

**HAVA TRAFİK AKIŞ VE KAPASİTE YÖNETİMİNDE
SAHA KONTROL İÇİN
TOPLAMA NOKTASI YAKLAŞIMI**

Emre AYDOĞAN

Yüksek Lisans Tezi

Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalı

Ocak-2015

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 1308F328**

JURİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Emre Aydoğan'ın “Hava Trafik Akış ve Kapasite Yönetiminde Saha Kontrol için Toplama Noktası Yaklaşımı” başlıklı Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalındaki Yüksek Lisans Tezi 29.01.2015 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Yard. Doç. Dr. Cem ÇETEK
Üye :	Prof. Dr. Aydan CAVCAR
Üye :	Doç. Dr. Nihal ERGİNEL

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAVA TRAFİK AKIŞ VE KAPASİTE YÖNETİMİNDE SAHA KONTROL İÇİN TOPLAMA NOKTASI YAKLAŞIMI

Emre AYDOĞAN

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Hava Trafik Kontrol Anabilim Dalı

Danışman: Yard. Doç. Dr. Cem ÇETEK

2015, 62 sayfa

Bu tez çalışmasının amacı radar kontrollü hava sahalarından, radar kontrolsüz hava sahalarına devredilen uçuşlardaki hava trafik akış ve gecikme sorunlarının incelenmesi ve bu sorunlara çözüm yönteminin geliştirilmesidir. Radar kontrollü hava sahasından radarsız hava sahasına geçişlerde yaşanan gecikmeler hızlı zamanlı simülasyon ortamında, SIMMOD programı kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analiz sonucu ile gecikme nedenleri belirlenmiştir. Bu çalışmada Türkiye hava sahasından Irak hava sahasına olan trafiklerin devri uygulama alanı olarak belirlenmiştir. Irak hava sahası kaynaklı yaşanan gecikmelerin Türkiye hava sahasına olan etkilerini en aza indirmek için; yaklaşma sıralaması amacı ile kullanılan “Point-Merge” yöntemi yol safhasındaki uçuşlara uyarlanmıştır. Geliştirilen ayırma yöntemi hızlı zamanlı simülasyon metodu ile sınanmış ve sonuçları analiz edilmiştir. Geliştirilen yeni yöntemin hava sahası gecikmeleri, frekans meşguliyeti ve yakıt tüketiminde iyileştirmeler sağladığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava Sahası Kapasitesi, Hızlı Zamanlı Simülasyon, Ayırma Minimumları, Point-Merge

ABSTRACT

Master of Science Thesis

POINT-MERGE APPROACH AT AREA CONTROL FOR AIR TRAFFIC FLOW AND CAPACITY MANAGEMENT

Emre AYDOĞAN

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Air Traffic Control Program**

Supervisor: Yard. Doç. Dr. Cem ÇETEK

2015, 62 pages

The aim of this study is to analyze air traffic flow and delay problems experienced during traffic handoff between radar and non-radar controlled airspaces and develop appropriate separation techniques. The current delay conditions is analyzed using fast-time simulation techniques in SIMMOD program. The causes of delays are determined as a result of this baseline analysis. The traffic handoff between Turkish airspace and Iraq airspace is taken as an application area. To minimize the effects of delays caused by Iraq airspace on Turkish airspace, Point-Merge, an approach sequencing technique, is applied to en-route air traffics. The generated separation technique is tested using fast time simulation and its results are analyzed. Finally, some improvements are achieved for the air space delays, frequency occupancy and fuel consumption by the usage of new separation method.

Keywords: Airspace Capacity, Fast Time Simulation, Separation Minimums, Point-Merge

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. AYIRMA YÖNTEMLERİ VE HAVA SAHASI KAPASİTESİ	4
2.1 Dikey Ayırma	4
2.2 Yatay Ayırma.....	5
2.2.1. Yanlamasına Ayırma	6
2.2.2. Uzunlamasına Ayırma	8
2.3 Ayırma Minimumlarının Hava Sahası Kapasitesine Etkisi	10
2.4 Radarlı ve Radarsız Ayırma Prosedürleri	11
3. TÜRKİYE HAVA SAHASININ TANITILMASI	14
3.1 İstanbul FIR ve Sektörleri	15
3.2 Ankara FIR ve Sektörleri	16
3.3 Türkiye ve Avrupa Hava Trafiğindeki Artış.....	17
3.4 Türkiye Hava Sahası Kaynaklı Gecikmeler.....	19
3.5 Türkiye Hava Sahasının İncelenmesi	20
3.6 Kapasite Probleminin Belirlenmesi	22
4. PROBLEME YÖNELİK ÇÖZÜM YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ	24
4.1 Point-Merge Yönteminin Tanıtılması.....	24
4.2 Point-Merge Sisteminin Yol Safhasındaki Uçuşlara Uyarlanması.....	27
4.3 Önerilen Çözüm Yönteminden Beklenen Faydalar	28
5. SİMULASYON VE MODELLEME	30
5.1 Simülasyon ve Kullanım Amacı	30
5.2 Temel Senaryo	33
5.2.1. Temel Senaryo İçin Kabuller	33
5.2.2. Temel Senaryonun Modellenmesi	34
5.2.3. Temel Senaryo Sonuçları	37

5.3 Alternatif Senaryo	41
5.3.1. Alternatif Senaryo İçin Kabuller	41
5.3.2. Alternatif Senaryonun Modellenmesi.....	42
5.3.3. Alternatif Senaryo Sonuçları	43
6. SİMÜLASYON SONUÇLARININ ANALİZİ	47
6.1 Gecikme Analizi	47
6.2 Frekans Meşguliyeti Analizi	48
6.3 Yakıt Sarfıyatı Analizi	52
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Coğrafi Ayırma [16]	7
Şekil 2.2. VOR Ayırması [16]	7
Şekil 2.3. NDB Ayırması [16]	8
Şekil 2.4. Zaman Esasına Dayalı Uzunlamasına Ayırma [16].....	9
Şekil 2.5. Mesafeye Dayalı Uzunlamasına Ayırma [16].....	10
Şekil 2.6. RVSM Hava Sahası Ek Uçuş Seviyeleri	11
Şekil 3.1. Türkiye Hava Sahası [19]	14
Şekil 3.2. İstanbul FIR Sektör Dağılımı.....	15
Şekil 3.3. Ankara FIR Sektör Dağılımı.....	16
Şekil 3.4. Türkiye Hava Trafikindeki Artış [21,22].....	17
Şekil 3.5. Ocak 2013 Türkiye Genelinde Gerçekleşen Uçuşlar [27]	20
Şekil 3.6. Ankara Güneydoğu Sektöründen Devredilen Uçuş Dağılımı.....	21
Şekil 3.7. Hava Sahalarının Etkileşimi	22
Şekil 4.1. Point-Merge Yöntemi [12].....	25
Şekil 4.2. Verilen Talimatların Kıyaslanması [12]	26
Şekil 4.3. Point-Merge Yönteminin Yoldaki Uçuşlara Uygulanması.....	27
Şekil 5.1. Simülasyon Akış Diyagramı	32
Şekil 5.2. Ankara FIR'ın SIMMOD Ortamındaki Ekran Alıntısı.....	34
Şekil 5.3. NINVA Çıkış Noktası.....	35
Şekil 5.4. Uçak Kategori Dağılımı.....	36
Şekil 5.5. Simülasyonda Yer Alan Uçakların Rota Dağılımları	37
Şekil 5.6. Temel Senaryo Uçuş Süreleri	38
Şekil 5.7. Temel Senaryo Gecikme Dağılımları	39
Şekil 5.8. Temel Senaryo Geciken Uçuş Dağılımı	40
Şekil 5.9. Temel Senaryo Gecikmeli Uçakların Rotaya Göre Dağılımı	41
Şekil 5.10. Alternatif Senaryo SIMMOD Ekran Alıntısı.....	42
Şekil 5.11. Alternatif Senaryo ve Point-Merge Yöntemi.....	43
Şekil 5.12. Alternatif Senaryo Uçuş Süreleri	44
Şekil 5.13. Alternatif Senaryo Gecikme Dağılımları.....	44
Şekil 5.14. Alternatif Senaryo Geciken Uçak Dağılımı.....	45
Şekil 5.15. Alternatif Senaryo Gecikmeli Uçakların Rotaya Göre Dağılımı.....	46

