

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



HARİTA OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ İLE İHA/SİHA
UÇUŞ PLANI HAZIRLANMASI

Ferhat AKSOY

Yüksek Lisans Tezi

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

OCAK 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

HARİTA OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ İLE İHA/SİHA UÇUŞ PLANI HAZIRLANMASI

Tez Yazarı
Ferhat AKSOY

Danışman
Prof. Dr. Erkan TANYILDIZI

OCAK 2022
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

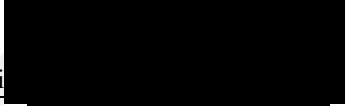
Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

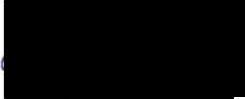
Başlığı:	Harita Optimizasyon Yöntemleri İle İHA/SİHA Uçuş Planı Hazırlanması
Yazarı:	Ferhat AKSOY
İlk Teslim Tarihi:	31.12.2021
Savunma Tarihi:	27.01.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Erkan TANYILDIZI Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi		Onayladım
-----------	---	---	-----------

Başkan:	Prof. Dr. Fatih TALU İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi		Onayladım
---------	---	--	-----------

Üye:	Doç. Dr. Cafer BAL Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi		Onayladım
------	---	---	-----------

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Harita Optimizasyon Yöntemleri İle İHA/SİHA Uçuş Planı Hazırlanması” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

27.01.2022

Ferhat AKSOY



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında bilgi birikim, fikir, sektörel deneyim ve kıymetli vakitlerini benden esirgemeyen, her an desteğini hem fiili hem de manevi olarak hissettiren çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Erkan TANYILDIZI'na şükranlarımı sunarım.

Ferhat AKSOY

ELAZIĞ, 2022



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	3
2. UÇUŞ PLANLAMASI	4
2.1. Sabit Rotalı Hava Sahalarında Rota Planlaması	10
2.2. Serbest Rotalı Hava Sahalarında Rota Planlaması.....	11
2.3. Karma Hava Sahalarında Rota Planlaması	13
2.4. Rotaların Tespitinde Coğrafi Koordinatlar ve Hesap Yüzeyinin Önemi	13
2.5. Uçuş Planı Tipleri	14
2.5.1. Münferit Uçuş Planı	14
2.5.2. Sürekli Uçuş Planı	15
2.6. Uçuş Planı Sunma Prosedürleri	16
2.7. Uçuş Planının İptali	17
2.8. Uçuş Plan Formu ve İçeriği	18
3. HARİTA OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ.....	20
3.1. Genetik Algoritma	20
3.2. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması.....	21
3.3. Yapay Arı Kolonisi Optimizasyon Algoritması	21
3.4. Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması	22
3.5. Balina Optimizasyon Algoritması	22
3.6. Gri Kurt Optimizasyon Algoritması	23
3.7. Greedy Algoritması	23
3.8. Dijkstra Algoritması	24
3.9. A* Algoritması	25
4. MATERYAL VE METOT	27
4.1. Veri Setleri.....	27
4.1.1. Havaalanları	27
4.1.2. Pistler	28
4.1.3. Standart Terminal Varış	29
4.1.4. Standart Aletli Kalkış	30
4.1.5. Alçak ve Yüksek Seviye Yolları	31
4.1.6. Alçak ve Yüksek Seviye Yollarının Kavşak Noktaları	32
4.2. Yaklaşım ve Metodoloji	33
4.2.1. Haversine Teoremi	33
4.2.2. Manhattan.....	33
4.2.3. Bearing	33

4.2.4. Minkowski Uzaklığı.....	34
4.2.5. Öklid Uzaklığı.....	34
4.2.6. Chebyshev Uzaklığı.....	34
4.2.7. Dilca Uzaklığı	35
4.2.8. Pisagor Teoremi	35
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	36
6. SONUÇLAR.....	50
ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Harita Optimizasyon Yöntemleri İle İHA/SİHA Uçuş Planı Hazırlanması

Ferhat AKSOY

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı

Ocak 2022, Sayfa: xii + 54

Bu çalışmada, uçuş operasyon sürecinin önemli unsurlarından biri olan uçuş planlarının öncelikli aşamalarından rota çıkarma işlemi harita optimizasyon yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bir uçuş öncesinde hazırlanması ulusal ve uluslararası otoritelerce zorunlu kılınmış olan uçuş planlarının nasıl yapıldığı açıklanmıştır. Dünya üzerinde karmaşık yol yapısına sahip hava yolu haritalarından faydalanılarak farklı seviye ve bölgelerdeki bu yollar en uygun metasezgisel harita optimizasyon algoritmaları ile uçuş planının verimli ve etkin bir şekilde nasıl optimize edilebileceği önerilmiştir. Geleneksel tahmin yöntemlerinden daha iyi performans gösterme potansiyeli olan ve bu çalışma için geliştirilen yazılımın tahmin gücü değerlendirilmiştir. Geliştirilen yaklaşımın güvenilir uçuş planı tahminleri üretmek için gerekli olan kısıtlar ele alınarak, Türkiye’de faaliyet gösteren mevcut havayolu firmalarının geçmiş uçuş verilerinden faydalanılmıştır. Sivil havacılıkta uçuş planı alınırken dikkat edilmesi gereken kısıt ve kuralların birçoğunun askeri havacılıkta da kullanıldığı göz önüne alındığında geliştirilen yazılım ile ülkemiz için büyük önem taşıyan ve Türk Hava Kuvvetleri’ndeki filolarımızda her geçen gün sayısını artıran İnsansız Hava Araçlarının uçuş planlaması anlatılmıştır. Bununla birlikte bir uçuş operasyonu esnasında emniyet ve verimlik açısından önemli parametrelerden biri olan meteorolojik şartlardan rüzgar kısıtlaması hava araçlarının limitlerine göre geliştirilen yazılıma entegre edilmiştir. Tüm bu parametre ve kısıtlar hesaba katılarak geliştirilen yazılımın sonuçları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Harita optimizasyonu, uçuş, uçuş planlama, rota, rota seçimi, İHA (İnsansız Hava Aracı), SİHA (Silahlı İnsansız Hava Aracı)

ABSTRACT

UAV/AUAV Flight Plan Preparation With Map Optimization Methods

Ferhat AKSOY

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Defence Technologies

January 2022, Pages: xii + 54

In this study, the route generation process, one of the important elements of flight operations, has been calculated by using map optimization methods. The steps of preparing a flight plan, which is mandatory according to national and international authorities, have been explained. Using world air route maps with complex road structures, the most efficient and effective way of optimizing a flight plan for different levels and areas has been proposed. The prediction power of the developed approach has been evaluated. Considering the criteria necessary to produce reliable flight plan predictions, the developed approach has been applied to the past flight data of the aviation companies operating in Turkey is made use of. When it is taken account that most of the constraints and rules which are to be taken care of while flight plan is taken in the civil aviation are used in military aviation, with this model, flight planning of Unmanned Aerial Vehicle's (UAV) which increases in the number of day by day in our fleets of Turkish Air Forces and is also vital for our country is told. Since many of the restrictions and rules that need to be taken into account when preparing a civil aviation flight plan are also used in military aviation, the developed software has also been integrated with a wind restriction module based on the limitations of aircraft. After taking all of these parameters and restrictions into account, the results of the developed software have been evaluated.

Keywords: Map Optimisation, Flight, Flight Planning, route, route selection, UAV(Unmanned Aerial Vehicle), AUAV(Armed Unmanned Aerial Vehicle)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye FIR (Flight Information Region) hattı içerisindeki yüksek seviye yolları	1
Şekil 2.1. ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü) standartlarına göre boş bir uçuş planı örneği	8
Şekil 2.2. Mesaj olarak uçuş planı örneği.....	9
Şekil 3.1. A* algoritması akış diyagramı	26
Şekil 5.1. Konsol uygulaması çıktı örneği.....	36
Şekil 5.2. Havalimanları ve SID noktaları aralarındaki mesafe hesaplama akış diyagramı	38
Şekil 5.3. Alçak ve yüksek seviye yolları ve kavşak noktaları arasındaki mesafe hesaplama akış diyagramı	39
Şekil 5.4. Havaalanları ve STAR noktaları aralarındaki mesafe hesaplama akış diyagramı	40
Şekil 5.5. En iyi rota bulma akış diyagramı.....	41
Şekil 5.6. Geliştirilen yazılımdaki A* algoritması akış diyagramı	42
Şekil 5.7. Geliştirilen yazılımın A* algoritmasına ait kaba kodu	43
Şekil 5.8. Geliştirilen yazılımın kaba kodları	44
Şekil 5.9. Kalkış havaalanı seçimi.....	45
Şekil 5.10. Varış havaalanı seçimi.....	46
Şekil 5.11. Rota oluşturulması.....	47

TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Havaalanları.....	28
Tablo 4.2. Pistler	29
Tablo 4.3. Standart Terminal Varış (STAR)	30
Tablo 4.4. Standart Aletli Kalkış (SID)	31
Tablo 4.5. Alçak ve Yüksek Seviye Yolları	32
Tablo 4.6. Alçak ve Yüksek Seviye Yollarının Kavşak Noktaları	32
Tablo 5.1. Algoritmaların Karşılaştırılması	48



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

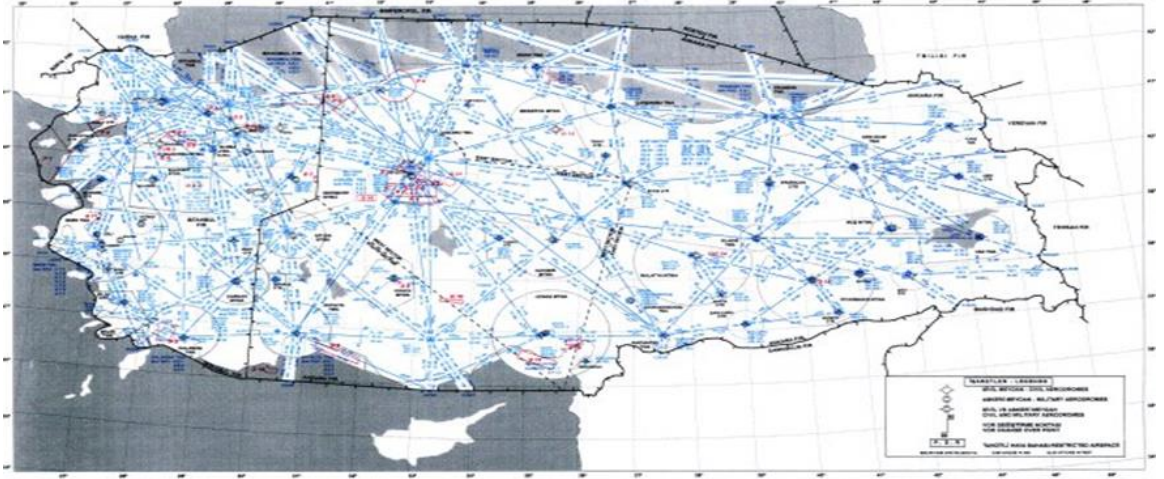
AFTN	: Aeronautical Fixed Telecommunication Network (Havacılık Sabit Telekomünikasyon Ağı)
AIP	: Aviation Information Public (Havacılık Bilgi Yayını)
ANSP	: Air Navigation Service Provider (Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcısı)
API	: Application Programming Interface (Uygulama Program Arayüzü)
ARR	: Arrival (Varış)
ATC	: Air Traffic Center/Control
ATM	: Air Traffic Management
ATS	: Air Traffic Service
ATSEP	: Air Traffic Safety Electronics Personnel (Hava Trafik Emniyeti Elektronik Personeli)
BFS	: Breadth First Search
CACD	: Central Airspace and Capacity Database (Merkezi Hava Sahası ve Kapasite Veri Bankası)
DEP	: Departure (Kalkış)
DILCA	: Distance Learning in Categorical Attribute
DOF	: Day Of Flight (Uçuş Tarihi)
DR	: Direct Route (Direk Rota)
EOBT	: Estimated Off-Block Time (Tahmini Takoz Çekme Saati)
FFRA	: Full Free Route Airspace (Tam Serbest Rotalı Hava Sahası)
FIR	: Flight Information Region
FPL	: Filed Flight Plan (Münferit uçuş planları)
FRA	: Free Route Airspace (Serbest Rotalı Hava Sahası)
FRAZ	: Free Route Airspace Zone (Serbest Rotalı Hava Sahası Bölgesi)
ICAO	: Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü
IFPS	: Integrated Initial Flight Plan Processing System (Entegre Uçuş Planı İşleme Sistem)
IFR	: Instrument Flight Rules (Aletli Uçuş Kuralları)
IG	: Information Gain
İHA	: İnsansız Hava Aracı
JSON	: JavaScript Object Notation
MDB	: Microsoft Database
MS	: Microsoft

NMOC	: Network Manager Operations Center (Ağ Yönetimi Harekât Merkezi)
NOTAM	: Notification to Airman
RPL	: Repetitive Flight Plan (Sürekli Uçuş Planı)
SHY	: Sivil Havacılık Yönetmeliği
SID	: Standart Instrument Departure
SITA	: Uluslararası Havacılık Telekomünikasyonları Birliği
SİHA	: Silahlı İnsansız Hava Aracı
SQL	: Structured Query Language
STAR	: Standart Terminal Arrival Routes
SU	: Symmetrical Uncertainty
VFR	: Visual Flight Rules (Görerek Uçuş Kuralları)
VHF	: Very High Frequency
VOR	: Omni-Directional Radio Range
WFRA	: Waypoint Free Route Airspace (Ara Noktalı Serbest Rotalı Hava Sahası)

1. GİRİŞ

İçinde yaşadığımız teknoloji çağının gereklilikleri çerçevesinde ülkeler milli güvenlik sorunları ve tehditleri ile mücadele ederken yenilikçi gelişmeleri yakından takip etmek zorundadırlar. Özellikle 2. Cihan Harbinde bir savaşın veya çatışmanın neticesini hava aracı kullanan ülkenin lehine nasıl çevirebileceğini kavrayan ülkeler, askeri havacılığın araştırılması ve gelişmesi için büyük kapsamlı çalışmalar başlatmışlardır.

Mevcut bilgilere (tarifeler, uçuk tipleri, ücretler, keşif veya taarruz uçuşu vb.) bağlı olarak uçuş seviyeleri ve rotalardaki belirsizlikler planlama aşamalarında farklılık göstererek, her zaman standart bir uçuş planlamasının yapılmasını mümkün kılmamakla birlikte niteliksel farklılıklara yol açmaktadır. Uçuş esnasında rota tahmini hakkında bol miktarda araştırma yapılmış olsa da [1,2] uçuş öncesi aşamada rota tahmini çalışmalarının çok daha az sayıda olması dikkat çekmektedir. Rotalardaki belirsizlikleri anlayabilmek için Şekil 1.1’de gösterilen Türkiye hava sahasına ait sadece yüksek seviye yolları gösterilmiştir. Yine ülkemizin hava sahasına ait en az bir bu kadar da alçak seviye yolları mevcuttur.



Şekil 1.1. Türkiye FIR (Flight Information Region) hattı içerisindeki yüksek seviye yolları [3]

Bir hava aracının uçuşunu en emniyetli ve en az maliyetli bir şekilde tamamlayabilmesi için uçuş öncesinde etkin bir uçuş planlaması yapılmalıdır. Bu planlamalar yapılırken, filodaki hava aracı sayısı, meteorolojik şartlar, rota, hava koridoru ve notam gibi birçok parametrenin o uçuş için en uygun şekilde analiz edilip uygulanması gerekmektedir. İnsan faktörünün olduğu hiçbir faaliyette hata oranının sıfır olması beklenemeyeceği için bu planlar yapılırken istenilen verimlilik olmasa da kabul edilebilir seviye içerisinde olması genel kabul görmüştür. EUROCONTROL tarafından uçuş trafik tahmini için şu anda kullanılan araç PREDICT sistemidir. Bu sistem önceki haftalarda meydana gelen benzer bir uçuşun uçuş planını o uçuşa atayarak uçuş tahmini uçuş planlarına dönüştürür. Her bir uçuş için atanan rota, havayolu rota seçimlerinde de önemli bir rol oynayan diğer faktörleri (havayolu özellikleri, meteoroloji vb.) dikkate almadan, geçmiş uçuş

planlarında bulunan sınırlı benzerlik kriterlerine dayanmaktadır [4]. Bu yöntem tahminin doğruluğunu sınırlayarak verimsiz veya optimal olmayan bir uçuş planına yol açabilir [5]. Önceki araştırmalar, havalimanlarına varış zamanını tahmin etmek için uçuş fazda (kısa ve orta vadeli) öngörüye [1] veya rota çatışmalarını tespit etmek için uçak konumuna, gerçek rota ve anlık hava tahminleri gibi faktörleri dâhil etmeye odaklanmıştı [2,6].

Son yıllarda ülkemizdeki askeri havacılıkta yapılan atılımlar sonuçlarını vermiş, bir ülkenin savunulmasında büyük önem arz eden, istihbari ve hatta operasyonel anlamda büyük ölçekte doğruluk ve kolaylık sağlayan yerli ve milli yapım olan İnsansız Hava Araçları (İHA) geliştirilmiştir. Özellikle ülkemizin bulunduğu coğrafi konum göz önüne alındığında, ülkemizin güneydoğusundaki arazi yapısı Mehmetçiğimizin bu arazideki operasyonlarını güçleştirmektedir. Tam bu noktada İHA 'larımızın etkin ve verimli kullanımının önemi bir kere daha ortaya çıkmaktadır. Hem askeri hem de sivil alanda ülkemize hizmet edecek olan bu ürünün ve bu ürüne ait tüm alt yapı ve sistemlerin de yerli ve milli olması önem arz etmektedir. Ülkemizde, Türk Silahlı Kuvvetleri'nin başta güvenlik hizmetleri olmak üzere diğer faaliyet alanlarında bulunması için yerli ve milli olan bu ürünün planlı ve programlı bir şekilde geliştirilmesi, yerli ve milli mühendislik kültürümüzün katma değerini artıracaktır. Bu çalışma için geliştirilen rota planlama yazılım Türkiye'de askeri mühendislik kültürünü de katkı sağlayabilecektir. Daha önceden de ifade edildiği gibi Türk Silahlı Kuvvetleri'nin bünyesinde yerli ve milli mühendislik ürünlerinin sayısının artırılması politikası geliştirilen yazılımın sürdürülebilir kılacaktır. Böylece sivil alanda da bir ihtiyaç rota planlama yazılımının kullanılması milli ve bölgesel gereksinimlerin de ihtiyaçlarını karşılayacaktır.

Yukarıda genel hatları çizilen durum değerlendirildiğinde, uçuş planlamasının aşamalarından rota çıkarma işlemi yapılırken harita optimizasyon yöntemlerinin kullanılması hem hata oranını düşürecek hem de maliyetleri kısarak hava araçlarının daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır. Bu çalışmada, rota analizi belirleyicileri hakkında anlamlı bilgiler elde edilerek uçuş öncesinde yapılan uçuş planlarının güvenilirliğini artıracak bir yaklaşım geliştirmek için harita optimizasyon kombinasyonları uçuş verilerine uygulanmıştır.

1.1. Tezin Amacı

Öncelikle uçuş planının tüm parametrelerinin belirlenmesi aşamasında, bir uçuşun gerçekleştirilebilmesi için gerekli tüm bilgiler ve kısıtların ele alınması gerekmektedir. Uçuş planını hazırlanırken bu bilgi ve kısıtlamaların uçuşa ve uçuşa uygun bir şekilde uyarlanması gibi birçok değişkenin sınırlandırılması ve uçuş planında belirlenen hedeflere göre uçuşun emniyetli ve ekonomik bir şekilde tamamlanması bu çalışmada önerilen yaklaşımın en önemli paydasıdır. Bu anlamda, bir uçuş planı hazırlanırken en önemli aşamalarından biri olan, dünyada çok farklı seviye ve güzergâhlarda bulunabilen, havacılık otoriteleri tarafından belirlenmiş, havalimanlarını, pistleri, kalkış ve iniş noktalarını, kavşak noktalarını, uçtan uça yolları ve çeşitli seyrüsefer yardımcı cihazlarını da kapsayan en optimum rotanın hesaplanması amaçlanmaktadır.

Uçuş planının hazırlanması için önerilen bu yaklaşımın uygulanabileceği hedef ve problemlerin çokluğu, uçuş planına alınırken kısıtların olup olmayışı, ilgili parametrelerin olup olmayışı ve gerekli veri setinin olup olmayışına yönelik ölçümlerin yapılması amaçlanmaktadır.

Bir uçuş öncesinde uçuş planının hedefleri için parametreler belirlenirken, bunlar arasında geçiş özellikleri değerlendirilmektedir. Geçiş özellikleri iki türlü kabul edilebilir. Birincisi, uçuş öncesinde uçuş planının hedeflere nasıl ulaşılabileceğine bakılmaksızın rota çıkarma işleminin nasıl şekillendirileceği, diğeri ise rota çıkarma işleminin nasıl şekillendirileceğine bakılmaksızın uçuş planının hedeflere nasıl ulaşılabilirliği belirlemektedir. Daha sonra uçuş planının tüm parametrelerinin belirlenmesi ve hedeflenen rotanın harita optimizasyon yöntemleri ile optimizasyonunun gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Her bir parametrenin olumlu ve olumsuz olarak belirlenmesi ve uçuş planında hava aracının emniyetli ve verimli bir şekilde uçuşunu gerçekleştirebilmesi için tüm olumlu parametrelerinin belirlenmesi için uygulanabilecek yöntemlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Böylece bu yöntemin, gerekli donanımına sahip tüm hava araçlarında emniyetli, güvenilir ve bir o kadar da ekonomik bir kaynak olarak kullanılabilmesi hedeflenmektedir. Özellikle diğer tüm ulaşım sistemlerinde olduğu gibi, otonom olarak kullanımı da gün geçtikçe yaygınlaşan İnsansız Hava Araçlarının uçuşlarına destek amaçlı bir yazılım olması amaçlanmaktadır.

