerini ve/veya kalkış/iniş döngülerinin sayısını karşıladıktan sonra hizmetini geçici olarak askıya almalı ve bakım almalıdır. BOR endüstrisinde, uçak hangarı bakımı, uçak hangarı tesisi, geniş bir varlık yelpazesi ve insan gücü dahil olmak üzere yüksek bir işletme maliyeti içerir (Qin ve ark., 2020).

## **2.6. Havaalanı ve Yer Hizmetleri Optimizasyonu**

Havacılıkta yer hizmetleri terimi hem müşteri hizmeti hem de rampa hizmeti işlevlerini içerecek olan bir uçak uçuşunu, uçağın yerde konumlandırılmasını, bir uçuşa hazırlık ve uçuşun tamamlanmasını kolaylaştırmak için sağlanan geniş hizmet yelpazesini ifade eder.

Müşteri Hizmetleri Fonksiyonları arasında Biletleme, Check-in, Fazla Bagaj, Bagaj Ayıklama, Lobi Yönetimi, Düzensiz İşlemler, Özel İhtiyaçların Giderilmesi, Kapı Tahsisi, Dinlenme Salonu Yönetimi, Uçağa Biniş, Uçaktan İniş ve Bagaj Hizmetleri yer almaktadır.

Rampa Hizmetleri, Uçak Yanaştırma, Bagaj ve Yük Taşıma, Uçak Çekme, Yakıt İkmali, Tuvalet ve Su Hizmeti, Uçak Temizleme, İkram, Belgelerin Sağlanması, Geri Gönderme ve Buz Çözme içerir.

Biniş ve iniş kapı ataması, kritik öneme sahiptir. Mevcut kapılar, uçuş grupları için yeterli olmalıdır. İkinci olarak, atanmış bir kapı hizmet verilecek uçağın boyutuna uygun olmalıdır. Aktarım süresi, kapılar arasındaki aktarım mesafesinden ve stokastik olan ve bazen ortalamasından önemli ölçüde sapan aktarım hızından

etkilenir. Bu durum özellikle mesafe arttıkça sıkıntılı olabiliyor. Hareketli yürüyüş yollarının montajı düşünülebilir. Üçüncüsü, transfer mesafesini ve/veya transfer süresini azaltmak, transfer maliyetini ve kapı doluluk maliyetini önemli ölçüde azaltabilir (Xiao ve ark., 2020).

Havalimanı tasarımındaki yenilikler, havacılıkta hizmet sunumu için yaratılmaktadır, uçak operasyonlarında hizmet sağlayıcılar genellikle sadece hizmetin kalitesine değil, aynı zamanda verimliliğe de odaklanır. Yenilikçi havalimanı tasarımı, karmaşık tahminler içerir ve sürdürülebilir teknolojiler ve iyi organize edilmiş havalimanı altyapısı ile yeni yöntemler, araçlar ve malzemelerle yüksek derecede rekabet ve havacılık ekipmanı geliştirmeyi içerir. Etkin hava operasyonları ve ayrıca etkin yer hizmetleri için tüm yönlerin dikkate alınması, yolcu güvenliği ve emniyeti açısından özellikle önemlidir (Alomar ve Tolujevs, 2017).

## **2.7. Talep Planlama**

Talep yönetimi, havayolu endüstrisi için önemli bir gelir artırıcıdır. Bu faydaları gerçekleştirmek için havayolları, veri analizlerinde ve tahmin kaynaklarında ince ayar yapmalıdır. Veri Analizi, doğrudan havayolu operasyonları stratejisinde rol oynar. Analitik çoğu endüstri operasyonunda önemli bir rol oynamasına rağmen, hava talebi yönetiminin büyük riskleri, onu taşıyıcılar için çok önemli bir yatırım haline getiriyor.

Havayolu tarife planlama problemi, bir uçuş tarifesini işler hale getirmek için alınması gereken kararların sırası olarak tanımlanır. Havayolu endüstrisindeki yüksek rekabet seviyesi göz önüne alındığında, etkili karar verme, bir havayolunun karlılığı için çok önemlidir. Ancak, bu karar verme yalnızca mevcut havayolunun kaynaklarına dayanmamalıdır. Stokastik piyasa taleplerinden kaynaklanan yolcu talebi dalgalanmaları, planlanan programların fiili performansını etkileyebilir, pratikte, yolcu talebinde dalgalanmaların meydana geldiği fiili operasyonlara uygulandığında optimal bir planın performansı düşebilir. Diğer bir deyişle, günlük yolcu talebindeki varyasyonlardan kaynaklanan stokastik rahatsızlıklar, filo

atamalarının ve zaman çizelgelerinin optimalliğini etkileyebilir. Bu nedenle, iyi bir uçuş tarifesi belirlemek için sadece filo ve ilgili arzın değil, fiili operasyonlarda stokastik piyasa taleplerinden kaynaklanan yolcu talep dalgalanmalarının da dikkate alınması gerekir (Cadarso ve Celis, 2017).

Mevcut havayolu endüstrisi son derece rekabetçi ve küçük bir kâr marjı altında faaliyet gösterir. Havayolları, gelirlerini en üst düzeye çıkaran ve mevcut kaynaklarını kullanan karlı uçuş programları geliştirmeye çalışır. Havayolu tarife planlama problemi, uçuşlar, filo, mürettebat ve diğer operasyonel kaynaklar için bir tarife geliştirmeyi gerektiren daha büyük havayolu planlama probleminin bir parçasıdır. Havayolu tarife planlama problemi, tipik olarak talep tahmini, kapasite planlaması, uçuş frekansı, kalkış zamanı optimizasyonu ve kaynak tahsisi ve çizelgeleme gibi birbirine bağlı birkaç görevden oluşan karmaşık bir süreçtir (Abdelghany ve ark, 2017).

## **2.8. Göbek ve İspit Dağıtım Optimizasyonu**

Bugün, çoğu havayolunun uçuşlarının geçmesi gereken en az bir merkezi havalimanı var. Bu merkezden, spoke uçuşları yolcuları belirli varış noktalarına götürür. Hub-and-spoke sisteminin amacı, havayollarına para tasarrufu yapmak ve yolculara varış noktalarına daha iyi rotalar sağlamaktır. Uçaklar bir havayolunun en değerli ürünüdür ve her uçuşun belirli maliyetleri vardır. Uçaktaki her koltuk, toplam uçuş maliyetinin bir kısmını temsil eder. Bir yolcu tarafından doldurulan her koltuk için havayolu, bir havayolunun para kaybetmeyi bıraktığı ve uçuşta kar göstermeye başladığı koltuk fiyatı olan başabaş fiyatını düşürür (<https://science.howstuffworks.com>).

## **2.9. Uçuş Planlama**

Uçuş planlaması, bir havayolu planlama sürecinin önemli adımıdır. Hava taşımacılığı arzı ve talebi arasındaki karşılıklı ilişki ışığında, bu modellerin temel bir unsuru, hem toplam piyasa talebinin tahminini dahil etmek hem de belirli bir piyasada mevcut

güzergahlar üzerinden yolcu tahsis etmek için etkili yöntemler tasarlamaktır (Biolini ve ark, 2021).

Planlama aşaması, yolcuların rezervasyonu, uçuş kalkış saatlerinin onaylanması ve uçakların tahsis edilmesinden oluşur. Genellikle uçuşlardan bir gün önce gerçekleşen bu aşamada bazı plansız uçuşlar da planlanmaktadır. Bir önceki günden transfer edilen yolcuların ikramı (örn. olumsuz hava koşulları veya uçak arızaları nedeniyle oluşan aksaklıklar) veya acil platform talepleri gibi birçok nedenden dolayı plansız uçuşlar gerekebilir (Bastos ve ark, 2020).

## **2.10. Geliş ve Gidiş Seferlerinin Senkronizasyonu ve Optimizasyonu**

Bizim çalıştığımız konu çalışılmamış fakat günlük hayatta sık karşılaştığımız bir problemdir, meta sezgisellerin karmaşık havayolu optimizasyonu ve senkronizasyonu probleminde oldukça işe yarayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada kullanılan meta sezgisellerin yolcu transferinde kazanılan yolcu sayısını önemli ölçüde arttıracığı, diğer bir deyişle transfer esnasında kaybedilen yolcu sayısı oldukça azaltacağı gözlemlenmiştir. Bizim çalışmamızın uçuş planlama ve göbek ve ispit çalışmalarının arasındaki fark, göbek ve ispit çalışmalar maliyetler en aza indirerek en uygun transit havalimanını bulmaya uçuş planlama çalışmaları talepleri dikkate alarak en uygun uçuş saatini bulmaya çalışırken bizim çalışmamızın uzun transit sürelerinden kaynaklanan yolcu kaybını minimize etmeye çalışmasıdır.

## **BÖLÜM 3. KAYNAK ARAŞTIRMASI**

### **3.1. Havacılık Sektöründeki Optimizasyon Çalışmaları**

Havayolu geliş ve gidiş senkronizasyonu ve optimizasyonu konusunda yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Fakat havayolu endüstrisinin sorunları ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır.

Pist ve havayolu trafiği optimizasyonu ile ilgili çok çalışma yapılmıştır. Montlaur ve Delgado (2017) Yolcu ve bağlantılı yolcu tahsisi, dönüş için gereken minimum süre ve taktik gürültü için istatistiksel modeller kullanarak zemin tutma problemini temel alıp ve çeşitli maliyet fonksiyonlarını kullanarak bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Saez ve arkadaşları (2020) tarafından Varış prosedürünün rotalarını ve gerekli varış zamanlarını en uygun şekilde atamak için bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli oluşturulurken, uçak başına bir dizi aday Sürekli iniş operasyon yörüngesi oluşturmak için optimal bir kontrol problemi formüle edilmiş ve çözülmüştür. Mondoloni ve Rozen (2020) yörünge tahmini ve yörünge senkronizasyonunu ele alarak bir tahmin modeli geliştirmiştir. Zhang ve arkadaşları (2020) Uçak iniş problemi ve tek makineli çizelgeleme probleminin benzerliklerinden esinlenerek, uçak iniş probleminin uygun amaç fonksiyonlarını belirlemek için tek makineli çizelgelemede başarıyla kullanılan bir kriter seçim yöntemi önermişlerdir. Çiftçi ve Özkır (2020) tarafından tavlama ve tabu arama algoritmaları kullanılarak transfer yolcuları için toplam bağlantı sürelerini en aza indirmeyi amaçlayan ve hub havalimanlarındaki slot kapasitelerine ilişkin uçuş programlarını oluşturan matematiksel model geliştirilmiştir. Gu ve arkadaşları (2019) tarafından önceden belirlenen yolculuk mesafesi birden çok segmente eşit olarak bölünmüş ve ardından her bir mesafe segmenti için bir yakıt tüketimi modeli geliştirilmiş, her segmentteki kalibre edilmiş hava hızı ivmesi, uçuş profili

optimizasyonunu sağlamak ve uçağın varış zamanını hassas bir şekilde kontrol etmek için genetik algoritmaya dayalı olarak dinamik olarak optimize edilmiştir. Jungai ve Hongjun (2012) ciddi hava trafiği uçuş gecikmelerini azaltmak için varış uçuş gecikmelerini optimize etmek için simüle edilmiş tavlama algoritmasına dayalı, uçuşların karakteristiğine ve sistem optimizasyonu düşüncesine dayanarak, gecikme maliyetinin amaç fonksiyonu ile uçuş gecikmeleri programlamasının dinamik optimizasyon modellerini oluşturdu. Torres (2012) pilotları, optimizasyon sorununa bireysel olarak yerel çözümler bulan hedef arayan temsilcilere dönüştüren ve bir bütün olarak temsilcilerin kolektif eylemi, doğal olarak kendi kendine yaklaşma eğiliminde olan acil davranış yaratan sürü teorisinden ilham alan hava trafik akışı yönetimine farklı bir yaklaşım sundu. Borhani (2021) tarafından havayolu sayısını azaltmak ve yolcuları toplamak ve ayrıca rota değişikliklerini ve yolcular için seyahat süresini azaltmak için hava ulaşım ağının yapısı çok amaçlı bir genetik algoritma ile analiz edilmiştir.

Ekip ve mürettebat planlaması ve ataması ile ilgili yapılan çalışmalar arasında Medard ve Sawhney 'in (2007) geliştirdikleri model basit ağaç arama ve daha karmaşık sütun oluşturma ve en kısa yol algoritmalarına dayalı çözüm tekniklerini sağlamıştır. Yaakoubi ve arkadaşları (2020) 50000 uçuş için makine öğrenmesi tabanlı bir model kullanarak ekip planlaması yapmışlardır. Deveci ve Demirel (2018) ise genetik algoritmaları ve evrimsel stratejileri kullanarak ekip planlaması yapmışlardır.

Sa ve arkadaşları (2020) uzun vadeli seyahat talebini modellemek için ortalama geri dönen Ornstein-Uhlenbeck sürecini kullanıp talep senaryoları oluşturmak için ayrık zamanlı Markov zinciri geçişleriyle birleştirerek talep planlama ile ilgili çalışma yapmışlardır. Repko ve Santos (2017) bir senaryo ağacı yaklaşımı kullanarak talep belirsizliği altında havayolu talep planlama problemini çözmek için yenilikçi birçok dönemli modelleme yaklaşımı önermiştir. Ağaç, planlama ufkunun çoklu zaman aşamalarındaki karar noktalarını temsil eden düğümlerden ve talep varyasyon senaryolarını temsil eden dallardan oluşur.

Bakım planlama ile ilgili Deng ve arkadaşları (2020) heterojen bir uçak filosu için uzun vadeli bakım kontrol çizelgesini optimize etmek için pratik bir dinamik programlama tabanlı metodoloji sunmuşlardır. Lin ve arkadaşları (2019) tarafından havayolu bakım maliyetlerini en aza indirmek ve filo kullanılabilirliğini en üst düzeye çıkarmak için yorulma yapıları için bileşen İş modeline dayalı bir filo bakım karar verme modeli geliştirilmiştir.

Gelir yönetimi ile ilgili yapılan çalışmalar arasında Graf ve Kimms'in (2013) geliştirdikleri simülasyon tabanlı optimizasyon modelini kullanarak diğer havayolu partnerleri ile olan transfer gelirini maksimize etmişlerdir. Lawhead ve Gosavi (2019) pekiştirmeli öğrenme algoritmasını gelir yönetimi optimizasyonunda kullanmışlardır. Aslani ve arkadaşları (2014) gözlemleri teklif fiyatı veya ayarlama maliyeti gibi gelir yönetimi ölçümleriyle ilişkilendirerek ağ gelir yönetiminin karar verme sürecini incelemek için bir simülatör geliştirdiler ve ağın dinamiğinin bu önlemlerden nasıl etkilendiğini ve sonuçta olağandışı fiyatlandırmalara yol açtığını gösterdiler. An ve arkadaşları (2021) minimaks pişmanlık kriterini kullanarak ve maksimum pişmanlık için çözülebilir bir lineer programlama modeli sunarak sağlam optimal rezervasyon limiti politikasını karakterize ettiler.

Hub ve spoke dağıtım ile ilgili yapılan çalışmalar arasında Bao ve Hua'nın (2017) yolculuk süresi kaybını en aza indirmek için çoklu havalimanı sistem operasyonu için K-ortalamar kümeleme algoritması ve genetik algoritmalar kullanarak oluşturdukları bir uçuş süresi ve frekans optimizasyon modelidir. Niakan ve arkadaşları (2014) maksimum birikmiş seyahat süresinin en aza indirilmesi, ulaşım, yakıt tüketimi ve sera gazı emisyonları dahil toplam maliyetlerin en aza indirilmesi ve asgari hizmet güvenilirliğinin en üst düzeye çıkarılması gibi hedefleri dikkate alarak belirsizlik altında bir hub ağ tasarım probleminde hub'ların konumunu optimize etmek için çok amaçlı bir karma tamsayı modeli önermiştir. Ağ optimizasyonundaki belirsizliğin neden olduğu riski azaltmak ve çok olası talep ve maliyet koşulları altında hub ağının optimal sağlam çözümünü elde etmek için Jia ve Qingyun (2009) tarafından çok amaçlı optimizasyon genetik algoritmasına dayalı bir yöntem önerilmiştir.