Şekil 6.1. Temel ve Alternatif Senaryolarda Gecikme Dağılımı	47
Şekil 6.2. Ankara Kuzey Sektörü Talimat Dağılımı	49
Şekil 6.3. Ankara Merkez Sektörü Talimat Dağılımı	49
Şekil 6.4. Ankara Batı Sektörü Talimat Dağılımı	50
Şekil 6.5. Ankara Kuzeydoğu Sektörü Talimat Dağılımı	50
Şekil 6.6. Ankara Güneydoğu Sektörü Talimat Dağılımı	50
Şekil 6.7. Ankara FIR Talimat Dağılımı	51
Şekil 6.8. Yatış Hareketi	53
Şekil 6.9. Vektörlmeye Bağlı Dönüşler.....	55
Şekil 6.10. Yakıt Tüketimleri.....	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. IFR ve VFR Uçuş Seviyeleri	5
Çizelge 3.1. İstanbul FIR'ı Düşey Sektör Dağılımı	15
Çizelge 3.2. Eurocontrol 2035 Hava Trafik Tahmini	18
Çizelge 5.1. Simülasyonda Kullanılan Hız Kabulleri	34
Çizelge 5.2. Uçuşların Uçak Tiplerine Göre Dağılımı.....	36

1. GİRİŞ

Hava trafik sistem yaklaşımı ile ele alındığında hava sahası bu sistemin girdilerinden birini oluşturmaktadır. Hava trafik sisteminin bir elemanı olan hava sahasında yaşanan kapasite problemleri, hava sahalarındaki operasyonel yönetim usullerinden kaynaklanmaktadır. Hava sahalarında uygulanan usullerin homojen olmaması, özellikle komşu hava sahalarının sınır geçişlerinde kapasite problemlerini daha da körüklemektedir. Hava sahası kapasitesinin olabildiğince etkin kullanılabilmesi için komşu hava sahalarındaki homojen olmayan usullerden kaynaklı kapasite sorunlarının en aza indirgenmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında Türkiye hava sahasında; komşu hava sahalarından kaynaklanan hava sahası kapasitesi problemleri ele alınacaktır. Türkiye hava sahasında meydana gelen gecikmeler ve bu gecikme nedenleri incelenecektir. Türkiye hava sahası Eurocontrol (European Organization for Safety of Air Navigation) ve Avrupa Sivil Havacılık Konferansı (European Civil Aviation Conference ECAC) üyesi ülkeler arasında güneydoğu kesiminde yer almaktadır. Bulunduğu konum itibarıyla Türkiye tam bir geçiş bölgesinde bulunmaktadır. Türkiye hava sahası üzerinden güneydoğu yönlü uçuşlar ECAC üyesi ülkelerin oluşturduğu hava sahasının dışına çıkmaktadır. Tam tersi yönden bakıldığında ise ECAC üyesi ülkelerin hava sahasına güneydoğu yönünden yapılan girişlerin yine Türkiye hava sahası üzerinden gerçekleştiği görülmektedir. Türkiye hava sahası ile doğu ve güneydoğuda yer alan komşu hava sahaları arasındaki hava seyrüsefer ekipmanları, radar izleme sistemleri ve uygulanan ayırma prosedürleri farklılık arz etmektedir. Bu farklılık Türkiye hava sahasını etkilemekte ve gecikmelere neden olmaktadır.

Belirtilen bu farklılıklar ve komşu hava sahalarının ayırma usullerinde uyguladıkları farklı minimumlar nedeni ile kapasite problemleri yaşanmaktadır. Yaşanan bu gecikme ve kapasite problemleri için tez çalışması kapsamında yeni bir yöntemin oluşturulması ve incelenmesi amaçlanmaktadır.

Bu doğrultuda Türkiye hava sahasında oluşan gecikmeler ve bu gecikmeler için öngörülen alternatif çözüm yöntemleri hızlı zamanlı simülasyon yöntemleri ile incelenecektir.

Hava sahası kapasitesi ve akış yönetimi pek çok akademik çalışmada konu alınmıştır. Juricic ve ark. hava trafiğinin yoğun olduğu saatlerde hava trafik kontrolör iş yükünü göz önüne alarak simülasyon yöntemi ile Zagreb hava sahası kapasitesini incelemişlerdir [1]. Mitchell ve Krozel hava durumu tahminleri doğrultusunda hava sahası kapasitesinin belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır [2]. Donaldson ve Hansman ise birbirine yakın havaalanlarının etkileşimini inceleyerek New York hava sahası kapasitesinin iyileştirilmesi için çalışmalar yürütmüştür [3]. Majumdar ve Ochieng Avrupa hava sahasının kapasitesine etkiyen faktörleri belirlemek amacı ile kontrolör iş yükü verilerini Reorganized ATC Mathematical Simulator (RAMS) hızlı zamanlı simülasyon ortamında incelemişlerdir [4].

Hava sahası kapasitesi üzerinde yapılan çalışmalara bakıldığında, hızlı zamanlı simülasyon yöntemlerinin önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir. Hızlı zamanlı simülasyon teknikleri hava sahası kapasitesi problemlerinin belirlenmesinde ve bu problemlere yönelik geliştirilen çözüm önerilerinin sınanmasında geniş bir alanda kullanılmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan başlıca hızlı zamanlı simülasyon yazılımları arasında “Airport and Airspace Simulation Model” (SIMMOD), “Total Airport and Airspace Model” (TAAM) ve “Re-organized ATC Mathematical Simulator” (RAMS) yazılımları yer almaktadır [5,6,7]. Hızlı zamanlı simülasyon yazılımlarından SIMMOD ile pek çok analiz gerçekleştirilmiştir. Gao ve ark. yaptıkları çalışma ile yoğun hava trafiğine sahip olan hava alanlarının gecikmelerini incelemişlerdir [8]. Gao ve ark. Zhuhai Uluslararası hava alanı hava trafik akışını SIMMOD ortamında geliştirdikleri senaryo ile inceleyerek gecikmelerden kaynaklanan yakıt sarfiyatını hesaplamışlardır. Yaptıkları analiz sonucunda elde ettikleri gecikme kaynaklı yakıt maliyetlerini değerlendirerek uçuş zamanı planlamalarını kıyaslamışlardır. SIMMOD ile yürütülen bir başka çalışmada da Chao ve ark. hava alanı iniş-kalkış gecikmelerinin havaalanı hava tarafı kapasitesine olan etkilerini incelemişlerdir [9]. Kleinman ve ark. uçak park yerinde yaşanan gecikme ve beklemeleri SIMMOD ortamında incelemişlerdir [10]. Wei ve Taobo ise geliştirdikleri Xiaman havaalanının SIMMOD modelinde gerçek uçuş verilerine göre oluşturulan simülasyon ortamında araştırmalar yürütmüştür [11].

Hava sahası kapasite problemlerine yönelik çözümler için geliştirilmiş bazı yeni nesil prosedürler bulunmaktadır (RNAV prosedürleri, Point-Merge, vb.). Bu prosedürler mevcut seyrüsefer altyapı teknolojisinin gelişmesi ile birlikte uçak konum ve irtifasının daha hassas belirlenebilmesiyle sağlanmış ve bu sayede de daha düşük ayırmalar ve daha hassas prosedürler uygulanabilir hale gelmiştir. Bu yöntemlerden Point-Merge 2006 yılında Eurocontrol tarafından geliştirilen bir yaklaşma sıralaması yöntemidir. Boursier ve ark. Eurocontrol Deney Merkezinde yaptıkları çalışmada Point-Merge yöntemini incelemişlerdir [12]. Yapılan çalışma da Point-Merge yönteminin getirdiği faydalar yer almaktadır. Bu faydalara bakıldığında; frekans meşguliyeti ve talimat sayısında azalmalar, kontrolör karar verme sürecinde sağlanan kolaylıklar ve yaklaşma safhasında sürekli alçalma prosedürünün uygulanabilirliği kazanılan faydalar olarak sıralanmaktadır. Ülkemizde ise Meriç ve Usanmaz çalışmalarında uzantıları kesişen pistler için Point-Merge yöntemi kullanarak geliş trafiklerine bir sıralama yöntemi geliştirmişler ve geliştirdikleri bu yöntemi geleneksel sıralama teknikleri ile karşılaştırmışlardır [13]. Eurocontrol tarafından yayınlanan gerçek zamanlı simülasyon raporlarında da Oslo ve Dublin havaalanlarında Point-Merge yöntemi incelenmiştir [14,15].