2. UÇUŞ PLANLAMASI

Planlama, kararlarının oluşturulmasından başlayarak, uygulama ve değerlendirme sonrasına kadar olan bir süreçtir. Planlama, örgütlenme ve faaliyetlerin programlanmasını sağlayan düzenleyici bir işlemdir. İnsanların, toplumun ihtiyaçlarını, hedeflerini ve sorunlarını ortaya koyar, bu ihtiyaçların, hedeflerin ve sorunların çözümünü gerçekleştirmek için gerekli olan çabaları belirler ve bu çabaların yürütmesini sağlar veya yönlendirir. Planlama faaliyetlerin başarılı olmasını sağlamak için kullanılan tüm faktörleri içine alan bir süreçtir [7].

Bu tanımdan hareketle uçuş planlama, bir uçuştan önce uçuşun tüm aşamaları hakkında bilgi sahibi olarak o uçuşun en emniyetli, en güvenli, en ekonomik, en konforlu ve tanımlanan görevi başarılı bir şekilde nasıl gerçekleştirilebilir sorusunun cevabını bulmaya dönük bir işlemdir. Uçuş planlaması tüm dünya genelinde aralıksız devam eden uçuşların daha düzenli, daha hızlı ve daha emniyetli hale getirilmesi için gereken her türlü önlemi içerir. Uçuş planlaması her uçuş için ayrı ayrı hazırlansa da esasında sadece bir uçuşu içermez. Uçuş planlamasında sadece bir uçuş göz önüne alınmaz. Hava aracında belli periyot ve zaman dilimlerinde tanımlanmış veya görevlendirilmiş tüm uçuşları gözетerek yapılır. Bir uçuş için yapılan planlama diğer uçuş planlamalarından bağımsız değildir. Uçuş planlaması tüm dünyada uçuşların düzenli hale getirilmesi için gereken tüm önlemleri içerir.

Havacılık sektöründe öncelikli olarak etkin planlamanın, uçuş emniyeti bağlamında oldukça önemli bir yeri vardır. Uçuş planlaması da bu etkenlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Hava araçlarının bir uçuş öncesinde kalkışını sağlayacağı havalimanından iniş yapacağı havalimanına kadar gerçekleştireceği uçuşun belirli rota dâhilinde ve planlı bir şekilde ilerlemesi şarttır. Bu plan kapsamında, hava aracının belirlenmiş rota üzerinde hangi yol güzergâhını kullanacağı ve uçuşu gerçekleştiren hava aracının hangi seviyede uçuş gerçekleştireceği belirlenmiş olacaktır. Hava sahası içerisinde uçuşu gerçekleştirecek olan hava araçlarının belirli bir uçuş planı doldurmaları şarttır.

Doldurulacak olan uçuş planı; uçak tanıtımı, uçuş tipi, uçak kuyruk türbülans kategorisi, uçağa ait ekipmanlar, kalkış havalimanı, tahmini takoz çekme zamanı, uçuş hızı, uçuş seviyesi, uçuş rotası, varış havalimanı, tahmini uçuş süresi, alternatif havalimanı, yakıt miktarı, toplam yolcu ve mürettebat sayısı, acil durum ekipmanları ve diğer gerekli bilgileri içermelidir. Bu bilgiler doğrultusunda oluşturulan uçuş planları hava trafik akış ve kapasite yönetimi kapsamında değerlendirilmek üzere merkezi bir uçuş planı işleme ve dağıtım birimine gönderilmelidir [8].

Uçuş planlaması en iyi kararların alınmasına yardımcı olmak üzere üç temel fonksiyona sahiptir:

- Uçuş esnasında gerekli olan emniyet unsurunu belirleyen faktörlerin belirlenmesi

- Emniyet faktörlerinin değerlendirilmesi ve gerçekleşme durumuna göre uçuş planlarının değiştirilmesi
- Emniyet faktörlerinin gerçekleşme durumuna göre uçuş programlarının değiştirilmesi

Uçuş planlama, uçuşun tamamını veya uçuşun bir kısmını belirlemede kullanılan programlamaların çalışma prensibidir. Uçuş planlaması, uçuşun planlama aşaması ve özellikle de uçuş esnasında gerekli olan emniyet unsurları faktörlerinin belirlenmesini, planlanan uçuşun emniyet faktörlerinin değerlendirilmesi ve gerçekleşmesi durumuna göre uçuş planlarının değiştirilmesi, uçuş esnasında emniyet faktörlerinin olumsuzluklarının gerçekleşmesi durumuna göre plandaki ilgili bilgilerin değiştirilmesi için kullanılan bir süreçtir. Uçuş planlaması, uçuşun tamamını veya bir uçuşun bir kısmını belirlemede kullanılan yöntemlerin bütünüdür.

Uçuş planı; bir hava aracının icra etmesi ön görülen uçuşuna ait bir takım bilgileri sunma işlemidir. Türkiye hava sahası içinde, bir uçuşa başlamadan önce ilgili Hava Trafik Servisi (ATS: Air Traffic Service) birimine bir uçuş planı sunulmalıdır [9]. Hava trafik sistemi; hava araçlarına uçuş bilgileri vermek ve hava araçlarının hareketlerini izlemek için kurulan hava trafik hizmet birimidir. Türkiye havasında kurulan ve hava araçlarına uçuş bilgilerini vermeye yönelik olanlar Hava Trafik Merkezi (ATC: Air Traffic Center) veya Hava Trafik Kontrolörü (ATC: Air Traffic Control) olarak adlandırılır. Bu kurumların kuruluşu ve uygulamaları ilgili hava trafik yönetmeliklerinde (SHY-65.01, SHY-65.02, SHY-ATSEP, SHY-GÖZETİM, SHY-ATM) yer almaktadır.

Uçuş planı kavramı, bir uçak veya bir uçuşun olması gereken şartları kapsayan bir doküman olarak tanımlanır. Bir uçuş planı doldurulurken içinde şu kısımlar bulunur:

- Genel bilgiler
- Uçuş planının amacı
- Uçuş ekibi
- Uçuşun güzergâhı, planlanan yolu
- Uçuş programı
- Uçuşun güzergâhında mümkün olan diğer ara noktaların planlanması
- Uçuşun gerçekleşeceği kuralların planlanması
- Uçuş seviyelerinin dikey ayırmalarının planlanması
- Uçuşun güzergâhında, mevcut yol güvenliğine ilişkin planlanan uyarılar
- Uçuş emniyetine ilişkin kullanılan ekipmanlar
- Uçuş planının sonlandırılması
- Uçuş planı uyarınca uçuşun sonlandırılması

Uçuş planları, ilgili hava aracının özelliklerini gösterir, uçuşa ilişkin ilgili koşulları ve uçuşun detaylarını gösterir. Ayrıca uçuş planı, uçuşun öngörülen rota üzerinde ilgili yönetmeliklere

uygun olarak yapılmasını, uçuş esnasında bulunduğu hava koşullarına ve ilgili ATC sistem tekniklerinin gereklerine uygun olarak yapılmasını sağlamaktadır.

Uçuş yapılırken oluşan durum ve koşulların, uçuşun rotasına uygun olarak gözetilmesi, uçuşun başarılmaması için gerekli hassasiyetin sağlanması gerekmektedir. Bu bağlamda uçuş planının hazırlanması ve bu planın uçuşun yapılmasından önce ilgili ATC birimine sunulması uçuşa başlamadan önce yapılmalıdır. Uçak işletmecileri veya kullanıcıları tarafından uçuş planı vasıtasıyla uçuşa dair detaylar resmi otoritelere bildirilir ve otoritelerden gerekli izinlerin alınması durumunda uçuş gerçekleştirilebilir. Uçuş planı resmi otoritelerce uygun görülmedikçe uçuşa devam edilmez. Uçuş planında uçuşa ilişkin izinlerin verilmesine yönelik ulusal ve uluslararası yasaların uygun gördüğü ölçüde uçuş planının hazırlanması ve uçuşa ilişkin izinlerin de uygun şekilde alınması gerekir. Yani uçuş planları işletmeci ya da operatörlerin uçuşa ait amaçlarını ve uçuş hakkındaki birçok bilgiyi havacılık otoritelerine bildirmek için hazırladıkları mesajları, verilen izin veya uyarıları da kapsamaktadır.

Uçuş planı işletmeci ya da operatör tarafından gönderilen bir mesaj olup yazılı olarak sunması, uçuşa ilişkin izinler veya uyarıları resmi otoritelerden uygun şekilde almış olması ve uçuş esnasında uçuş biriminden izin almış olması gerekmektedir. Uçuş esnasında uçuş planında bir değişiklik yapılacaksa ilgili ATC birimine bildirilmeli ve verilen değişiklik müsaadesi ölçüsünde değişikliğe gidilmelidir.

Uçuş planının uçuşa başlamadan önce, bilgilerin yetersiz veya yanlış bir şekilde sunulması uçuş esnasında doğabilecek risklerin bertaraf edilmesi için gerekli tedbirlerin yetersiz veya yanlış bir şekilde yapılmasına neden olacak ve bu durumda emniyetli bir uçuş sağlanamayacaktır. Uçuş planlarında potansiyel risklerden sorumlu kişi ve kurumların belirtilmesi gerekmektedir. Uçuş planı hazırlanırken uçuşun yapılmasından doğan risklerin bertaraf edilmesinin önemini kavramak ve uçuş planının hazırlanışında bu önemi gözetmek gerekir.

Uçuş planını hazırlanırken kullanılan programların da uçuşa ilişkin risklerin bertaraf edilmesinde gerekli tedbirlerin belirlenmesine yardımcı olabilecek kapasitede olmalıdır. Planlama programları kullanılarak hazırlanan uçuş planlarında öngörülen rota üzerinde sadece mesafe ölçümü yapılmamalıdır. Bu programlar uçuş esnasında öngörülen risklere karşı alınması gereken tedbirleri de sağlamalıdır. Uçuş planında öngörülen rotanın kullanılması, ICAO'nun yayınlamış olduğu 4444 numaralı dokümanın Ek-2 maddesinde yer alan kurala göre denetlenmelidir [10]. Bu rotanın kullanılması ve kurallara uygun olarak uygulanması, uçuşun yapılmasından doğan risklerin bertaraf edilmesinde önemli bir öneme sahiptir.

Uçuş planlaması için kullanılan uçuş programları, uçuş planlamasının bir bölümüdür. Uçuş planlama programları, planlanan rotanın ve filodaki hava araçlarının sayısının belirlenmesinde de kullanılabilir. Uçuş planlama programlarının önemli görevlerinden bir diğeri de uçuşun

yapılacağı rotadaki her bir fiziksel ve teknik özellikleri göz önüne alarak en iyi uçuş planını ortaya çıkarıp, en optimize rotanın oluşturulmasını sağlamaktır.

Özetlenecek olursa uçuş planlaması, filodaki hava araçlarının sayısı, rotası, meteorolojik koşulları, uçuş süresi ve uçuş konforu gibi uçuşun fiziksel ve teknik özellikleri göz önünde bulundurarak en verimli halde bir uçuşun gerçekleştirilmesini kapsamaktadır.

Uçuş rotası oluşturulurken kullanılacak olan birçok farklı hesaplama yöntemiyle uçuş planlaması yapılmaktadır. Buna göre;

- Uçuşun hangi rota ile yapılması gerekiyorsa, bu rotanın oluşturulması amacıyla kullanılacak özellikler belirlenir.
- Her bir uçuş rotası için gereken özellikler belirlenir.
- İç hat uçuşları için gerekli özellikler belirlenir.
- Dış hat uçuşları için gerekli özellikler belirlenir.
- Her bir durum ve şart (meteorolojik şartlar, notamlar, güvenlik raporları, uluslararası kısıtlar vb.) için uçuşların hangi rota ile yapılması gerektiği belirlenir.

Bir hava aracı ile yapılması planlanan uçuşa dair uçuş planı vakit, uçuş yönü, yükseklik, uçuş şekli, rota durumu, uçuş yapılacak yerler, uçuşun başlamasından itibaren kesinti olup olmayacağı, uçuşun başladığı anda karşı tarafa bildirim yapılacak yerler gibi hususları içermelidir. Planın amacı, uçuşun başlangıç ve bitiş noktalarında bazı kurallara uyulmasını sağlamaktır.

Türkiye hava sahası içinde herhangi bir uçuş planı olmadan bir uçuşun yapılması yasaklanmıştır. Havacılık sektörü global bir sektör olması münasebetiyle sektörde uygulanan tüm kurallar da dünya geneli standartlardadır. Bu nedenle tüm dünyada uçuş planı olmayan, ister askeri ister sivil fark etmeksizin hiçbir uçuşun icrasına müsaade edilmez. Uçuş planı hazırlanıp ilgili otoritelere sunulup onay verilmeden uçuşlar gerçekleştirilemez.

Türkiye hava sahası içinde uçuşların planlanmasında uçuş planlarına ilişkin usul ve esaslar, Hava Trafik Yönetmeliğinde yer almaktadır. Türkiye’de bir uçuş planı oluşturmak için gerekenler ilgili yönetmelikte şu şekilde belirtilmiştir; bir hava aracının gerçekleştireceği uçuşa dair uçuş tipi, uçak tipi, kuyruk türbülans kategorisi, tescil kodu, işletici kodu, uçuş numarası, uçakta bulunan haberleşme cihazları, kalkış meydanı, varış meydanı, tahmini takoz çekme (off-block) saati, kalkış saati, uçuş hızı, uçuş seviyesi, tahmini varış saati, rotası, alternatif meydanları, uçaktaki toplam yolcu ve mürettebat sayısı, acil durum kodu, uçuş tarihi, planlanan uçuş süresi, uçak gövdesinin rengi veya renkleri, uçakta bulunan kaza-kırım ekipmanları ve sorumlu kaptanın ismi gibi özel bilgileri içermelidir ve ilgili hava trafik yönetim birimlerine sunulmalıdır [11].

ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü) standartlarına göre boş bir uçuş planı örneği Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

FLIGHT PLAN - UÇUŞ PLANI									
PRIORITY ÖNCELİK DERECESESİ <<≡ FF →		ADDRESSEE(S) ADRES(LER) 							
FILLING TIME / HAZIRLANIŞ ZAMANI 		ORIGINATOR / ORJİN <<≡							
SPECIFIC IDENTIFICATION OF ADDRESSEE(S) AND/OR ORIGINATOR / GÖNDERİLEN(LER) VE/VEYA GÖNDERİLENİN İŞARETİ									
3. MESSAGE TYPE MESAJ TİPİ <<≡ (FPL		7. AIRCRAFT IDENTIFICATION UÇAK TANITMA İŞARETİ 				8. FLIGHT RULES UÇUŞ KURALLARI 		TYPE OF FLIGHT UÇUŞ TİPİ <<≡	
9. NUMBER NUMARA 		TYPE OF AIRCRAFT UÇAK TİPİ 		WAKE TURBULANCE CAT. TÜRBÜLANS KATEGORİSİ 		10. EQUIPMENT TEÇHİZAT <<≡			
13. DEPARTURE AERODROME KALKIŞ MEYDANI 		TIME ZAMAN 		<<≡					
15. CRUISING SPEED / UÇUŞ HIZI 		LEVEL / SEVİYE 		ROUTE / YOL 					
16. DESTINATION AERODROME GİDİŞ MEYDANI 		TOTAL EET TOPLAM UÇUŞ SÜRESİ HR MIN 		ALTN AERODROME YEDEK MEYDAN 		2 ND ALTN AERODROME 2. YEDEK MEYDAN 			
18. OTHER INFORMATION / DİĞER BİLGİLER 									
) <<≡									
SUPPLEMENTARY INFORMATION (NOT TO BE TRANSMITTED IN FPL MESSAGES) EK BİLGİLER (BU KISIM FPL MESAJLARINDA VERİLMEYECEKTİR)									
19. ENDURANCE YAKIT MİKTARI SÜRESİ E /		PERSONS ON BOARD UÇAKTAKİ KİŞİ SAYISI P /		EMERGENCY RADIO UHF VHF ELT					
SURVIVAL EQUIPMENT / KURTARMA TEÇHİZATI S /		JACKETS / CAN YELEKLERİ J /		LIGHT FLUORES UHF VHF					
NUMBER NUMARA D /		CAPACITY KAPASİTE 		COVER KILIFI C /		COLOUR RENGİ <<≡			
AIRCRAFT COLOUR AND MARKINGS / UÇAĞIN RENGİ VE İŞARETİ A /									
REMARKS / NOTLAR N / <<≡									
PILOT IN-COMMAND / KAPTAN PİLOT C /) <<≡									
FILED BY / NAME OF PILOT OR REPRESENTATIVE DOLDURAN / PİLOT YA DA TEMSİLCİNİN İSMİ 					FOR CIVIL VFR FLIGHTS / SADECE SİVİL VFR UÇUŞLAR İÇİN ☐ NOTAM CHECKED / NOTAM BİLGİSİ ALINDI ☐ METEOROLOGY CHECKED / METEOROLOJİ BİLGİSİ ALINDI				
RESERVED FOR ADDITIONAL REQUIREMENTS İLAVE İSTEKLER İÇİN AYRILMIŞTIR 									

F NO 2010

Şekil 2.1. ICAO (Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü) standartlarına göre boş bir uçuş planı örneği [12]

Şekil 2.1’de verilen uçuş planı ATC birimlerine SITA (Uluslararası Havacılık Telekomünikasyonları Birliği) altyapısı kullanılarak gönderilirken Şekil 2.2’de gösterilen mesaj formatına göre hazırlanmalıdır.

```
START OF ICAO FLIGHT PLAN

(FPL-TWI419-IN
-B734/M-SDIPRWY/S
-LTAI0155
-N0432F320 EKSEN UA16 LEMDA/N0428F340 UA16 VADEN UN618 SUBES UL851
LNZ T161 GIMAX/N0429F240 T161 PSA PSA25N
-EDDF0337 EDDL EDDK
-EET/LTBB0024 LBSR0059 LRBB0121 LHCC0155 LOVV0224 EDUU0242
REG/TCTLE SEL/KSCF OPR/TWI RVR/200 DOF/120309
-E/0449 P/TBN R/VE S/MJ J/L
A/WHITE/GREY/TURQU
C/ERKAN TANYILDIZI)

END OF ICAO FLIGHT PLAN
```

Şekil 2.2. Mesaj olarak uçuş planı örneği [13]

Uçuş planının sunulmasının amacı; hava trafik kontrol hizmetlerinden olan, tavsiye hizmetini sağlamak, uçuş bilgi, ikaz, arama ve kurtarma hizmetlerini kolaylaştırmak ve ulusal hava savunmasına yardımcı olmaktır [9].

Uçuş planları, belirli bir hava sahasında planlanan diğer uçuş planları ile iç içe olarak işletilir. Bir uçuş planının işleyişi, diğer benzer uçuş planlarını etkileyecektir. Avrupa hava sahası içerisinde olan Ülkemizde de uçuş planlarından sorumlu birim EUROCONTROL tarafından oluşturulan Ağ Yöneticisi Harekâtlar Merkezi (NMOC: Network Manager Operations Center)’dir. EUROCONTROL bünyesinde faaliyet gösteren bu birim uçuş gerçekleştirmeyi planlayan tüm uçak işleticilerinden gelen tüm uçuş planlarını değerlendirerek, sunulan hava trafik hizmetinin daha akıcı, emniyetli ve düzenli bir şekilde karşılanabilmesi için gerekli kontrolleri yapmaktadır. Bu kontroller kapsamında belirlenen hava sahası ve kapasitesine uygun olarak gelen uçuş planlarını kabul edebilir, reddedebilir veya belirli değişiklikler isteyerek yeniden düzenlenmesini talep edebilir.

Ağ Yönetimi Harekât Merkezi (NMOC: Network Manager Operations Center) tüm Avrupa hava sahası içerisindeki uçuş planlarını takip edebilmek ve koordinasyonunu sağlayabilmek için Entegre Uçuş Planı İşleme Sistemi (IFPS: Integrated Initial Flight Plan Processing System)'ni kullanmaktadır. Bu sisteme tüm uçak işleticileri veya ilgili hava trafik üniteleri tarafından bütün uçuş planları mesaj olarak gönderilir. Uçuş planları planlanan kalkış saatinden en az 3 saat öncesine kadar Entegre Uçuş Planı İşleme Sistemi'ne (IFPS) mesaj olarak gönderilmelidir [14]. Gönderilen uçuş planlarında en önemli husus uçuşun gerçekleştirileceği rota yani yol bilgisidir. Bu bilgi için kalkış meydanından varış meydanına kadar hava aracının izleyeceği yol üzerindeki bütün noktaların uçuş planında belirtilmesi gerekmektedir.

2.1. Sabit Rotalı Hava Sahalarında Rota Planlaması

Havacılıkta uçuş için gerekli olan genel güzergâh planları içerisinde yer alan sabit rotalı hava sahaları, sisteme girilen uçuş planında belirtilmiş yol noktaları ve bu noktalar arasındaki sabit yapıyı ifade etmektedir. Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcısı (ANSP: Air Navigation Service Provider) aracılığıyla belirtilmiş olan yol noktaları ve uçuş için gerekli güzergâha ait tüm bilgiler Havacılık Bilgi Yayın'ında (AIP: Aviation Information Public) yayınlanır [15].