Wu ve arkadaşları (2021) insansız hava araçlarının arasındaki çakışmayı engellemek ve uçuş gecikmelerini azaltmak için modifiye edilmiş bir tavlama benzetimi algoritmasını kullanmışlardır. Zeng ve arkadaşları (2021) operasyonel verimliliği ve havayolu çıkarlarını göz önünde bulundurarak stratejik düzeyde operasyonel gecikmeleri azaltmak için veri odaklı bir yaklaşım önererek matematiksel model geliştirmişlerdir. Lambelho ve arkadaşları (2020) tarafından Makine öğrenimi tabanlı uçuş gecikme ve iptal tahminlerini kullanarak bir havaalanındaki stratejik uçuş planlaması değerlendirilmiştir. Yukarıda bahsedilen çalışmalar özet olarak Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Havacılık sektöründeki bazı çalışmaların özeti

Çalışma Alanı	Çalışma
Pist ve Havayolu Trafik Optimizasyonu	Montlaur, A., Delgado, L., Flight and passenger delay assignment optimization strategies, <i>Transportation Research Part C</i> 81 (2017) 99–117.
Pist ve Havayolu Trafik Optimizasyonu	Saez, R., Prats, X., Polishchuk, T., Polishchuk, V., Traffic synchronization in terminal airspace to enable continuous descent operations in trombone sequencing and merging procedures: An implementation study for Frankfurt airport, <i>Transportation Research Part C</i> 121 (2020) 102875.
Pist ve Havayolu Trafik Optimizasyonu	Mondoloni, S., Rozen, N., Aircraft trajectory prediction and synchronization for air traffic management applications, <i>Progress in Aerospace Sciences</i> 119 (2020) 100640.
Pist ve Havayolu Trafik Optimizasyonu	Zhang, J., Zhao, P., Zhang, Y., Dai, X., Sui, D., Criteria selection and multi-objective optimization of aircraft landing problem, <i>Journal of Air Transport Management</i> 82 (2020) 101734.
Pist ve Havayolu Trafik Optimizasyonu	Çiftçi, M.E., Ozkır, V., Optimising flight connection times in airline bank structure through Simulated Annealing and Tabu Search algorithms, <i>Journal of Air Transport Management</i> 87 (2020) 101858.
Pist ve Havayolu Trafik Optimizasyonu	Gu, J., Tang, X., Hong, W., Chen, P., Li, T., Real-time optimization of short-term flight profiles to control time of arrival, <i>Aerospace Science and Technology</i> 84 (2019) 1164–1174.
Pist ve Havayolu Trafik Optimizasyonu	Jungai, T., Hongjun, X., Optimizing Arrival Flight Delay Scheduling Based on Simulated Annealing Algorithm, <i>Physics Procedia</i> 33 (2012) 348 – 353.
Pist ve Havayolu Trafik Optimizasyonu	Torres, S., Swarm theory applied to air traffic flow management, <i>Procedia Computer Science</i> 12 (2012) 463 – 470.
Pist ve Havayolu Trafik Optimizasyonu	Borhani, M., Evolutionary multi-objective network optimization algorithm in trajectory planning, <i>Ain Shams Engineering Journal</i> 12 (2021) 677–686.

Tablo 3.1. (Devamı)

Çalışma Alanı	Çalışma
Ekip ve mürettebat planlaması	Medard, C.P., Sawhney, N., Airline crew scheduling from planning to operations, <i>European Journal of Operational Research</i> 183 (2007) 1013–1027.
Ekip ve mürettebat planlaması	Yaakoubi, Y., Soumis, F., Julien, S.L., Machine learning in airline crew pairing to construct initial clusters for dynamic constraint aggregation, <i>EURO Journal on Transportation and Logistics</i> 9 (2020) 100020.
Ekip ve mürettebat planlaması	Deveci, M., Demirel, N.C., Evolutionary algorithms for solving the airline crew pairing problem, <i>Computers &amp; Industrial Engineering</i> 115 (2018) 389–406.
Talep Planlama	Sa, C.A.A., Santos, B.F., Clarke, J.P.B., Portfolio-based airline fleet planning under stochastic demand, <i>Omega</i> 97 (2020) 102101.
Talep Planlama	Repko, M.G.J., Santos, B.F., Scenario tree airline fleet planning for demand uncertainty, <i>Journal of Air Transport Management</i> 65 (2017) 198-208.
Bakım planlama	Deng, Q., Santos, B.F., Curran, R., A practical dynamic programming based methodology for air craft maintenance check scheduling optimization, <i>European Journal of Operational Research</i> 281 (2020) 256–273.
Bakım planlama	Lin, L., Wang, F., Luo, B., An optimization algorithm inspired by propagation of yeast for fleet maintenance decision making problem involving fatigue structures, <i>Applied Soft Computing Journal</i> 85 (2019) 105755.
Gelir yönetimi	Graf, M., Kimms, A., Transfer price optimization for option-based airline alliance Revenue management, <i>Int. J. Production Economics</i> 145 (2013) 281–293.
Gelir yönetimi	Lawhead, R.J., Gosavi, A., A bounded actor–critic reinforcement learning algorithm applied to airline revenue management, <i>Engineering Applications of Artificial Intelligence</i> 82 (2019) 252–262.
Gelir yönetimi	Aslani, S., Modarres, M., Sibdari, S., On the fairness of airlines' ticket pricing as a result of revenue management techniques, <i>Journal of Air Transport Management</i> 40 (2014) 56-64.
Gelir yönetimi	An, J., Mikhaylov, A., Jung, S.U., A Linear Programming approach for robust network revenue management in the airline industry, <i>Journal of Air Transport Management</i> 91 (2021) 101979.
Göbek ve İspit	Bao, D., Hua, S., Flight Time and Frequency-Optimization Model for Multi-airport System Operation, <i>Hindawi Mathematical Problems in Engineering</i> Volume 2017, Article ID 7371461, 10 pages.
Göbek ve İspit	Niakan, F., Vahdani, B., Mohammadi, M., A multi-objective optimization model for hub network design under uncertainty: An inexact rough-interval fuzzy approach, <i>Engineering Optimization</i> , 2014.
Göbek ve İspit	Jia, H., Qingyun, W., Robust Optimization of Hub-and-Spoke Airline Network Design Based on Multi-Objective Genetic Algorithm, <i>J Transpn Sys Eng &amp; IT</i> , 2009, 9(3), 86-92.

Tablo 3.1. (Devamı)

Çalışma Alanı	Çalışma
Uçuş Planlama	Wu, Y., Low, K.H., Hu, X., Trajectory-based flight scheduling for AirMetro in urban environments by conflict resolution, Transportation Research Part C 131 (2021) 103355.
Uçuş Planlama	Zeng, W., Ren, Y., Wei, W., Yang, Z., A data-driven flight schedule optimization model considering the uncertainty of operational displacement, Computers & Operations Research 133 (2021) 105328.
Uçuş Planlama	Lambelho, M., Mitici, M., Pickup, S., Marsden, A., Assessing strategic flight schedules at an airport using machine learning-based flight delay and cancellation predictions, Journal of Air Transport Management 82 (2020) 101737.

### 3.2. Genetik Algoritmalarla İlgili Optimizasyon Çalışmaları

Genetik algoritmalarla ilgili çok çalışma yapılmıştır. Levine (1996) hibrit bir genetik algoritmanın geliştirilmesini ve havayolu ekip planlama problemine uygulanmasını ele almıştır. Soolaki ve arkadaşları (2012) havayolu biniş süresini azaltmak için lineer programlama yaklaşımı ve genetik algoritmasını kullanmışlardır. Ozdemir ve Mohan (2001) tarafından ekip planlama problemine çözmek için uçuş grafiği tabanlı bir genetik algoritma kullanılmıştır. Souai ve Teghem (2009) tarafından havayolu için genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım kullanılarak ekip eşleştirme ve listeleme sorunu çözülmüştür. Kölker ve Lütjens (2015) büyük ölçekli havayolu ağı planlama problemlerini çözmek için genetik algoritmaları kullanmışlardır. Ksiazek ve arkadaşları (2021) genetik algoritmalar ve lojistik regresyonunu kombinasyonunu Hepatosellüler karsinomun sağkalım tahmininde kullanmışlardır. Ongcunuruk ve arkadaşları (2021) Tayland'da baharat tozu üreten bir üretim şirketi ve lojistik sağlayıcı için nakliye planlama kararlarını iyileştirmeyi amaçlayan bir çalışma için bir genetik algoritma modeli geliştirdiler. Li ve arkadaşları (2021) tarafından Yakıt doldurma optimizasyonunda hibrit öğretim-öğrenme genetik algoritmasının geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Tapia ve arkadaşları (2021) Genetik algoritmalar kullanılarak mikro hidroelektrik santralleri için cebri boru yerleşimlerinin üç boyutlu optimizasyonu için bir çalışma yapmıştır. Aygun ve Turan (2021) tarafından turbofan motoru için çeşitli ekserjetik parametrelerin tasarım dışı modellenmesi, seyir aşamasında genetik algoritma kullanılarak bir çalışma yapılmıştır.

Genetik algoritmalarla ilgili yapılan çalışmalar arasında Cui ve arkadaşları (2021) tarafından Ajan saldırganlığına dayalı olarak yaya tahliyesinin başlangıç durumunu optimize etmek için genetik algoritmayı kullanarak yapılan çalışmadır.

Esnaashari ve Damia (2021) tarafından genetik algoritmaları kullanarak tüm sonlu yolları kapsama kriteri dikkate alınarak test verisi oluşturma sürecini otomatikleştirmek için yapısal bir yöntem kullanılmıştır. Subramanian ve Vasudevan (2021) Sis hesaplama çerçevelerinden yararlanan insan aktivitesi tanıma için derin bir genetik algoritma kullanmışlardır. Wang ve arkadaşları (2021) toplu taşımada çok depolu bir elektrikli araç çizelgeleme problemi için bir genetik algoritma tabanlı kolon oluşturma yaklaşımı önermişlerdir. Santhosh ve arkadaşları (2021) Yanıt Yüzeyi Metodolojisi ve Yapay sinir ağı-genetik algoritmasında yüz merkezli Merkezi Kompozit Tasarım yaklaşımı kullanarak CNC tornalama parametrelerinin optimizasyonunu yapmışlardır.

### **3.3. PSO Algoritmasıyla İlgili Optimizasyon Çalışmaları**

PSO algoritmasıyla ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Deng ve Lin (2011) tarafından havayolu mürettebatı çizelgeleme problemi için parçacık sürüsü optimizasyonu ve karınca kolonisi optimizasyon tabanlı bir algoritma geliştirilmiştir. Mamaghan ve arkadaşları (2020) göbek ve ispit problemi için makine öğrenmesini entegre ederek birçok metasezgisel algoritması kullanmışlardır. Dozic ve arkadaşları (2019) tarafından bir havayolu filosu boyutlandırma ve filo atama problemini çözmek için değişken Mahalle araması algoritması kullanılmıştır.

Bulbul ve Kasimbeyli (2021) uçak bakım rotalama probleminin çözümünde karınca kolonisi algoritmasını kullanmışlardır. Stokastik operasyonel uçak bakım rotası ve bakım personelinin koordineli konfigürasyonu için Eltokhy ve arkadaşları (2018) tarafından karınca kolonisi algoritması kullanılmıştır. Mijovica ve arkadaşları (2021) arı kolonisi algoritması ve parçacık sürüsü algoritmasını Londra havalimanı sisteminden kaynaklanan uzun mesafeli rotalarda havayolu pazar payını belirlemek için kullanmışlardır. Aoun ve arkadaşları (2016) havayolu ekip planlama problemi için

parçacık sürüsü opitmizasyonu algoritmasını kullanmışlardır. Zhang ve Zhao (2021) Parçacık sürüsü optimizasyonu tabanlı üretken çekişmeli ağı kullanarak yüksek kaliteli yüz görüntüsü oluşturma ile ilgili çalışma yapmışlardır. Roy ve arkadaşları (2021) Fourier katsayılarının otomatik parametre seçimi ile Parçacık Sürüsü Optimizasyonu kullanılarak bodrum kabartmasının yerçekimi ters çevrilmesi ile ilgili çalışma yapmıştır. Wang ve arkadaşları (2021) tarafından Parçacık sürüsü ivmesi hesaplamasına ve dinamik optimal kontrole dayalı insansız gemi için yerel yol optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir.

Cui ve arkadaşları (2021) tarafından Alzheimer hastalığının erken teşhisi için parçacık sürüsü optimizasyonuna dayalı uyarlanabilir LASSO lojistik regresyonu kullanılmıştır. Khuwaileh ve arkadaşları (2021) Kullanılmış nükleer yakıtın ters tükenmesi için Yapay Sinir Ağı tabanlı Parçacık Sürü Optimizasyonu çözüm yaklaşımı önermişlerdir. Phung ve Ha (2021) Küresel vektör tabanlı parçacık sürüsü optimizasyonu ile güvenliği artırılmış insansız hava araçları yol planlamasını yapmışlardır. Ceylan (2021) Parçacık sürüsü optimizasyonu ile optimize edilmiş gri yuvarlanma modeli kullanılarak COVID-19 yayılmasının kısa vadeli tahmininde bulunmuştur. Singh ve Singh (2021) tarafından Bulanık ortamda ulaşım problemini çözmek için parçacık sürüsü optimizasyon algoritmasının geliştirilmesi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Joy ve arkadaşları (2021) Değişken kaynak seviyelerine sahip çok kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi için parçacık sürüsü optimizasyonu algoritmasını kullanmışlardır. Ye ve arkadaşları (2021) tarafından Orman ekolojik ekonomisinin kapsamlı faydalarını değerlendirmek için ayrık parçacık sürü optimizasyonuna dayalı bir model önerilmiştir.

## BÖLÜM 4. PROBLEMİN TANIMI

Havayolu şirketleri ekonomik kısıtlar nedeniyle her bir uçuş noktasından diğer bir noktaya uçamamaktadır. İstanbul Havalimanı yurt içi uçuşların yanı sıra özellikle yurtdışı uçuşlarda yapılan aktarmalarda dünyada stratejik bir konuma sahiptir. Müşteriler genel olarak en kısa sürede ve en düşük maliyetle ve daha konforlu hedeflerine varmak istedikleri için özellikle aktarmalı yolculuklarda en kısa bekleme süresine sahip olan şirketi tercih etmektedirler. Problemin çözümünü kolaylaştırmak için aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır.

Bekleme süresine bağlı olarak şirketi tercih eden yolcu oranları Tablo 4.1.'deki gibi gerçekleşmektedir. Bekleme süresi 0-1 saat olan uçuşlara yolcular yetişemeyeceği için bu uçuşlarda tüm müşteri potansiyeli kaybedilmektedir. Aktarma için beklenen sürenin 1-3 saat arasında olması durumunda yolcuların tamamı beklemeyi tercih ederken bekleme süresi 10 saati geçtiğinde hiçbir yolcu beklememektedir.

Uçaklar arıza yapmamaktadır ve tamir-bakım gerektirmemektedir. Planlanan tüm uçuşlar hava durumu vb. tüm olaylardan bağımsız olarak gerçekleştirilmektedir. Bilet fiyatları dikkate alınmamaktadır ve uçak kısıtı bulunmamaktadır.

Tablo 4.1. Aktarmalı uçuşlarda yolcuların bekleme oranları

Bekleme süresi (saat)	Bekleme oranı (%)
0-1	0
1-3	100
3-5	50
5-7	20
7-10	10
10+	0

Bu nedenle şirket, dış ve iç hat uçuşlarının senkronizasyonunu optimize ederek toplam yolcu sayısını maksimize etmek istiyor. Şirketin 54900'den fazla transit kombinasyonu olması nedeniyle, optimum sonucu bulana kadar tüm kombinasyonları denemek çok zordur.

Burada geçiş noktası İstanbul havalimanı olup, yurt içi ve yurt dışı destinasyonlarımız bulunmaktadır. Orijinal plan, 5 dakika arayla bir haftada geliş ve gidiş uçuşları içermektedir, bu plan haftalık olarak planlanacak ve pazar günü saat 00:00 ile başlayıp pazar günü saat 23:55'te sona erecektir. Gen, uçuşu temsil eder hem varış hem de kalkış için toplamda  $2016 \cdot 7 = 14112$  genimiz vardır. Aynı anda 7 noktadan İstanbul'a geliş ve İstanbul'dan 7 noktaya aynı anda gidiş yapılabilir.