2. AYIRMA YÖNTEMLERİ VE HAVA SAHASI KAPASİTESİ

Hava sahaları aynı zaman diliminde pek çok hava aracı tarafından ortak olarak kullanılmaktadır. Aynı hava sahasını kullanan hava araçlarının emniyetli ve düzenli bir şekilde seyrüseferlerine devam edebilmeleri için aralarında belirli bir mesafenin korunması gerekmektedir. Bu mesafelere ayırma denir. Hava taşımacılığına olan talep artışı doğrultusunda gün geçtikçe artan hava trafiği, uçaklar arasındaki bu ayırmaların sağlanmasını her geçen gün zorlaştırmaktadır. Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (International Civil Aviation Organization ICAO) hava araçlarının emniyetli bir şekilde seyrüseferine imkan tanıyan ayırma yöntemleri ve minimumları belirlemiştir. Bu bölümde uçakların birbirinden ayrılması için gereken ayırma yöntemleri ile minimumlarından bahsedilecektir.

Hava araçları arasındaki ayırma yöntemleri yatay ve dikey ayırma olarak ikiye ayrılmaktadır. Yatay ayırma da kendi içinde uzunlamasına yatay ayırma ve yanlamasına yatay ayırma olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.1 Dikey Ayırma

Dikey ayırma hava araçlarının uygun altimetre ayarlama prosedürlerinin ardından belirlenen minimum dikey mesafelerin uçuş seviyesi ya da irtifa olarak korunması ile sağlanır [16]. Dikey ayırmada belirlenen minimum dikey mesafeler ICAO Doküman 4444 de belirtilmiştir. Burada belirtilen minimumlara göre uçaklar arası minimum dikey mesafe uçuş seviyesi 290' a kadar 1000 feet, 290 ve üzeri uçuş seviyelerinde ise 2000 feet'dir. Ancak azaltılmış dikey ayırma minimumlarının (Reduced Vertical Separation Minimums RVSM) kullanıldığı hava sahalarında uçuş seviyesi 410 a kadar 1000 feet, 410 ve üzeri uçuş seviyelerinde ise 2000 feet olarak uygulanır.

Dikey ayırmada dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da doğu ve batı yönlü trafiklerin ayrılmasıdır. ICAO Ek-2 de doğu ve batı yönlü hava araçlarına tahsis edilebilecek uçuş seviyeleri belirtilmiştir. İlgili ülkenin sivil havacılık otoritelerince belirtilip havacılık bilgi yayınında yayınlanmadığı müddetçe ICAO Ek-2 de yer alan uçuş seviyelerinin kullanımı zorunlu kılınmıştır. Bu dokümanda yer alan görerek uçuş kuralları (Visual Flight Rules VFR) ve aletli uçuş kuralları (Instrument

Flight Rules IFR) ile gerçekleştirilecek uçuşlar için tahsis edilebilecek olan uçuş seviyeleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. IFR ve VFR Uçuş Seviyeleri

Uçuş Yörüngesi											
000 Dereceden 179 Derecesine Kadar						180 Dereceden 359 Derecesine Kadar					
IFR Uçuşlar			VFR Uçuşlar			IFR Uçuşlar			VFR Uçuşlar		
FL	Feet	Metre	FL	Feet	Metre	FL	Feet	Metre	FL	Feet	Metre
010	1000	300	-	-	-	020	2000	600	-	-	-
030	3000	900	035	3500	1050	040	4000	1200	045	4500	1350
050	5000	1500	055	5500	1700	060	6000	1850	065	6500	2000
070	7000	2150	075	7500	2300	080	8000	2450	085	8500	2600
090	9000	2750	095	9500	2900	100	10000	3050	105	10500	3200
110	11000	3350	115	11500	3500	120	12000	3650	125	12500	3800
130	13000	3950	135	13500	4100	140	14000	4250	145	14500	4400
150	15000	4550	155	15500	4700	160	16000	4900	165	16500	5050
170	17000	5300	175	17500	5350	180	18000	5500	185	18500	5650
190	19000	5800	195	19500	5950	200	20000	6100	205	20500	6250
210	21000	6400	215	21500	6550	220	22000	6700	225	22500	6850
230	23000	7000	235	23500	7150	240	24000	7300	245	24500	7450
250	25000	7600	255	25500	7750	260	26000	7900	265	26500	8100
270	27000	8250	275	27500	8400	280	28000	8550	285	28500	8700
290	29000	8850				300	30000	9150			
310	31000	9450				320	32000	9750			
330	33000	10050				340	34000	10350			
350	35000	10650				360	36000	10950			
370	37000	11300				380	38000	11600			
390	39000	11900				400	40000	12200			
410	41000	12500				430	43000	13100			
450	45000	13700				470	47000	14350			
490	49000	14950				510	51000	15550			

2.2 Yatay Ayırma

Aralarında dikey ayırma bulunmayan yani aynı irtifada bulunan hava araçları için yatay ayırma uygulanmalıdır. Yatay ayırma yanlamasına ayırma ve uzunlamasına ayırma olarak ikiye ayrılır. Yatay ayırmada temel prensip hava araçlarının yatay düzlemde belirlenen minimum mesafeden daha az bir mesafe ile

birbirlerine yaklaşmalarının önüne geçilmesidir. Belirlenen bu mesafe yanlamasına ya da uzunlamasına sağlanabilir.

2.2.1. Yanlamasına Ayırma

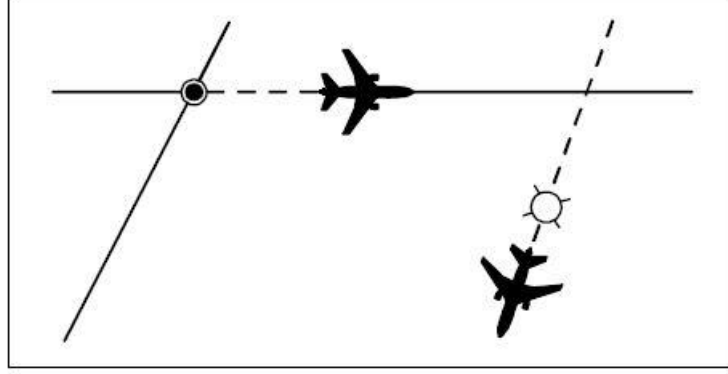
Yanlamasına ayırmanın uygulanabilmesi için hava araçlarının izledikleri rotaların arasındaki mesafenin, koruma alanlarının eklenmesi ile belirlenen ve ilan edilen minimum ayırma mesafelerinin altına asla düşmemesi gerekmektedir. Yanlamasına ayırmada hava araçlarının birbirlerine olan mesafesi coğrafi olarak, radyo seyrüsefer yardımcılara olan konumları ile ya da Saha Seyrüsefer Sistemleri (Area Navigation Systems RNAV) ile belirlenebilir. Herhangi bir şekilde hava araçlarının radyo seyrüsefer ekipmanlarında meydana gelebilecek arıza, hassasiyet azalması ya da seyrüsefer yardımcılarının çalışmaması sonucunda hava araçları yanlamasına ayıramıyorsa ilgili hava trafik kontrolörü mutlaka alternatif bir ayırma yöntemi uygulayarak hava araçlarını birbirinden ayırmalıdır [16].

Yanlamasına ayırma yöntemlerinde belirlenen ayırma minimumları kullanılan seyrüsefer yardımcılara bağı olarak seyrüsefer hizmet sağlayıcısı ülkenin sivil havacılık otoritesince belirlenir. Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu, kullanılması gereken zorunlu ayırma minimumlarını belirlemektedir. Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonunun belirli seyrüsefer yardımcıları için belirlediğı ayırma minimumlarından bazılarına yatay ayırmaya örnek teşkil etmesi açısından burada yer verilecektir.