Havacılık Bilgi Yayın'ındaki (AIP) sabit rota ile belirlenmiş olan bu noktaları Merkezi Hava Sahası ve Kapasite Veri Bankası'na (CACD: Central Airspace and Capacity Database) bildirmektedirler. Havayolu şirketleri sabit rotalı hava sahalarında güzergâh planlamalarını uygulamadan önce belirlemiş oldukları yol noktalarını ve farklı hava yolları arasında tercihlerini yaparak gerçekleştirecekleri uçuş planlarını oluşturabilmektedir. Merkezi Hava Sahası ve Kapasite Veri Bankası'nda (CACD) yer alan yapı tümüyle Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcısı (ANSP) aracılığı ile meydana getirilen yol noktaları ve havayollarının durumuna bağlıdır. Sabit rotalı hava sahası çerçevesinde Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcısı (ANSP) tarafından belirtilmemiş ve Havacılık Bilgi Yayın'ındaki (AIP) güzergâh koordinatları içerisinde yer almayan planlama için herhangi bir şekilde rota planlaması yapılamaz. Ağ Yönetimi Harekât Merkezi (NMOC), Entegre Uçuş Planı İşleme Sistemi (IFPS) üzerinden sağlanmış olunan bütün uçuşlara ilişkin planlarını kabul etmeden önce detaylı bir şekilde kontroller sağlamaktadır. Ayrıca uçuş planlarının doğruluğu ve yine uçuş planlarında belirtilmiş olan yol noktalarının Merkezi Hava Sahası ve Kapasite Veri Bankası (CACD) sisteminde olup olmadığı kontrol edilmektedir. Böylece planlanmış olan rotanın kullanıma uygun olup olmadığı da kontrol edilmiş olur. Bu kontrollerden sonra Entegre Uçuş Planı İşleme Sistemi'ne (IFPS) dâhil olan bütün uçuşlar için dört boyutlu olmak kaydıyla yörünge hesaplamaları gerçekleştirilir. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda planlanan uçuşların mevcutta yer alan hava sahasının doluluk oranı altında uçuşun sağlanıp sağlanamayacağı belirlenmektedir. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda uçuş taleplerinin mevcutta yer alan kapasiteler ile sağlanabileceği anlaşılır ise talepte bulunulan uçuşların uçuş planları kabul edilmektedir. Fakat

yapılan kontroller neticesinde kapasite aşımı söz konusu ise uçuş planları kabul edilmemektedir. Çünkü havacılık sektöründe gittikçe artan talebi karşılayamama ve havacılık faaliyetlerinin artması nedeniyle bazı uçuş planlarının istenildiği gibi gerçekleşmemesine neden olmaktadır. Havaalanlarında oluşabilecek değişiklikler veya hava sahalarındaki yoğunluklar nedeniyle bazı gecikmeler meydana gelmektedir. Tüm bunların yanı sıra hava şartları da önemli bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Ağ Yönetimi Harekât Merkezi (NMOC) bunun gibi olumsuz durumları göz önünde bulundurmak kaydıyla uçuş planlarını analiz ederek ve gerekli gördüğü takdirde güncellemektedir. Bu çerçevede planlanmış olan uçuşun tahmini olarak takoz çekme (Off-Block) zamanından 12 saat öncesine kadar yarımşar saatlik periyotlarda Ağ Yönetimi Harekât Merkezi (NMOC) tarafından uçuşa ilişkin planın tekraren güncel değerler kapsamında kontrolleri sağlanmaktadır. Gerekli görür ise de ilgili güncellemeleri isteyebilir ve uçuşa ilişkin planı değiştirebilir. Tüm bu işlemler sağlanırken, uçuş öncesindeki hazırlık evresine bakılacak olursa, uçuş planının en az 25 defa kontrolü sağlanmış olmaktadır. Bütün bu kontrollerinden sonra tahmini takoz çekme saatinin (EOBT: Estimati ed Off-Block Time) gelmesiyle de planlanmış olan uçuş operasyonel anlamda başlamış olur [15].

2.2. Serbest Rotalı Hava Sahalarında Rota Planlaması

Serbest Rotalı Hava Sahası (FRA: Free Route Airspace), hava araçlarının otoritelerce belirlenmiş bir giriş noktası ile yine otoritelerce belirlemiş bir çıkış noktası arasında istedikleri gibi bir rota planlayabileceği bir hava sahasıdır [15]. Belirlenmiş olan bu hava sahası içerisinde gerçekleştirilecek uçuşlar ilgili bulundukları hava sahasının hava trafik kontrolörünün sorumluluğunda gerçekleştirilmektedir. Serbest Rotalı Hava Sahası içinde gerçekleştirilecek olan uçuş planlamaları bazı farklılıkları bünyesinde barındırmaktadır.

Söz konusu farklılıkların açıklanabilmesi amacıyla belirli bazı kavramlara ilişkin tanımlamalar yapılmalıdır. Tanımlaması yapılacak olan kavramlardan birisi de Serbest Rotalı Hava Sahası Bölgesidir (FRAZ: Free Route Airspace Zone). Bu bölge birçok hava trafik kontrol ünitesinin sorumluluk bölgesinde olabilir ya da birden fazla Serbest Rotalı Hava Sahası'nın (FRA) birleştirilmesi ile meydana gelebilir. Birleşim ile meydana gelen oluşum, Serbest Rotalı Hava Sahası Bölgesi'ne (FRAZ) ait uçuş bölgesinin sınırlarından bağımsız bir uçuş bölgesi haline getirebilir. Sadece aynı ülke hava sahasında değil, başka ülkelerde de bulunan uçuş bölgelerinin bir araya getirilmesiyle de Serbest Rotalı Hava Sahası Bölgesi (FRAZ) oluşabilmektedir. Açıklanmış olan bu alanın Entegre Uçuş Planı İşleme Sistemi'ne (IFPS) dâhil olabilmesi amacıyla bu alana ait açıklamaların Merkezi Hava Sahası ve Kapasite Veri Bankası (CACD) içerisinde tanımlanmış olması gerekmektedir. Serbest Rotalı Hava sahalarını birbirlerinden ayıran özelliklerden biri mevcut hava trafik yol güzergâhında birbirlerinin kontrolü alanına girmeyerek uçuşun bağımsız gerçekleştirilmesidir. Diğerisi ise ve Merkezi Hava Sahası ve Kapasite Veri Bankası (CACD)

sistemine iki ayrı model ile tanımlamasıdır. Birincisi Tam Serbest Rotalı Hava Sahası (FFRA: Full Free Route Airspace) diğeri ise Ara Noktalı Serbest Rotalı Hava Sahası (WFRA: Waypoint Free Route Airspace) 'dır. Hem Tam Serbest Rotalı Hava Sahası (FFRA) için hem de Ara Noktalı Serbest Rotalı Hava Sahası (WFRA) için yer alan ortak özellikler aşağıdaki gibidir [16].

- Uçuşların FRA giriş noktasından FRA çıkış noktasına direkt olarak devam etmesine imkân tanır.
- Uçuşların FRA giriş noktası ile FRA çıkış noktası arasındaki ara noktalara uğrayarak gerçekleşmesine imkân tanır.
- FRA ara noktalarının kullanımı isteğe bağlıdır.
- İstenildiğinde FRA ara noktalarının zorunlu olarak kullanımı sağlanabilir.
- Sabit olarak belirlenmiş Hava Trafik Hizmet Yol Ağı var ise uçuşların serbest rotayı ya da sabit rotaları kullanabilmelerine imkân tanır.

Bu imkânlar çerçevesinde Tam FRA olmak kaydı ile belirlenmiş olan bölgelere ait en önemli farklılıklardan bir tanesi ara noktaların tercihi ve giriş çıkış noktalarındaki ara mesafede direkt uçuş imkânının olmasıdır. Tam FRA alanı olarak belirtilmiş olan bir bölgede kullanıcılar Havacılık Bilgi Yayın'ında (AIP) mevcut olmayan bütünüyle kendilerinin belirlemiş oldukları koordinatlarda yer alan noktayı da ara nokta olarak belirtebilmektedir. Bu durum sistem kullanıcılarına Tam FRA yapısında yer alan bölgeler dâhilinde sonsuz derecede ara nokta belirleyebilme imkânı sunan son derece de esnek bir yapı kazandırmıştır.

Ara Noktalı FRA bölgesinde ise sadece Havacılık Bilgi Yayın'ında (AIP) ilan edilen FRA ara noktaları belirlenebilmektedir. Sistem kullanıcıları Havacılık Bilgi Yayın'ında (AIP) belirtilmemiş olan hiçbir noktayı coğrafi koordinat olarak belirtmek amacıyla ara nokta olarak kullanamaz. Ara Noktalı FRA bölgesinde yer alan diğer zorunluluk hali ise güzergâhların doğrudan kullanım şekli olarak karşımıza çıkmaktadır. Ara noktalı FRA bölgelerinde yalnızca Havacılık Bilgi Yayın'ında (AIP) belirtilmiş olan noktalar arasında doğrudan uçuşlar mümkün olmaktadır. Ara noktalı FRA bölgeleri için doğrudan uçuşun gerçekleştirilebileceği FRA giriş noktaları, FRA çıkış noktaları ve sonuncusu olan ara noktalarının tamamı Havacılık Bilgi Yayın'ında (AIP) açık bir şekilde belirtilmektedir. Yine Havacılık Bilgi Yayın'ında (AIP) açıkça belirtilen bu noktalar haricinde direkt olarak uçuşlara izin verilememektedir.

Serbest rotalı hava sahalarındaki güzergâhların planlanmasındaki avantajlardan en önemlisi esnek rota kullanımına imkânın veriyor olmasıdır. Havayolu şirketleri serbest rotalı hava sahalarında akışın sağlanacağı girişin ve çıkışın yer almış olduğu noktalar arasında belirtilen kurallar dâhilinde mevcut hava trafik kontrol yol ağında serbestçe istemiş oldukları gibi rotayı tayin edebilirler.

2.3. Karma Hava Sahalarında Rota Planlaması

Havacılıkta uçuş sistemlerinin bir bütünlük dâhilinde ve planlı bir şekilde çalışması arzu edilmiş olsa da gerçekleşen uçuşlar birçok hava sahası üzerinden farklı yol ve güzergâhlar ile gerçekleştirilmektedir. Bu durum karma yapıyı ve değişik birçok uygulamayı da barındırmaktadır. Uçuşlar çoğunlukla sadece bir ülkeden diğer ülkeye sadece bir ülkenin hava sahasını kullanarak değil, birçok ülke hava sahalarına girerek gerçekleşmektedir.

Uçuş güzergâhı kapsamında bakılacak olunursa her bir hava sahası serbest rota yapısına ya da sabit rota yapısına sahiptir. Bu olay ise uçuş öncesi gerçekleştirilecek olan planlamalarda da farklılıkları ortaya çıkarmaktadır. Hava sahalarının sabit oldukları bölgelerde uçuşa ilişkin planların, kesinlikle hava seyrüsefer sağlayıcısınca yayınlanmış olan ve ayrıca Havacılık Bilgi Yayın'ında (AIP) belirtilmiş olan hava trafik kontrol yol ağına mutlak suretle uyması gerekmektedir. Fakat sabit rotalı değil de hava sahalarının serbest rotalı olduğu bölgelerde belirtilmiş olunan yerlerde rota planlamaları daha esnek bırakılmıştır.

2.4. Rotaların Tespitinde Coğrafi Koordinatlar ve Hesap Yüzeyinin Önemi

Rota kelimesini uçuş bölgesi açısından değerlendirecek olursak; farklı iki havaalanı arasında uçuş gerçekleştiren hava aracının izlemiş olduğu yol şeklinde ifade edebiliriz. Havacılık sektöründe belirlenmiş olan koordinatlar WGS84 referans elipsoidi temel alınmak kaydıyla coğrafi koordinatlar şeklinde belirtilmektedir.

Uçuşlar içerisinde bazıları ticari bazıları gezi amaçlı veya askeri uçaklar şeklinde görülmektedir. Ticari uçuşlar genellikle belirli bir havaalanından diğerlerine seyahat etmeyi amaçlamaktadırlar. Bununla birlikte özel uçaklar, askeri uçaklar ve gezi amaçlı uçaklar belirli bir alanda uçuşlarını gerçekleştirmek için havalanırlar ve daha sonrasında kalkış yapmış oldukları havaalanlarına tekrar dönüş yapabilirler. Bu maksatla havayolu bir ara noktada başlamakla beraber diğer bir başka noktada bitebilmektedir. Bu ara noktalar birden fazlaca da olabilir, bir ara noktayı kesebilir veya ara nokta ile birleşebilirler. Böylece bir hava aracı belirli noktalar yardımı ile hava yolları arasında geçişler yapabilirler. Havaalanları arasındaki belirli olan bütün güzergâhlar içerisindeki noktalar çoğu zaman birkaç defa kullanılmış olabilmektedir. Rota içerisinde iki ara nokta arasında müsait bir güzergâh bulunmadığı zaman veya bazı havayollarının kullanılması karışıklığa neden olabilecek ise hava trafik kontrolü belirli bir hava yolu güzergâhını kullandırtmadan doğrudan rotaya (DR: Direct Route) izin verebilmektedir [17].

Hava trafiğine ilişkin uçuş planlamasında kullanılan 3 ayrı uçuş rota türü bulunmaktadır [17].

- **Havayolu:** Havayolunu daha öncesinde belirlenmiş olan yollar boyunca gerçekleşen uçuş yolları olarak ifade edebiliriz. Havayolları hava taşıtları için birer otoyol gibi düşünülebilir.

Havayolları üzerinde belirli kurallar vardır; hava hızı, irtifa ve havayoluna giriş-çıkış usulleri bunlardan bir kaçıdır. Birçok havayolu yaklaşık 15 km genişliğindedir. Havayollarındaki uçuş seviyeleri, bir hava aracının altında ve üstünde en az 1000 ft düzey mesafe olmak şartı ile diğer hava araçlarından ayrılmaları sağlamaktadır.

- **Navaid:** Seyrüsefer esnasında uçuşa yardımcı olmak için elektronik aygıt veya sistem olarak tanımlanabilir.

- **Direk Rota:** Bir rota üzerinde uçuşu planlanmış olan hava aracının, başlangıç ve bitiş noktalarından birinin veya ikisinin bir yardımcı cihaz eşliğinde olmadığı ve hava trafik kontrolünün müsaadesi ve talimatı ile gerçekleştiği durumdur.

2.5. Uçuş Planı Tipleri

Uçuş planları münferit uçuş planları ve sürekli uçuş planları olmak üzere iki başlık altında incelenir. Münferit uçuş planı uçuşun devamının olup olmadığı dikkate alınmaksızın tek bacak olarak düzenlenir. Sürekli uçuş planı ise tek bir bacak olarak uçuşun başlangıcında veya ara iniş noktalarında düzenlenebilir. Münferit uçuş planının düzenlenmesi, uçuş planlama sisteminin işleyişi açısından sürekli uçuş planının düzenlendiği her bir nokta için daha verimli olmaktadır. Yani sürekli uçuş planının işleyişi münferit uçuş planının işleyişi ile olanaklıdır.

2.5.1. Münferit Uçuş Planı

Münferit uçuş planları (FPL: Filed Flight Plan) planlamanın temelidir. Kalkış öncesi yapılan ön hazırlıklar arasında en önemli ve en temel olanlardan biri de Münferit Uçuş Planının hazırlanmasıdır. Münferit uçuş bir uçağın katılımıyla gerçekleştirileceği gibi, bir uçuşun her bir ara noktası da münferit uçuş olarak sayılır. Münferit her uçuş için ayrı birer uçuş planı hazırlanmalıdır [11].

Bu tür uçuşlar için genel bir uçuş planı doldurulmaz. Her bir uçuşun gerçekleşmesi ile oluşan uçuşlar münferit uçuş sayılır. Günlük uçuş planında her bir uçuşun kendine özgü plana sahip olması gereklidir. Yani uçuş planının hazırlandığı günlerde yapılacak uçuşların uçuşa katılacak uçak, güzergâh, tescil numarası, sefer sayısı, uçuş saatleri ve uçuş bilgileri, eğer eğitim uçuşu olarak icra edilecekse uçuş güzergâhına göre uçuş eğitimini yapmaya yetecek kadar uçuş saatini karşılayacak ekip sayısının bildirilmesi gerekir.

Ayrıca Münferit Uçuş Planı;

- a) İlgili uçakların hangi denetim kuruluşunca onaylanmış olduğu,
- b) İlgili uçakların hangi denetim kuruluşunca geçerliliği belirlenen sürede tekrar onaylandığı,

- c) İlgili uçakları kullanılacak uçuş eğitim kuruluğu ve uçuş eğitimi yapacak uçuş eğitimi kuruluğu personelinin isimleri,
- d) İlgili uçaklarla planlanan uçuş eğitim programlarının hangi kuruluşlarca onaylandığı,
- e) İlgili uçakları kullanılacak uçuş eğitim kuruluşuna ait kuruluş sertifikası ve uçuş eğitim hizmeti alanına sahip olduğunu gösteren sertifika numarası veya sertifika tarihi ve uçuş eğitim hizmeti alanına sahip olduğunu gösteren sertifika tarihi,
- f) İlgili uçaklarla planlanan tüm uçuşların hangi uçuş türlerine dâhil edildiğı ve hangi tür uçuşların hangi sürelerde yapılacağı, gibi belirtilen bilgileri içermelidir [18].

Ülkelerdeki havacılık otoriteleri tarafından istenen ve münferit uçuş planında da belirtilen bu bilgiler sayesinde akıcı, emniyetli ve yönetimi daha kolay bir hava trafiğinin sağlanması amaçlanmaktadır. Örneğın; uçuğu gerçekleştirecek olan uçak veya uçakların, uçuğu elverişlilik belgesinin hangi denetim kuruluşunca onaylandığının bildirilmesi gerekmektedir. İstenen bilgilerle de ülkelerdeki havacılık otoriteleri özellikle başka ülkelere tescilli hava araçlarının denetimi daha kolay sağlanabilir ve gerekli emniyet tedbirleri alınabilir. Çünkü emniyet ve güvenilirlik açısından ülke havacılık otoriteleri her türlü önlemi almakla yükümlüdürler.

2.5.2. Sürekli Uçuş Planı

Aynı uçak işleticisi tarafından planlanan en az 10 Aletli Uçuş Kuralları (IFR: Instrument Flight Rules) ile gerçekleştirilecek uçuşlar için Sürekli Uçuş Planı (RPL: Repetitive Flight Plan) doldurulabilir. Aynı uçuş amacı ve düzenli olarak yapılması planlanan bu uçuşları yerine getirmek için ilk uçuştan en az iki hafta öncesinden Sürekli Uçuş Planı sunulmalıdır [11].

Planlanan uçuş sayısının en az %75'i karşılıklı olarak uçuş planında sunulur. Uçuş programının ilgili bölümünde, uçuş planına dâhil edilecek uçuşların sayısı, saatleri, güzergâhları, uçuğu gerçekleştirecek olan uçakların tescil numaraları ve uçuşun yapılacağı günler belirtilir. Uçuş programında yer alacak uçuşların dağılımı, uçuşlara katılacak olan filodaki uçak seçimi, uçuş için gerekli olan teknik ve personele ilişkin bilgiler de uçuş planının ilgili bölümünde belirtilir. Eğer sürekli uçuş planı hazırlanmış ve ilgili ATC ünitelerine bildirilmiş bir uçuğu gerçekleştirmesi planlanan uçağın, her hangi bir nedenle değıştirilmesi gerekiyor ise uçuş operasyonu öncesinde ilk uçak uçuş planına dâhil edilmez ve ilgili değışiklik ATC birimlerine bildirilir.

Sürekli Uçuş Planının bir nüshası acil durumların oluşması durumunda aşağıdaki şartları ve bilgileri içerecek şekilde uygun yerlere ve yetkili kişilere gönderilmelidir [9]:

- a) Uçuş operatörü
- b) Sahte bir uçuş planının uygulanması durumunda
- c) Bu uçuş planı için kullanılacak araçların bozulması, bakımsızlığı veya arızalanması durumların oluşması durumunda

d) Bu uçuş planı için kullanılacak araçlara ilişkin izinlerin iptal edilmesi durumunda, izin sahiplerine ve izin saatlerinin ilişikte olduğu yerlere.

Sürekli uçuş planlarının geçerli olabilmesi için ilgili uçuş planının, ilgili otorite tarafından onaylanmış olması gerekir.

2.6. Uçuş Planı Sunma Prosedürleri

Uçuşun amacı fark etmeksizin, bir uçuş planında yer alması gereken tüm madde ve bilgiler olmalıdır. Aletli Uçuş Kuralları (IFR: Instrument Flight Rules) veya Görerek Uçuş Kuralları (VFR: Visual Flight Rules) ile gerçekleştirilen her uçuş için hazırlanan uçuş planları, ICAO DOC 4444, Ek-2’de yer alan tüm madde ve bilgilerini kapsayacak şekilde, sadece Gerçek Hava Sürati (True Airspeed) ’nin hız birimi “Knot” olacak şekilde doldurulmalıdır. Türk Hava Sahasını kullanan, aynı hava sahası içinde uçuşunu bitiren IFR ve VFR kuralları uygulayarak uçuşunu gerçekleştiren hava araçlarına dair Bildirilmiş Uçuş Planı (FPL: Filed Flight Plan) gönderilmelidir. Bildirilen uçuş planlarının Kalkış (DEP: Departure) ve Varış (ARR: Arrival) mesajlarına ilgili adreslerden başka, Havacılık Sabit Telekomünikasyon Ağı’ndaki (AFTN: Aeronautical Fixed Telecommunication Network) adresi olan “LTACYWYX” adresi de ilave edilmelidir. R20, R32, R55, G80, G802, W81, W89, W91 ve UL606 havayollarını kullanarak İstanbul Uçuş Bilgi Bölgesi’nden (FIR: Flight Information Region) güneye ve daha doğuya karşılıklı olarak uçuş düzenleyen uçakların uçuş planlarına Menderes Yaklaşma Kontrol Ofisi’nin Havacılık Sabit Telekomünikasyon Ağı (AFTN: Aeronautical Fixed Telecommunication Network) adresi olan “LTBJZAZX” ve “LTBJZPZX” adresleri de dâhil edilmelidir [9].