Bu çalışmada, 54990 transit noktası olduğundan dolayı küçük ölçekli problemde matematiksel model kullanılmış. Orijinal problem içinse tüm kombinasyonları denemeden yolcu sayısını maksimize etmek için genetik algoritmaları, parçacık sürüsü algoritmasını ve evrimsel stratejileri kullanılmış sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## BÖLÜM 5. KULLANILAN YÖNTEMLER

### 5.1. Matematiksel Model

Havayolu şirketi planında toplamda 54000 uçuş noktası bulunduğundan dolayı bütün bu noktalar için model oluşturmak pek zordur. 5 ayrı uçuş noktası için talepleri ve mümkün olan uçuş zamanlarını dikkate alarak model oluşturulmuş ve Lingo programında çözülmüştür. 5 uçuş noktası arasındaki talepler 5.1. nolu tabloda gösterilmiştir. Ayrıca Lingo kodlar EK1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. matematiksel modelde kullanılan 5 uçuş noktası arasındaki talepler

1.nokta	2.nokta	talep
ORD	IAD	19
ORD	LAX	19
ORD	JFK	11
ORD	YYZ	27
IAD	ORD	11
IAD	LAX	17
IAD	JFK	19
IAD	YYZ	15
LAX	ORD	17
LAX	IAD	15
LAX	JFK	5
LAX	YYZ	4
JFK	ORD	7
JFK	IAD	9
JFK	LAX	11
JFK	YYZ	15
YYZ	ORD	23
YYZ	IAD	15
YYZ	LAX	9
YYZ	JFK	10

X1: ORD

X2: IAD

X3: LAX

X4: JFK

X5: YYZ

Matematiksel modelin amaç fonksiyonu ve kısıtları aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\text{MAX} = \sum_{n=1}^5 \cdot \sum_{m=1}^5 \text{PasXnm} \quad (5.1)$$

$$\text{XDn} = \sum_{p=1}^5 \text{XDnp} * \text{Tp} \quad n=1, \dots, 5 \quad (5.2)$$

$$\text{XAm} = \sum_{p=1}^5 \text{XAp} * \text{Tp} \quad m=1, \dots, 5 \quad (5.3)$$

$$\text{TotalXDn} = \sum_{p=1}^5 \text{XDnp} \quad n=1, \dots, 5 \quad (5.4)$$

$$\text{TotalXAm} = \sum_{p=1}^5 \text{XAp} \quad m=1, \dots, 5 \quad (5.5)$$

$$\text{TotalTDp} = \sum_{n=1}^5 \text{XDnp} \quad p=1, \dots, 5 \quad (5.6)$$

$$\text{TotalTAp} = \sum_{m=1}^5 \text{XAp} \quad p=1, \dots, 5 \quad (5.7)$$

$$\text{TalXnm} = \text{talep} \quad (5.8)$$

$$\text{TimeDifXnm} = \text{XDn} - \text{XAm} \quad n=1, \dots, 5 \quad m=1, \dots, 5 \quad n \neq m \quad (5.9)$$

$$\text{PasXnm} = @\text{IF}(\text{TimeDifXnm} \# \text{LT} \# 5, \text{TalXnm} * 0, @\text{IF}(\text{TimeDifXnm} \# \text{LT} \# 10, \text{TalXnm} * 1, @\text{IF}(\text{TimeDifXnm} \# \text{LT} \# 15, \text{TalXnm} * 0.5, @\text{IF}(\text{TimeDifXnm} \# \text{LT} \# 20, \text{TalXnm} * 0.2, \text{TalXnm} * 0))) \quad (5.10)$$

$$\text{TotalXDn} = 1 \quad n=1, \dots, 5 \quad (5.11)$$

$$\text{TotalXAm} = 1 \quad m=1, \dots, 5 \quad (5.12)$$

$$\text{TotalTDp} \leq 2 \quad p=1, \dots, 5 \quad (5.13)$$

$$\text{TotalTAp} \leq 2 \quad p=1, \dots, 5 \quad (5.14)$$

$$@\text{BIN}(\text{XDnp}); \quad n=1, \dots, 5 \quad p=1, \dots, 5 \quad (5.15)$$

$$@\text{BIN}(\text{XAp}); \quad m=1, \dots, 5 \quad p=1, \dots, 5 \quad (5.16)$$

5.1 nolu denklemde Max =  $\sum \sum \text{PasXnm}$  ; n(1...5): kalkış noktası , m(1...5): varış noktası

5.2 nolu denklemde  $\text{XDn} = \sum \text{XDnp} * \text{Tp}$  ; n. Kalkış noktası için toplam sefer sayısı,  $\text{Tp}$ : uçuş zamanı, k:(00:05..... 00:25)

5.3 nolu denklemde  $\text{XDm} = \sum \text{XAp} * \text{Tp}$  ; m. Kalkış noktası için toplam sefer sayısı

$T1 = 5$ ; 1.uçuş zamanı

$T2 = 10$ ; 2.uçuş zamanı

$T3 = 15$ ; 3.uçuş zamanı

$T4 = 20$ ; 4.uçuş zamanı

$T5 = 25$ ; 5.uçuş zamanı

5.4 nolu denklemde  $TotalXDn = \sum XDnp$  ; n kalkış için toplam uçuş sayısı

5.5 nolu denklemde  $TotalXAm = \sum XAm$  ; m varış için toplam uçuş sayısı

5.6 nolu denklemde  $TotalTDn = \sum XDnp$  ; p zamanında toplam kalkış sayısı

5.7 nolu denklemde  $TotalTAm = \sum XAm$  ; p zamanında toplam varış sayısı

5.8 nolu denklemde  $TalXnm = \text{talep}$  ; n ile m arasındaki talep

5.9 nolu denklemde  $TimeDifXnm = XDn - XAm$ ; kalkış ve varış uçuşları arasındaki zaman farkı

5.10 nolu denklemde  $PasXnXm = @IF( TimeDifXnm \#LT\# 5, TalXnm*0, @IF( TimeDifXnm \#LT\# 10, TalXnm *1, @IF( TimeDifXnm \#LT\# 15, TalXnm*0.5, @IF( TimeDifXnm \#LT\# 20, TalXnm*0.2, TalXnm*0) ) ) )$ ; iki uçuş arasındaki zaman farkına göre yolcu oranının hesaplanması

5.11 nolu denklemde  $TotalXDn = 1$ ; n uçuşu için sefer sayısı kısıtı. En fazla 1 uçuş.

5.12 nolu denklemde  $TotalXAm = 1$ ; m uçuşu için sefer sayısı kısıtı. en fazla 1 uçuş.

5.13 nolu denklemde  $TotalTDp \leq 2$ ; k zamanında kalkış uçuş sayısı kısıtı, en fazla 2 uçuş.

5.14 nolu denklemde  $TotalTAp \leq 2$ ; k zamanında varış uçuş sayısı kısıtı, en fazla 2 uçuş.

5.15 nolu denklemde  $@BIN(XDnp)$ ; n uçuşu için sefer sayısı tamsayı kısıtı.

5.16 nolu denklemde  $@BIN(XAm)$ ; m uçuşu için sefer sayısı tamsayı kısıtı.

## 5.2. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar, doğada gözlemlenen evrimsel süreçten ilham alan arama ve optimizasyon yöntemleridir. Karmaşık çok boyutlu arama uzayında, en iyinin hayatta kalması ilkesine dayalı olarak en iyi bütünsel çözümü arar. Genetik algoritmaların temel ilkeleri ilk olarak Michigan Üniversitesi'nde John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Genetik algoritmalar, çözüm uzayında tek bir çözüm yerine çeşitli

çözümler kullanır. Böylece arama uzayında aynı anda birçok nokta dikkate alınır ve bu da daha iyi bir bütünsel çözüm olasılığını artırır. Genetik algoritmalar, diğer optimizasyon yöntemlerini kullanırken büyük zorluklarla karşılaşılan çok geniş arama uzaylı problemlerin çözümünde başarıyla uygulanmaktadır. Bir soruna bütünsel en iyi çözümü bulmayı garanti etmezler. Ancak, makul bir süre içinde kabul edilebilir, iyi çözümler bulurlar (Demir ve Phanden, 2020).

Havayolu şirketinin planı haftalık ve her 5 dakikada bir uçuş gerçekleşebilir. Bu çalışmada her uçuş bir geni temsil edecek. Planda uçuşlar destinasyon havalimanı ile gösterilir. Toplamda 401 destinasyon vardır. Aynı saatte en fazla 7 uçak kalkabilir, plan Pazartesi saat 00:00 ile başlar ve 5 dakika arayla Pazar saat 23:55 e kadar devam eder. Havalimanına göre gen numarası ve plan 5.2. nolu tablo ve 5.2. nolu şekilde gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Gen gösterimi

havalimani	gen kodu
SGN	1
GRU	2
EBL	3
CMN	4
EBB	5
LIS	6
:	:
:	:
:	:
BJV	401

		1.ucus	2.ucus	3.ucus	4.ucus	5.ucus	6.ucus	7.ucus	
Pazartesi	0:00	1	10	0	0	0	0	0	
Pazartesi	0:05								
Pazartesi	0:10	SGN	MSQ						
Pazartesi	0:15					ucus yok			
Pazartesi	0:20								
:	:								
:	:								
:	:								
Pazar	23:45								
Pazar	23:50								
Pazar	23:55								

→ kromozom 2016 X 7 boyutlu matris olacak

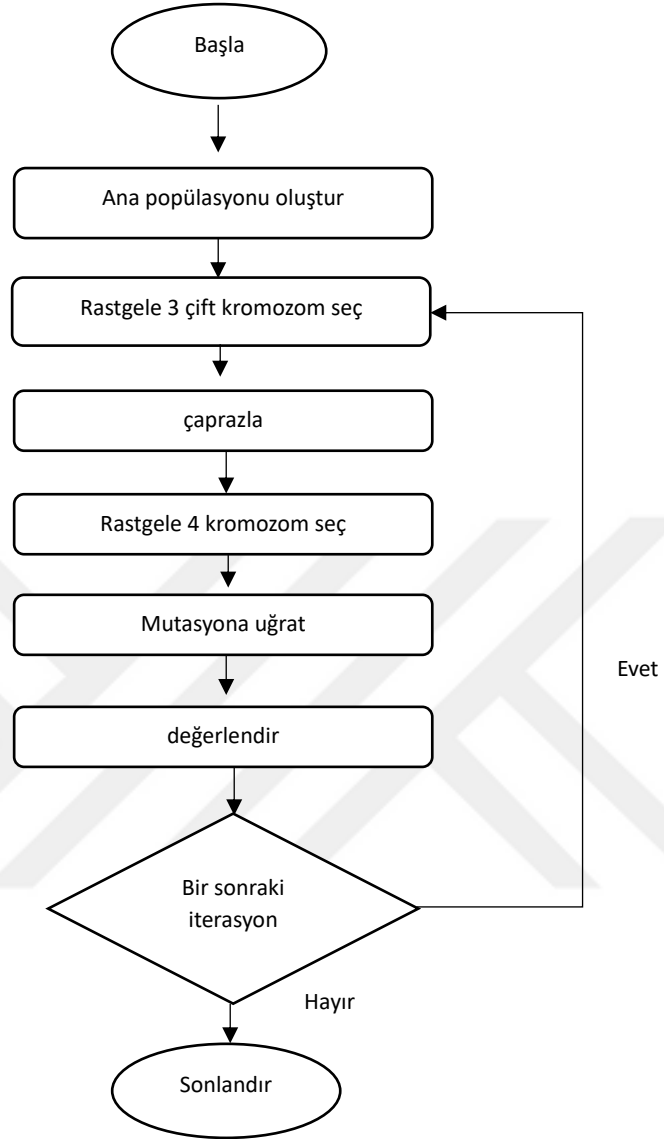
Şekil 5.2. Plan ve gen gösterimi

Tablo 5.3. kalkış ve varış planı gösterimi

Gün	Saat	İstanbul'a gelen uçuşlar							İstanbul'dan giden uçuşlar						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Pazartesi	0:00	1	10	0	0	0	0	0	35	201	23	0	0	0	0
Pazartesi	0:05														
Pazartesi	0:10														
.	.														
.	.														
.	.														
Pazar	23:45														
Pazar	23:50														
Pazar	23:55														

Bu çalışmadaki genetik algoritma 1,2 ve 3 noktalı çaprazlama ve mutasyon uygulanarak gerçekleştirilecektir. Çaprazlama ve mutasyon kullanıcının gireceği sayıya göre gerçekleştirilecektir. İlk popülasyonda 10 kromozom olacak ve “main popülasyon” olarak adlandırılacaktır. Ana popülasyondan roulette Wheel yöntemini kullanarak rastgele 3 çift seçilerek çaprazlama gerçekleştirilecek ve yeni 6 kromozom oluşacaktır. Mutasyon ise rastgele ana popülasyondan 4 kromozom seçilerek kullanıcının girdiği sayıya göre rastgele gen seçilip rastgele aynı yerlere yerleştirilerek gerçekleştirilecektir. Program python kodlama dili ile yazılıp 50 iterasyon çalıştırılmıştır. Her iterasyonun sonunda yeni oluşan kromozomların değerleri toplam yolcu sayısı hesaplanarak bulunacaktır. Her iterasyonun sonunda en iyi 10 kromozom ana popülasyona eklenerek bir sonraki iterasyona devam edilir.

Genetik algoritmanın akış şeması şekilde 5.3.'te verilmiştir, yalancı kod aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5.3. genetik algoritma akış şeması

GA yalancı kodu

Başla

Ana popülasyonu oluştur

While iterasyon < iterasyon sayısı

Her kromozomun fitness değerini hesapla

Rastgele 3 çift kromozom seç

Çaprazla

Rastgele 4 kromozom seç

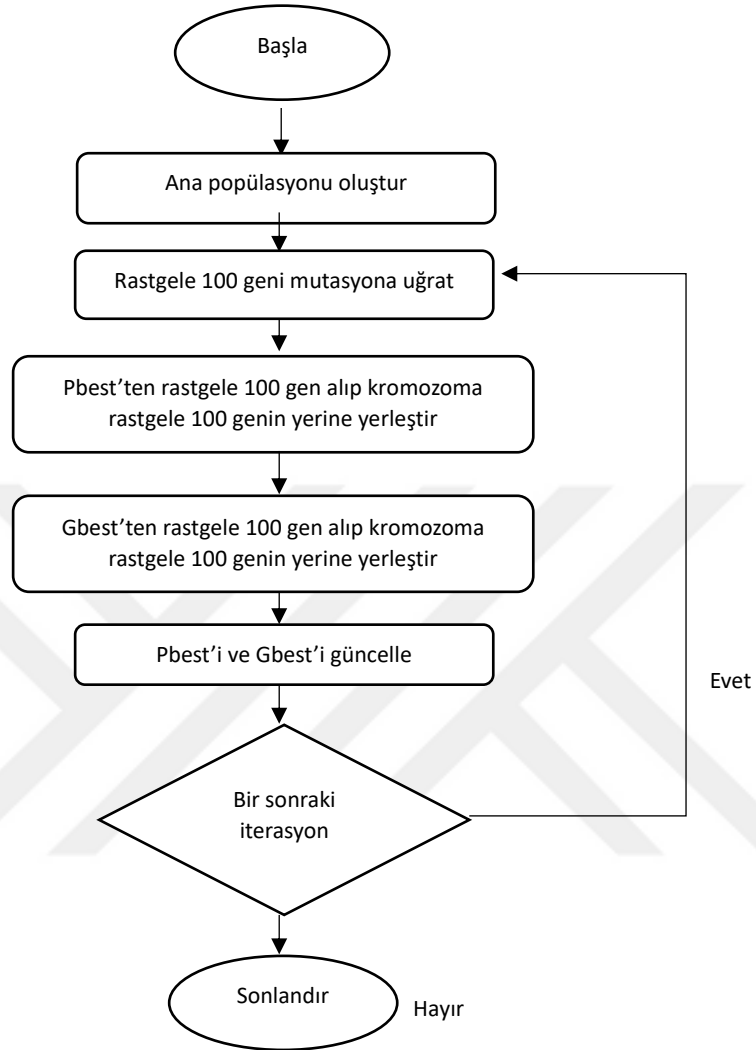
Mutasyona uğrat

Yeni popülasyonu oluştur

Bitir

### 5.3. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

PSO Algoritması, Eberhart ve Kennedy tarafından tanıtıldı. Kuş sürüsü ve balık sürülerinin sosyal etkileşimi, iletişimi ve sosyal davranışından ilham almıştır. İlk olarak sürekli doğrusal fonksiyonları optimize etmek için tanıtıldı. Her parçacığın performans değeri, hızı ve konumu vardır ve daha iyi bir çözüm arar. Pbest, iterasyonlar boyunca her parçacığın kişisel en iyi çözümünü temsil eder. Gbest, sürü tarafından şimdiye kadar elde edilen global en iyi çözümü temsil eder. Her iterasyonda, her parçacık üç güncelleme gerçekleştirir. 1.güncellemede rastgele 100 gen mutasyona uğrar, 2.güncellemede Pbest'ten rastgele 100 gen alınıp kromozoma rastgele 100 genin yerine yerleştirilir. 3. Güncellemede ise Gbest'ten rastgele 100 gen alınıp kromozoma rastgele 100 genin yerine yerleştirilir. Program python kodlama dili ile yazılıp 50 iterasyon çalıştırılmıştır. Her iterasyonun sonunda Pbest ve Gbest güncellenir.