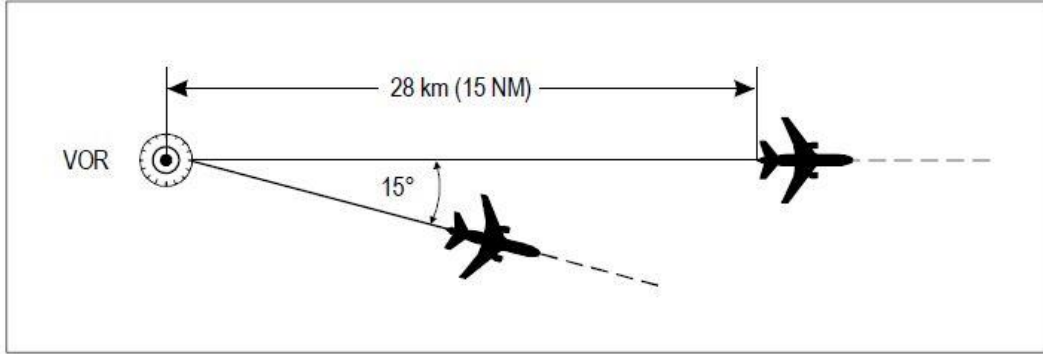
Aynı ya da farklı coğrafi konumların kullanılması ile sağlanan coğrafi ayırma Şekil 2.1’de görülmektedir. Coğrafi ayırma uçakların farklı coğrafi konumlarda olmalarını rapor etmeleri ile sağlanır.

Yanlamasına ayırmada bir diğere yöntem ise seyrüsefer yardımcısı cihazlar yardımı ile ayırmanın sağlanmasıdır. Seyrüsefer yardımcıları ile sağlanan yanlamasına ayırmanın minimum değeri kullanılan seyrüsefer yardımcısına göre değişmektedir. Kullanılan seyrüsefer yardımcısı VOR (Very High Frequency Omni-Directional Range) ve NDB (Non-Directional Beacon) gibi yere dayalı ve yerde bir yayın istasyonu gerektiren yardımcılar olabilir. Bir VOR istasyonundan en az 15° ayrılan yönlerde uçan iki hava aracı arasındaki ayırma için hava

araçlarından birinin en az 15 deniz mili VOR istasyonundan uzaklaşmış olması gerekmektedir. VOR' a dayalı ayırma Şekil 2.2'de yer almaktadır.

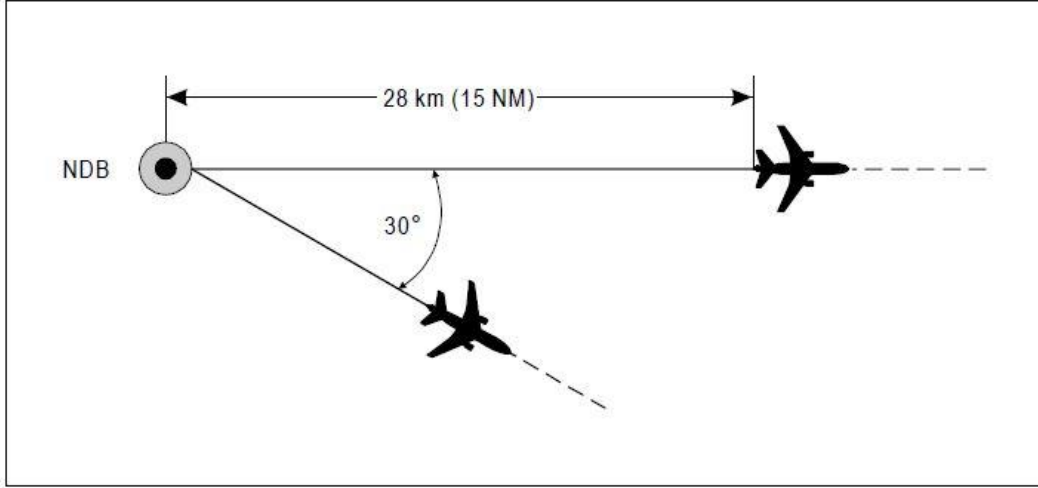


Şekil 2.1. Coğrafi Ayırma [16]



Şekil 2.2. VOR Ayırması [16]

Kullanılan seyrüsefer yardımcısının hassasiyetine bağlı olarak yanlamasına ayırma minimumları da değişmektedir. Örneğin daha düşük hassasiyete sahip olan NDB seyrüsefer yardımcısında birbirinden en az 30 ° ayrılan yönlerde iki hava aracından birinin NDB istasyonundan 15 deniz mili uzaklaşmış olması gerekir. NDB ye dayalı yanlamasına ayırma minimumu Şekil 2.3'de yer almaktadır.



Şekil 2.3. NDB Ayırması [16]

Eğer herhangi bir seyrüsefer yardımcısına ait istasyon kullanılmıyorsa, görsel ya da birden fazla seyrüsefer yardımcısının kesişimi ile oluşturulan belirli bir noktaya göre de yanlamasına ayırma uygulanabilir bu durumda hava araçları arasındaki açı en az 45° olacak şekilde, hava araçlarından biri en az 15 deniz mili uzaklaşmış olmalıdır. Verilen örneklerden de görüleceği üzere konum belirlemede kullanılan seyrüsefer yardımcısı ya da yöntem hassasiyeti düştükçe yanlamasına ayırma minimumu da giderek artmaktadır.

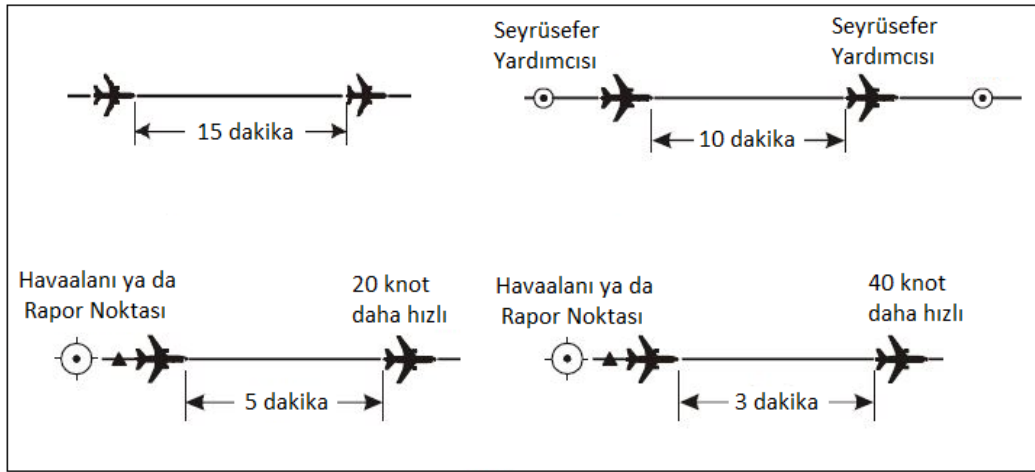
2.2.2. Uzunlamasına Ayırma

Uzunlamasına ayırma yöntemlerinin tamamına burada yer verilmeyecektir. Sadece yeterince örnek teşkil etmesi için aynı yönlü uçaklar arasında zaman esasına dayalı uzunlamasına ayırmalar ile tez kapsamında kullanılacak olan mesafeye dayalı uzunlamasına ayırmalar anlatılacaktır.

Uzunlamasına ayırma zaman esasına dayalı ya da mesafeye dayalı olarak iki şekilde sağlanabilir. Uzunlamasına ayırma için gerekli olan ayırma minimumunun sağlanmasında uçaklara Mach tekniği ile hız tahditlerinde bulunulabilir. Ancak uzunlamasına ayırmada Mach tekniği kullanılacaksa bu durum bölgesel havacılık anlaşmalarında belirtilmelidir [16].