Uçtan uca havayolu olan G18/UG18, L609/UL609, R19/UR19 ve L995/UL995 yollarının büyük bir bölümü Türkiye hava sahası içerisinde. Uçuş güvenliği, hava sahasında hava araçlarının tanımlanabilmesi ve terörist eylemlerin engellenebilmesi için uçuş planları bildirilirken bir takım önlemler alınmıştır [9]. Bu önlemler kapsamında, G18/UG18, L609/UL609’un Rodos üzerinde kalan bölümü olan LARKI (3723.9N-2650.3E) ve havayolları R19/UR19, L995/UL995’in Rodos üzerinde kalan bölümü olan KOPAR (3650.9N-2642.0E) üzerinden uçan hava araçlarının uçuş planlarının İstanbul Uçuş Bilgi Bölgesi’nin AFTN adresi olan “LTBBOVFL” ve Esenboğa Yaklaşma Kontrol Ofisi’nin AFTN adresi olan “LTACYWYX” adreslerine de göndermeleri gerekmektedir [10].

Esenboğa Yaklaşma Kontrol Ofisi AFTN adresi, uçuş planı üzerinde yer alan tüm bilgilerin doğruluğunun sağlanması için kullanılır. Bir uçuş planı hazırlanırken yapılan çalışmalar sırasında, iniş veya kalkış için tahsis edilecek uçakların bildirilmelerini veya bu uçaklarda yer alan bilgilerin değiştirilmesini öngören mesajların gönderilmesi için de yine bu adres kullanılır. Bir uçuş planı üzerinde yer alan bilgilerin değiştirilmesinden önce, eğer bir değişiklik yapılacaksa; uçuş planının

üzerinde yer alan bilgilerin değiştirilecek bölümün ilgili havayolu şirketinin de değiştirildiğini bildiren bir sıra numarasının yer alması gerekmektedir.

ICAO yayınlamış olduğu ‘‘Aerodrome of Reference’’ bölümünde uçuş planı için; uçakların hangi yönde, hangi yönlerde ve hangi yönde ve hızda dönmeleri gerektiği belirtilmektedir. Bu bölümünde, uçuşun başlamasını öngören tarih ve saat kısmına uçuşun başlamasını öngören tarih ve saat gibi mesajların gönderilmesi gerekmektedir. Uçuş planı üzerinde yer alan tüm bilgilerin doğruluğunun sağlanması için ve uçuş planının nereye gönderilmesi gerektiği hususunda ilgili havayolu şirketinin görevlilerinin bilgilendirilmesi için uçuş planının ilgili havayolu şirketinin Güvenlik Danışma Ofisi (Security Advisory Office) adreslerine de gönderilmesi gerekmektedir. Bu birimin adresleri uçuş planı üzerinde de yer alır. Yine uçuş planının bu bölümünde uçuşun başlamasını öngören tarih ve saat ile uçuşun bitmesini öngören tarih ve saat arasında geçen süre arasındaki fark AFTN adresine gönderilen bilgilerde yer alır.

Uçuş planının hazırlanması ve uygun şekilde düzenlenmesi için uçuş planını hazırlayanın uçuşa tahsis edilen uçağın uçuş saatinden en az 3 saat önce hava trafik kontrol birimine uçuş planını sunması gerekmektedir. Uçuş planı sunulurken; uçuş yapılacak meydanların bilgisi, yerlerinin konumu, uçuş tarihi ve saati (uçuş süresi muhakkak belirtilmeli), uçuşa ilişkin ikazlar, ATS kayıtları, hava aracının tanıtımı, hava araçlarının seyahat planları, hava araçlarının seyahat planına göre uygulandığı prosedür, önlemler ve gerekli belgeler, uçuş için kullanılacak arama ve kurtarma merkezleri, uçuş planının gönderileceği yer gibi bilgilerin yazılı olarak belirtilmesi gerekmektedir.

Yukarıda belirtilen şartlara ek olarak, tüm devlet hava araçları, tehlikeli madde, silah ve cephan taşıyan veya fotoğraf çekimi için gerekli araç ve gereçler ile donatılmış hava araçları Türkiye AIP (Aeronautical Information Publication)’sinde de belirtildiği gibi transit geçişler için diplomatik müsaade almalıdırlar. Belirtilen şartlara uyulması kesinlikle gereklidir. Bu şartları yerine getirmeyen hava araçlarının Türkiye hava sahasına girişleri engellenmektedir [10].

Bir uçuş planının geçerliliği uçuş planının yazılı veya mesaj olarak sunulup otorite tarafından onaylanmasının ardından uçuş planında belirtilmiş olan uçuş süresinin tamamlanmasına kadardır.

2.7. Uçuş Planının İptali

Eğer, IFR (Instrument Flight Rules) uçuşlara ait bildirilmiş uçuş planlarından biri iptal edilmek isteniyorsa, iptal talebi tercihen doğrudan IFPS (Integrated Initial Flight Plan Processing System) üzerinden bildirilmeli veya ilgili ATS (Air Traffic Service) birimine müracaat edilmelidir. Uçuş planı IFPS (Integrated Initial Flight Plan Processing System)’e gönderilmemiş olan uçuşlara dair uçuş planlarının iptali ise ATS (Air Traffic Service) birimine bildirilerek yapılmalıdır. Belirli bir gün, hafta veya döneme ait Sürekli Uçuş Planlarının iptalleri Tahmini Takoz Çekme Saati’nden (EOBT: Estimati ed Off Block Time) en az 20 saat öncesinden Entegre Uçuş Planı İşleme

Sistemi'ne (IFPS: Integrated Initial Flight Plan Processing System) iletilmiş olmalıdır. İptal talebi mesajlarının içeriği aşağıda belirtilen sıralamada olmalıdır;

- Hava aracı tanıtması
- Kalkış havaalanı ve tahmini kalkış zamanı (EOBT: Estimati ed Off Block Time)
- İniş havaalanı
- Eğer gerekiyse uçuş tarihi (DOF: Day Of Flight), mesajda bildirilen zamanı 24 saat ve üzerinde geçtiğinde ek olarak bildirilmelidir [11].

2.8. Uçuş Plan Formu ve İçeriği

Bu form işlemeye başlandığında, uçuşun başlaması için belirlenmiş bir saat ve zeminden başlayıp uçuşun bitimine kadar geçen süre kontrol edilecektir. Uçuş Plan (FPL: Filed Flight Plan) formu üzerindeki madde numaraları, Hava Trafik Servisi'ne (ATS: Air Traffic Service) gönderilen mesajlardaki "Alan Tip" numarasına benzediğinden birbirini izlemezler. Uçuşun iptal edilmesi durumunda söz konusu uçuşun bitimine kadar geçen süre göz önünde bulundurulmalıdır. Uçuş Plan Formu (FPL: Flight Plan Form) uçuşa ilişkin verilen olası ATS mesajları için planlanan durum yanıtlarını içerir. Ancak, mesajların hangi cihaz veya personel tarafından verileceği veya hangi aşamada verileceği açıklanmalıdır. Bu form, uçuşun başlaması ve bitiminden sonra uçaktan yapılacak herhangi bir ATS mesajı için kullanılmaktadır.

Formda şu bilgiler bulunur; kullanılan cihaz veya personel ile birlikte hava aracının tanımlama kodu ve uçuşun başlaması ve bitimine kadar uçaktan yapılacak ATS mesajlarının hangi ATC biriminin girişinde kullanıldığı [11].

Uçuş Plan Formu aşağıda gösterildiği gibi doldurulmalıdır [11]:

- **Mesaj Tipi:** "FPL (Filed Flight Plan)" tanıtma grubu, uçuş planına bir mesaj tipi olarak girilir. Hali hazırda bu tanıtma Uçuş Plan formuna girilmiştir.
- **Hava Aracı Tanımlaması:** Aşağıdaki hava aracı tanımlamalarından birini, sayı ve harflerden oluşan 7 haneli kodlamayı kesme işareti dâhil başka herhangi bir sembol kullanmaksızın girilmelidir:

ICAO (International Civil Aviation Organization) tarafından hava aracı işleticisine verilen tanıtma kodu ve ilgili uçuş için tahsis edilen uçuş kodu (Örn; TK375, PC2024) ancak telsiz haberleşmesinde yalnızca tanımlayıcı kısmı içermelidir. Ya da havayolu işletmelerine tahsis edilen ICAO (International Civil Aviation Organization) tanıtma koduyla (Örn; THY6ZH, PGT17C) başlamalıdır. İki tanıtma kodunun haricinde hava aracının milliyeti veya tescil işaretini de kullanabilirler (Örn; TCJHP, TCARP, EIKVA, 4XFGY).

Bu tanıtma kodları aşağıdaki şekilde kullanılmalıdır:

- Radyotelefon haberleşmesinde hava aracı tarafından kullanılacak çağrı işareti yalnızca tanımlayıcı kısmı içermeli ya da ilgili hava aracı işleticisi kuruluşa tahsis edilen ICAO (International Civil Aviation Organization) tanıtması koduyla başlamalıdır.

- Radyo teçhizatı olmayan hava araçları için;

Milliyet ve tescil işaretleri için kullanılacak standartlar Annex-7 Bölüm 2’de yer almaktadır.

Radyotelefon çağrı adları kullanımı için gereklilikler Annex-10 2. Cilt 5. Bölümde ICAO (International Civil Aviation Organization)’ya ait tanıtımlar ve hava aracı işleticilerine ait tanıtımlar Doküman 8585’te yer almaktadır.

• **Uçuş Kuralları ve Uçuş Tipi (Bir veya iki karakter):**

Uçuş Kuralları: Pilotun isteğine göre uçuş kurallarının kategorilerini belirlemek için aşağıdaki harflerden biri yazılır;

“I” IFR (Instrument Flight Rules) ise

“V” VFR (Visual Flight Rules) ise

“Y” Önce IFR (Instrument Flight Rules) ise uçuş kurallarında değişiklik yapılması planlanan noktalar uçuş planının 15. maddesinde belirtilir.

“Z” Önce VFR (Visual Flight Rules) ise uçuş kurallarında değişiklik yapılması planlanan noktaları uçuş planının 15. maddesinde belirtilir.

• **Uçuş Tipi:** Uçuş tipini belirtmek için aşağıdaki harflerden biri kullanılır;

“S” Tarifeli Uçuş ise

“N” Tarifesiz Uçuş ise

“G” Genel Havacılıkla ilgili ise

“M” Askeri ise (Gümrük, Polis ve Orman Genel Müdürlüğü uçakları dâhil)

“X” Yukarıda belirtilen kategorilere girmeyen bir uçuş olduğunda (Örneğin: Ambulans, eğitim uçuşu) [11].

3. HARİTA OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ

Optimizasyon, belirli bir sistemin çıktısından alınan sonucu maksimize etmek için ilgili parametreler ile mümkün olan bütün girdiler arasından optimum olanları hesaplayabilme işlemidir. Optimizasyon yöntemleri bir girdi verilerek bir çıktı elde etmeyi hedefleyen tüm iş kollarında kullanılabilir. Bu da optimizasyon tekniklerinin geliştirilmesi için birçok çalışmanın yapılmasını sağlamaktadır [19].

Geleneksel optimizasyon yöntemlerinin belirli alanlarda yetersiz kalması nedeniyle son yıllarda metasezgisel optimizasyon yöntemlerine olan ihtiyacın artmasına sebep olmuştur [20]. Metasezgisel algoritmalar gün geçtikçe daha yaygın hale gelerek çok sayıda problemin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Metasezgisel optimizasyon yöntemlerinin günlük hayatta karşımıza çıkan, her türlü fiziksel ve biyolojik olaylardan esinlenmektedir. Kabul edilebilir derecede sabit sonuçlar veren bu teorilerin matematiksel modellerinin de anlaşılması kolaydır. Metasezgisel optimizasyon yöntemlerinin bir diğer özelliği ise çözüm üretmek için kullanılan algoritmaların yapısı ve parametreleri değişebildiğinden çok esnektir. Kayda değer bir diğer özelliği ise genellikle kısa sürede sonuç elde ediyor olmasından dolayı diğer algoritmaların faydalı taraflarını da alarak doğruluğunu bir kat daha artırmak mümkündür [21].

Metasezgisel algoritmalar genellikle bir hayvan sürüsünün davranışlarını taklit etmeyi hedefleyerek çalışmaktadır. Günümüzde harita optimizasyonunda da en çok kullanılanların arasında genetik algoritma, parçacık sürü, yapay arı kolonisi, karınca kolonisi ve benzeri optimizasyon algoritmaları gelmektedir.

3.1. Genetik Algoritma

Çözümün optimize edilebilmesi için bir gruba ihtiyaç vardır. Algoritma genel olarak gelişime açık olması nedeniyle kişi sayısında belirli bir standart bulunmamaktadır. Bu sayede metasezgisel algoritmaların gelişiminde temel alınan algoritma çoğunlukla genetik algoritmalar olmaktadır.

Genetik algoritmanın çalışma prensibini şöyle özetleyebiliriz;

Biyolojideki kullanım alanı nedeniyle bir popülasyondaki kişi sayısı belirlenir. Genelde 100 ile 300 arasında veya daha büyük olarak tanımlanmasıyla beraber kişiler üzerindeki kromozomlar işlem birimlerini oluşturmaktadır. Her kromozomun en iyisi seçilir. Kromozomların en iyisini seçen fonksiyon uygunluk fonksiyonu olarak adlandırılır. Kromozomlar birbirleriyle eşleştirilerek kopyalama ve değiştirme işlemleri uygulanır. Böylece yeni bir grup elde edilir. Algoritma çalıştığı sürece eski kromozomlar silinerek yeni kromozomlar eklenir. Bu sayede ilk başta seçilen kişi sayısının aynı tutulması sağlanır. Eğer belirlenmiş olan zaman aşılmamış ise sürecin devamlı olarak

döngüsü sağlanacaktır. Zaman aşıldığında elde edilen sonuç algoritmanın en optimum çözümü olacaktır [22].

Belirli bir problemin çözümünde genetik algoritma kullanmanın ilk aşaması, bütün çözümlerin aynı boyutlardaki bitler dizisi şeklinde gösterilmesinden oluşmaktadır. Her bir dizi, problemin olası çözümler uzayındaki rastlantısal bir noktayı ifade eder [23]. Uçuş planlamasının rota çıkarma aşamasında kesin ve net bir yol çıkarılması gerektiğinden çözüm uzayındaki rastlantısal noktalar kullanılamaz. Bu nedenle geliştirilen programda GA kullanılmamıştır.

3.2. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması

1995 yılında Eberhart ve Kennedy tarafından geliştirilen ve kuş veya balık sürülerini taklit ederek sonuca ulaşmaya çalışan stokastik bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu metot bazı yönleriyle genetik algoritmalara benzemesine rağmen, genetik algoritmalarından farklı olarak bir evrim süreci içermemektedir. Popülasyon bireylerden oluşur ve bireyler optimize eden fonksiyonun D boyutlu uzayında hareket ederler [24].

Her birey kendinin ve popülasyonun en iyi konumuna bağlı olarak konumunu ve hızını değiştirir. Algoritmanın her bir adımında her iki değişken için de en iyi değer bulunarak sürekli güncelleme işlemine devam edilir [24].

Parçacık sürü optimizasyon algoritması popülasyon tabanlı çalışan bir optimizasyon metodudur. Uçuş planlamasında ise bir uçuş gerçekleştirecek olan her bir hava aracı için ayrı ayrı planlama ve rota çıkarma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bundan dolayı yöntem olarak başvurulmamıştır.

3.3. Yapay Arı Kolonisi Optimizasyon Algoritması

2006 yılında geliştirilen algoritma, bal arılarının yiyecek arama davranışlarından esinlenerek tasarlanmıştır. Bal arılarının davranışlarının incelenmesi sonucu elde edilen gözlemlere göre arılar işçi ve gözcü olmak üzere iki temel görev ayrılmaktadır. Gözcü arılar yiyecek kaynağının aktarılması için ne kadar işçi arıya ihtiyaç duyulacağı ile ilgilenmektedir. Yiyeceklerin taşınmasından sorumlu olan işçi arılardır. Algoritmaya göre bir yemek kaynağının konumu problemin olası çözümünü ifade etmektedir. Konumdaki yiyecek miktarı ise çözümün optimizasyonunu ifade etmektedir [25].

Karar verme mekanizmasının başında bulunan gözcü arı, işçi arının getirebileceği tüm yiyecek miktarlarını değerlendirerek en uygun olanı seçer. Bu işlem tüm süreç boyunca bir döngü halinde devam ederek sonuçta en optimum çözüme ulaşmayı hedeflemektedir [25,26].

Rota çıkartılması esnasında kalkış ve varış noktalarına ait koordinatlar arasında kullanılacak olan bağlantı hava yolları ve kavşak noktalarına ait koordinatların sayısı güncel olarak

belirlenmektedir. Örneğin; algoritma kalkış noktasına ait enlem ve boylam koordinat bilgisi ile işleme başlamaktadır. Eğer bu iki koordinat bilgisi ile varış noktasına ulaşamaz ise aradaki nokta sayısına ait koordinatları birer arttırarak çözüm aramaya devam etmektedir. Her bir bağlantı noktasına ait koordinatlar için rastgele enlem ve boylam bilgisi üretmektedir [27].

Özellikle İHA2 gibi sabit kanatlı hava araçları sınıfına giren hava araçları, Havacılık otoritelerinin uzun çalışmalar neticesinde belirlemiş olduğu yollar haricinde herhangi bir koordinattan geçerek uçuş gerçekleştiremeyeceği için bu yöntem çalışmada kullanılmamıştır.

3.4. Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması

Algoritma genel yapısı itibari ile eş zamanlı çalışmaya uygundur. Koloni yapısına göre eş zamanlı olarak çalışan birden fazla karınca ve birden fazla düğüm bulunabilmektedir. Karıncalar eş zamanlı olarak farklı düğümlerden hareket ederek geçtikleri tüm yollara feromon adı verilen bir salgı bırakırlar. Bu salgı sayesinde bu yola rastlayan herhangi bir karınca bu yolun daha önceden keşfedildiği bilgisine sahip olmaktadır. Böylece süreç tamamlandığında karıncaların tamamının verileri bir araya geldiğinde anlamlı ve en optimum çözüme ulaşmak mümkün olacaktır. Bu algoritmanın verimli çalışmasındaki temel faktör karınca sayısının artırılması olduğundan dolayı girdi parametrelerinden biri olan koloni birey sayısının artırılması fayda sağlayacaktır [28].

Algoritmadaki feromon salgısını takip etme mantığı karıncaların bazı durumlarda yanlışla ihtimalini artırmaktadır. Örneğin; A ve B noktaları arasındaki en kısa yol her hangi bir nedenle kullanılmadığı durumlarda bu algoritma alternatif olarak ikinci en kısa yolu vermektedir. Böylece karıncalar yoğun olarak bu alternatif yolu kullanırken feromon salgırlar. En kısa yol tekrar kullanılabilir olduğunda karıncalar yine daha uzun olan alternatif yolu kullanabilirler. Çünkü feromon salgısı bu yol üzerinde daha fazla olacaktır [29].

Bu örnekten hareketle uçuş planlamasında meteorolojik şartlar nedeniyle geçici olarak kullanılamayan yolların, çok çabuk değişkenlik gösteren bu durumlarda tekrar kullanılabilir olması tabiidir. Fakat Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması çalışma prensibi gereği bu yolu kullanmayacak ve rota uzunluğunu daha fazla hesaplayacaktır. Daha uzun bir rotanın uçuş maliyetlerini artıracığı göz önüne alındığında Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması bu çalışma için uygun değildir.

3.5. Balina Optimizasyon Algoritması

Suda yaşayan memeli olan balinalar, akciğer solunumları sayesinde ciğerlerindeki havayı kullanarak suda kabarcık çıkartabilme yeteneğine sahiptirler. Bu kabarcıkları avlanmada aktif olarak kullanmaktadırlar. Av sırasında hava kabarcıklarını avlarının etrafını çevreleyecek şekilde

salarak bir araya toplar. Avına yaklaştıkça kabarcık çemberini daraltan balinalar hedef alanını küçültür ve balık süründen en fazla sayıda avlanmayı gerçekleştirir [30].

Optimizasyon problemlerinde en uygun çözüm bilinmediğinden çözüme en yakın daraltılmış bölge veya etrafındaki bir nokta en iyi sonuç olarak kabule edilir. Bu anlamda balinaların avlanma tekniği olarak kullandığı avın etrafını sarma davranışını model olarak temel almaktadır [30].

Optimizasyon yapılırken balinaların avlarını aramak için harcadıkları zaman dilimi araştırma uzayının keşfi içindir. Avlarını bulduklarında saldırı için harcadıkları zaman dilimine ise daha fazla av bulabilecekleri bölgenin sömürülmesi olarak nitelendirilir [31].

Balina Optimizasyon Algoritması çözüm üretirken harcamış olduğu tüm bu süre, havacılık sektörü gibi saniyelerin bile çok önemli olduğu bu çalışmada geliştirilen yazılımda kullanılan A* algoritması ile kıyaslandığında daha fazla olduğundan tercih edilmemiştir.

3.6. Gri Kurt Optimizasyon Algoritması

Avcılık ve toplumsal davranışlarındaki düzen itibarı ile dikkate alınan bozkurtlar, toplumsal hiyerarşik düzenleri dolayısıyla algoritmalara esin kaynağı olmuştur. Bozkurtlar, alfa, beta, delta ve omega olarak sınıflandırılmaktadır. Avlanma esnasında tüm kuralları belirleyen ve grubun önderliğini üstlenen alfa kurtlar tarafından her bir üyesinin bir rolü belirlenmektedir. Grup üyelerinin rolleri çerçevesinde av bir çembere alınarak en başarılı sonuca ulaşmaya çalışılmaktadır [32].