Şekil 5.4. PSO algoritması akış şeması

**PSO yalancı kodu**

Başla

Ana popülasyonu oluştur

Pbest = Pcurrent

While iterasyon < iterasyon sayısı

    For j=1 to 10

        Rastgele 100 gen mutasyona uğrat

        Pjbest'ten rastgele 100 gen kromozoma 100 genin yerine yerleştir

Gjbest'ten rastgele 100 gen kromozoma 100 genin yerine yerleştir

        Pjbest ve Gjbest'i güncelle

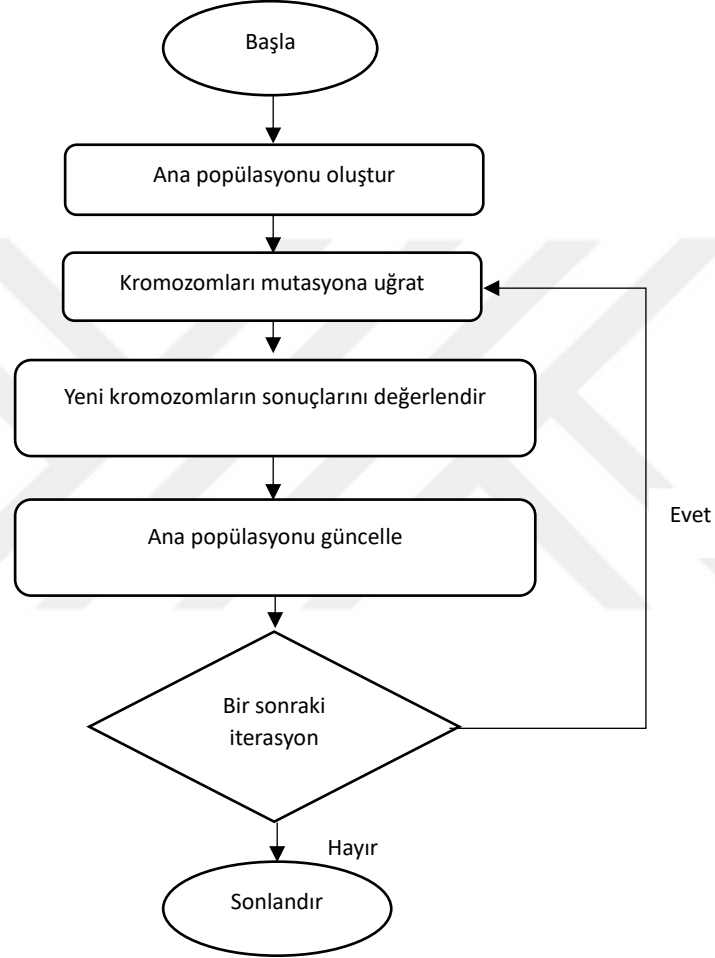
Bitir

**5.4. Evrimsel Stratejiler**

Evrimsel Stratejiler sırayla aday çözümler içeren bireylerden oluşan bir popülasyona uygulanan mutasyon, rekombinasyon ve seçimi kullanan Evrimsel Algoritmalar sınıfına ait doğadan ilham alan doğrudan arama yöntemlerinin bir alt sınıfıdır. Kökleri 1960'ların ortalarına, P. Bienert, I. Rechenberg ve H.-P. Almany, Berlin Teknik Üniversitesi'nden Schwefel, Darwin'in evrim ilkesini kullanarak bir rüzgâr tüneline minimal sürüklenme cisimlerinin optimal şekillerini geliştirmek için biyonikten ilham alan ilk şemaları geliştirdi.

Evrimsel Stratejiler, sürekli, ayırık, kombinatoryal arama uzayları, kısıtlamalar olmadan ve karışık arama uzayları dahil olmak üzere tüm optimizasyon alanlarında uygulanabilir. Evrimsel stratejiler ile genetik algoritmalar arasındaki fark, kullanılan operatörlerdir. Genetik algoritmalar hem mutasyon hem de çaprazlama operatörlerini kullanırken Evrimsel stratejiler yalnızca mutasyon operatörünü kullanır. Burada tüm arama tekniklerindeki her iterasyonda aynı sayıda yeni kromozom üretilir (Demir ve arkadaşları, 2017).

Bu çalışmada Evrimsel Stratejilerde mutasyonu 50 iterasyon için kullanacağız. Mutasyon, orijinal plandan rastgele 100 gen seçilerek, karıştırılarak ve aynı yerlere yeniden yerleştirilerek uygulanacaktır. Her iterasyonda mutasyon sonrası yolcu sayısı en iyi çözüm yolcu sayısı ile karşılaştırılır, yeni çözüm yolcu sayısı mevcut en iyi çözüm yolcu sayısından büyükse en iyi çözüm güncellenir.



Şekil 5.5. ES algoritması akış şeması

**ES yalancı kodu**

Başla

Ana popülasyonu oluştur

While iterasyon < iterasyon sayısı

For j = 1 to 10

100 geni rastgele seçip mutasyona uğrat

Toplam yolcu sayısını hesapla

Ana popülasyonu güncelle

Bitir



## BÖLÜM 6. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 6.1. Matematiksel Model

Küçük ölçekli problem lingoda çözülmüştür ve toplam kazanılan yolcu sayısı 149 dur. Sonuçlar 6.1., 6.2. ve 6.3. nolu tablolarda gösterilmiştir. Ayrıca Lingo sonuçları EK2’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. matematiksel model kalkış ve varış zamanı sonuçlar

uçuş noktası	kalkış uçuş zamanı	varış uçuş zamanı
ORD	10.dk	15.dk
IAD	15.dk	10.dk
LAX	15.dk	10.dk
JFK	20.dk	5.dk
YYZ	20.dk	5.dk

Tablo 6.2. matematiksel model kazanılan yolcu sayısı

1.nokta	2.nokta	talep	kazanılan yolcu sayısı
ORD	IAD	19	0.0
ORD	LAX	19	0.0
ORD	JFK	11	11.0
ORD	YYZ	27	27.0
IAD	ORD	11	0.0
IAD	LAX	17	17.0
IAD	JFK	19	9.5
IAD	YYZ	15	7.5
LAX	ORD	17	0.0
LAX	IAD	15	15.0
LAX	JFK	5	2.5
LAX	YYZ	4	2.0
JFK	ORD	7	7.0
JFK	IAD	9	4.5

Tablo 6.2. (Devamı)

1.nokta	2.nokta	talep	kazanılan yolcu sayısı
JFK	LAX	11	5.5
JFK	YYZ	15	3
YYZ	ORD	23	23
YYZ	IAD	15	7.5
YYZ	LAX	9	4.5
YYZ	JFK	10	2

Tablo 6.3. matematiksel model kalkış ve varış uçuş sayısı

	5.dk	10.dk	15.dk	20.dk	25.dk
kalkış uçuş sayısı	0	1	2	2	0
varış uçuş sayısı	2	2	1	0	0

## 6.2. Genetik Algoritmalar

Bütün algoritmalarda aynı rassal sayıları elde etmek için, bilgisayar dillerinde olan seed(tohum) mantığı kullanılmıştır. Genetik algoritma 1,2 ve 3 noktalı çaprazlama yaparak 5'er seed için 50 iterasyon çalıştırılmıştır. 1 noktalı çaprazlamada 5 seed için programın çalışma süreleri sırasıyla 60 dk, 58 dk, 58 dk, 69 dk ve 59 dk dır.3 seed için her 10 iterasyonda toplam yolcu sayısı 6.4. nolu tabloda, Kalan 2 seed ayrıca EK 3'te ve seed 1 için her 10 iterasyonda toplam yolcu sayısının değişimi şekil 6.1. de gösterilmiştir.

6.4. nolu tablodan ve 6.1. nolu şekilden anlaşılacağı üzere seed 1 de ilk popülasyonda rastgele oluşturulan planlar arasında orijinal plandan daha fazla yolcu kazandıran plan bulunmaktadır. 1.seed 1 noktalı çaprazlamalı genetik algoritma orijinal plana göre iyi sonuçlar vermiştir. 50.iterasyonun sonundaki ortalama kazanılan yolcu sayısı orijinal plandaki yolcu sayısına oldukça yakındır. 1.seed de 50.iterasyonun sonunda en kötü plan 59183 yolcu kazandırmıştır.

Seed 2 için 50.iterasyon sonunda en iyi sonucu veren plan 78983 yolcu kazandırmıştır. Ortalama yolcu sayısı 60715 iken, en kötü plandan kazanılan yolcu sayısı 50722 dir.

Seed 3 için 50.iterasyonun sonunda en iyi plan 69927 yolcu kazandırmıştır. En kötü plandan kazanılan yolcu sayısı 36840 iken kazanılan ortalama yolcu sayısı 36840 dır.

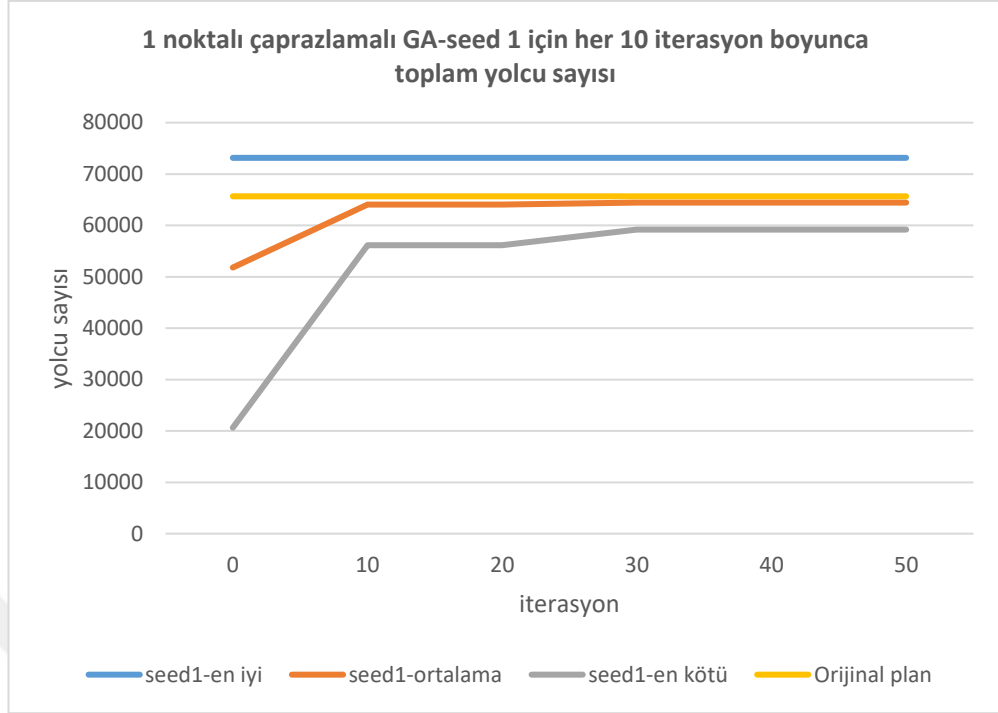
Seed 4'te 50.iterasyonun sonunda kazanılan en yüksek yolcu sayısı 73343, ortalama yolcu sayısı 62029 ve en az yolcu sayısı 54915 dir.

Seed 5, 50.iterasyonun sonunda en iyi plan 83067 yolcu kazandırarak en iyi sonuçları vermiştir.

Orijinal planla kıyasla, 1 noktalı çaprazlamalı genetik algoritma iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 6.4. 1 noktalı çaprazlamalı genetik algoritma sonuçları

İter no	seed1-en iyi	seed1-ortalama	seed1-en kötü	seed2-en iyi	seed2-ortalama	seed2-en kötü	seed3-en iyi	seed3-ortalama	seed3-en kötü	Orijinal plan
0	73149	51804	20631	78983	51830	33771	65659	51348	36840	65659
10	73149	64086	56119	78983	60588	49454	69927	61715	54717	65659
20	73149	64086	56119	78983	60715	50722	69927	61715	54717	65659
30	73149	64439	59183	78983	60715	50722	69927	65052	62266	65659
40	73149	64439	59183	78983	60715	50722	69927	65052	62266	65659
50	73149	64439	59183	78983	60715	50722	69927	65052	62266	65659



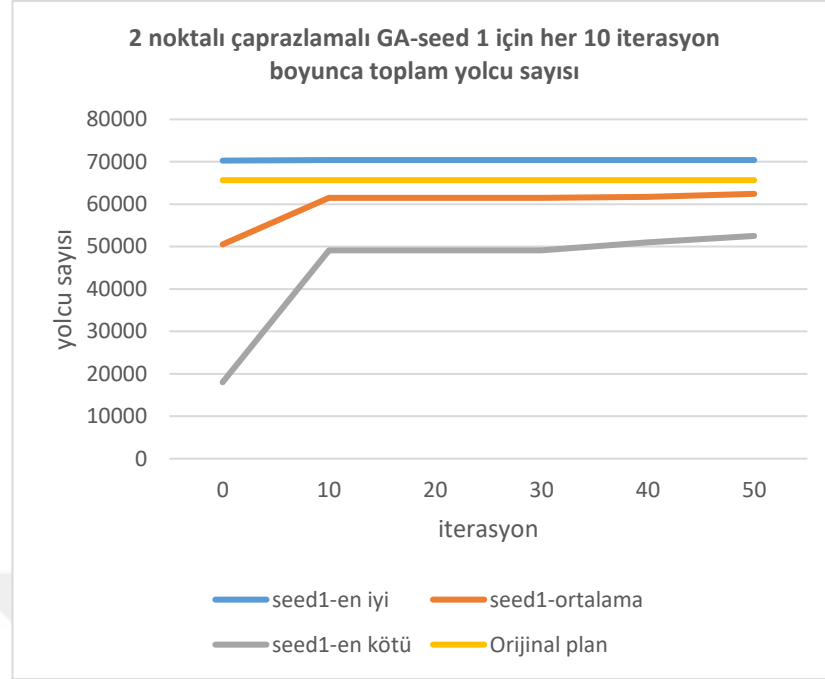
Şekil 6.1. GA-1 seed-1 için boyunca toplam yolcu sayısı

2 noktalı çaprazlamada 5 seed için programın çalışma süreleri sırasıyla 64 dk, 73 dk, 68 dk, 62 dk ve 62 dk dır. 3 seed için her 10 iterasyonda toplam yolcu sayısı 6.5. nolu tabloda, Kalan 2 seed ayrıca EK 4'te ve seed 1 için her 10 iterasyonda toplam yolcu sayısının değişimi şekil 6.2. de gösterilmiştir.

2 noktalı çaprazlamada seed 3, 75752 yolcuyla en iyi sonucu vermiştir. Seed 2 ve seed 5'teki en iyi planlar orijinal plana yakın sonuçlar vermiştir. En iyi ortalama sonucu seed 3 vermiştir. En kötü sonucu veren plan seed 5'te görülmüştür.