Zaman esasına dayalı uzunlamasına ayırmada da yanlamasına ayırmada olduğu gibi ayırma minimumlarını belirleyen en temel faktör kullanılan seyrüsefer yardımcılarının hassasiyetleridir. Normalde zaman esasına dayalı uzunlamasına

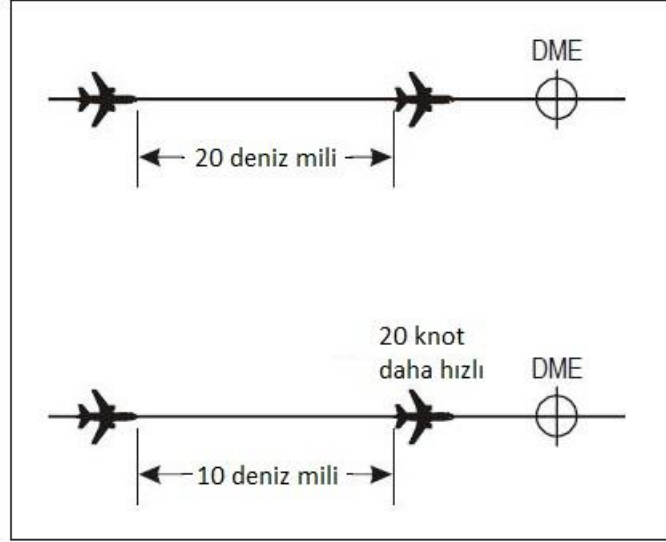
ayırma aynı yönlü hava araçları için 15 dakikadır. Ancak kullanılan seyrüsefer yardımcıları sık sık olarak konum ve hız belirlemeye imkan tanıyor ise aynı yönlü hava araçları arasındaki zaman esasına dayalı uzunlamasına ayırma 10 dakika olarak uygulanabilir. Hatta aynı yönlü olan ve aynı havaalanından kalkmış ya da aynı rapor noktasından geçmiş olan hava araçlarından öndeki eğer arkadaki hava aracına göre 20 knot ve üzerinde daha hızlı ise zaman esasına göre uygulanan ayırma minimumu 5 dakikaya kadar düşmektedir. Eğer öndeki hava aracı arkadaki hava aracına göre 40 knot ve üzerinde daha hızlı ise bu ayırma 3 dakikaya kadar düşebilir. Zaman esasına dayalı uzunlamasına ayırma minimumları Şekil 2.4’de görülmektedir.



Şekil 2.4. Zaman Esasına Dayalı Uzunlamasına Ayırma [16]

Aynı yönlü hava araçları arasındaki mesafeye dayalı uzunlamasına ayırmanın uygulanabilmesi için birbiri arasında ayırma uygulanacak olan hava araçları belirlenmiş olan bir referans noktasına göre mesafe ölçülebilir olmalıdır. Bu referans noktası bir DME (Distance Measuring Equipment) istasyonu ya da tamamen sanal olarak oluşturulmuş koordinatları belirli bir yol noktası (waypoint) da olabilir. Önemli olan hava araçlarının aynı noktayı referans almaları ve mesafe ölçümünü bu noktaya göre yapmalarındır. Buna göre aynı referans noktasına göre mesafe ölçümü yapabilen hava araçları arasındaki uzunlamasına ayırma minimumu ICAO ayırma minimumlarına göre 20 deniz milidir. Eğer öndeki hava aracı arkadaki hava

aracına göre 20 knot daha hızlı ise bu ayırma minimumu 10 deniz miline düşürülebilmektedir. Mesafeye dayalı uzunlamasına ayırma Şekil 2.5’de görülmektedir.

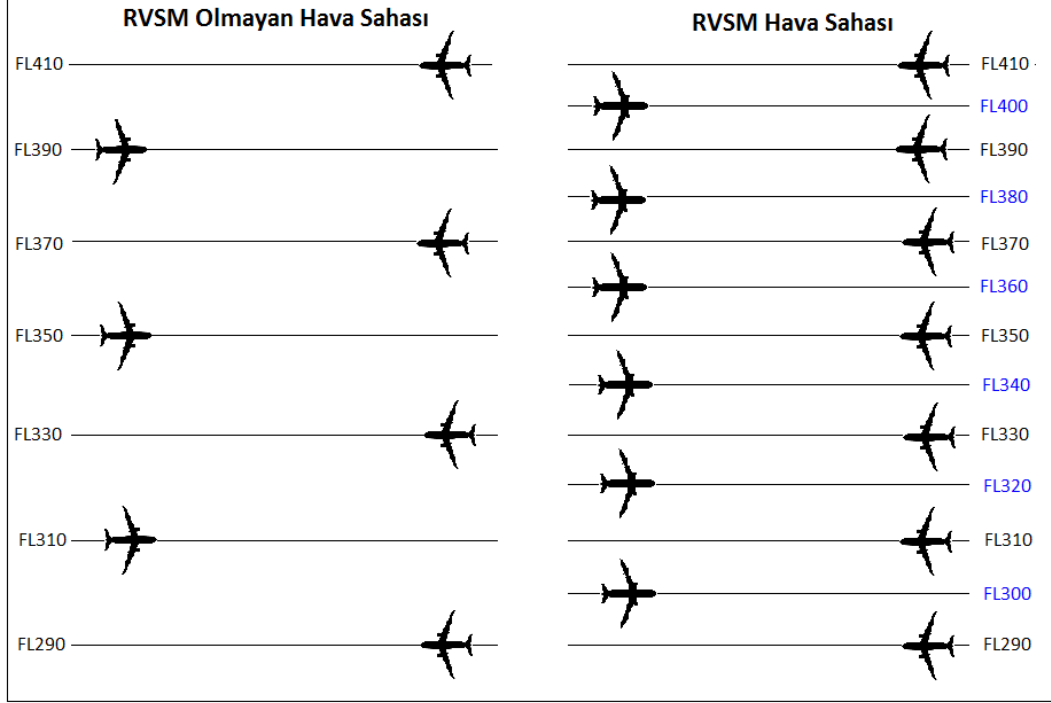


Şekil 2.5. Mesafeye Dayalı Uzunlamasına Ayırma [16]

2.3 Ayırma Minimumlarının Hava Sahası Kapasitesine Etkisi

Hava araçlarının emniyetli bir şekilde seyrüseferine imkan tanıyan ayırmalar ve ayırma minimumları bir önceki bölümde aktarılmıştır. Aktarılan ayırma minimumlarının tamamı hava araçları arasında emniyeti sağlarken hava sahası kapasitesini ise olumsuz olarak etkilemektedir. Uygulanan ayırma minimumlarındaki artışlar aslında hava sahasının kullanılabilir kısmında azalmalara neden olmaktadır. Örneğin RVSM uygulamasından önce hava sahaslarında 290 uçuş seviyesinin üzerinde doğu ve batı yönlü hava trafiklerinin ayrılması için 2000 feet’lik dikey ayırmalar kullanılmaktaydı. Ancak RVSM in uygulanması ile birlikte 410 uçuş seviyesine kadar doğu ve batı yönlü trafiklerin ayrılmasında 1000 feet’lik düşey ayırmaya geçilmiş oldu. 2000 feet’lik dikey ayırmaların yerine 1000 feet’lik dikey ayırmaların kullanılması ile birlikte aynı hava sahası için 6 adet yeni uçuş seviyesi kazanılmış oldu. RVSM hava sahasının getirmiş olduğu ek uçuş seviyeleri Şekil 2.6’da yer almaktadır. Hava sahasında uygulanan ayırma minimumunun RVSM uygulaması ile azaltılması mevcut hava

sahasının kapasitesini arttırmaktadır. RVSM'in kapasite artırımının yanında ayrıca yakıt tüketiminde tasarruf sağladığı ve azot salınımlarını azalttığı da ifade edilmektedir [17].



Şekil 2.6. RVSM Hava Sahası Ek Uçuş Seviyeleri

Sadece dikey ayırma minimumları değil benzer şekilde yatay ayırma minimumlarındaki azalmalarda kapasiteyi arttırmaktadır. Tabii ki kapasiteyi arttırmak adına emniyeti hiçe sayarcasına ayırma minimumlarını azaltmak düşünülemez. Ayırma minimumlarının azaltılması ancak gerekli emniyet paylarının sağlanması ile mümkündür. Uçuş emniyetini sağlayacak ve hava sahaları kapasitesinin en etkili şekilde kullanımına imkan tanıyacak düzeyde en uygun ayırma minimumlarının belirlenmesinde pek çok faktör etkindir. Uçak performansı, seyrüsefer ekipmanlarının hassasiyeti, uçak kumanda kontrol kabiliyeti, seyrüsefer yardımcı istasyonlarının sıklığı ve konumları, radar kapsama alanı gibi pek çok faktör ayırma minimumlarının belirlenmesinde etkilidir.