Algoritma, en uygunluk değerine sahip çözümleri hiyerarşik bir sıralamaya koyar. İstenilen sonucun çevresindeki konumlarını devamlı olarak güncelleyerek en optimum çözüme ulaşmaya çalışmaktadır [32].

Gri Kurt optimizasyon algoritması da Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasına benzer bir şekilde popülasyon tabanlı çalışan bir başka optimizasyon metodudur. Daha öncede değinildiği gibi uçuş planlamasında her hava aracı bağımsız olarak düşünülmeli ve her bir uçuş ve hava aracı için ayrı rota hesaplama işlemi yapılmalıdır. Bu dezavantajından dolayı çalışmada optimizasyon yöntemi olarak kullanılmamıştır.

3.7. Greedy Algoritması

Greedy algoritması v eleman sayısına sahip bir kümenin k eleman sayısına sahip bütün alt kümelerini sıraladıktan sonra, sıralanmış olan bu alt kümelerden herhangi bir blok alır. v eleman sayısına sahip kümenin t eleman sayısına sahip başka alt kümelerinden ne kadarının temsil edildiği belirlenerek ilgili blok tasarımı eklenir ve bu işlem ardışık olarak devam eder. v eleman sayısına sahip kümenin m eleman sayısına ait alt kümelerinde karşılaştırılacak eleman kalmayınca algoritma

durdurularak çözüm elde edilir. Greedy algoritmasında küme sıralaması işlemlerinde lexicographic, colex ve gray gibi sıralanışlar kullanılır. Küme elemanlarının sırası da önemlidir [33].

Greedy algoritması, seçim yaptığı her alt küme aşamasında en iyi seçimi yapar. Bu durum algoritmanın bütün çözümü dikkate almadan işlem yaptığı andaki en iyi çözüme ulaştığı anlamına gelir. O alt kümedeki en iyi çözümü dikkate alır. Ancak tüm veri setini dikkate almaz. Bu nedenle açgözlü olarak kabul edilir.

Otoritelerce yayınlanmış dünya üzerindeki bütün pistler, yollar, kavşak noktaları, hava limanları uçuş planlama işleminde bir birinden bağımsız düşünülemez. Kalkış ve varış noktası arasındaki tüm yollar hesaplama yapılırken dikkate alınmak zorundadır. Bu yüzden Greedy Algoritması tek başına rota planlama işleminde kullanılamaz.

3.8. Dijkstra Algoritması

Dijkstra algoritması herhangi iki nokta arasındaki en kısa mesafeyi hesaplayan bir algoritmadır. Bu algoritma Hollandalı matematikçi ve bilgisayar bilimcisi Edsger Wybe Dijkstra tarafından icat edilmiştir. Algoritma, rota çıkarma işlemi başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Dijkstra algoritması temelinde açgözlü bir algoritmadır. Yani dijkstra algoritması bir noktadan diğerine geçerken mevcut durumun içerisinde en iyi çözümünü seçer. İki nokta arasındaki mesafe bilgilerinin mevcut olduğu bir veri setinde, başlangıç noktasından varış noktasına kadar olan minimum kenar uzunluğuna sahip rotayı bulmaya odaklanmıştır [34].

Algoritmanın temel amacı, graf üzerinde en kısa yolu bulmaktır. Graf; verilerin bilgisayar ortamında belirli bir mantıkla aktarılması sonucu elde edilir. Harita optimizasyon yöntemlerinde en çok kullanılan yöntemlerden biri de mevcut verileri graf formatında aktarmaktır. Graflar noktaların birbirleri üzerindeki ilişkilerini göstermesi açısından oldukça tercih edilmektedir [35].

Dijkstra algoritmasında bir başlangıç noktası seçilir. Kalan tüm noktalar sonsuz uzak olarak kabul edilir. Noktalara ulaştıkça mesafeleri güncellenir. Dijkstra her adımda bir noktadan ayrılan komşulara bakar ve daha kısa bir yol bulursa ona en yakın noktaya mesafeyi günceller. Bu sayede veri setindeki tüm noktalar dolaştırılır ve en kısa yol bulunur. Dijkstra Algoritması belirtilen başlangıç noktasından başlayarak grafın tüm köşelerini ziyaret eder. Ardından, incelenmeyen en yakın köşeyi tekrar tekrar inceler ve köşeleri incelenecek köşe kümesine ekler. Başlangıç noktasından hedefe ulaşana kadar dışa doğru genişler. Dijkstra Algoritmasının başlangıç noktasından varış noktasına en kısa rotayı bulma garantisi vardır [36].

Dijkstra algoritmasında hedef nokta yoktur. Bir hedef nokta sorun olarak tanımlanırsa, Dijkstra algoritması tüm düğümlere en kısa yolu bulur ve bunlardan birini seçer. Yani Dijkstra algoritmasını kullanıldığında hedef olsun veya olmasın tüm noktalara olan en kısa mesafe hesaplanır. Bir hedefiniz varsa, o hedefe giden en kısa rota zaten hesaplanmıştır [36].

Dijkstra Algoritması çalışma prensibinde de anlatıldığı gibi veri setindeki tüm noktalar arasındaki en kısa mesafeyi hesaplar. Özellikle büyük veri setleri söz konusu olduğunda işlem süresi uzun sürebilmektedir. Bu dezavantajı nedeniyle bu çalışma için geliştirilen yazılımda tercih edilmemiştir.

3.9. A* Algoritması

Stanford Araştırma Enstitüsü'nde 1968 yılında geliştirilen A* algoritması gerçek zamanlı olarak hesaplama yapabilen ve bilinen en iyi ilk kısa yol algoritmasıdır. Breadth First Search (BFS) sınıfına giren A* algoritması mesafe optimizasyonunda hem sezgisel fonksiyon kullanması hem de Açgözlü algoritma ve Dijkstra algoritmalarının özelliklerini bir arada bulundurması nedeniyle gerçek maliyet ve sezgisel maliyet değerlerini hesaplayabilmekte ve toplamı küçük olan değer üzerinden sonuç vermektedir.

A* algoritmasının yaptığı hesaplamalarda sezgisel fonksiyonun katkısı düşükse, en kısa yolu bulma sonucuna geç ulaşmaktadır. Sezgisel fonksiyon katkısı çok yüksek olduğunda ise A* algoritması çok hızlı hesap yapabilmektedir. Ancak bu sefer de en kısa yolu hesaplamak güçleşmektedir. Kısaca algoritmanın hızlı ve doğru çalışabilmesi için sezgisel tahminin doğruluğu iyi seçilmelidir [37].

Denklem 3.10'da $G(x)$ başlangıç noktasından ilgili noktaya kadarki gerçek uzaklık iken, $H(x)$ ilgili noktadan hedef noktasına kadar olan sezgisel mesafeyi ifade etmektedir.

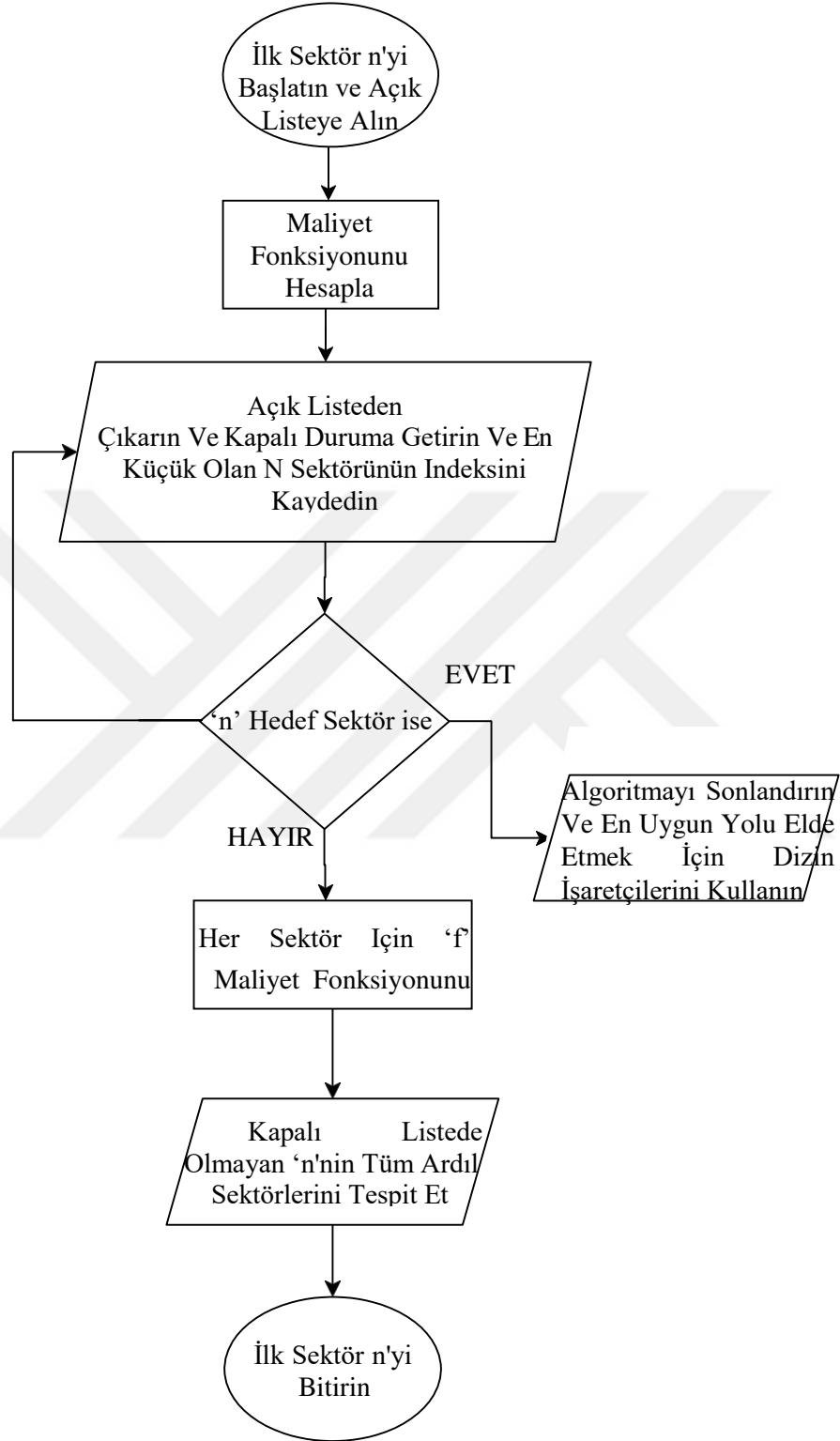
$$F(x) = G(x) + H(x) \quad (3.10)$$

Hedef noktanın mevcut x noktasından ne kadar uzak olduğu tahmin niteliğindedir ve $H(x)$ olarak nitelendirilir. $H(x)$ değeri kabul edilebilir aralıkta olmalıdır. $H(x)$ değeri, $F(x)$ 'in bir parçası olduğundan, $F(x)$ 'in en kısa mesafesi $H(x)$ 'e bağlıdır. $H(x)$ kabul edilebilir değerler arasında olduğunda, A* algoritmasının en kısa yolu hesaplayacağı garanti edilir. [37].

Hesaplama esnasında her bir nokta için ana nokta ve ara noktalara bakılır. Bakılan her noktanın durumu “Ziyaret Edilmemiş”, “Açık” veya “Kapalı” olarak kaydedilir. “Ziyaret Edilmemiş” olarak işaretlenmiş bir noktaya gelindiğinde, noktanın durumu “açık” olarak değiştirilir. Açık olarak işaretlenmiş bir noktanın tüm komşu noktaları ziyaret edildiğinde ise bu noktanın durumu “kapalı” olarak işaretlenir ve ana noktaya dönülerek diğer seçenekler değerlendirilir [37].

Tüm bu saydığımız özellikleri nedeniyle, bu çalışmada deneysel olarak da uygulayacağımız karmaşık yol güzergâhı ve sabit rotalı hava sahalarında uçuş planı yapılabilmesi ve rota çıkartılabilmesi için geliştirilen yazılım için en uygun yöntem olarak A* algoritması tercih edilmiştir.

Şekil 3.1. A* algoritması akış verilmiştir.



Şekil 3.1. A* algoritması akış diyagramı

4. MATERYAL VE METOT

Araştırmamızda Jeppesen veri tabanından alınan ham verilerin işlenmesi sonucunda elde edilen deneysel değerler kullanılarak en kısa uçuş rotası çıkarımı yapılmıştır. Ham verilerin işlenmesi sürecinde, koordinat verilerinin metin olarak tanımlı olması sebebiyle çevirici fonksiyonların tanımlanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Aynı zamanda iki nokta arasındaki uzaklığın tespit edilmesi, havalimanlarının, pistlerin, hava yollarının ve kavşak noktalarının arasındaki ilişkilerin tanımlanması için gerekli olan fonksiyon tanımları yapılmıştır. Sonuç olarak elde edilen deneysel veriler kullanılarak hesaplanan en kısa mesafe tahmini yorumlanmıştır.

4.1. Veri Setleri

Bu çalışmada, gerçek bir uçuş planlamasında kullanılan havaalanları, pistler, STAR ve SID noktaları, alçak ve yüksek seviye yolları, alçak ve yüksek seviye yollarına ait kavşak noktaları gibi bir uçuş planlaması için gerekli olan tüm noktalara ait bilgiler bulunur. Veri setlerinde uçuş planlaması yaparken kullanılacak noktalara ait başta coğrafi koordinatları olmak üzere, birbirleri ile olan bağlantısı ve bu bağlantının tek yönlü mü yoksa çift yönlü mü olduğu gibi bilgileri de içermektedir.

Kullanılan veri seti, dünyadaki tüm ülkelerin havacılık otoriteleri tarafından yayınlanan Havacılık Bilgi Yayın'larında (AIP) bulunan bilgileri toparlayan ve tek kaynak olarak yayınlayan Jeppesen şirketinin çevrimiçi kaynaklarından alınmıştır. Bu şirket uluslararası havacılık otoritelerince de dünyada ilk ve tek olarak yetkilendirilmiştir. JEPPESEN işletmesinin veri tabanından alınan Microsoft Access formatındaki veri tabanı SQL (Structured Query Language) veri tabanında kullanılmak üzere aynı isimde SQL'de oluşturulan veri tabanına "Import Data" seçeneği ile MS Access veri tabanı SQL (Structured Query Language)'e aktarılmıştır. Ardından verilerin işlenmesi amacıyla Visual Studio'da Console Application oluşturulmuştur.

4.1.1. Havaalanları

Hava araçlarının operasyonel tüm süreçlerini yani; iniş-kalkış yaptıkları pistleri, taksi yollarını, park sahalarını, yolcu, yük ve mühimmat indirip bindirdiği alanları, yakıt ikmallerini yaptıkları ve bakım-onarım faaliyetlerini de gerçekleştirdiği özel tahsisli bölgeler havaalanı olarak isimlendirilir.

Uçuş planı hazırlanırken, özellikle de rota çıkarma işlemi yapılırken havalimanlarının coğrafi koordinatlarından yararlanır. Bu nedenle bu çalışmada havaalanlarına ait veri seti kullanılmıştır.

Örnek olarak Tablo 4.1. Havaalanları’de verilen bu veri seti için toplam 1649 adet havaalanına ait veri bulunmaktadır.

Tablo 4.1. Havaalanları

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
BIAR	BI	AKURE YRI	EUR	N65-39- 24.00	W018- 04-19.00	W012.0	7	250	FL100	7000
BIEG	BI	EGILSS TADIR	EUR	N65-17- 00.00	W014- 24-05.00	W011.0	75	250	FL100	7000
BIRK	BI	REYKJA VIK	EUR	N64-07- 48.00	W021- 56-26.00	W014.0	45	250	FL100	7000
BKPR	L Y	ADEM JASHARI	EUR	N42-34- 22.00	E021- 02-09.00	E003.0	1794	250	10000	10000
DAAD	D A	BOU SAADA	AFR	N35-19- 53.00	E004- 12-16.00	E001.0	1506			5120

A: Havaalanı ICAO Tanıtma Kodu

B: Havaalanı ICAO Bölgesel Kodu

C: Havaalanı İsmi

D: Havaalanının Bulunduğu Coğrafi Bölge

E: Havaalanının Bulunduğu Enlem (Derece, Dakika, Saniye)

F: Havaalanının Bulunduğu Boylam (Derece, Dakika, Saniye)

G: Havaalanının Manyetik Kuzey Sapması

H: Havaalanının Rakımı

I: Havaalanına Maksimum Yaklaşma Yüksekliği

J: Havaalanına Maksimum Yaklaşma Hızı

K: Havaalanının Üzerinden Geçilirken Minimum Bırakılması Gereken Yükseklik

4.1.2. Pistler

Hava araçlarının iniş ve kalkış yapabilmeleri için karada veya suda özel olarak tahsis edilmiş dikdörtgen şeklindeki alanlara pist denir. Uçaklar kullanacakları pistleri rüzgârın yönü ve şiddetine göre seçerler. Özellikle son yaklaşma aşamasında iken hangi pistin aktif pist olduğu (rüzgârın yönüne göre kullanılacağı) iyi bilinmelidir.

Bu sebeple çalışmada hava durumu raporlarında belirtilen rüzgâr bilgisine göre pistlerin coğrafi konumundan faydalanılarak uçuş planı hazırlanacağı için pistlere ait veri setine ihtiyaç duyulmuştur.

Örnek olarak Tablo 4.2. Pistler’de verilen bu veri seti için toplam 4007 adet piste ait veri bulunmaktadır.

Tablo 4.2. Pistler

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
BIAR	BI	RW01	N65-38- 45.03	W018-04- 11.80	0	0	7	008.0	7874	84	008
BIAR	BI	RW19	N65-40- 02.29	W018-04- 26.40	0	0	5	188.0	7874	52	008
BIEG	BI	RW04	N65-16- 33.47	W014-24- 35.23	0	0	75	037.0	6070	53	008
BIEG	BI	RW22	N65-17- 27.48	W014-23- 34.28	0	0	75	217.0	6070	50	008

A: Havaalanı ICAO Tanıtma Kodu

B: Havaalanı ICAO Bölgesel Kodu

C: Pist Tanıtma Kodu

D: Pistin Bulunduğu Enlem (Derece, Dakika, Saniye)

E: Pistin Bulunduğu Boylam (Derece, Dakika, Saniye)

F: Pist Eğimi

G: Pist Eşiği Mesafesi

H: Pist Eşiği Rakımı

I: Pistin Manyetik Kuzeye Göre Konumu

J: Pistin Uzunluğu

K: Pist Eşiği Üzerinden Geçilirken Minimum Bırakılması Gereken Yükseklik

L: Pist Uyum Kodu

4.1.3. Standart Terminal Varış

Bir havayolu (enroute) üzerinde seyreden ve iniş aşamasındaki bir hava aracının, yolun bitiş noktası ile son yaklaşma başlangıç noktası arasındaki izlenecek yaklaşma usulleri ve bekleme paternlerini içeren sahaya Standart Terminal Varış (STAR: Standart Terminal Arrival Routes) denir. Yaklaşılan yöne göre kullanılacak aktif pistin değişebilmesi ihtimallerini içeren her olasılık için yaklaşma prosedürü mevcuttur.

Yollar ile pist yaklaşma noktalarını birbirine bağlaması nedeniyle bu çalışmada STAR’lara ait veri seti kullanılmıştır.

Örnek olarak Tablo 4.3. Standart Terminal Varış (STAR)’te verilen bu veri seti için toplam 82242 adet STAR ’a ait veri bulunmaktadır.

Tablo 4.3. Standart Terminal Varış (STAR)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
BIAR	BI	AFPA1M	RW 19	N D	010	IF	AFPAC	BI	EA	E	FL100
BIAR	BI	AFPA1M	RW 19	N D	020	TF	AR702	BI	PC	E	7000
BIAR	BI	AFPA1M	RW 19	N D	030	TF	NORFI	BI	PC	EE	6000
BIAR	BI	AKI1A	ALL	2 G	010	IF	HE	BI	DB	E C	
BIAR	BI	AKI1A	ALL	2 G	020	TF	D282O	BI	PC	E	

A: Havaalanı ICAO Tanıtma Kodu

B: Havaalanı ICAO Bölgesel Kodu

C: STAR Prosedürü Tanıtma Kodu

D: Piste Göre STAR Rotası Tanıtma Kodu

E: STAR Rotasının Tipi

F: STAR Sıra Numarası

G: STAR Yol Sonlandırıcı Kodu

H: STAR Kavşak Noktasının Tanıtma Kodu

I: STAR Kavşak Noktasının ICAO Tanıtma Kodu

J: STAR Kavşak Noktasının Yön Bilgisi

K: STAR Kavşak Noktası Açıklaması

L: STAR Noktası Yüksekliği

4.1.4. Standart Aletli Kalkış

İsminden de anlaşılacağı gibi kalkış aşamasında, hava aracı pistten teker kestikten sonra uçağın baş açısı ile başlayan ve havayolu kavşak noktasına kadar olan ve bir takım prosedürleri de içeren hava sahasına Standart Aletli Kalkış (SID: Standart Instrument Departure) denir. SID'ler de tıpkı STAR'lar gibi rüzgâr yönü ve şiddeti nedeniyle değişen aktif pist nedeniyle çeşitli varyasyonlar içerir.

SID'lere rota çıkarma işlemi yapılırken başlangıç noktası olan pistler ile havayolları arasında bağlantı oluşturması nedeni ile bu çalışmada kullanılmıştır.

Örnek olarak Tablo 4.4. Standart Aletli Kalkış (SID)'te verilen bu veri seti için toplam 97507 adet SID noktasına ait veri bulunmaktadır.