Tablo 6.5. 2 noktalı çaprazlamalı genetik algoritma sonuçları

İter no	seed1-en iyi	seed1-ortalama	seed1-en kötü	seed2-en iyi	seed2-ortalama	seed2-en kötü	seed3-en iyi	seed3-ortalama	seed3-en kötü	Orijinal plan
0	70276	50512	18013	65659	53704	36580	72408	56135	27790	65659
10	70407	61532	49093	65659	60928	57132	75752	68789	63245	65659
20	70407	61532	49093	65659	60928	57132	75752	68789	63245	65659
30	70407	61532	49093	65659	60928	57132	75752	68789	63245	65659
40	70407	61719	50970	65659	61455	58717	75752	68789	63245	65659
50	70407	62436	52510	65659	61455	58717	75752	68789	63245	65659



Şekil 6.2. GA-2 seed-1 için boyunca toplam yolcu sayısı

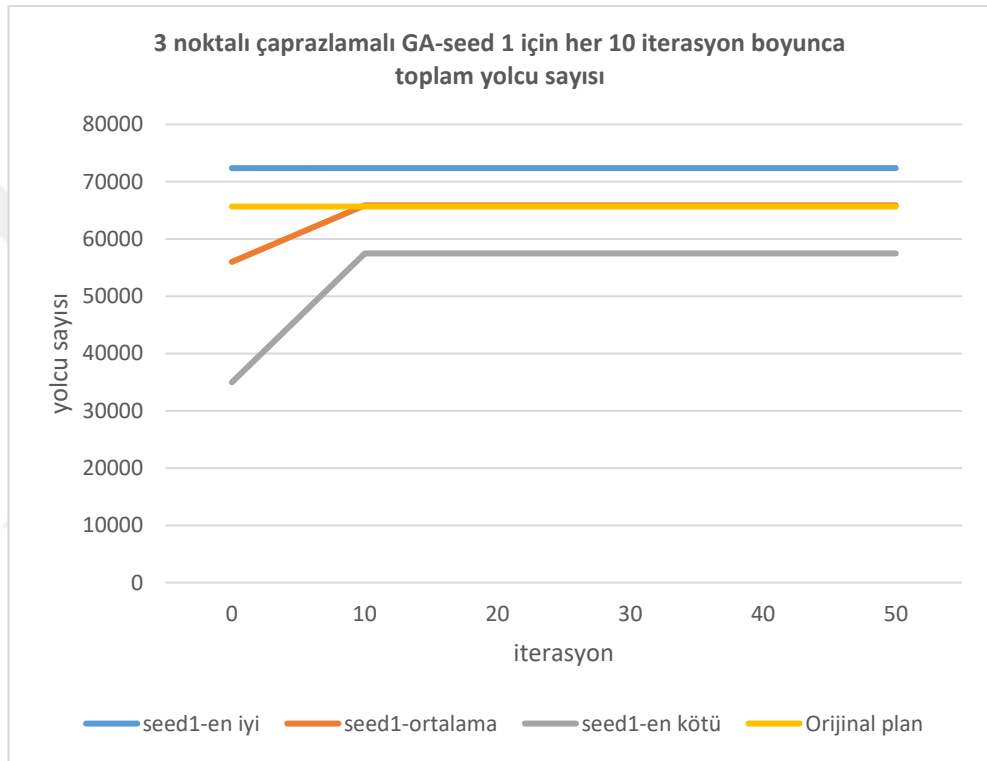
3 noktalı çaprazlamada 5 seed için programın çalışma süreleri sırasıyla 56 dk, 58 dk, 54 dk, 56 dk ve 59 dk dır. 3 seed için her 10 iterasyonda toplam yolcu sayısı 6.6. nolu tabloda, Kalan 2 seed ayrıca EK 5'te bölümünde ve seed 1 için her 10 iterasyonda toplam yolcu sayısının değişimi şekil 6.3. de gösterilmiştir.

3 noktalı çaprazlamada seed 4, 117105 yolcuyla en iyi sonucu veren seed olmuştur. Seed 2,3 ve 5 orijinal plandaki yolcu sayısının altında ortalama sonuçlar vermişlerdir, 53846 yolcu kazandırarak en kötü sonucu veren plan seed 3'te bulunmaktadır.

Genetik algoritma 3 noktalı çaprazlama kullanarak en iyi sonuçları verdiğini görebiliriz.

Tablo 6.6. 3 noktalı çaprazlamalı genetik algoritma sonuçları

İter no	seed1-en iyi	seed1-ortalama	seed1-en kötü	seed2-en iyi	seed2-ortalama	seed2-en kötü	seed3-en iyi	seed3-ortalama	seed3-en kötü	Orijinal plan
0	72367	55994	34971	67171	53956	37495	68460	50387	28795	65659
10	72372	65871	57474	67173	62135	53864	71314	62363	53846	65659
20	72372	65871	57474	67173	62135	53864	71314	62363	53846	65659
30	72372	65871	57474	67173	62490	57414	71314	62363	53846	65659
40	72372	65871	57474	67173	62490	57414	71314	62363	53846	65659
50	72372	65871	57474	67173	62490	57414	71314	62363	53846	65659



Şekil 6.3. GA-3 seed-1 için boyunca toplam yolcu sayısı

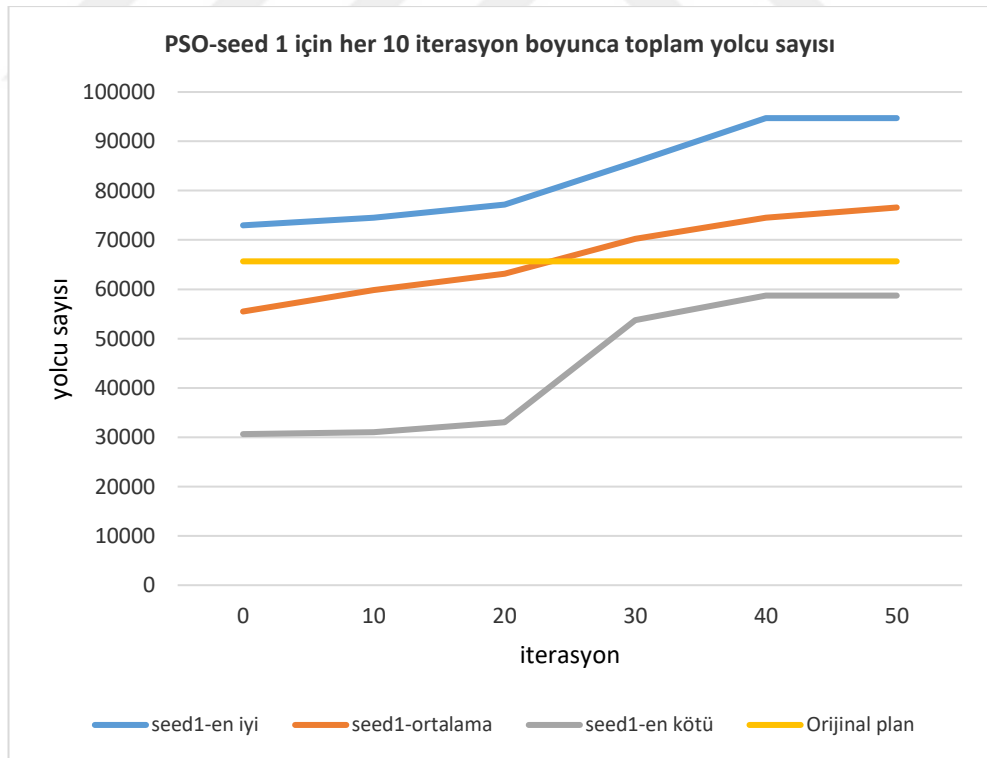
### 6.3. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

PSO algoritması 5 farklı seed için 50 iterasyon çalıştırılmıştır. 5 seed için programın çalışma süreleri sırasıyla 33 dk, 35 dk, 33 dk, 34 dk ve 33 dk dır. 3 seed için her 10 iterasyonda toplam yolcu sayısı 6.7. nolu tabloda, Kalan 2 seed ayrıca EK 6'da ve seed 1 için her 10 iterasyonda toplam yolcu sayısının değişimi 6.4. de gösterilmiştir.

PSO algoritmasında tabloda ve grafiklerde görüldüğü gibi seed 1, 50.iterasyonun sonunda 94703 yolcu kazandırarak en iyi planı vermiştir. Bütün seedlerdeki kazanılan ortalama yolcu sayısı orijinal plandaki kazanılan yolcu sayısından daha fazla olduğunu görebiliriz. Seed 5'teki en kötü plan orijinal plandan daha fazla yolcu kazandırmıştır. Seed 3, 55592 yolcu kazandırarak seedler arasında en kötü planı vermiştir.

Tablo 6.7. PSO algoritması sonuçları

İter no	seed1-en iyi	seed1-ortalama	seed1-en kötü	seed2-en iyi	seed2-ortalama	seed2-en kötü	seed3-en iyi	seed3-ortalama	seed3-en kötü	Orijinal plan
0	72961	55490	30633	65659	50547	33954	71998	54476	36257	65659
10	74506	59861	31014	76937	59422	36810	71998	62566	43133	65659
20	77162	63133	33049	78465	62376	39063	75335	66076	47348	65659
30	85799	70206	53753	80612	66601	42279	78551	69304	51335	65659
40	94703	74502	58720	80685	70879	54139	81583	70818	54468	65659
50	94703	76584	58720	83399	73430	59222	81649	72828	55592	65659



Şekil 6.4. PSO-seed 1 için toplam yolcu sayısı

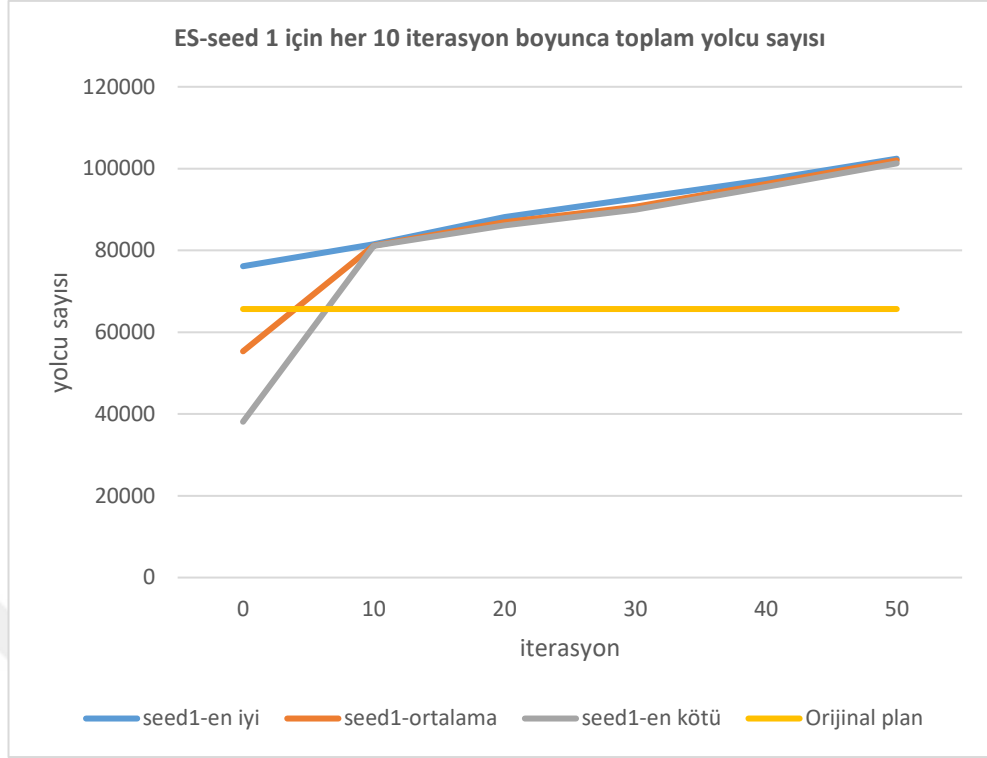
#### 6.4. Evrimsel Stratejiler

Evrimsel stratejiler algoritması 5 farklı seed için 50 iterasyon çalıştırılmıştır. 5 seed için programın çalışma süreleri sırasıyla 15 dk, 14 dk, 14 dk, 13 dk ve 13 dk dır. 3 seed için her 10 iterasyonda toplam yolcu sayısı 6.8. nolu tabloda, Kalan 2 seed ayrıca EK 7’de ve seed 1 için her 10 iterasyonda toplam yolcu sayısının değişimi 6.5.’de gösterilmiştir.

ES algoritmasında 2.seed 50.iterasyonun sonunda 102922 yolcu kazandırarak en iyi planı vermiştir. Bütün seedlerde kazanılan ortalama yolcu sayısı 95000 ile 102000 arasındadır. Seed 3, 50.iterasyonun sonunda 93685 yolcu ile en kötü planı içeren seed olmuştur.

Tablo 6.8. ES algoritması sonuçları

İter no	seed1-en iyi	seed1-ortalama	seed1-en kötü	seed2-en iyi	seed2-ortalama	seed2-en kötü	seed3-en iyi	seed3-ortalama	seed3-en kötü	Orijinal plan
0	76132	55324	38101	78035	61141	47247	67069	55838	32114	65659
10	81466	81200	81105	82964	81731	80949	75141	73366	72304	65659
20	88116	86864	86123	87222	85884	85156	81873	81736	81572	65659
30	92715	90637	89987	91599	90647	89972	88707	87515	86460	65659
40	97225	96183	95525	94982	94749	94348	90897	90300	89723	65659
50	102417	101989	101278	102922	100564	99716	96325	95091	93685	65659



Şekil 6.5. ES seed-1 için toplam yolcu sayısı

ES en iyi ortalama sonuçları verdiği için kromozomlarda 5 kromozom, 10 kromozom, 15 kromozom, mutasyon oranında ise 100 gen, 300 gen ve 500 gen kombinasyonları kullanılarak parametre optimizasyonu yapılmıştır. Sonuçların adaletli olması için program 5 kromozomlarda 100 iterasyon, 10 kromozomlarda 50 iterasyon ve 15 kromozomlarda 34 iterasyon çalıştırılmıştır. Tablo 6.9.'dan anlaşılacağı üzere en son iterasyonun sonunda en iyi sonucu 5 kromozom-300 gen kombinasyonu vermiştir.

Tablo 6.9. parametre optimizasyonu bütün kombinasyonların en iyi sonuçları

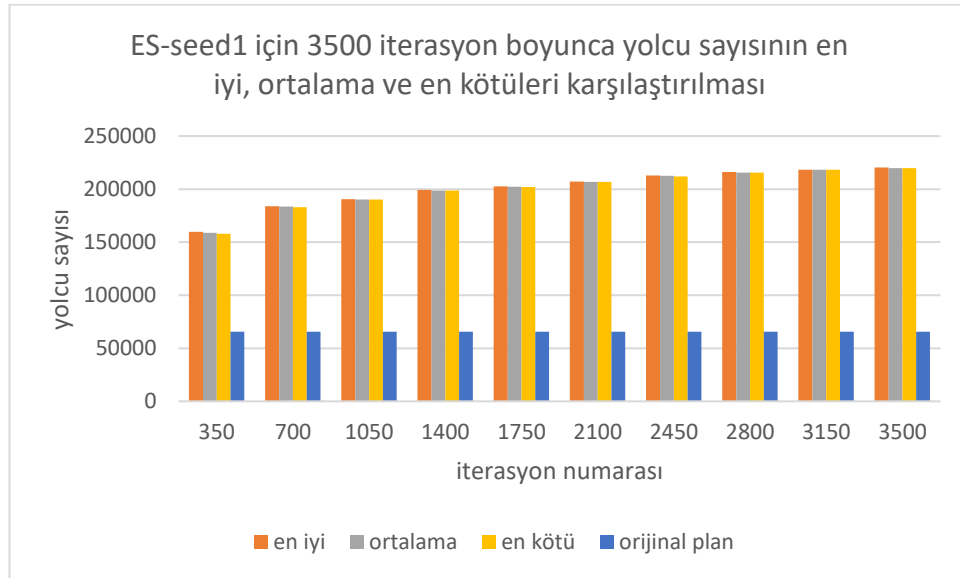
	5 kromozom	10 kromozom	15 kromozom
100 gen	107297	96947	89846
300 gen	110980	105366	101233
500 gen	108484	106672	99814

ES 5 kromozom – 300 gen kombinasyonu 3 farklı seed (8401 – 8402 – 8403) için 3500 iterasyon çalıştırılmıştır. Seed 2(8402) toplam 221078 yolcu ile en iyi sonucu