2.4 Radarlı ve Radarsız Ayırma Prosedürleri

Hava trafiğinin emniyetli ve düzenli bir şekilde akışının sürdürülebilmesi için hava araçlarının hava trafik kontrolörleri tarafından ayrılması gerekmektedir. Hava

araçları arasındaki bu ayırma radar hizmetlerinin olduğu hava sahalarında uçakların radar ile tanımlanması ve takibiyle yapılabilmektedir. Ancak yeterli radar ekipmanının mevcut olmadığı hava sahalarında ise bu ayırma tamamen pilot pozisyon raporlarına dayalı olarak gerçekleştirilmektedir.

Radar ayırmalarında hava araçları uygun PSR (Primary Surveillance Radar), SSR (Secondary Surveillance Radar) veya ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast) sistemleri ile hava trafik kontrol ünitelerince tanımlanarak izlenmekte ve ayırmaları bu sistemler yardımıyla sağlanmaktadır. Radar ayırmalarında kullanılan radar ekipmanına bağlı olarak, hava aracının yer, yön, uçuş seviyesi, uçak tipi, hava hızı ve kimlik bilgisi gibi pek çok veri hava trafik kontrol ünitesindeki hava trafik kontrolörüne iletilmektedir. Bu sayede hava trafik kontrolörü hava aracını diğer hava araçlarından ve manialardan ayırabilmek için gereken talimatları telsiz haberleşmesi ile pilota aktarabilmektedir. Radar ayırmalarında hava araçlarının anlık olarak izlenebilmesi ve konum bilgilerinin hassas olarak elde edilebilmesi nedeni ile hava araçları arasında uygulanan ayırmalar daha rahat bir şekilde sağlanabilmektedir. Pilot tarafından sürekli pozisyon raporuna gerek duyulmaksızın hava aracının konumu hava trafik kontrol ünitesindeki radar sistemleri ile takip edilebilmektedir.

Radarsız ayırma prosedürleri ise hava aracına ait herhangi bir radar bilgisinin hava trafik kontrol ünitesine aktarılamadığı ya da radar ekipmanının bulunmadığı kontrollü hava sahalarında uygulanır. Radarsız ayırmada hava aracına ait bilgiler tamamen pilot pozisyon raporlarına dayalıdır. Hava aracının tüm bilgileri (konum, irtifa, hız ve kimlik bilgileri) hava aracının pilotu tarafından ilgili hava trafik kontrol ünitelerine telsiz haberleşmesi ile iletilen raporlar sayesinde alınır. Hava trafik kontrolörü ise almış olduğu bu raporlar sayesinde hava aracını diğer hava araçlarından ve manialardan ayırmakla sorumludur. Radarsız ayırma prosedürlerinde uçağın konum bilgisinin an ve an gözlemlenememesi, konum bilgisinin pozisyon raporlarıyla alınması ve bu raporlar doğrultusunda hava araçları arasında ayırmaların sağlanması hava trafik kontrolörünün işini oldukça zorlaştırmaktadır. Radarsız ayırma prosedürlerinde hava araçları önceden tanımlanmış rotalarda ve kendilerine tahsis edilen uçuş seviyelerinde uçmakla zorunludur. Bu durum hava araçlarına radar vektörü verilememesine neden

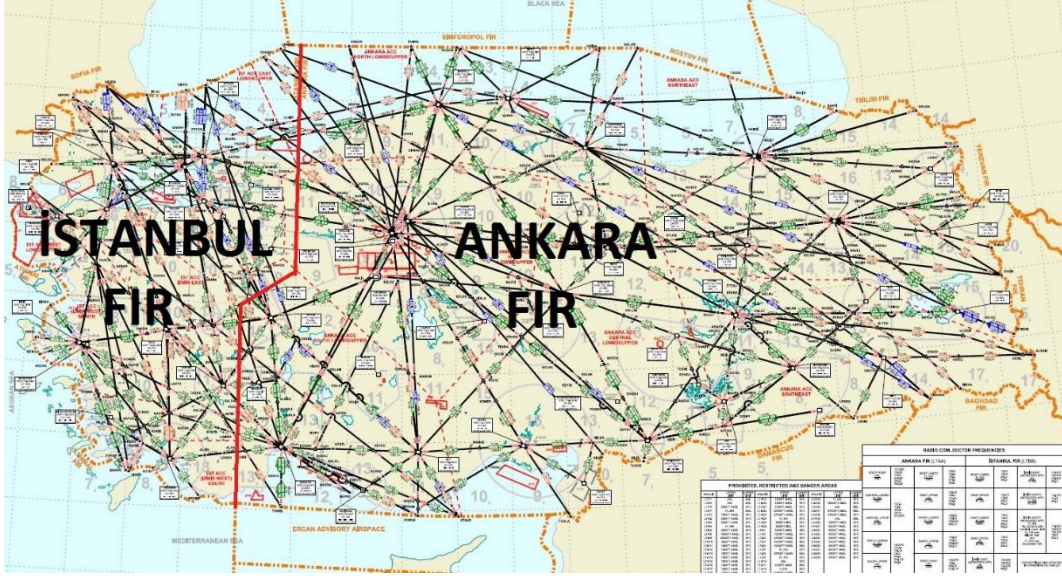
olmaktadır. Radar ile takip altına alınamayan uçakların radarsız ayırma prosedürleri ile standart olarak belirlenmiş yollardan gitmeleri hava sahası kapasitesini de olumsuz etkilemektedir.

Türkiye hava sahasında İstanbul ve Ankara uçuş bilgi bölgelerinde radar hizmeti verilmektedir. Türkiye hava sahasında hava araçları arasındaki ufki radar ayırması asgari 10 deniz mili olarak uygulanmaktadır [18]. Ancak Trabzon terminal kontrol sahası (Terminal Control Area-TMA) ile Adana ve Kayseri askeri terminal kontrol sahası (Military Terminal Control Area-MTMA) içinde asgari 5 NM; Ankara, İstanbul, İzmir, Antalya, Dalaman ile Milas TMA içinde yaklaşma kontrol hizmetinde ufki radar ayırması asgari 3 NM' a kadar düşmektedir. Uygulanan bu ayırma minimumları, trafik yoğunluğuna ve kullanılan radar cihazının performans düzeyine uygun olarak, gerektiğinde hava trafik kontrolörleri tarafından artırılabilir. Radar sisteminin arıza yapması halinde ise uçaklar arasında standart radarsız ayırma prosedürleri uygulanması planlanmıştır. Uçaklar arasında standart radarsız ayırma tesis edilinceye kadar FL410'un altında asgari 500 ft'lik ve FL410 ve üzerinde ise 1000 ft'lik ayırma geçici olarak sağlanacaktır [18].

Türkiye hava sahasının tamamında radar sistemlerinin faal olması durumunda radar hizmetleri sağlanmakta ve radar ayırmaları uygulanmaktadır. Türkiye hava sahasında yeterli düzeyde radar kapsamının olması radar ayırma minimumlarının uygulanması için yeterli değildir. Türkiye hava sahasına komşu olan diğer hava sahalarındaki radar kapsamaları ve kullanılan ayırma yöntemleri de Türkiye hava sahasında kullanılan ayırma minimumlarını etkilemektedir. Bu tez çalışmasında Türkiye'ye komşu hava sahalarının Türkiye hava sahasındaki ayırma minimumlarına olan etkisi incelenecektir.

3. TÜRKİYE HAVA SAHASININ TANITILMASI

Uçuş bilgi bölgesi (Flight Information Region FIR), sınırları tanımlanmış uçuş bilgi hizmetleri ve ikaz hizmetlerinin verildiği hava sahasıdır [16]. Türkiye hava sahası İstanbul ve Ankara uçuş bilgi bölgeleri ile ikiye ayrılmaktadır. Türkiye hava sahasında yer alan uçuş bilgi bölgeleri Şekil 3.1'deki haritada gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Türkiye Hava Sahası [19]

Türkiye hava sahasında yer alan uçuş bilgi bölgeleri 30° doğu boylamı civarında ayrılmıştır. Doğuda Ankara uçuş bilgi bölgesi batıda ise İstanbul uçuş bilgi bölgesi yer almaktadır. İstanbul uçuş bilgi bölgesi ile Ankara uçuş bilgi bölgesini birbirinden ayıran hat Şekil 3.1'de yer alan kalın kırmızı çizgi ile belirtilmektedir. Bölgeleri birbirinden ayıran bu hattaki sapmalar bölgelerde yer alan sektör sınırlarından kaynaklanmaktadır. İstanbul uçuş bilgi bölgesi İstanbul Atatürk havalimanında yer alan İstanbul saha kontrol merkezi (Area Control Center) tarafından yönetilmektedir. Ankara uçuş bilgi bölgesinin yönetimi ise Ankara Esenboğa havalimanında yer alan Ankara saha kontrol merkezince yapılmaktadır.