Tablo 4.4. Standart Aletli Kalkış (SID)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
BIAR	BI	AKI2A	RW 01	2 G	020	DF	OE	BI	PN	E	
BIAR	BI	AKI2A	RW 01	2 G	030	TF	HJ	BI	PN	EY	4200
BIAR	BI	AKI2A	RW 01	2 G	040	CF	AKI	BI	D	VE	
BIAR	BI	AKI2B	RW 01	2 G	020	DF	OE	BI	PN	E	
BIAR	BI	AKI2B	RW 01	2 G	030	TF	HJ	BI	PN	E	2600

A: Havaalanı ICAO Tanıtma Kodu

B: Havaalanı ICAO Bölgesel Kodu

C: SID Prosedürü Tanıtma Kodu

D: Piste Göre SID Rotası Tanıtma Adı

E: SID Rotasının Tipi

F: SID Sıra Numarası

G: SID Yol Sonlandırıcı Kodu

H: SID Kavşak Noktasının Tanıtma Kodu

I: SID Kavşak Noktasının ICAO Tanıtma Kodu

J: SID Kavşak Noktasının Yön Bilgisi

K: SID Kavşak Noktası Açıklaması

L: SID Noktası Yüksekliği

4.1.5. Alçak ve Yüksek Seviye Yolları

Bir hava sahası içerisindeki tüm havaalanlarını, kavşak noktalarını, STAR, SID ve VOR (Omni-Directional Radio Range) ile başlayan yaklaşma noktalarını içeren, uçtan uca olarak uzanan ve her irtifada olabilen havayollarına alçak ve yüksek seviye yolları denir.

10.000 ft ve altındaki yollar alçak seviye, üzerindeki yollar ise yüksek seviye yolları olarak ayrılmıştır. Alçak ve yüksek seviye yolları özellikle düz uçuş aşamasında havaalanlarını kavşak noktaları ile birbirine bağlayan özelliğe sahip oldukları için çalışmamız da kullanılmıştır.

Örnek olarak Tablo 4.5. Alçak ve Yüksek Seviye Yolları’te verilen bu veri setinde toplam 55629 adet alçak ve yüksek seviyelerdeki yollara ait veri mevcuttur.

Tablo 4.5. Alçak ve Yüksek Seviye Yolları

A	B	C	D	E	F	G
A1	0170	MKG	RC	D	V C	008
A1	0180	KADLO	RC	EA	E C	008
A1	0185	ANPOG	RC	EA	E C	008
A1	0190	ELATO	RC	EA	E C	008
A1	0195	MAGOG	VH	EA	E	008

A: Havayolu Tanıtma Kodu

B: Havayolu Sıra Numarası

C: Havayolu Kavşak Noktası Adı

D: Havayolu Kavşak Noktası ICAO Kodu

E: Havayolu Yön Bilgisi

F: Havayolu Kavşak Noktası Açıklaması

G: Havayolu Uyum Kodu

4.1.6. Alçak ve Yüksek Seviye Yollarının Kavşak Noktaları

İki havayolunu birbirine bağlayan ve yine alçak veya yüksek seviyede olabilen yollara denir. Rota çıkarma işlemi yapılırken en yakın yolu bulabilmek için bu kavşak noktalarından oldukça yararlanılarak çalışmada kavşak noktalarına ait veriler kullanılmıştır.

Örnek olarak Tablo 4.6. Alçak ve Yüksek Seviye Yollarının Kavşak Noktaları verilen bu veri setinde toplam 27425 adet alçak ve yüksek seviyelerdeki yollarına ait kavşak noktalarının verisi bulunmaktadır.

Tablo 4.6. Alçak ve Yüksek Seviye Yollarının Kavşak Noktaları

A	B	C	D	E
00BRU	WB	BRU246100	N04-12-35.00	E113-21-15.00
00S08	WS	00S108E	N00-00-00.00	E108-00-00.00
01CLA	LF	CLM132101	N47-44-47.36	E004-53-59.71
01CLM	LF	CLM139101	N47-36-32.95	E004-42-46.39
07BAN	OS	DELTA	N35-12-28.00	E035-49-16.00

A: Kavşak Noktası Tanıtma Kodu

B: Kavşak Noktası ICAO Kodu

C: Kavşak Noktası İsmi

D: Kavşak Noktası Enlemi (Derece, Dakika, Saniye)

E: Kavşak Noktası Boylamı (Derece, Dakika, Saniye)

4.2. Yaklaşım ve Metodoloji

Bu çalışmadaki ana hedeflerimizden birisi de karmaşık yollar ile birbirine bağlı olan havalimanları arasındaki mesafeyi en optimize bir şekilde hesaplayabilmektir. Bu anlamda dünya genelinde kullanılan ve kabul görmüş birçok yöntem ve algorithmadan bahsetmek mümkündür. Sonraki bölümlerde bunlardan bir kaçına değinilecektir. Çalışma için geliştirilen yazılımda iki nokta arasındaki mesafenin ölçümü için kullanılmış olan Pisagor Teoremi açıklanacaktır.

4.2.1. Haversine Teoremi

Bu teorem ile dünya üzerindeki herhangi iki noktanın coğrafi koordinatları yardımı ile aralarındaki mesafeyi hesaplamak mümkündür. İki nokta arasındaki uzaklığı hesaplamak için dört değişken hazırlanır. Teorem dünyanın yarıçapı 6,367.45 km olduğunu göz önüne alarak iki nokta arasındaki uzaklığı hesaplamaktadır [38].

Haversine formülü 3.1, 3.2, 3.3 numaralı Denklemlerde gösterilmiştir. 3.1 ve 3.2 denklemlerinde bulunan ve dünya üzerindeki noktalara ait olan φ enlem, λ boylam değişkenlerini, Denklem 3.3'te yer alan R ise dünya yarıçapını ifade etmektedir.

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (3.1)$$

$$c = 2 \cdot a \left(\tan^2 \left(\sqrt{a \cdot \sqrt{1-a}} \right) \right) \quad (3.2)$$

$$d = R \cdot c \quad (3.3)$$

4.2.2. Manhattan

Manhattan uzaklığı hesaplama yöntemi; doğrusal olarak birbirini kesen en az ikiden fazla düzlem üzerindeki yolların bir noktadan diğerine gitmesi için kat edilecek mesafeyi hesaplar. İki değişken arasına karşılık gelen mesafe aralarındaki farkların toplamıdır. Manhattan mesafesine $L1$ mesafesi de denir [39]. Denklem 3.4'te; n değişkenlerin sayısını, x ve y ise noktaları göstermektedir.

$$d = \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (3.4)$$

4.2.3. Bearing

Bearing algoritması, dünya üzerindeki iki noktayı dairesel bir çizgi yardımı ile birleştirerek bu iki nokta arasındaki mesafeyi hesaplamaktadır. Hesaplama formülü olan Denklem 3.5'te; φ_1, λ_1 başlangıç noktası, φ_2, λ_2 bitiş noktası, $\Delta\lambda$ ise boylam farkını göstermektedir. Burada $a \cdot \tan^2, -180^\circ$ ile $+180^\circ$ arasında bir değer döndürmektedir. Elde edilen bu değer 180° ile 360° arasında bir

dereceye çevrilir. Dolayısıyla θ , bitiş noktasından başlangıç noktasına kadar hesaplandığında $\theta = (\theta + 180) \% 360$ olacaktır [40].

$$\theta = a \cdot \tan^2(\sin \Delta\lambda \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos \Delta\lambda) \quad (3.5)$$

4.2.4. Minkowski Uzaklığı

Öklid uzayında tanımlı bir dizi olan Minkowski uzaklığı, sınıflandırma, kümeleme gibi veri madenciliği ve makine öğrenmesi uygulamalarında sıklıkla kullanılır. Manhattan uzaklığı, Öklid uzaklığı gibi uzaklık ölçüm yöntemlerinin genelleştirilmiş halidir. P ve Q olarak kabul edilen herhangi iki nokta arasındaki Minkowski uzaklığı $P=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ve $Q=(y_1, y_2, \dots, y_n)$ olmak üzere, Denklem 3.6'ya göre hesaplanır.

$$(\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p)^{1/p} \quad (3.6)$$

Minkowski uzaklığına ait Denklem 3.6 'da, p 'nin tüm farklı değerleri için uzaklık ölçütlerini tanımlamak amacıyla da kullanılmaktadır. $p=2$ olduğu durumda Öklid uzaklığını, $p=1$ olduğu durumda Manhattan uzaklığını ve $n \rightarrow \infty$ olduğu özel durumda ise Chebyshev uzaklığını vermektedir [41].

4.2.5. Öklid Uzaklığı

Öklid uzaklığı, kümeleme ve sınıflandırma algoritmalarında sıkça başvuru alan uzaklık ölçüm yöntemidir. , İki nokta arasındaki doğrusal uzaklıktır. Herhangi iki nokta olan P ve Q arasındaki Öklid uzaklığı $P=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ve $Q=(y_1, y_2, \dots, y_n)$ olmak üzere Denklem 3.7'ye göre hesaplanır [41]:

$$(\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}) \quad (3.7)$$

Öklid uzaklığı, sınıflandırma ve kümeleme algoritmaların olan K-ortalama ve temel K-NN algoritmaları gibi algoritmalarda yakınlığın ölçülebilmesi için kullanılan temel uzaklık ölçüm yöntemidir. [41].

4.2.6. Chebyshev Uzaklığı

Chebyshev uzaklığı (maksimum değer uzaklığı), Minkowski uzaklığının, $n \rightarrow \infty$ olduğu özel durumdur. İki nokta arasındaki farkın mutlak değerinin maksimumu olarak hesaplanır. , P ve Q olarak adlandırılan herhangi iki nokta arasındaki Chebyshev uzaklığı; $P=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ve $Q=(y_1, y_2, \dots, y_n)$ olmak üzere Denklem 3.8'e göre hesaplanır [42].

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p)^{1/p} = \max_{i=1} |x_i - y_i| \quad (3.8)$$

4.2.7. Dilca Uzaklığı

Dilca (Distance Learning in Categorical Attribute) uzaklığı, nominal değişkenler arasındaki uzaklığı ölçmek için kullanılan iki aşamalı bir yöntemdir [43]. İlk adım olarak, simetrik belirsizlik katsayısı yöntemi kullanılarak bir değişken seçimi işlemi gerçekleştirilip eş-oluşum tablosu oluşturulur. Oluşturulan eş-oluşum tablosuna koşullu olasılık ve Öklid uzaklığına göre hesaplama gerçekleştirilir. Bilgi kazancı yüksek değer olarak seçilen değişkenlere karşı meyillidir. Simetrik belirsizlik katsayısı (*symmetrical uncertainty*) (*SU*) hesaplanırken, bilgi kazancının (*information gain*) (*IG*) bu eğilimini ortadan kaldırmak için, *IG*'nin *X* ve *Y* değişkenlerine ait entropi değerlerinin toplamına bölünmesi gerekir. Simetrik belirsizlik katsayısı Denklem 3.9'e göre hesaplanır [44]:

$$SU = 2. \left[\frac{IG}{H(Y)+H(X)} \right] \quad (3.9)$$

4.2.8. Pisagor Teoremi

Pisagor Teoremi geometri biliminin ilk olarak öğretildiği kavramlarından biridir. Teorem ismini de aldığı Yunan filozof ve matematikçi Pisagor tarafından bulunmuştur. Pisagor Teoremi dik açılı bir üçgende dik açının karşısındaki kenar, dik açığa komşu iki kenarın karelerinin toplamının kareköküne eşit olarak tanımlanır [45].

Pisagor bağlantısı gerçek hayatta karşımıza çıkabilecek problemlerin çözümünde kullanılabilir. 2 ve 3 boyutlu uzayda iki nokta arasındaki mesafeyi bulmak için kullanılan bir yöntem olarak da karşımıza çıkar. Özellikle koordinat değerleri bilinen iki nokta arasındaki uzaklığın hesaplanmasında en basit ve en kesin yoldur.

Pisagor Teoremi Denklem 3.10'da gösterildiği gibi hesaplanır;

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3.10)$$

Kullanım kolaylığı ve basitliği nedeniyle birçok alanda tercih edilen Pisagor Teoremi bu çalışma için geliştirilen yazılımda ki coğrafi koordinatları verilen noktalar arasındaki uzaklığın hesaplanması için kullanılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada öncelikle, ülkelerin havacılık otoriteleri tarafından yayınlanan uçuş enformasyon yayınlarını derlemiş olan Jeppessen firmasından alınan “.mdb” (Microsoft Database) uzantılı veri tabanının geliştirilmiş olan yazılımda daha verimli kullanılabilmesi amacıyla Microsoft SQL veri tabanına aktarma işlemi gerçekleştirilmiştir. Microsoft SQL veri tabanına aktarılan ham verilerin daha kolay kullanımı ve anlaşılabilir olması amacıyla C# dili ile geliştirilen yazılımdaki modellere entegrasyonu sağlanmıştır. Verilerin geliştirilen yazılım için anlamlı hale gelmesi ile birlikte, veri setinin doğruluğunu tespit etmek amacıyla yine bu çalışma için geliştirilmiş ve Şekil 5.1’de örnek çıktısı gösterilen konsol uygulamasından yardım alınmıştır. Bu uygulama kalkış noktası ve varış noktasına ait meydan tanıma kodlarını girdi olarak almakta ve çıktı olarak bu iki nokta arasındaki kuş uçuşu mesafeyi vermektedir. Kuş uçuşu mesafe, veri tabanındaki ilgili noktaların enlem ve boylam değerlerini C# dili içerisindeki Math kütüphanesinde bulunan fonksiyonlar ile kilometre cinsinden hesaplanmıştır. Elde edilen kilometre değerleri Google Maps ile kıyaslanmış ve %0.01 sapma payı ile kontrol edilmiştir. Kontrol esnasından sapma payı bırakılmasının temel amacı, uygulamaların virgülden sonra kaç haneye göre işlem yaptıkları parametresinin sonucu etkileyecek olmasıdır. Mesafe bilgilerinin doğruluğundan emin olunduktan sonra yine benzer bir amaç ile veri tabanı içerisindeki havalimanı, pist, SID, STAR, alçak ve yüksek seviye yolları ve bunlara ait kavşak noktalarına ait bilgiler, havacılık otoriteleri tarafından yayınlanmış olan havacılık bilgi yayınları (AIP) ile karşılaştırılmıştır.

```
FERHAT AKSOY
Mesafeyi Ölmek İstedğin İlk Konumun Kodu :
LTBA
Seçilen Konum : (Airport) LTBA - ATATURK_INTL - Enlem Bilgisi : 40,5834 - Boylam Bilgisi : 28,4851

Mesafeyi Ölmek İstedğin İlk Konumun Kodu :
LFPG
Seçilen Konum : (Airport) LFPG - CHARLES_DE_GAULLE - Enlem Bilgisi : 49,0035 - Boylam Bilgisi : 2,3252

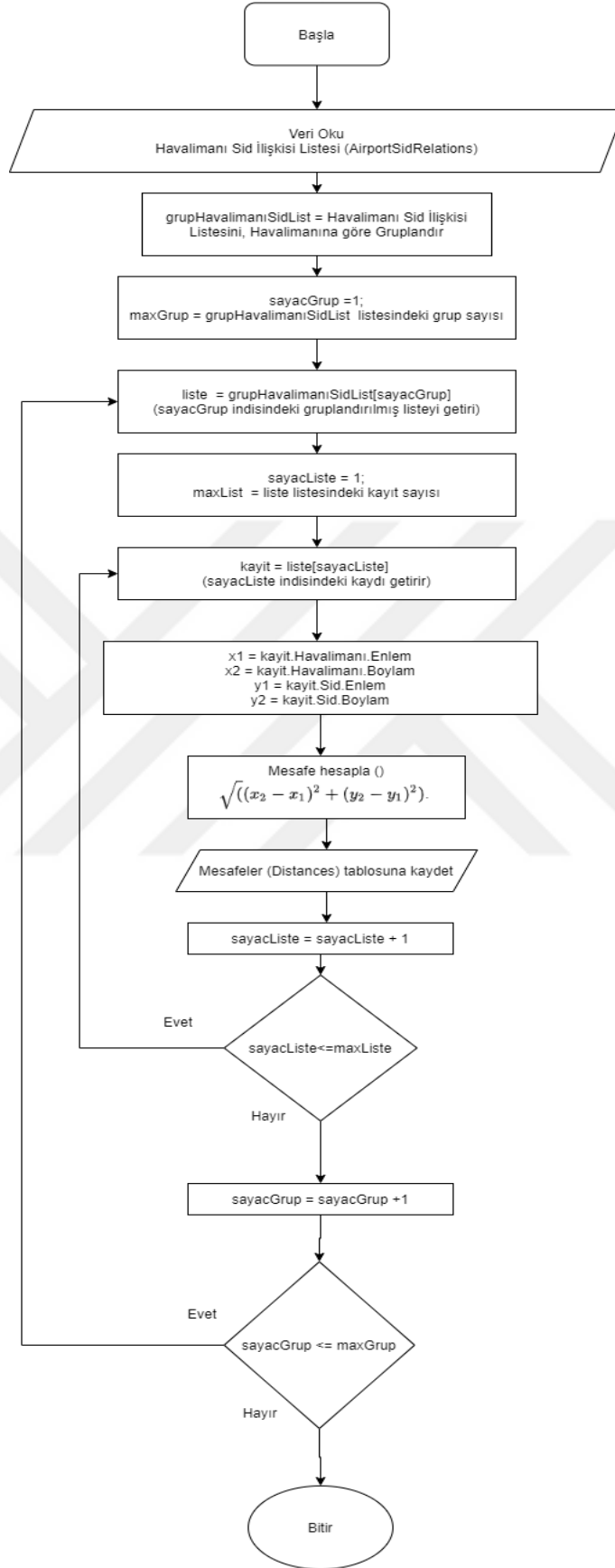
İki Nokta Arasındaki Fark : 2253,713 km..
```

Şekil 5.1. Konsol uygulaması çıktı örneği

Bir uçuş planlaması yapılırken rota çıkarma işlemi aşamasına gelindiğinde uçuş operasyon aşamaları takip edilmelidir. Bu aşamalar sırasıyla; kalkış havaalanı, kalkış pisti, SID, kavşak noktası, havayolu, STAR, varış havaalanı ve varış pisti şeklindedir. Geliştirilen yazılımın da bu sıralamaya uygun hesaplamalar yapabilmesi için sırasıyla aşağıda akış diyagramları verilen kodlardan yararlanılmaktadır.

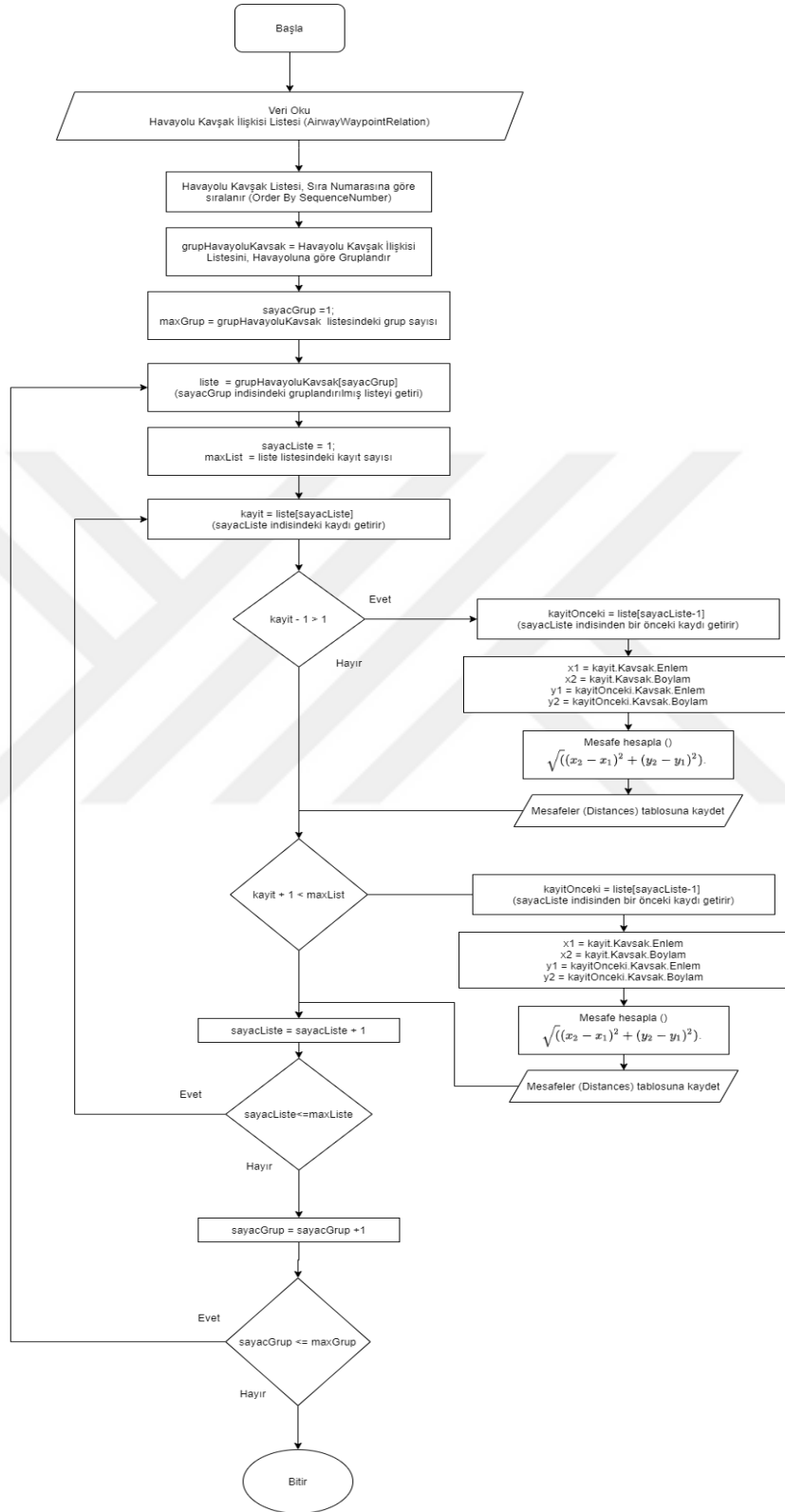
Şekil 5.2. Havalimanları ve SID noktaları aralarındaki mesafe hesaplama akış diyagramı' de Havalimanları ve SID noktaları arasındaki mesafeyi Pisagor Teoremi yardımıyla hesaplayan kodun akış diyagramı verilmiştir.