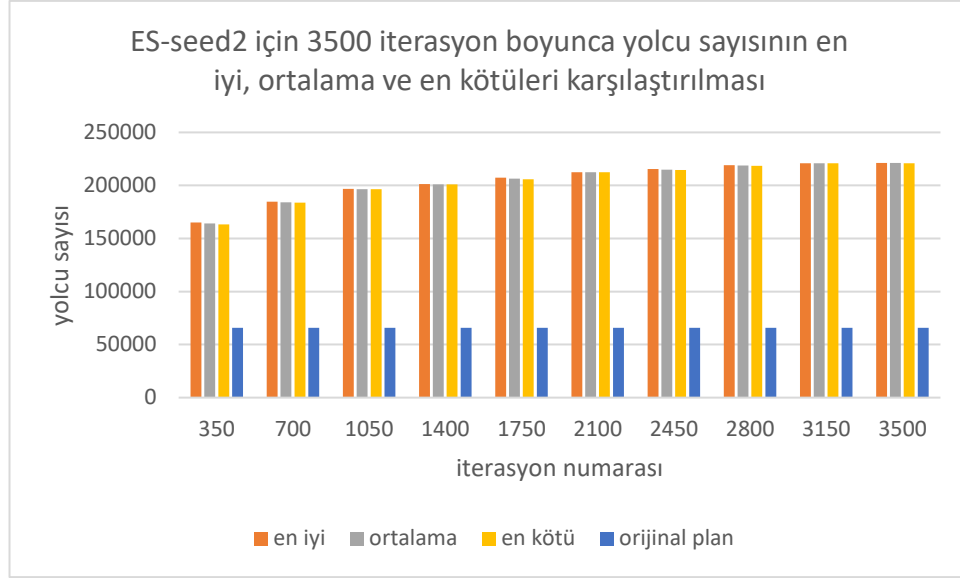
vermiştir. Seed 2'nin en iyi, ortalama ve en kötü sonuçları tablo 6.10.'da gösterilmiştir, ayrıca seed 1 için her 350 iterasyon sonunda yolcu sayısının grafiği şekil 6.6.'da, seed 2 için her 350 iterasyon sonunda yolcu sayısının grafiği şekil 6.7.'de ve seed 3 için her 350 iterasyon sonunda yolcu sayısının grafiği şekil 6.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.10. parametre optimizasyonu ES- seed 2 sonuçları

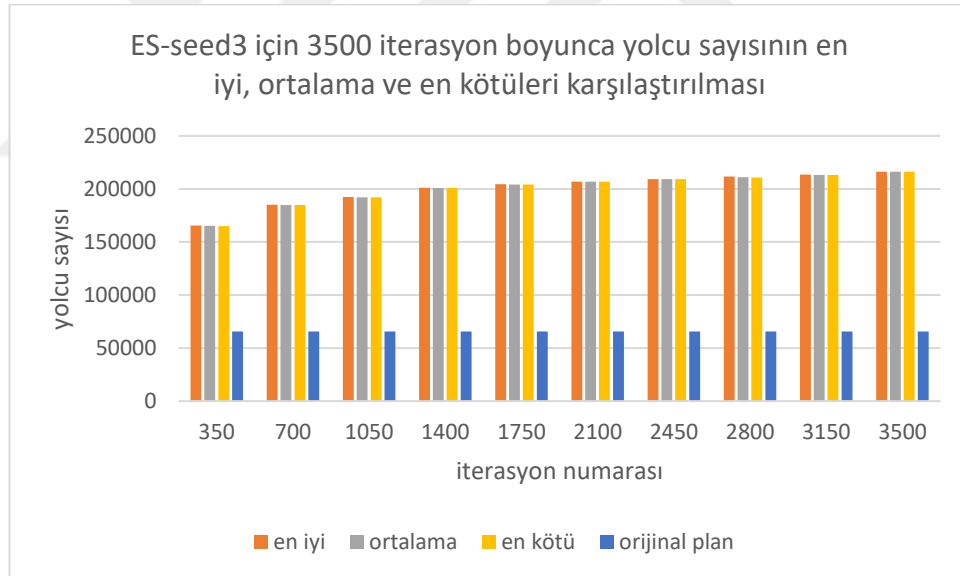
iterasyon no	en iyi	ortalama	en kötü	orijinal plan
350	165127	164164	163287	65659
700	184788	184081	183701	65659
1050	196691	196556	196328	65659
1400	201184	201110	201048	65659
1750	207464	206382	205939	65659
2100	212529	212443	212374	65659
2450	215340	214972	214703	65659
2800	219040	218865	218585	65659
3150	221024	220984	220950	65659
3500	221078	221066	221045	65659



Şekil 6.6. ES- parametre optimizasyonu seed-1 için toplam yolcu sayısı



Şekil 6.7. ES- parametre optimizasyonu seed-2 için toplam yolcu sayısı



Şekil 6.8. ES- parametre optimizasyonu seed-3 için toplam yolcu sayısı

## BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE SONUÇ

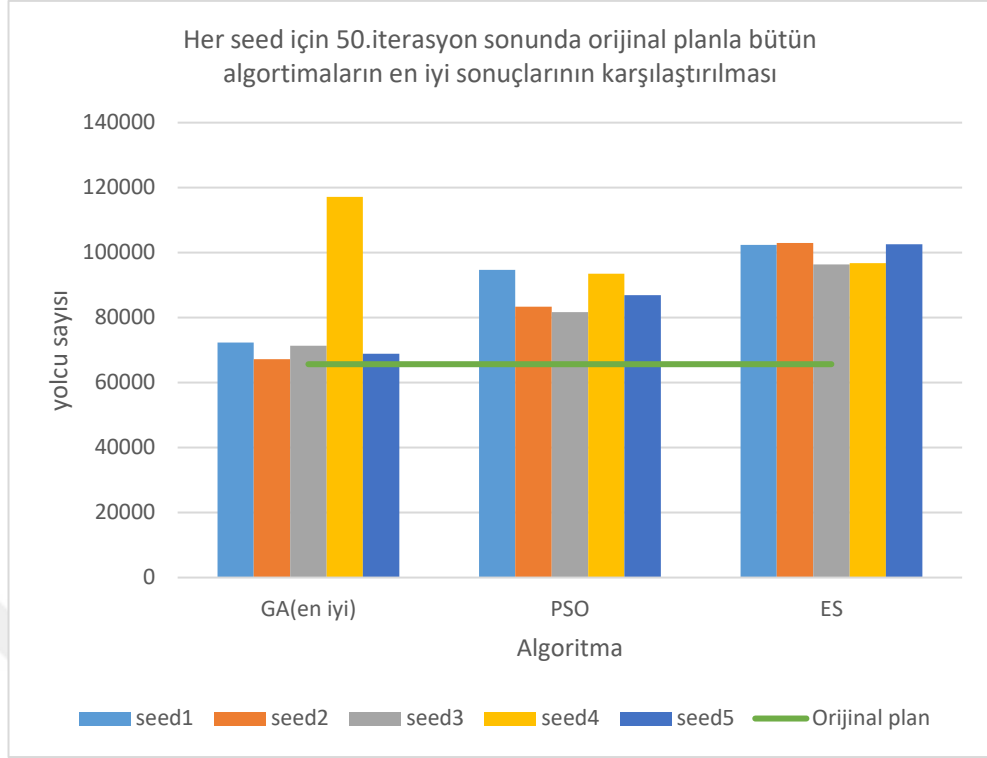
Bu tezde çalıştığımız konu çalışılmamış bir konudur ve kullanılan yöntemler bu konuda ilk defa denenmiştir ve oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Gelecekte bu konuyu çalışmak isteyenler tarafından kullanılabilir.

Tablo 7.1.'da programının çalışması en uzun süren algoritma ortalama 60 dk olarak genetik algoritmalar olduğunu görebiliriz. En hızlı çalışan algoritma ortalama 14 dk olarak evrimsel stratejiler algoritması olmuştur.

Tablo 7.1. bütün algoritmaların CPU süreleri

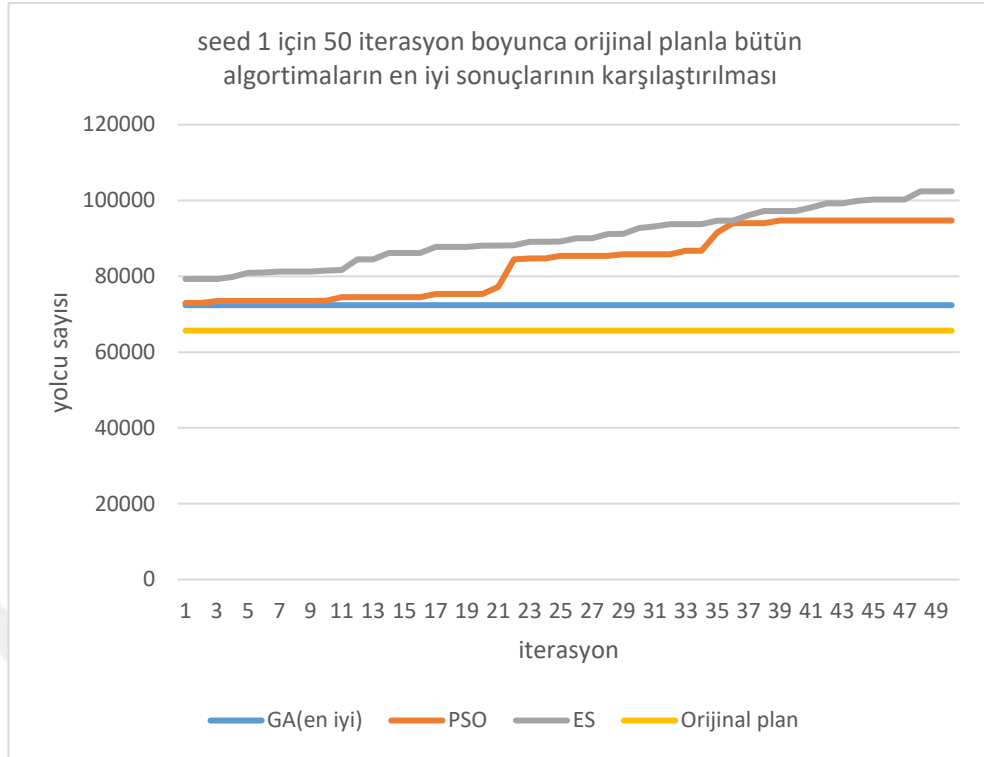
	GA (1)	GA (2)	GA (3)	PSO	EVO
seed1	60	64	56	33	15
seed2	58	73	58	35	14
seed3	58	68	54	33	14
seed4	69	62	56	34	13
seed5	59	62	59	33	13

7.1. nolu şekilde bütün seedlerde bütün algoritmalar orijinal plandan daha iyi sonuçlar vermişlerdir. Algoritmaların arasında genetik algoritmanın 4.seedi en iyi sonucu verdiğini görebiliriz.



Şekil 7.1. son iterasyonda algortimaların en iyi sonuçlarının karşılaştırılması

7.2. nolu şekilde seed 1 için 50 iterasyon boyunca orijinal planla bütün algortimaların en iyi sonuçlarının karşılaştırılması gösterilmiştir.



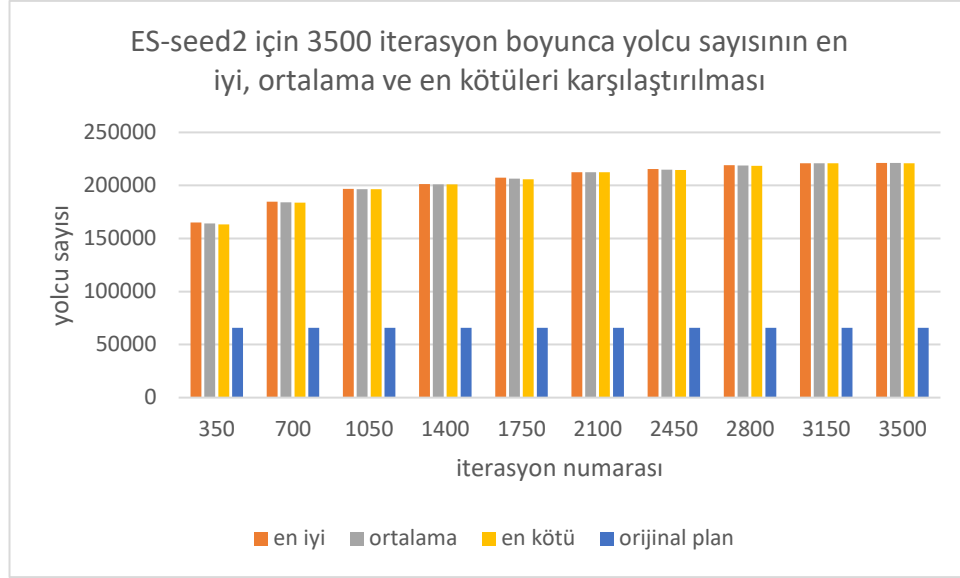
Şekil 7.2. seed-1 için algortimaların en iyi sonuçlarının karşılaştırılması

Parametre optimizasyonu için denenen kombinasyonların CPU süreleri tablo 7.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 7.2. parametre optimizasyonu için bütün kombinasyonların CPU süreleri

	5 kromozom	10 kromozom	15 kromozom
100 gen	14 dk	14 dk	14 dk
300 gen	16 dk	16 dk	15 dk
500 gen	17 dk	17 dk	17 dk

Parametre optimizasyonu sonucunda 5 kromozom-300 gen kombinasyonu için programın 3 farklı seed 3500 iterasyon çalıştırılmasına karar verilmiştir. Her seed için programın çalışma süresi 9 saattir. En iyi sonucu seed 2 vermiştir. Seed 2 için her 350 iterasyon sonunda en iyi, ortalama ve en kötü sonuçların grafiği şekil 7.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.3. ES- 5 kromozom-300 gen seed 2 için sonuçlar

Gidiş ve geliş seferlerinin senkronizasyonu ve optimizasyonu oldukça karmaşık bir problemdir. Havayolu endüstrisindeki yüksek rekabetten dolayı uçuşların iyi planlanması yolcu kazanmak için oldukça önemlidir. Bu tezde çalışılan konu literatürde hiç çalışılmamış bir konudur. Havayolu sektöründe metasezgisellerin bu tezde uygulanarak ne kadar faydalı ve önemli olduğu görülmüştür. Havayolu şirketleri metasezgiselleri kullanıp uçuş planlarını optimize ederek kazanabileceği yolcu sayısını arttırabilecektir. Gelecekte bu problemi çalışmak isteyen bu tezden faydalanarak karınca kolonisi algoritması, arı kolonisi algoritması, tavlama benzetimi algoritması, tabu araması, rassal arama ve literatürde çok yaygın ve oldukça yeni pek çok metasezgisel algoritmalar kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] <https://www.icao.int>, Erişim tarihi: 01.08.2021.
- [2] Wen, X., Sun, X., Sun, Y., Yue, X., Airline crew scheduling: Models and algorithms, *Transportation Research Part E* 149 (2021) 102304.
- [3] Takeichi, N., Nominal flight time optimization for arrival time scheduling through estimation/resolution of delay accumulation, *Transportation Research Part C* 77 (2017) 433–443.
- [4] Liang, M., Delahaye, D., Marechal, P., Conflict-free arrival and departure trajectory planning for parallel runway with advanced point-merge system, *Transportation Research Part C* 95 (2018) 207–227.
- [5] Yang, Y., Gao, Z., He, Z., Stochastic terminal flight arrival and departure scheduling problem under performance-based navigation environment, *Transportation Research Part C* 119 (2020) 102735.
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_traffic\\_control.](https://en.wikipedia.org/wiki/Air_traffic_control.), Erişim Tarihi: 02.08.2021.
- [7] Ertugrul, A.E., Sahin, R., (2020). A new approach for airline revenue management: total revenue boundaries. *Journal of Business, Economics and Finance (JBEF)*, V.9(2), p.62-67.
- [8] Selcuk, A.M., Avsar, Z.M., Dynamic pricing in airline revenue management, *J. Math. Anal. Appl.* 478(2019)1191–1217.
- [9] Grauberger, W., Kimms, A., Revenue management under horizontal and vertical competition within airline alliances, *Omega* 59(2016)228–237.
- [10] An, J., Mikhaylov, A., Uk Jung, S., A Linear Programming approach for robust network revenue management in the airline industry, *Journal of Air Transport Management* 91 (2021) 101979.
- [11] Terciyanlı, E., Avsar, Z.M., Alternative risk-averse approaches for airline network revenue management, *Transportation Research Part E* 125 (2019) 27–46.