İstanbul uçuş bilgi bölgesi ile Ankara uçuş bilgi bölgesi yatay olarak koordinatları belirlenmiş, dikey olarak da uçuş seviyeleri belirlenmiş farklı sektörlere ayrılmaktadır.

3.1 İstanbul FIR ve Sektörleri

İstanbul uçuş bilgi bölgesi yatayda ayrılmış beş farklı sektörden oluşmaktadır. Bu sektörler İstanbul Doğu, İstanbul Batı, İzmir Doğu, İzmir Batı-Kuzey ve İzmir Batı-Güney sektörleridir. Sektörlerin yatay olarak sınırları Şekil 3.2’de yer almaktadır.



Şekil 3.2. İstanbul FIR Sektör Dağılımı

İstanbul uçuş bilgi bölgesi yatayda sektörlere ayrılmasının yanında düşey olarak da sektörlere ayrılmıştır. Düşey olarak bakıldığında İzmir Doğu sektörü dışında her bir sektör farklı uçuş seviyeleri ile alt ve üst sektör olarak ayrılmıştır. Her bir sektöre ait düşey uçuş seviyesi limitleri Çizelge 3.1’de yer almaktadır [20].

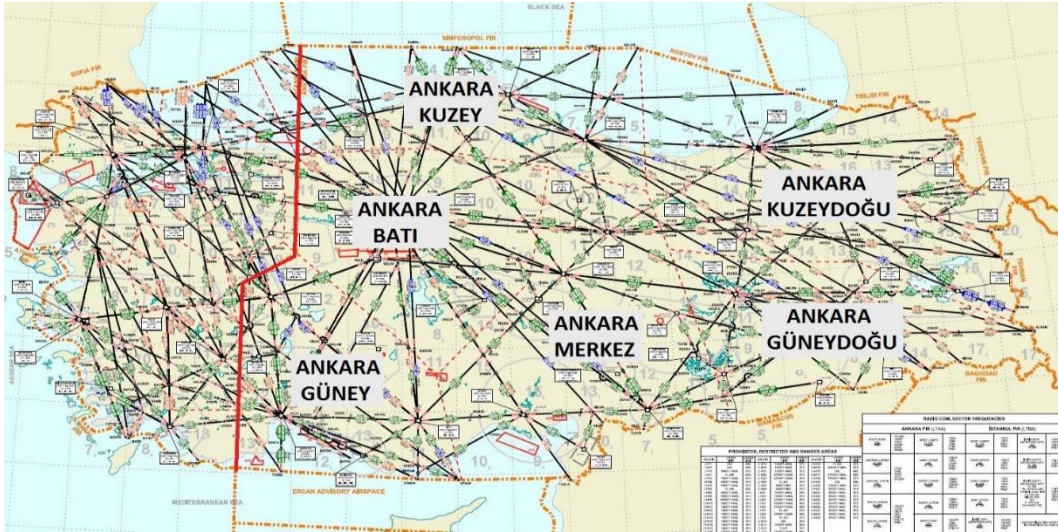
Çizelge 3.1. İstanbul FIR’ı Düşey Sektör Dağılımı

Sektör	Düşey Sektör Adı	Sektör Alt Limiti	Sektör Üst Limiti
İstanbul Doğu	İstanbul Doğu Alt	Deniz Seviyesi	FL325
	İstanbul Doğu Üst	FL325	Limitsiz
İstanbul Batı	İstanbul Batı Alt	Deniz Seviyesi	FL325
	İstanbul Batı Üst	FL325	Limitsiz
İzmir Batı	İzmir Batı-Kuzey	FL275	FL325
	İzmir Batı-Güney	FL155	FL325
	İzmir Batı Güney	FL245	FL325
	İzmir Batı	FL325	Limitsiz
İzmir Doğu	İzmir Doğu	Deniz Seviyesi	Limitsiz

İstanbul uçuş bilgi bölgesindeki sektör dağılımlarına bakıldığında Çizelge 3.1’de yer alan limit değerleri uçuş seviyesi (Flight Level FL) cinsinden verilmiştir. İstanbul Doğu ve İstanbul Batı sektörleri alt ve üst olmak üzere düşeyde iki farklı seviye aralığı ile ayrılmaktadır. İzmir doğu sektörü ise düşeyde herhangi bir sektöre ayrılmamaktadır. İzmir batı sektörü yatay olarak aslında İzmir Batı-Kuzey sektörü ile İzmir Batı-Güney sektörlerinin birleşiminden oluşmaktadır. İzmir Batı- Güney sektörü için tanımlanan alt limitlerden FL 155 Milas terminal sahası üzerinde geçerli iken FL245 limiti ise Dalaman Terminal sahası üzerinde geçerlidir.

3.2 Ankara FIR ve Sektörleri

Ankara uçuş bilgi bölgesinde yatay olarak ayrılmış altı farklı sektör yer almaktadır. Bu sektörler; Ankara Kuzey, Ankara Kuzeydoğu, Ankara Güneydoğu, Ankara Merkez, Ankara Batı ve Ankara Güney sektörleridir. Her bir sektörün Türkiye hava sahası üzerindeki dağılımı Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

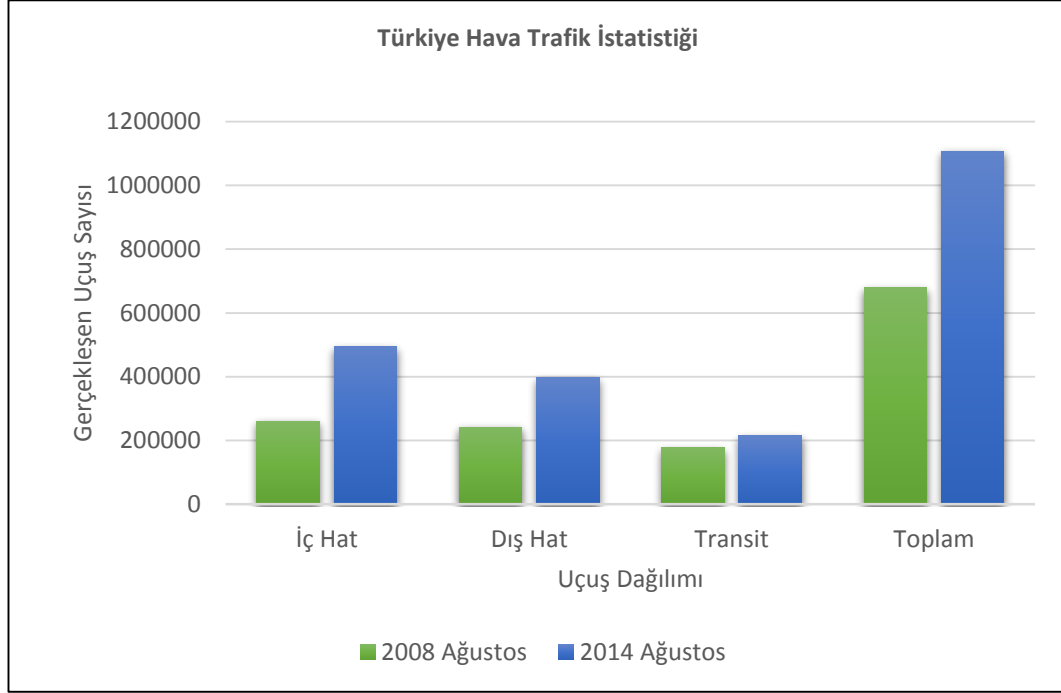


Şekil 3.3. Ankara FIR Sektör Dağılımı

Ankara uçuş bilgi bölgesinde yer alan sektörlerin bazıları düşey olarak alt ve üst sektörlere ayrılmaktadır. Ankara Kuzeydoğu ve Ankara Güneydoğu sektörleri haricinde kalan sektörler alt ve üst olmak üzere iki düşey sektöre ayrılmaktadır. Alt sektörlerin limitleri yer seviyesinden FL325 seviyesine kadardır. Üst sektörlerin limitleri ise FL325 den başlayarak limitsiz olarak devam eder.