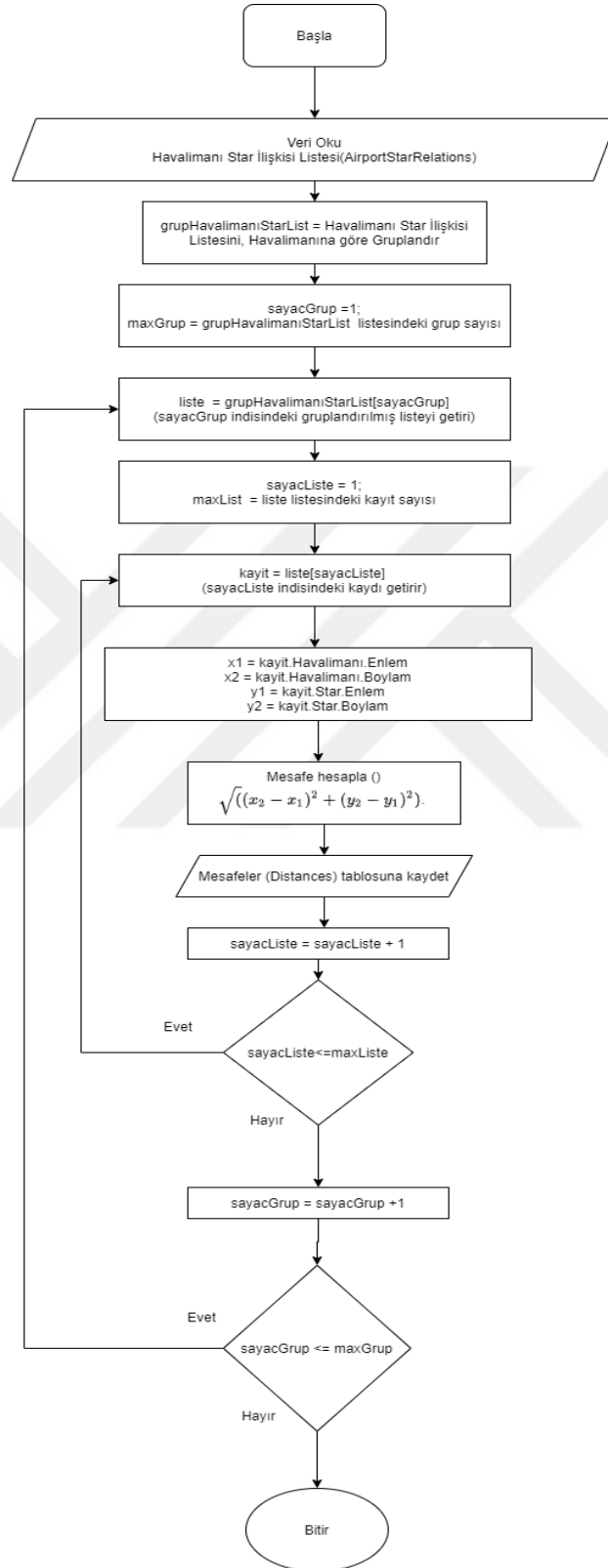
Şekil 5.2. Havalimanları ve SID noktaları aralarındaki mesafe hesaplama akış diyagramı

Şekil 5.3'te alçak ve yüksek seviye yolları ve bu yollara ait kavşak noktalarının ilişkisini ve aralarındaki mesafeyi Pisagor Teoremi yardımıyla hesaplayan kodun akış diyagramı verilmiştir.



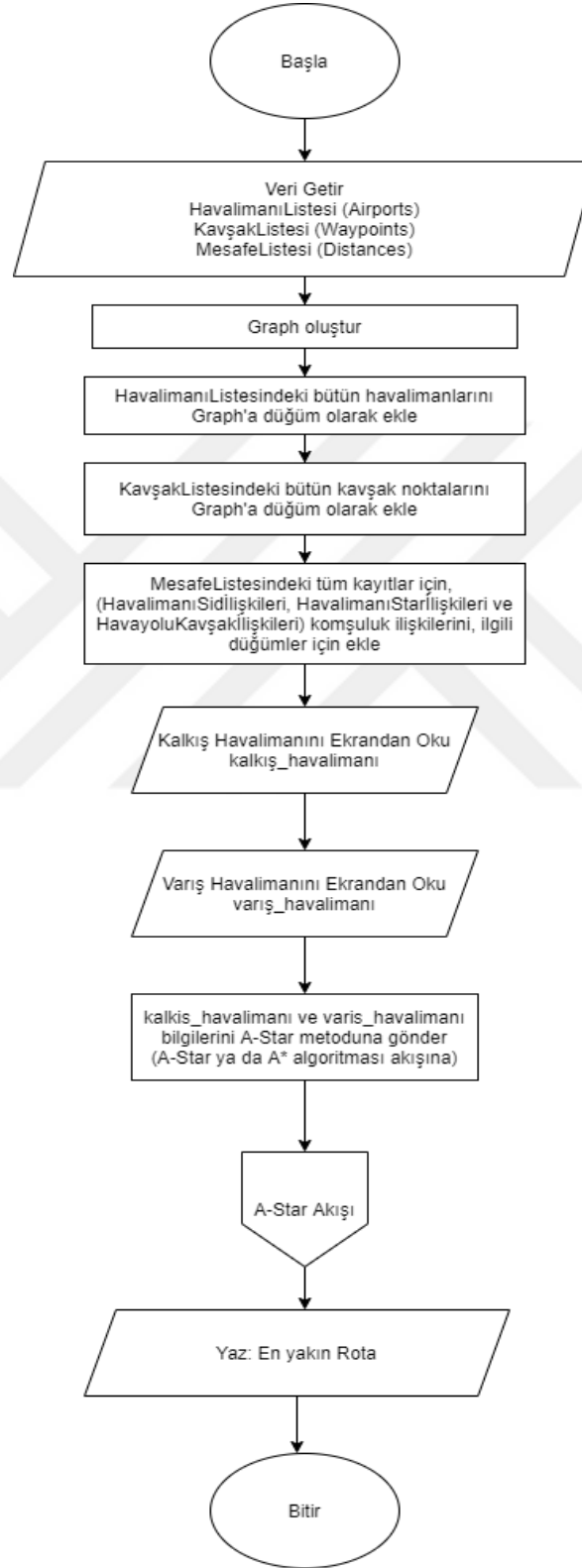
Şekil 5.3. Alçak ve yüksek seviye yolları ve kavşak noktaları arasındaki mesafe hesaplama akış diyagramı

Şekil 5.4'te Havalimanları ve STAR noktaları arasındaki mesafeyi Pisagor Teoremi yardımıyla hesaplayan kodun akış diyagramı verilmiştir.



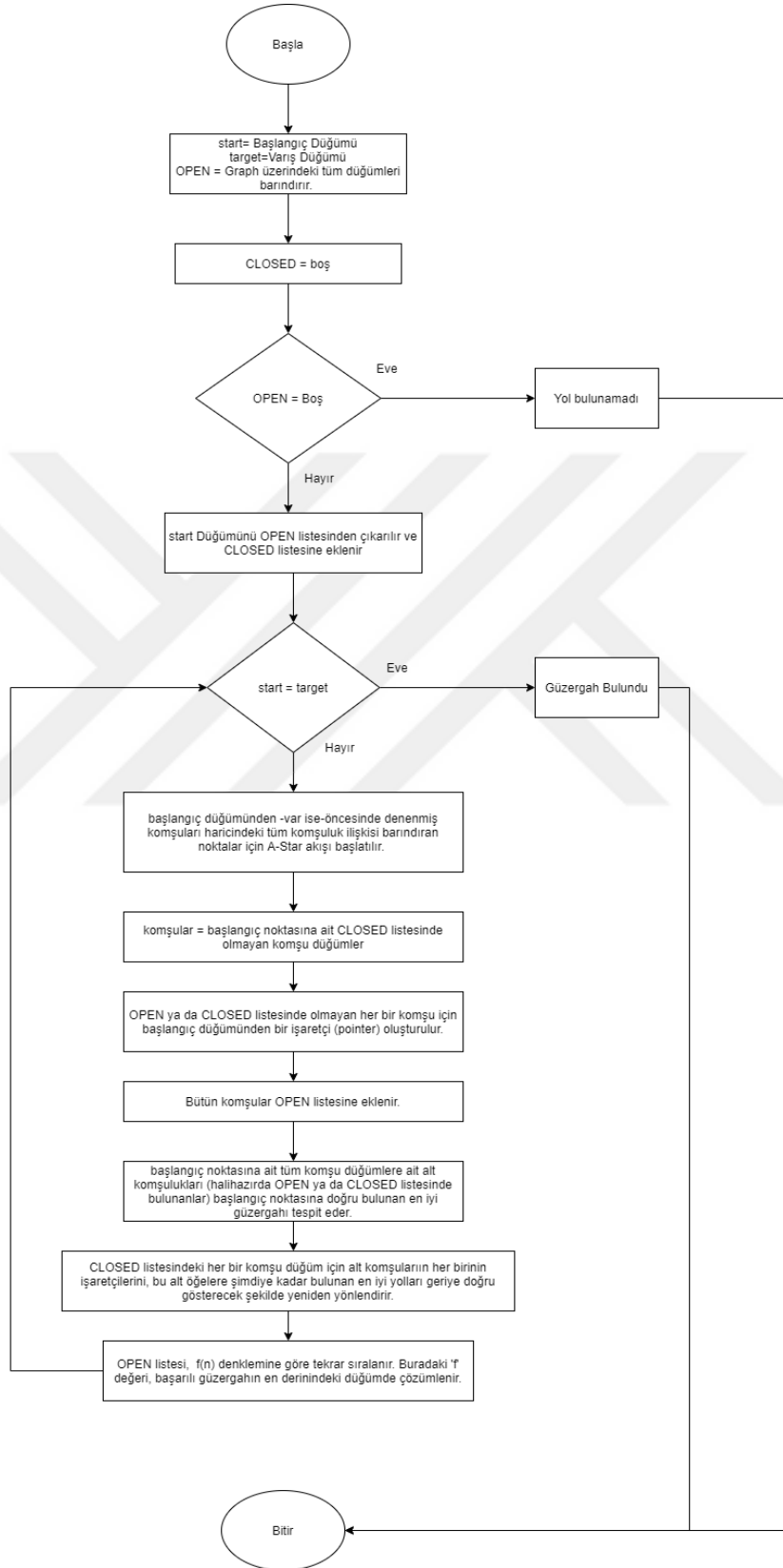
Şekil 5.4. Havaalanları ve STAR noktaları aralarındaki mesafe hesaplama akış diyagramı

Şekil 5.5. En iyi rota bulma akış diyagramıHata! Başvuru kaynağı bulunamadı.'te daha önce aralarındaki mesafeleri hesaplanmış olan veri setindeki tüm noktaların A* algoritması ile en iyi rota bulma koduna ait akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.5. En iyi rota bulma akış diyagramı

Şekil 5.6. Geliştirilen yazılımdaki A* algoritması akış diyagramı'nda mesafe hesaplamaları yapılmış veri setimize uygulanan A* algoritmasına ait akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.6. Geliştirilen yazılımdaki A* algoritması akış diyagramı

Uçuş planlamasının önemli bir aşaması olan rota çıkarma işlemi için bu çalışmada geliştirilen yazılımda en kısa yolu bulmada faydalanılan A* algoritmasının kaba kodu Şekil 5.7. Geliştirilen yazılımın A* algoritmasına ait kaba kodu'de gösterilmiştir.

```
Hedef düğüm node_target ifadesi ile ve başlangıç düğümü node_start ifadesi ile gösterilir.
İki liste tutarız, OPEN ve CLOSED
OPEN; ziyaret edilen ancak henüz genişletilmemiş – komşuları henüz işleme sokulmamış –
düğümmlerden oluşur. İşlem bekleyen düğümmlerin listesidir.
CLOSED; ziyaret edilen ve genişletilmiş düğümmlerden oluşur.
node_start düğümmlünü OPEN listesinden çıkarırız.
OPEN Listesi boş olmadığı sürece {
    OPEN listesinde mevcutta node_start'a en yakın düğümmlü alırız: node_current
     $f(\text{node\_current}) = g(\text{node\_current}) + h(\text{node\_current})$ 
    EĞER node_current = node_target ise, güzergâh bulunmuştur: BİTİR
    node_current'ten sonra gelen her bir node_successor (Ardıl, komşu) düğümmlü tespit et
    Her bir node_successor için {
        Hesapla  $\text{successor\_current\_cost} = g(\text{node\_current}) + w(\text{node\_current}, \text{node\_successor})$ 
        EĞER node_successor OPEN listesinde ise {
            EĞER  $g(\text{node\_successor}) \leq \text{successor\_current\_cost}$  ATLA (20. satıra)
        } YOKSA EĞER node_successor CLOSED listesinde is {
            EĞER  $g(\text{node\_successor}) \leq \text{successor\_current\_cost}$  ATLA (20. satıra)
            node_successor düğümmlünü CLOSED listesinden OPEN listesine taşı
        } YOKSA{
            node_successor düğümmlünü OPEN listesine taşı
             $h(\text{node\_successor})$  ögesini node_target ile heuristic mesafe olarak ayarla
        }
         $g(\text{node\_successor}) = \text{successor\_current\_cost}$ 
        node_successor düğümmlünün üst düğümmlü olarak node_current düğümmlünü ayarla
    }
    node_current düğümmlünü CLOSED listesine ekle
}
EĞER node_current != node_target HATA VER (OPEN listesi boş ise)
```

Şekil 5.7. Geliştirilen yazılımın A* algoritmasına ait kaba kodu

Geliştirilen yazılımın tamamına ait kaba kodlar Şekil 5.8.Geliştirilen yazılımın kaba kodları’de gösterilmiştir.

```
Hedef havalimanı airport_target ifadesi ile ve başlangıç havalimanı airport_start ifadesi ile
gösterilir.
node ; düğüm
PreviousNode.Key ; bir önceki düğümün adı (Havalimanı ya da kavşak noktası adı)
node.Key; mevcut düğümün adı
node.Cost; mevcut düğüme gelene kadar katedilen toplam yol, heuristic maliyet.
Waypoints ; kavşak noktalarının bulunduğu listedir. Sid ve star noktaları da veri içerisinde birer
kavşak noktası olarak değerlendirildiği için bu liste içerisinde erişilebilmektedir.
Airports; havalimanlarının bulunduğu listedir.
Distances; Tüm havalimanı ve kavşak noktalarına ait komşuluk ve mesafe bilgilerini bulunduran
listedir.

Airports, Waypoints ve Distances listeleri veri tabanından çekilir.
Yeni bir graph nesnesi tanımlanır.
Airports listesindeki kayıtlar graph nesnesine birer düğüm olarak tanımlanır.
Waypoints listesindeki kayıtlar graph nesnesine birer düğüm olarak tanımlanır.
Distances içerisindeki kayıtlar ile, graph üzerindeki düğümlere ait komşuluk ve mesafe bilgileri
graph’a eklenir.
OKU airport_start (Kullanıcıdan airport_start bilgisi alınır.)
OKU airport_target (Kullanıcıdan airport_target bilgisi alınır.)
Shortest_path = A-Star Metodu (1. Girdi: airport_start, 2. Girdi: airport_target) ÇAĞIR
EĞER shortest_path = BOŞ{
    HATA VER (Güzergah bulunamadı)
}
shortest_path = shortest_path’i geriye doğru sırala
HER BİR node için shortest_path güzergahındaki {
    EĞER node.PreviousNode != BOŞ{
        YAZDIR (node.PreviousNode.Key + node.Key + node.TotalCost)
    }
}
Bitir
```

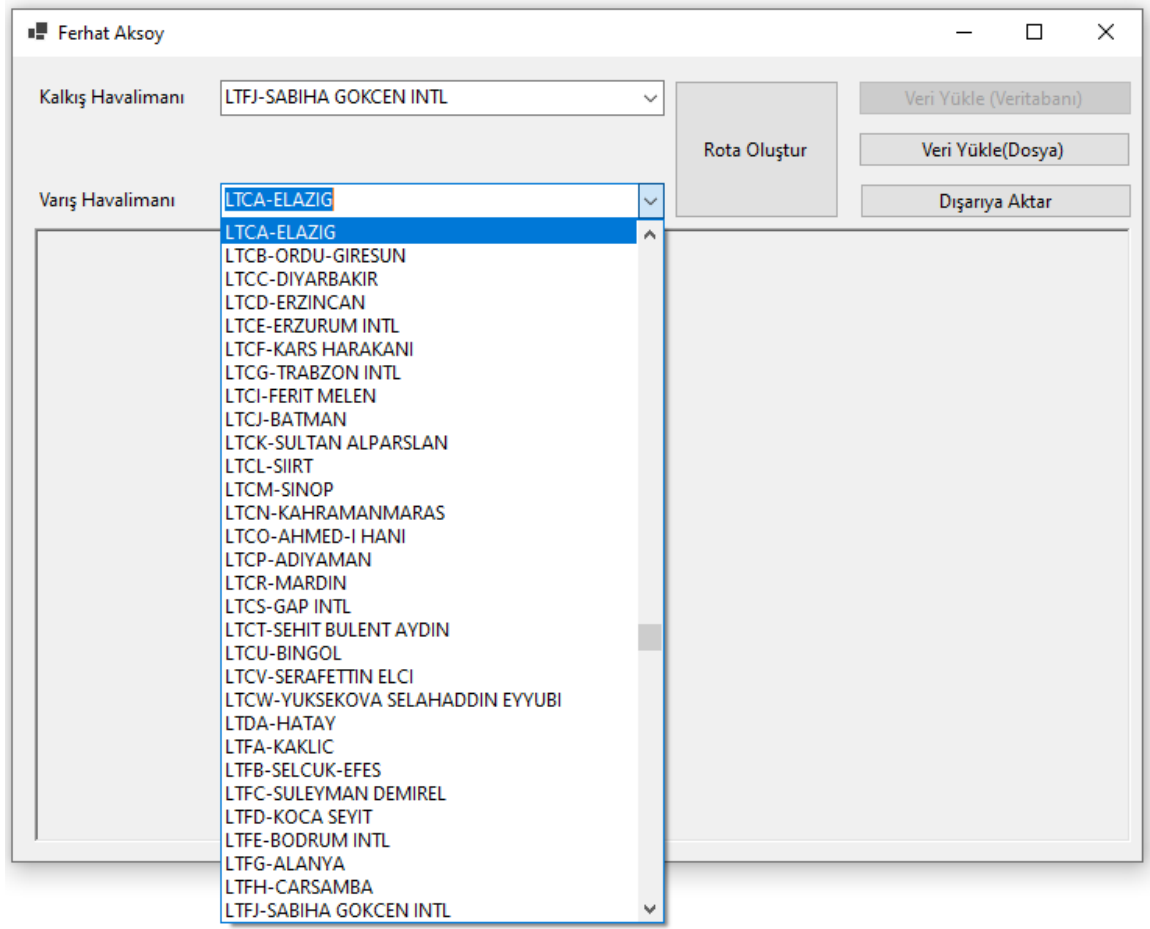
Şekil 5.8.Geliştirilen yazılımın kaba kodları

Veri tabanının sağladığı verilerin birbirleri ile olan mesafeleri hesaplanıp aralarındaki bağlantılar bulunduktan sonra, yollar arasındaki noktaların uzaklık tespiti Pisagor formülü ile hesaplanmıştır. Yolların arasındaki bağlantıların tamamlanması sonucunda A* algoritması uygulanmıştır. Sonuçlarının karşılaştırılması ve testler yapılırken kalkış ve varış noktalarının kolayca seçilebilmesi için görselleştirme işlemi yapılarak bazı sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 5.9. Kalkış havaalanı seçimi’de gösterildiği gibi öncelikle, kalkış yapılacak meydanın ICAO tanıma kodu veya havalimanı ismi yazılarak seçim yapılır.

Şekil 5.9. Kalkış havaalanı seçimi

Şekil 5.10'de gösterildiği gibi öncelikle, varış meydanının ICAO tanıtmı kodu veya havalimanı ismi yazılarak seçim yapılır.



Şekil 5.10. Varış havaalanı seçimi

Son aşama olarak Şekil 5.11’da da gösterildiği gibi Rota Oluştur butonu seçeneği ile A* algoritmasından faydalanılarak hava durumu raporlarında yayınlanan meteorolojik şartları da değerlendirerek çalışan program mesafeyi hesaplamaktadır. Mesafe hesaplanırken her iki nokta arasındaki uzaklık hesaplanıp kümülatif olarak toplam mesafe son satırda verilmektedir.