- [12] Yılmaz, S.B., Yücel, E., Optimizing onboard catering loading locations and plans for airlines, *Omega* 99 (2021) 102301.
- [13] Messner, W., The impact of an aircraft's service environment on perceptions of in-flight food quality, *Journal of Air Transport Management* 53 (2016) 123-130.
- [14] Chang, Y.Y.C., Jones, P., Flight Catering: An Investigation of the Adoption of Mass Customisation, *Journal of Hospitality and Tourism Management*, Volume 14 Number 1 April 2007 pp. 47–56.
- [15] Grout, A., Speakman, E.M., In-flight transmission of foodborne disease: How can airlines improve, *Travel Medicine and Infectious Disease* 33 (2020) 101558.
- [16] Ertogral, K., Ozturk, F.S., An integrated production scheduling and workforce capacity planning model for the maintenance and repair operations in airline industry, *Computers & Industrial Engineering* 127 (2019) 832–840.
- [17] Deng, Q., Santos, B.F., Verhagen, W.J.C., A novel decision support system for optimizing aircraft maintenance check schedule and task allocation, *Decision Support Systems* 146 (2021) 113545.
- [18] Sanchez, D.T., Boyacı, B., Zografos, K.G., An optimisation framework for airline fleet maintenance scheduling with tail assignment considerations, *Transportation Research Part B* 133 (2020) 142–164.
- [19] Qin, Y., Zhang, J.H., Chan, F.T.S., Chung, S.H., Niu, B., Qu, T., A two-stage optimization approach for aircraft hangar maintenance planning and staff assignment problems under MRO outsourcing mode, *Computers & Industrial Engineering* 146 (2020) 106607.
- [20] Xiao, M., Chien, S., Schonfeld, P., Hu, D., Optimizing flight equencing and gate assignment considering terminal configuration and walking time, *Journal of Air Transport Management* 86 (2020) 101816.
- [21] Alomar, I., Tolujevs, J., Optimization of ground vehicles movement on the aerodrome, *Transportation Research Procedia* 24 (2017) 58–64.
- [22] Cadarso, L., Celis, R.D., Integrated airline planning: Robust update of scheduling and fleet balancing under demand uncertainty, *Transportation Research Part C* 81 (2017) 227–245.

- [23] Abdelghany, A., Abdelghany, K., Azadian, F., Airline flight schedule planning under competition, *Computers and Operations Research* 87 (2017) 20–39.
- [24] <https://science.howstuffworks.com>, Erişim Tarihi: 11.11.2021.
- [25] Birolini, S., Antunes, A.P., Cattaneo, M., Malighetti, P., Paleari, S., Integrated flight scheduling and fleet assignment with improved supply-demand interactions, *Transportation Research Part B* 149 (2021) 162–180.
- [26] Bastos, Y.B., Fleck, J.L., Martinelli, R., A stochastic programming approach for offshore flight scheduling, *IFAC PapersOnLine* 53-4 (2020) 478–484.
- [27] Montlaur, A., Delgado, L., Flight and passenger delay assignment optimization strategies, *Transportation Research Part C* 81 (2017) 99–117.
- [28] Saez, R., Prats, X., Polishchuk, T., Polishchuk, V., Traffic synchronization in terminal airspace to enable continuous descent operations in trombone sequencing and merging procedures: An implementation study for Frankfurt airport, *Transportation Research Part C* 121 (2020) 102875.
- [29] Mondoloni, S., Rozen, N., Aircraft trajectory prediction and synchronization for air traffic management applications, *Progress in Aerospace Sciences* 119 (2020) 100640.
- [30] Zhang, J., Zhao, P., Zhang, Y., Dai, X., Sui, D., Criteria selection and multi-objective optimization of aircraft landing problem, *Journal of Air Transport Management* 82 (2020) 101734.
- [31] Çiftçi, M.E., Ozkır, V., Optimising flight connection times in airline bank structure through Simulated Annealing and Tabu Search algorithms, *Journal of Air Transport Management* 87 (2020) 101858.
- [32] Gu, J., Tang, X., Hong, W., Chen, P., Li, T., Real-time optimization of short-term flight profiles to control time of arrival, *Aerospace Science and Technology* 84 (2019) 1164–1174.
- [33] Jungai, T., Hongjun, X., Optimizing Arrival Flight Delay Scheduling Based on Simulated Annealing Algorithm, *Physics Procedia* 33 (2012) 348 – 353.
- [34] Torres, S., Swarm theory applied to air traffic flow management, *Procedia Computer Science* 12 (2012) 463 – 470.
- [35] Borhani, M., Evolutionary multi-objective network optimization algorithm in trajectory planning, *Ain Shams Engineering Journal* 12 (2021) 677–686.

- [36] Medard, C.P., Sawhney, N., Airline crew scheduling from planning to operations, *European Journal of Operational Research* 183 (2007) 1013–1027.
- [37] Yaakoubi, Y., Soumis, F., Julien, S.L., Machine learning in airline crew pairing to construct initial clusters for dynamic constraint aggregation, *EURO Journal on Transportation and Logistics* 9 (2020) 100020.
- [38] Deveci, M., Demirel, N.C., Evolutionary algorithms for solving the airline crew pairing problem, *Computers & Industrial Engineering* 115 (2018) 389–406.
- [39] Sa, C.A.A., Santos, B.F., Clarke, J.P.B., Portfolio-based airline fleet planning under stochastic demand, *Omega* 97 (2020) 102101.
- [40] Repko, M.G.J., Santos, B.F., Scenario tree airline fleet planning for demand uncertainty, *Journal of Air Transport Management* 65 (2017) 198-208.
- [41] Deng, Q., Santos, B.F., Curran, R., A practical dynamic programming based methodology for air craft maintenance check scheduling optimization, *European Journal of Operational Research* 281 (2020) 256–273.
- [42] Lin, L., Wang, F., Luo, B., An optimization algorithm inspired by propagation of yeast for fleet maintenance decision making problem involving fatigue structures, *Applied Soft Computing Journal* 85 (2019) 105755.
- [43] Graf, M., Kimms, A., Transfer price optimization for option-based airline alliance Revenue management, *Int. J. Production Economics* 145 (2013) 281–293.
- [44] Lawhead, R.J., Gosavi, A., A bounded actor–critic reinforcement learning algorithm applied to airline revenue management, *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 82 (2019) 252–262.
- [45] Aslani, S., Modarres, M., Sibdari, S., On the fairness of airlines’ ticket pricing as a result of revenue management techniques, *Journal of Air Transport Management* 40 (2014) 56-64.
- [46] An, J., Mikhaylov, A., Jung, S.U., A Linear Programming approach for robust network revenue management in the airline industry, *Journal of Air Transport Management* 91 (2021) 101979.
- [47] Bao, D., Hua, S., Flight Time and Frequency-Optimization Model for Multiairport System Operation, *Hindawi Mathematical Problems in Engineering* Volume 2017, Article ID 7371461, 10 pages.

- [48] Niakan, F., Vahdani, B., Mohammadi, M., A multi-objective optimization model for hub network design under uncertainty: An inexact rough-interval fuzzy approach, *Engineering Optimization*, 2014.
- [49] Jia, H., Qingyun, W., Robust Optimization of Hub-and-Spoke Airline Network Design Based on Multi-Objective Genetic Algorithm, *J Transpn Sys Eng & IT*, 2009, 9(3), 86-92.
- [50] Wu, Y., Low, K.H., Hu, X., Trajectory-based flight scheduling for AirMetro in urban environments by conflict resolution, *Transportation Research Part C* 131 (2021) 103355.
- [51] Zeng, W., Ren, Y., Wei, W., Yang, Z., A data-driven flight schedule optimization model considering the uncertainty of operational displacement, *Computers & Operations Research* 133 (2021) 105328.
- [52] Lambelho, M., Mitici, M., Pickup, S., Marsden, A., Assessing strategic flight schedules at an airport using machine learning-based flight delay and cancellation predictions, *Journal of Air Transport Management* 82 (2020) 101737.
- [53] Levine, D., APPLICATION OF A HYBRID GENETIC ALGORITHM TO AIRLINE CREW SCHEDULING, Pergamon, 0305-0548(95)00060-7.
- [54] Soolaki, M., Mahdavi, I., Amiri, N.M., Hassanzadeh, R., Aghajani, A., A new linear programming approach and genetic algorithm for solvin airline boarding problem, *Applied Mathematical Modelling* 36 (2012) 4060–4072.
- [55] Ozdemir, H.T., Mohan, C.K., Flight graph based genetic algorithm for crew scheduling in airlines, *Information sciences* 133 (2001) 165 – 173.
- [56] Souai, N., Teghem, J., Genetic algorithm based approach for the integrated airline crew-pairing and rostering problem, *European Journal of Operational Research* 199 (2009) 674–683.
- [57] Kölker, K., Lütjens, K., Using genetic algorithms to solve large-scale airline network planning problems, *Transportation Research Procedia* 10 (2015) 900 – 909.
- [58] Ksiazek, W., Gandor, M., Pławiak, P., Comparison of various approaches to combine logistic regression with genetic algorithms in survival prediction of hepatocellular carcinoma, *Computers in Biology and Medicine* 134 (2021) 104431.

- [59] Ongcunaruik, W., Ongcunaruik, P., Janssens, G.K., Genetic algorithm for a delivery problem with mixed time Windows, *Computers & Industrial Engineering* 159 (2021) 107478.
- [60] Li, Z., Huang, J., Wang, J., Ding, M., Development and application of hybrid teaching-learning genetic algorithm in fuel reloading optimization, *Progress in Nuclear Energy* 139 (2021) 103856.
- [61] Tapia, A., del Nozal, A.R., Reina, D.G., Millan, P., Three-dimensional optimization of penstock layouts for micro-hydropower plants using genetic algorithms, *Applied Energy* 301 (2021) 117499.
- [62] Aygun H, Turan O, Application of genetic algorithm in exergy and sustainability: a case of aero-gas turbine engine at cruise phase, *Energy*, S0360-5442(21)01892-2.
- [63] Cui, C., Yanagisawa, D., Nishinari, K., Incorporating genetic algorithm to optimise initial condition of pedestrian evacuation based on agent aggressiveness, *Physica A* 583 (2021) 126277.
- [64] Esnaashari, M., Damia, A.H., Automation of software test data generation using genetic algorithm and reinforcement learning, *Expert Systems With Applications* 183 (2021) 115446.
- [65] Subramanian, R.R., Vasudevan, V., A deep genetic algorithm for human activity recognition leveraging fog computing frameworks, *J. Vis. Commun. Image R.* 77 (2021) 103132.
- [66] C. Wang, C. Guo and X. Zuo, Solving multi-depot electric vehicle scheduling problem by column generation and genetic algorithm, *Applied Soft Computing*, S1568-4946(21)00695-5.
- [67] Santhosh, A.J., Tura, A.D., Jiregna, I.T., Gemechu, W.F., Ashok, N., Ponnusamy, M., Optimization of CNC turning parameters using face centred CCD approach in RSM and ANN-genetic algorithm for AISI 4340 alloy steel, *Results in Engineering* 11 (2021) 100251.
- [68] Deng, G.F., Lin, W.T., Ant colony optimization-based algorithm for airline crew scheduling problem, *Expert Systems with Applications* 38 (2011) 5787–5793.
- [69] Mamaghan, M.K., Mohammadi, M., Pirayesh, A., Mamaghan, A.M.K., Irani, H., Hub-and-spoke network design under congestion: A learning based metaheuristic, *Transportation Research Part E* 142 (2020) 102069.

- [70] Dožić, S., Jelović, A., Kalić, M., Čangalović, M., Variable Neighborhood Search to solve an airline fleet sizing and fleet assignment problem, *Transportation Research Procedia* 37 (2019) 258–265.
- [71] Bulbul, K.G., Kasimbeyli, R., Augmented Lagrangian based hybrid subgradient method for solving aircraft maintenance routing problem, *Computers & Operations Research* 132 (2021) 105294.
- [72] Eltoukhy, A.E.E., Wang, Z.X., Chan, F.T.S., Chung, S.H., Joint optimization using a leader–follower Stackelberg game for coordinated configuration of stochastic operational aircraft maintenance routing and maintenance staffing, *Computers & Industrial Engineering* 125 (2018) 46–68.
- [73] Mijović, N., Kalić, M., Kuljanin, J., Tuning the fuzzy logic system by two meta-heuristics: case study of airline market share on long-haul routes, *Transportation Research Procedia* 52 (2021) 453–460.
- [74] Aoun, O., Sarhani, M., EL Afia, A., Investigation of hidden markov model for the tuning of metaheuristics in airline scheduling problems, *IFAC-PapersOnLine* 49-3 (2016) 347–352.
- [75] Zhang, L., Zhao, L., High-quality face image generation using particle swarm optimization-based generative adversarial networks, *Future Generation Computer Systems* 122 (2021) 98–104.
- [76] Roy, A., Dubey, C.P., Prasad, M., Gravity inversion of basement relief using Particle Swarm Optimization by automated parameter selection of Fourier coefficients, *Computers & Geosciences* 156 (2021) 104875.
- [77] Wang, X., Feng, K., Wang, G., Wang, Q., Local path optimization method for unmanned ship based on particle swarm acceleration calculation and dynamic optimal control, *Applied Ocean Research* 110 (2021) 102588.
- [78] Cui, X., Xiao, R., Liu, X., Qiao, H., Zheng, X., Zhang, Y., Du, J., Adaptive LASSO logistic regression based on particle swarm optimization for Alzheimer's disease early diagnosis, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 215 (2021) 104316.
- [79] Khuwaileh, B.A., Al-Shabi, M., El Haj Assad, M., Artificial Neural Network based Particle Swarm Optimization solution approach for the inverse depletion of used nuclear fuel, *Annals of Nuclear Energy* 157 (2021) 108256.

- [80] Phung, M.D., Ha, Q.P., Safety-enhanced UAV path planning with spherical vector-based particle swarm optimization, *Applied Soft Computing* 107 (2021) 107376.
- [81] Ceylan, Z., Short-term prediction of COVID-19 spread using grey rolling model optimized by particle swarm optimization, *Applied Soft Computing* 109 (2021) 107592.
- [82] Singh, C., Singh, A., Extension of particle swarm optimization algorithm for solving transportation problem in fuzzy environment, *Applied Soft Computing* 110 (2021) 107619.
- [83] Joy, J., Rajeev, S., Abraham, E.C., Particle swarm optimization for multi resource constrained Project scheduling problem with varying resource levels, *Materials Today: Proceedings xxx* (2021) xxx.
- [84] Ye, C., Chen, L., Ni, S., Zhou, J., Evaluation model of forest eco economic benefits based on discrete particle swarm optimization, *Environmental Technology & Innovation* 22 (2021) 101426.
- [85] Demir, H.I., Phanden, R.K., *Integration of Process Planning and Scheduling*, bölüm 8, (CCC), 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, 978-750-8400, 2020.

## EKLER

### EK 1: Matematiksel modelin Lingo kodları

$\max = \text{PasX12} + \text{PasX13} + \text{PasX14} + \text{PasX15} + \text{PasX21} + \text{PasX23} + \text{PasX24} + \text{PasX25} + \text{PasX31}$   
 $+ \text{PasX32} + \text{PasX34} + \text{PasX35} + \text{PasX41} + \text{PasX42} + \text{PasX43} + \text{PasX45} + \text{PasX51} + \text{PasX52} +$   
 $\text{PasX53} + \text{PasX54};$

$X1D = XD11 * T1 + XD12 * T2 + XD13 * T3 + XD14 * T4 + XD15 * T5;$

$X2D = XD21 * T1 + XD22 * T2 + XD23 * T3 + XD24 * T4 + XD25 * T5;$

$X3D = XD31 * T1 + XD32 * T2 + XD33 * T3 + XD34 * T4 + XD35 * T5;$

$X4D = XD41 * T1 + XD42 * T2 + XD43 * T3 + XD44 * T4 + XD45 * T5;$

$X5D = XD51 * T1 + XD52 * T2 + XD53 * T3 + XD54 * T4 + XD55 * T5;$

$X1A = XA11 * T1 + XA12 * T2 + XA13 * T3 + XA14 * T4 + XA15 * T5;$

$X2A = XA21 * T1 + XA22 * T2 + XA23 * T3 + XA24 * T4 + XA25 * T5;$

$X3A = XA31 * T1 + XA32 * T2 + XA33 * T3 + XA34 * T4 + XA35 * T5;$

$X4A = XA41 * T1 + XA42 * T2 + XA43 * T3 + XA44 * T4 + XA45 * T5;$

$X5A = XA51 * T1 + XA52 * T2 + XA53 * T3 + XA54 * T4 + XA55 * T5;$

$T1 = 5; T2 = 10; T3 = 15; T4 = 20; T5 = 25;$

$\text{TotalXD1} = XD11 + XD12 + XD13 + XD14 + XD15;$

$\text{TotalXD2} = XD21 + XD22 + XD23 + XD24 + XD25;$

$\text{TotalXD3} = XD31 + XD32 + XD33 + XD34 + XD35;$

$\text{TotalXD4} = XD41 + XD42 + XD43 + XD44 + XD45;$

$\text{TotalXD5} = XD51 + XD52 + XD53 + XD54 + XD55;$

$$\text{TotalXA1} = \text{XA11} + \text{XA12} + \text{XA13} + \text{XA14} + \text{XA15};$$

$$\text{TotalXA2} = \text{XA21} + \text{XA22} + \text{XA23} + \text{XA24} + \text{XA25};$$

$$\text{TotalXA3} = \text{XA31} + \text{XA32} + \text{XA33} + \text{XA34} + \text{XA35};$$

$$\text{TotalXA4} = \text{XA41} + \text{XA42} + \text{XA43} + \text{XA44} + \text{XA45};$$

$$\text{TotalXA5} = \text{XA51} + \text{XA52} + \text{XA53} + \text{XA54} + \text{XA55};$$

$$\text{TotalTD1} = \text{XD11} + \text{XD21} + \text{XD31} + \text{XD41} + \text{XD51};$$

$$\text{TotalTD2} = \text{XD12} + \text{XD22} + \text{XD32} + \text{XD42} + \text{XD52};$$

$$\text{TotalTD3} = \text{XD13} + \text{XD23} + \text{XD33} + \text{XD43} + \text{XD53};$$

$$\text{TotalTD4} = \text{XD14} + \text{XD24} + \text{XD34} + \text{XD44} + \text{XD54};$$

$$\text{TotalTD5} = \text{XD15} + \text{XD25} + \text{XD35} + \text{XD45} + \text{XD55};$$

$$\text{TotalTA1} = \text{XA11} + \text{XA21} + \text{XA31} + \text{XA41} + \text{XA51};$$

$$\text{TotalTA2} = \text{XA12} + \text{XA22} + \text{XA32} + \text{XA42} + \text{XA52};$$

$$\text{TotalTA3} = \text{XA13} + \text{XA23} + \text{XA33} + \text{XA43} + \text{XA53};$$

$$\text{TotalTA4} = \text{XA14} + \text{XA24} + \text{XA34} + \text{XA44} + \text{XA54};$$

$$\text{TotalTA5} = \text{XA15} + \text{XA25} + \text{XA35} + \text{XA45} + \text{XA55};$$

$$\text{TalX12} = 19; \text{TalX13} = 19; \text{TalX14} = 11; \text{TalX15} = 27;$$

$$\text{TalX21} = 11; \text{TalX23} = 17; \text{TalX24} = 19; \text{TalX25} = 15;$$

$$\text{TalX31} = 17; \text{TalX32} = 15; \text{TalX34} = 5; \text{TalX35} = 4;$$

$$\text{TalX41} = 7; \text{TalX42} = 9; \text{TalX43} = 11; \text{TalX45} = 15;$$

$$\text{TalX51} = 23; \text{TalX52} = 15; \text{TalX53} = 9; \text{TalX54} = 10;$$

$$\text{TimeDifX12} = \text{XD2} - \text{XA1}; \text{TimeDifX13} = \text{XD3} - \text{XA1};$$

$$\text{TimeDifX14} = \text{XD4} - \text{XA1}; \text{TimeDifX15} = \text{XD5} - \text{XA1};$$

$$\text{TimeDifX21} = \text{XD1} - \text{XA2}; \text{TimeDifX23} = \text{XD3} - \text{XA2};$$

$$\text{TimeDifX24} = \text{XD4} - \text{XA2}; \text{TimeDifX25} = \text{XD5} - \text{XA2};$$

$$\text{TimeDifX31} = \text{XD1} - \text{XA3}; \text{TimeDifX32} = \text{XD2} - \text{XA3};$$

$$\text{TimeDifX34} = \text{XD4} - \text{XA3}; \text{TimeDifX35} = \text{XD5} - \text{XA3};$$

TimeDifX41 = XD1 – XA4; TimeDifX42 = XD2 – XA4;

TimeDifX43 = XD3 – XA4; TimeDifX45 = XD5 – XA4;

TimeDifX51 = XD1 – XA5; TimeDifX52 = XD2 – XA5;

TimeDifX53 = XD3 – XA5; TimeDifX54 = XD4 – XA5;

PasX12 = @IF( TimeDifX12 #LT# 5, TalX12\*0, @IF( TimeDifX12 #LT# 10, TalX12\*1, @IF( TimeDifX12 #LT# 15, TalX12\*0.5, @IF( TimeDifX12 #LT# 20, TalX12\*0.2, TalX12\*0 ) ) ) );

PasX13 = @IF( TimeDifX13 #LT# 5, TalX13\*0, @IF( TimeDifX13 #LT# 10, TalX13\*1, @IF( TimeDifX13 #LT# 15, TalX13\*0.5, @IF( TimeDifX13 #LT# 20, TalX13\*0.2, TalX13\*0 ) ) ) );

PasX14 = @IF( TimeDifX14 #LT# 5, TalX14\*0, @IF( TimeDifX14 #LT# 10, TalX14\*1, @IF( TimeDifX14 #LT# 15, TalX14\*0.5, @IF( TimeDifX14 #LT# 20, TalX14\*0.2, TalX14\*0 ) ) ) );

PasX15 = @IF( TimeDifX15 #LT# 5, TalX15\*0, @IF( TimeDifX15 #LT# 10, TalX15\*1, @IF( TimeDifX15 #LT# 15, TalX15\*0.5, @IF( TimeDifX15 #LT# 20, TalX15\*0.2, TalX15\*0 ) ) ) );

PasX21 = @IF( TimeDifX21 #LT# 5, TalX21\*0, @IF( TimeDifX21 #LT# 10, TalX21\*1, @IF( TimeDifX21 #LT# 15, TalX21\*0.5, @IF( TimeDifX21 #LT# 20, TalX21\*0.2, TalX21\*0 ) ) ) );

PasX23 = @IF( TimeDifX23 #LT# 5, TalX23\*0, @IF( TimeDifX23 #LT# 10, TalX23\*1, @IF( TimeDifX23 #LT# 15, TalX23\*0.5, @IF( TimeDifX23 #LT# 20, TalX23\*0.2, TalX23\*0 ) ) ) );

PasX24 = @IF( TimeDifX24 #LT# 5, TalX24\*0, @IF( TimeDifX24 #LT# 10, TalX24\*1, @IF( TimeDifX24 #LT# 15, TalX24\*0.5, @IF( TimeDifX24 #LT# 20, TalX24\*0.2, TalX24\*0 ) ) ) );

PasX25 = @IF( TimeDifX25 #LT# 5, TalX25\*0, @IF( TimeDifX25 #LT# 10, TalX25\*1, @IF( TimeDifX25 #LT# 15, TalX25\*0.5, @IF( TimeDifX25 #LT# 20, TalX25\*0.2, TalX25\*0 ) ) ) );

PasX31 = @IF( TimeDifX31 #LT# 5, TalX31\*0, @IF( TimeDifX31 #LT# 10, TalX31\*1, @IF( TimeDifX31 #LT# 15, TalX31\*0.5, @IF( TimeDifX31 #LT# 20, TalX31\*0.2, TalX31\*0 ) ) ) );

PasX32 = @IF( TimeDifX32 #LT# 5, TalX32\*0, @IF( TimeDifX32 #LT# 10, TalX32\*1, @IF( TimeDifX32 #LT# 15, TalX32\*0.5, @IF( TimeDifX32 #LT# 20, TalX32\*0.2, TalX32\*0 ) ) ) ) ;

PasX34 = @IF( TimeDifX34 #LT# 5, TalX34\*0, @IF( TimeDifX34 #LT# 10, TalX34\*1, @IF( TimeDifX34 #LT# 15, TalX34\*0.5, @IF( TimeDifX34 #LT# 20, TalX34\*0.2, TalX34\*0 ) ) ) ) ;

PasX35 = @IF( TimeDifX35 #LT# 5, TalX35\*0, @IF( TimeDifX35 #LT# 10, TalX35\*1, @IF( TimeDifX35 #LT# 15, TalX35\*0.5, @IF( TimeDifX35 #LT# 20, TalX35\*0.2, TalX35\*0 ) ) ) ) ;

PasX41 = @IF( TimeDifX41 #LT# 5, TalX41\*0, @IF( TimeDifX41 #LT# 10, TalX41\*1, @IF( TimeDifX41 #LT# 15, TalX41\*0.5, @IF( TimeDifX41 #LT# 20, TalX41\*0.2, TalX41\*0 ) ) ) ) ;

PasX42 = @IF( TimeDifX42 #LT# 5, TalX42\*0, @IF( TimeDifX42 #LT# 10, TalX42\*1, @IF( TimeDifX42 #LT# 15, TalX42\*0.5, @IF( TimeDifX42 #LT# 20, TalX42\*0.2, TalX42\*0 ) ) ) ) ;

PasX43 = @IF( TimeDifX43 #LT# 5, TalX43\*0, @IF( TimeDifX43 #LT# 10, TalX43\*1, @IF( TimeDifX43 #LT# 15, TalX43\*0.5, @IF( TimeDifX43 #LT# 20, TalX43\*0.2, TalX43\*0 ) ) ) ) ;

PasX45 = @IF( TimeDifX45 #LT# 5, TalX45\*0, @IF( TimeDifX45 #LT# 10, TalX45\*1, @IF( TimeDifX45 #LT# 15, TalX45\*0.5, @IF( TimeDifX45 #LT# 20, TalX45\*0.2, TalX45\*0 ) ) ) ) ;

PasX51 = @IF( TimeDifX51 #LT# 5, TalX51\*0, @IF( TimeDifX51 #LT# 10, TalX51\*1, @IF( TimeDifX51 #LT# 15, TalX51\*0.5, @IF( TimeDifX51 #LT# 20, TalX51\*0.2, TalX51\*0 ) ) ) ) ;

PasX52 = @IF( TimeDifX52 #LT# 5, TalX52\*0, @IF( TimeDifX52 #LT# 10, TalX52\*1, @IF( TimeDifX52 #LT# 15, TalX52\*0.5, @IF( TimeDifX52 #LT# 20, TalX52\*0.2, TalX52\*0 ) ) ) ) ;

PasX53 = @IF( TimeDifX53 #LT# 5, TalX53\*0, @IF( TimeDifX53 #LT# 10, TalX53\*1, @IF( TimeDifX53 #LT# 15, TalX53\*0.5, @IF( TimeDifX53 #LT# 20, TalX53\*0.2, TalX53\*0 ) ) ) ) ;

PasX54 = @IF( TimeDifX54 #LT# 5, TalX54\*0, @IF( TimeDifX54 #LT# 10, TalX54\*1, @IF( TimeDifX54 #LT# 15, TalX54\*0.5, @IF( TimeDifX54 #LT# 20, TalX54\*0.2, TalX54\*0 ) ) ) ) ;

@BIN(XD11); @BIN(XD12); @BIN(XD13); @BIN(XD14); @BIN(XD15);  
 @BIN(XD21); @BIN(XD22); @BIN(XD23); @BIN(XD24); @BIN(XD25);  
 @BIN(XD31); @BIN(XD32); @BIN(XD33); @BIN(XD34); @BIN(XD35);  
 @BIN(XD41); @BIN(XD42); @BIN(XD43); @BIN(XD44); @BIN(XD45);  
 @BIN(XD51); @BIN(XD52); @BIN(XD53); @BIN(XD54); @BIN(XD55);

@BIN(XA11); @BIN(XA12); @BIN(XA13); @BIN(XA14); @BIN(XA15);  
 @BIN(XA21); @BIN(XA22); @BIN(XA23); @BIN(XA24); @BIN(XA25);  
 @BIN(XA31); @BIN(XA32); @BIN(XA33); @BIN(XA34); @BIN(XA35);  
 @BIN(XA41); @BIN(XA42); @BIN(XA43); @BIN(XA44); @BIN(XA45);  
 @BIN(XA51); @BIN(XA52); @BIN(XA53); @BIN(XA54); @BIN(XA55);

TotalXD1 = 1; TotalXD2 = 1; TotalXD3 = 1; TotalXD4 = 1; TotalXD5 = 1;  
 TotalXA1 = 1; TotalXA2 = 1; TotalXA3 = 1; TotalXA4 = 1; TotalXA5 = 1;  
 TotalTD1 <=2; TotalTD2 <=2; TotalTD3 <=2; TotalTD4 <=2; TotalTD5 <=2;  
 TotalTA1 <=2; TotalTA2 <=2; TotalTA3 <=2; TotalTA4 <=2; TotalTA5 <=2;

end

## EK 2: Matematiksel modelin Lingo sonuçları

```
Local optimal solution found.
  Objective value:                148.5000
  Objective bound:                148.5000
  Infeasibilities:                0.000000
  Extended solver steps:          6
  Total solver iterations:        820
  Elapsed runtime seconds:       1.09

Model Class:                      MINLP

Total variables:                  110
Nonlinear variables:              20
Integer variables:                50
```

Total constraints: 81  
 Nonlinear constraints: 20  
 Total nonzeros: 300  
 Nonlinear nonzeros: 20

Variable	Value	Reduced Cost
PASX12	0.0	0.0
PASX13	0.0	0.0
PASX14	11.0	0.0
PASX15	27.0	0.0
PASX21	0.0	0.0
PASX23	17.0	0.0
PASX24	9.5	0.0
PASX25	7.5	0.0
PASX31	0.0	0.0
PASX32	15.0	0.0
PASX34	2.5	0.0
PASX35	2.0	0.0
PASX41	7.0	0.0
PASX42	4.5	0.0
PASX43	5.5	0.0
PASX45	3.0	0.0
PASX51	23.0	0.0
PASX52	7.5	0.0
PASX53	4.5	0.0
PASX54	2.0	0.0

### EK 3: 1 noktalı GA seed 4 ve seed 5 sonuçları

	seed4- en iyi	seed4- ortalama	seed4- en kötü	seed5- en iyi	seed5- ortalama	seed5- en kötü	Orijinal plan
0	73343	54271	38860	83067	56348	31586	65659
10	73343	61667	52567	83067	64133	57771	65659
20	73343	61701	52904	83067	64458	57871	65659
30	73343	61701	52904	83067	65862	61016	65659
40	73343	61701	52904	83067	65862	61016	65659
50	73343	62029	54915	83067	65862	61016	65659

**EK 4: 2 noktalı GA seed 4 ve seed 5 sonuçları**

	seed4-en iyi	seed4-ortalama	seed4-en kötü	seed5-en iyi	seed5-ortalama	seed5-en kötü	Orijinal plan
0	68122	49890	26961	65659	50596	24801	65659
10	68122	60271	51763	66408	57702	50887	65659
20	68122	61564	55632	66408	57702	50887	65659
30	68122	63989	56849	66408	57702	50887	65659
40	68122	64113	58087	66408	57702	50887	65659
50	68122	64398	59178	66408	57702	50887	65659

**EK 5: 3 noktalı GA seed 4 ve seed 5 sonuçları**

	seed4-en iyi	seed4-ortalama	seed4-en kötü	seed5-en iyi	seed5-ortalama	seed5-en kötü	Orijinal plan
0	67911	53268	32401	68335	56547	42256	65659
10	117105	70920	60228	68901	61520	58014	65659
20	117105	70920	60228	68901	61520	58014	65659
30	117105	70920	60228	68901	61520	58014	65659
40	117105	70920	60228	68901	61520	58014	65659
50	117105	70920	60228	68901	61520	58014	65659

**EK 6: PSO seed 4 ve seed 5 sonuçları**

	seed4-en iyi	seed4-ortalama	seed4-en kötü	seed5-en iyi	seed5-ortalama	seed5-en kötü	Orijinal plan
0	68078	54079	26352	72728	60198	34359	65659
10	73098	60542	44897	78447	65548	45622	65659
20	79601	64656	48745	79431	68606	52693	65659
30	80962	68730	53821	81816	71799	56303	65659
40	91085	75703	60507	82836	75878	65211	65659
50	93504	77134	61609	86896	78743	66781	65659

**EK 7: ES seed 4 ve seed 5 sonuçları**

	seed4-en iyi	seed4-ortalama	seed4-en kötü	seed5-en iyi	seed5-ortalama	seed5-en kötü	Orijinal plan
0	65659	49811	31287	65659	51458	32716	65659
10	76714	76268	75870	79344	78620	75512	65659
20	82056	80152	79461	86592	85836	84705	65659
30	85741	85462	85064	93400	90863	90403	65659
40	93511	89759	87973	97831	96327	95488	65659
50	96804	96303	96210	102576	102137	101881	65659

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Süraka Derviş

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Endüstri Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Endüstri Mühendisliği	2018
Lise	Deyrizor Fırat Lisesi	2012

### İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2020-Halen	Toyota Motor Europe	Lojistik Mühendisi
2018-2019	Sag Hidrolik LTD.ŞTİ	Planlama Mühendisi

### YABANCI DİL

İngilizce

Arapça

### ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

- Optimization of arrival and departure plans of airline passenger aircraft using evolutionary strategy

### HOBİLER

Yüzme, Saha Tenisi