Kalkış: LTFJ	Varış: LTCA	MESAFE
LTFJ	PIMAV	Uçuş mesafesi = 143,816 Miles
PIMAV	TOKER	Uçuş mesafesi = 273,621 Miles
TOKER	UMRUN	Uçuş mesafesi = 304,676 Miles
UMRUN	LTAC	Uçuş mesafesi = 326,657 Miles
LTAC	BAG	Uçuş mesafesi = 358,123 Miles
BAG	ELDEN	Uçuş mesafesi = 426,793 Miles
ELDEN	SIV	Uçuş mesafesi = 504,304 Miles
SIV	ETESU	Uçuş mesafesi = 663,657 Miles
ETESU	ERTEK	Uçuş mesafesi = 702,122 Miles
ERTEK	LTCA	Uçuş mesafesi = 776,092 Miles

Şekil 5.11. Rota oluşturulması

Rota çıkarma işlemi yapılırken önemli parametrelerden biri olan rüzgâr yönü ve şiddeti ilgili ülkenin belirli bir formatta yayınlamış olduğu hava durumu raporlarından bir Uygulama Program Arayüzü (API: Application Programming Interface) servisi kullanılarak elde edilir. Elde edilen bilgi dâhilinde hava aracının büyüklüğüne göre üretici firma tarafından yayınlanan rüzgâr limitleri de dikkate alınarak gidiş yönü olan baş açısını nasıl etkilediği analiz edilmiştir. Bu parametrelere göre gidebileceği yollar ile alakalı alternatif rotalar çıkartılmıştır. Alternatif rotaların tespiti sürecinde alınan hava durumu verisinin yönüne göre hangi yönde kaç derecelik bir sapma yapılabileceği tanımlanarak belirlenen açı içerisinde A* algoritması yardımı ile alternatif en kısa yol hesaplaması tekrar yapılmıştır.

Geliştirilen uygulamanın tamamlanmasının ardından, veri tabanının çok büyük boyutlarda olması sebebiyle çalıştırılan uygulamanın yüksek sistem gereksinimlerine ihtiyaç duyduğu gözlemlenmiştir.

Bu probleme çözüm olarak algoritma içerisinde işlenen sonuç verilerin uygulamanın anlayabileceği bir formatta saklanmıştır. Sonuç verileri tüm programlama dillerinde de gelişime açık olabilmesi amacıyla JavaScript Object Notation (JSON) formatında uygulama dosya yolu içerisinde tutulmuştur. Bu sayede uygulama çalıştığında veri tabanına ihtiyaç duyulmaksızın önbelleğe alarak sistemin ihtiyaç duyduğu minimum gereksinimler ile geliştirilen uygulamanın maksimum performansla çalışması sağlanmıştır.

Önceki bölümlerde de değinildiği gibi bir çok harita optimizasyon yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden A* algoritması aynı işlevi gören diğer algoritmalarla nazaran bu çalışmada hedeflenen sonuçlar için daha verimli hesaplamalar ortaya koymuştur. Özellikle kendisine en yakın yolu bulma hususunda bir diğer en iyi algoritma olan Dijkstra algoritması ile karşılaştırılmıştır. Dijkstra algoritmasında kullanılan kalkış noktasından itibaren bütün yönlerde ilerleme metodunun aksine, A* algoritması varış noktasına doğru doğrudan bir mesafe hesaplar. A* algoritması ilerleme yönünü bu mesafenin artıp azalmasına göre ayarlar. Bu suretle AIP'lerde yayınlanmış birçok noktayı barındıran karmaşık haritalarda bile $g(n)$ fonksiyonunu kullanarak varış noktasından uzaklaştığını anlayabilir.

En kısa yol bulma konusunda en çok tercih edilen A* ve Dijkstra algoritması geliştirilen yazılıma uygulanmış ve rota hesaplamasında kullandıkları sürelerle ait sonuçlar Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Algoritmaların Karşılaştırılması

	Havalimanı İkili ICAO Kodları					
	Algoritma Çeşidi	LTCA-LTAC	LTCA-LTFM	LTCA-EDDV	LTCA-EGPK	LTCA-KJFK
	Dijkstra	107 ms	163 ms	572 ms	1,512 ms	2,743 ms
Hesaplama Süresi	A*	72 ms	137 ms	228 ms	445 ms	1,335 ms

5 farklı kalkış ve varış noktası üzerinde yapılan denemelerde iki algoritma da rota çıkarırken aynı noktaları kullanmış ve kümülatif mesafeleri eşit hesaplamışlardır. Fakat hesaplama yaparken A* algoritmasının daha kısa sürede cevap verdiği gözlemlenmiştir. Hem askeri hem de sivil havacılıkta on-time performans önem arz etmektedir. Çünkü tüketilebilir bir kaynak olarak zamanın da etkin ve verimli kullanılması hava araçlarının görev ve işlevlerini artırmaktadır. Bugün Türk Hava Kuvvetlerinin filosunda yaklaşık 530 civarında hava aracı bulunmakta ve bunların büyük çoğunluğu IFR uçuş gerçekleştirmektedir. Her hava aracının günde ortalama 6 bacak uçuş

operasyonu gerçekleştirdiği varsayımına dayanarak bu uçuşlar için hazırlanacak uçuş planlarının da en optimum sürede hesaplanması gerekmektedir.

Zaman avantajının yanı sıra, uçuş planlama süreci bir bütün olarak ele alındığında, kısıtlayıcı diğer parametrelere de entegrasyonunun daha kolay ve verimli bir şekilde uygulanabilir olması nedeniyle A* algoritması geliştirilen yazılımda en kısa rotayı hesaplamak için kullanılmıştır.



6. SONUÇLAR

Hava aracı fark etmeksizin bir uçuş için gerekli ön hazırlıklar içerisinde önemli bir yere sahip olan uçuş planlamasının verimli ve emniyetli bir şekilde yapılması hava aracının etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda uçuş planlamasının bir bölümü olan rota çıkarma işleminin en kısa yollardan yapılması da yakıt maliyetlerini minimize ederek işletme maliyetlerini düşürmektedir. Fakat maliyetler düşürülmek istenirken de uçuş emniyetinden asla taviz verilemeyeceği için hava durumu gibi uçuş emniyetini direkt olarak etkileyen parametreler de göz ardı edilemez.

Bu çalışmada, Jeppessen firmasından alınan veri tabanı üzerinde tüm noktaların ve yolların birbirleri arasındaki bağlantıları tanımlanıp A* algoritması kullanılarak en kısa yolun tespiti sağlanmıştır. Algoritmanın sağlıklı çalışmasının ardından yayınlanmış olan hava durumu raporlarındaki rüzgâr yönü ve şiddetinin etkisi de göz önünde bulundurularak uçağın baş açısına göre algoritmanın anlık olarak en güvenilir ve en kısa yolu tespit etmesi sağlanmıştır.

Özellikle günümüzde hem sivil hem askeri havacılıkta insansız hava araçlarının kullanımının artması ve yapay zekâ teknolojisinin gelişmesi bu tarz planlama yapabilen ürünlerin önemini daha da ortaya çıkarmaktadır. Bu kapsamda otonom uçuşların da arttığı havacılık sektöründe uçuş planlamasına destek olacak hizmetlerin entegre edilmesi açısından geliştirilen bu yazılım önem arz etmektedir.

ÖNERİLER

Geliştirilmiş olan yazılıma açık uçlu formatta yine havacılık otoriteleri tarafından sağlanan ve uçuş emniyetini etkileyen Havacılara Bildirim (NOTAM: Notification to Airman) için yayınlarının da girdi parametresi olarak yazılıma entegre edilmesi uçuş planlamasını daha da güvenilir hale getirecektir.

Ayrıca yine girdi parametresi olarak alınabilecek uçuş tipi (IFR, VFR) bilgisine göre belirlenecek olan uçuş seviyelerinin de yazılıma dâhil edilmesi uçuş planlamasının kullanılabilirliğini artıracaktır.

Hava aracı üretici firmaları tarafından belirlenmiş uçak performans yani uçağın büyüklüğü ve ağırlığına göre yapabileceği manevra kabiliyeti uçuş operasyonunun gerçekleştirilebilmesi için önemlidir. Bu bağlamda, rota üzerinde seyir ederken hava durumu nedeni ile anlık değişebilecek yolların uçak performansına göre seçiminin yapılması daha uygun olacaktır.

En kısa ve en emniyetli yol hesaplaması yapıldıktan sonra hava aracı tipine göre değişkenlik gösteren yakıt sarfiyatının da otonom olarak hesaplanabilir olması yazılıma katkı sağlayacaktır.

Uçuş planlaması yapıldıktan sonra gerekli bilgilerin ilgili hava trafik birimlerine ve otoritelere belirli bir mesaj formatında otomatik olarak iletilmesi personel performansına katkı sağlayacaktır.

Yapılacak bu geliştirmeler ile birlikte hava aracının tipi göz önünde bulundurularak rotası boyunca her nokta için ayrı ayrı hesaplanacak olan uçuş süresi hava aracının toplam uçuş süresi hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlayacaktır. Aynı zamanda hava aracından herhangi bir durumda haber alınamaması durumunda uygulanacak olan acil durum prosedürlerinin ve arama kurtarma faaliyetlerinin de en kısa zamanda ve en doğru bölgede yapılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] S. Hong, K. Lee, Trajectory Prediction For Vectored Area Navigation Arrivals, J. Aerosp. Inf. Syst. (2015).
- [2] K. Tastambekov, S. Puechmorel, D. Delahaye, C. Rabut, Aircraft Trajectory Forecasting Using Local Functional Regression In Sobolev Space, Transp. Res. Part C Emerg. Technol. (2014).
- [3] D.H.M. İşletmesi, Ats/Rnav Route Chart, Havacılık Enf. Yayınları, 44, (2021).
- [4] M. Breur, W. Verdonck, Rufbus, Retax And Bustaxı: Three European Systems Of Demand-Actuated Public Transport, Traffic Eng. Control. (1978).
- [5] J.Y. Grau, H. Hering, Timeline Flight Plan Data: A Way To Improve Controllers' Mental Representation, In: 6th Eurocontrol Innov. Res. Work. Exhib. Disseminating Atm Innov. Res., 2007.
- [6] V. Babak, V. Kharchenko, V. Vasylyev, Methods Of Conflict Probability Estimation And Decision Making For Air Traffic Management, Aviation. (2006).
- [7] D.Y.M.. C., Stratejik Planlama Süreci Ve Örgütler Açısından Önemi, Strat. Plan. Süreci Ve Örgütler Açısından Önemi. 25, 69–88, (2010).
- [8] W. Copy, Eur Regional Supplementary Procedures (Supps) (Doc 7030) Table Of Contents — General, (2011).
- [9] R. Dok, I. Annex, I. Doc, I. Doc, R.S. Procedures, P. Eur, N.O. Handbook, I.U. Manual, S. Gereklili, I. Eur, I. Eur, O. Genel, P. Formunun, Enr 1.10 Uçuş Planlama Flight Planning 1., (2016).
- [10] Autoridad Nacional Del Servicio Civil, ., Angew. Chemie Int. Ed. 6(11), 951–952. (2021) 2013–2015.
- [11] Icao, Annex 2 - Rules Of The Air - Tenth Edition, (2005).
- [12] S.H.G. Müdürlüğü, Flight Plan - Uçuş Planı, S.H.G. Müdürlüğü Yayınları, 1, 148, (2010).
- [13] S.H.G. Müdürlüğü, S.H.G.M Yayınları, Yük Kontrolü Ve Haberleşme, Had/T-22, 1375, (2015).
- [14] Eurocontrol, Ifps Users Manual. Network Manager, 4–5, (2017).
- [15] E. Aydoğan, Serbest Yol Yapısına Sahip Hava Sahaları İçin Rota Planlaması Ve Optimizasyonu, Doktora Tezi. Eskişehir, (2020).
- [16] T. Todorov, G. Acampora, D. Trenevskaa, B. Radovanovic, R. Bucuroiu, Network Management Directorate Document Control Document Title Nm Flight Planning Requirements Approval Table Authority Date Signature, 1–7, (2020).
- [17] O. Kahya, Türkiye Ulusal Uçuş Rotaları İçin Jeodezik Yöntemlerle En Kısa Güzergah Analizi Doktora Tezi, Trabzon, (2019).

- [18] S.H.G.Müdürlüğü, Sht-Ops Talimatı. 1–302, (2016).
- [19] E. Eker, M. Kayri, S. Ekin, Kısıtlı Optimizasyon Problemlerinin Çözümü İçin Atom Arama Optimizasyon Algoritması, Dömf Mühendislik Derg. 10, 841–851, (2019).
- [20] S. Ekin, B. Hekimoğlu, Multi-Machine Power System Stabilizer Design Via Hpa Algorithm, J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ. 4, 1271–1285, (2017).
- [21] W. Zhao, L. Wang, Z. Zhang, Atom Search Optimization And Its Application To Solve A Hydrogeologic Parameter Estimation Problem, Knowledge-Based Syst. (2019).
- [22] İ. Öznur, S. Korukoğlu, Genetik Algoritma Yaklaşımı Ve Yöneyem Araştırmasında Bir Uygulama, Yönetim Ve Ekon. 10, 191–204, (2003).
- [23] Yeniay Ö., Derleme/Rewiew An Overview Of Genetic Algorithms, 49, 37–49, (2001).
- [24] R. Eberhart, J. Kennedy, Proceedings Of The 1995 6th International Symposium On Micro Machine And Human Science, Proc. Int. Symp. Micro Mach. Hum. Sci. (1995).
- [25] D. Karaboga, B. Basturk, An Artificial Bee Colony (Abc) Algorithm For Numeric Function Optimization, Ieee Swarm Intell. Symp. 2006. Indianapolis, Indiana, Usa. (2006).
- [26] S. Ekin, A. Demirören, Modeling, Simulation, And Optimal Design Of Power System Stabilizers Using Abc Algorithm, Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci. (2016).
- [27] A. Tuncer, İnsansız Hava Araçları İçin Yapay Arı Kolonisi Algoritması Kullanarak Rota Planlama, Rota Planlama Route Planning Using Artificial Bee Colony Algorithm For Unmanned Aerial Vehicles, Karaelmas Fen Ve Mühendislik Derg. 7, 259–265, (2017).
- [28] G. Dalkılıç, F. Türkmen, Karınca Kolonisi Optimizasyonu, Yüksek Performanslı Bilişim Sempozyumu. Dokuz Eylül Univ., İzmir, (2002).
- [29] K. Alaykiran, O. Engin, Karınca Kolonileri Metasezgiseli Ve Gezin Satıcı Problemleri Üzerinde Bir Uygulaması, J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ., Ankara, (2005).
- [30] E. Tanyıldızı, T. Cigal, Kaotik Haritalı Balina Optimizasyon Algoritmaları, Sci. Eng. J Fırat Univ. 29, 309–319, (2017).
- [31] B. Hekimoğlu, S. Ekin, S. Kaya, Optimal Pıd Controller Design Of Dc-Dc Buck Converter Using Whale Optimization Algorithm, 2018 Int. Conf. Artif. Intell. Data Process. Idap 2018, (2019).
- [32] I. Koc, O.K. Baykan, I. Babaoglu, Gri Kurt Optimizasyon Algoritmasına Dayanan Çok Seviyeli İmge Eşik Seçimi, J. Polytech. 4, 841–847, (2018).
- [33] N.K. Erdoğan, Greedy Algoritması İle Dengeli Tamamlanmamış Deney Tasarım Bloklarının Oluşturulması Ve (63,651,3,3,1) Tasarımı, Dumlupınar Üniversitesi Sos. Bilimler Dergisi., 149–159, (2017).
- [34] E. Dhulkefl, A. Durdu, H. Terzioğlu, DijkstraalgoriTması KullanılarakıHa Yol Planlaması, Konya J. Eng. Sci. 8055, 92–105, (2020).
- [35] M. Mozaffari, W. Saad, M. Xbennis, M. Debbah, Optimal Transport Theory For Power-

- Efficient Deployment Of Unmanned Aerial Vehicles, İn: 2016 Ieee Int. Conf. Commun. Icc 2016, (2016).
- [36] S. Julius Fusic, P. Ramkumar, K. Hariharan, Path Planning Of Robot Using Modified Dijkstra Algorithm, İn: 2018 Natl. Power Eng. Conf. Npec 2018, (2018).
- [37] S. Kul, M.S. Başar, Merkezi Sınavlardaki Soru Kitapçıklarına A* Algoritması İle Derslerin Yerleştirilmesi, Ajit-E Online Acad. J. Inf. Technol. 12, 29–44, (2021).
- [38] Ganesh, V. Kumar, Indoor Wireless Localization Using Haversine Formula, Iarjset. (2015).
- [39] K.M. Ponnimoli, S. Selvamuthukumaran, Frontal Face Recognition Using Combination Of Feature Extraction And String Matching, Int. J. Appl. Eng. Res. (2015).
- [40] Z.G. Ersan, Makine Öğrenmesi Yöntemleri İle Harita Eşleştirme Ve Konum Tahmini, Doktora Tezi, İstanbul,(2020).
- [41] E. Taşçı, A. Onan, K-En Yakın Komşu Algoritması Parametrelerinin Sınıflandırma Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Akad. Bilişim Konf. 1–8, (2016).
- [42] G. Xu, Y. Zong, Z. Yang, Applied Data Mining, (2013).
- [43] D. Ienco, R.G. Pensa, R. Meo, From Context To Distance: Learning Dissimilarity For Categorical Data Clustering, Acm Trans. Knowl. Discov. Data. (2012).
- [44] M.A. Hall, G. Holmes, Benchmarking Attribute Selection Techniques For Discrete Class Data Mining, Ieee Trans. Knowl. Data Eng. (2003).
- [45] E.A. İlter, Matematik Öğretmenlerinin Sözsüz İspat Becerilerinin Pisagor Teoremi Bağlamında İncelenmesi, 2507, 1–9, (2020).

ÖZGEÇMİŞ

Ferhat AKSOY

Country	Share of GDP
United States	1.2%
Germany	0.8%
France	0.7%
United Kingdom	0.6%
Italy	0.5%
Spain	0.4%
Japan	0.3%
China	0.2%
India	0.1%
South Korea	0.1%
Canada	0.1%
Brazil	0.1%
Russia	0.1%
South Africa	0.1%
Australia	0.1%
Sweden	0.1%
Netherlands	0.1%
Belgium	0.1%
Portugal	0.1%
Greece	0.1%
Poland	0.1%
Czech Republic	0.1%
Slovakia	0.1%
Hungary	0.1%
Slovenia	0.1%
Lithuania	0.1%
Latvia	0.1%
Estonia	0.1%
Finland	0.1%
Ireland	0.1%
Austria	0.1%
Switzerland	0.1%
Denmark	0.1%
Norway	0.1%
Sweden	0.1%
Netherlands	0.1%
Belgium	0.1%
Portugal	0.1%
Greece	0.1%
Poland	0.1%
Czech Republic	0.1%
Slovakia	0.1%
Hungary	0.1%
Slovenia	0.1%
Lithuania	0.1%
Latvia	0.1%
Estonia	0.1%
Finland	0.1%
Ireland	0.1%
Austria	0.1%
Switzerland	0.1%
Denmark	0.1%
Norway	0.1%
Sweden	0.1%
Netherlands	0.1%
Belgium	0.1%
Portugal	0.1%
Greece	0.1%
Poland	0.1%
Czech Republic	0.1%
Slovakia	0.1%
Hungary	0.1%
Slovenia	0.1%
Lithuania	0.1%
Latvia	0.1%
Estonia	0.1%
Finland	0.1%
Ireland	0.1%
Austria	0.1%
Switzerland	0.1%
Denmark	0.1%
Norway	0.1%
Sweden	0.1%
Netherlands	0.1%
Belgium	0.1%
Portugal	0.1%
Greece	0.1%
Poland	0.1%
Czech Republic	0.1%
Slovakia	0.1%
Hungary	0.1%
Slovenia	0.1%
Lithuania	0.1%
Latvia	0.1%
Estonia	0.1%
Finland	0.1%
Ireland	0.1%
Austria	0.1%
Switzerland	0.1%
Denmark	0.1%
Norway	0.1%
Sweden	0.1%
Netherlands	0.1%
Belgium	0.1%
Portugal	0.1%
Greece	0.1%
Poland	0.1%
Czech Republic	0.1%
Slovakia	0.1%
Hungary	0.1%
Slovenia	0.1%
Lithuania	0.1%
Latvia	0.1%
Estonia	0.1%
Finland	0.1%
Ireland	0.1%
Austria	0.1%
Switzerland	0.1%
Denmark	0.1%
Norway	0.1%
Sweden	0.1%
Netherlands	0.1%
Belgium	0.1%
Portugal	0.1%
Greece	0.1%
Poland	0.1%
Czech Republic	0.1%
Slovakia	0.1%
Hungary	0.1%
Slovenia	0.1%
Lithuania	0.1%
Latvia	0.1%
Estonia	0.1%
Finland	0.1%
Ireland	0.1%
Austria	0.1%
Switzerland	0.1%
Denmark	0.1%
Norway	0.1%
Sweden	0.1%
Netherlands	0.1%
Belgium	0.1%
Portugal	0.1%
Greece	0.1%
Poland	0.1%
Czech Republic	0.1%
Slovakia	0.1%
Hungary	0.1%
Slovenia	0.1%
Lithuania	0.1%
Latvia	0.1%
Estonia	0.1%
Finland	0.1%
Ireland	0.1%
Austria	0.1%
Switzerland	0.1%
Denmark	0.1%
Norway	0.1%
Sweden	0.1%
Netherlands	0.1%
Belgium	0.1%
Portugal	0.1%
Greece	0.1%
Poland	0.1%
Czech Republic	0.1%
Slovakia	0.1%
Hungary	0.1%
Slovenia	0.1%
Lithuania	0.1%
Latvia	0.1%
Estonia	0.1%
Finland	0.1%
Ireland	0.1%
Austria	0.1%
Switzerland	0.1%
Denmark	0.1%
Norway	0.1%
Sweden	0.1%
Netherlands	0.1%
Belgium	0.1%
Portugal	0.1%

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

████████████████████

[REDACTED] [REDACTED]

[REDACTED]