3.3 Türkiye ve Avrupa Hava Trafikindeki Artış

Havacılığın hızla gelişimi ve hava yolu taşımacılığına olan talepteki artış ile birlikte hava trafiği her geçen gün artmaktadır. 2008 Ağustos sonu ile 2014 Ağustos sonunu kapsayan Türkiye genelinde gerçekleşen iç hat, dış hat ve transit uçuşlara ait istatistikler Şekil 3.4'deki grafikte yer almaktadır [21,22].



Şekil 3.4. Türkiye Hava Trafikindeki Artış [21,22]

2008 yılı Ağustos sonu itibariyle gerçekleşen toplam uçuş 679,486 iken, 2014 Ağustosunda bu sayı %63 artış ile 1,107,833'e yükselmiştir. Türkiye hava sahasındaki bu trafik artışı ile Avrupa genelinde yerel trafiği arttıran ülkeler arasında ön sıralarda yer almaktadır [23].

Hava trafiğine ait geçmişe dönük istatistiklerde olduğu kadar, geleceğe yönelik yapılan tahminlerde de hava trafiğinde ciddi derecede artışlar öngörülmektedir. 2035 yılı için yapılan hava trafiğindeki artış tahminlerine bakıldığında Avrupa genelinde hava trafiğinin 2012 yılına göre en az 1.2 katına en çok da 1.8 katına çıkacağı tahmin edilmektedir [24]. Yapılan tahminlerde dört farklı senaryo öngörülmekte ve bu senaryolara göre hava trafiğinin 2035 yılındaki artış miktarı tahmin edilmektedir. Oluşturulan dört farklı senaryoda farklı ekonomik

gelişme oranları, yakıt maliyetleri, şirket politikaları gibi pek çok girdinin farklı yorumlanması ile iyimserden kötümser doğru farklı tahminler yürütülmüştür. Bu senaryo ve tahminlere bakıldığında 2035 yılında Avrupa hava sahasını dolayısıyla da Türkiye hava sahasını bekleyen hava trafik sayıları Çizelge 3.2’de yer almaktadır.

Çizelge 3.2. Eurocontrol 2035 Hava Trafik Tahmini

Senaryo No	IFR Uçuş Sayısı (*1000)									Trafik Artışı 2035/2012
	2009	2010	2011	2012	2019	2020	2025	2030	2035	
1	9,143	9,493	9,784	9,548	12,045	12,485	14,139	15,729	17,338	1.8
2	-	-	-	-	11,169	11,411	12,561	13,520	14,356	1.5
3	-	-	-	-	11,169	11,338	12,236	13,015	13,769	1.4
4	-	-	-	-	10,132	10,194	10,612	10,840	11,249	1.2

Hava trafiğindeki bu artışlar ve ileriki yıllarda tahmin edilen hava trafiğine bakıldığında hava sahası kapasitesinin verimli kullanılmasının önemi açıkça ortaya çıkmaktadır. Mevcut hava sahası kapasite kısıtlayıcılarında bir değişiklik olmadan, hava trafiğindeki bu artışı sürdürebilmek için hava sahası kapasitesini olabildiğince etkin kullanmak gerekmektedir. Bu nedenle Türkiye hava sahasının kapasitesini etkileyen kapasite kısıtlayıcılarının belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen bu kısıtlayıcılarda mümkün olduğunca iyileştirmeler sağlanarak Türkiye hava sahası kapasitesinin en iyi şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu çalışma, Türkiye hava sahasını, mevcut hava trafik verileri ışığında inceleyerek kapasiteyi etkileyen problemlerin belirlenmesini ve mümkün olduğunca bu problemlerin iyileştirilmesini amaçlamaktadır. Türkiye hava sahasında kapasiteye bağlı meydana gelen gecikmeler ve hava trafiğinin dağılımının analizi ile birlikte Türkiye hava sahasının kapasite kısıtlayıcılarının belirlenmesi sağlanacaktır.

3.4 Türkiye Hava Sahası Kaynaklı Gecikmeler

Kapasite pek çok sistem için farklı olarak tanımlanabilmektedir. Hava trafik sisteminde kapasite; “Hava trafik kontrol sisteminin veya kendisinin herhangi bir alt sisteminin faaliyeti esnasında hava araçlarına hizmet verebilme kabiliyeti sistemin kapasitesi olarak tanımlanabilir” [25]. Hava trafik sisteminde kapasiteyi etkileyen bir dizi kısıtlayıcı mevcuttur. Hava trafik sisteminin bu kısıtlayıcıları; hava sahası kısıtlayıcısı, kontrol iş yükü kısıtlayıcısı, teknik kısıtlayıcılar, usul kısıtlayıcıları ve meteorolojik kısıtlayıcılar olmak üzere gruplandırılmaktadır [25]. Hava trafik sisteminde kapasite kısıtlayıcılarından birinde ya da birkaçında meydana gelebilecek değişiklikler tüm sistemin kapasitesini etkilemektedir. Herhangi bir kapasite kısıtlayıcısından ötürü kapasitede meydana gelen azalma hava trafiğinde gecikmelerle sonuçlanmaktadır.

Hava sahası kapasite kısıtlayıcıları her ne kadar birbiri ile iç içe olsa da bu çalışmada hava sahası ve teknik kısıtlayıcılara bağlı olarak Türkiye hava sahasında oluşan gecikmeler incelenecektir. Türkiye hava sahasında yeterli düzeyde radar kapsamının mevcut olduğundan dolayı radar hizmetleri kapsamında yol kontrolde hava araçları arasındaki ayırma 10 deniz mili olarak uygulanmaktadır [18]. Her ne kadar hava sahasında yeterli radar kapsamı mevcut olsa da Türkiye’de uygulanan ayırma minimumları komşu hava sahalarından ötürü bazen arttırılmak zorunda kalınmaktadır. Özellikle komşu hava sahalarına transit uçuşların devrinde hava araçları arasındaki ayırma minimumunu, Türkiye hava sahasındaki ayırma usullerinin yanında transit uçuşun geçtiği hava sahasındaki ayırma usulleri de belirlemektedir.

Türkiye hava sahasının hemen güneydoğusunda yer alan Irak hava sahasında radar kapsamının yetersiz olması nedeni ile radarsız ayırma prosedürleri uygulanmaktadır. Irak hava sahasında, bu durumdan ötürü aynı uçuş seviyesindeki hava araçları arasında 30 deniz mili ayırma yapılmaktadır. Türkiye hava sahasından Irak hava sahasına geçecek uçuşlarında bu nedenden dolayı 10 deniz mili yerine 30 deniz mili mesafe ile ayrılmış olarak Irak hava sahasına devredilmesi gerekmektedir. Bu durum Türkiye hava sahasında uygulanabilir düzeydeki 10 deniz mili ayırma mesafesini Bağdat çıkışlı uçuşlar için 30 deniz miline çıkarmaktadır. Hava sahası kapasitesi açısından bakıldığında teknik kısıtlayıcılar ve hava sahası

kısıtlayıcıları nedeni ile uygulanan ayırma usulleri ve minimumları değişmiştir. Irak hava sahasındaki radar zafiyetinden kaynaklanan bu durum Türkiye hava sahasına kapasite kısıtlayıcısı olarak yansımaktadır. Eurocontrol tarafından Ocak 2013 de yayınlanan raporda da bu soruna yer verilmektedir. Ankara saha kontrol merkezi Avrupa genelinde gecikme oluşturan ilk 20 bölge arasında yer almaktadır [26]. Aynı raporda Ankara saha kontrol merkezinde yaşanan kapasite azalması ve gecikmelerin nedeni olarak da Bağdat hava sahasının A0178/12 numaralı havacılık bilgi notu (Notice to Air Man-NOTAM) gösterilmektedir. İlgili bilgi notunda Irak hava sahasına aynı seviyede devredilecek uçaklar arasında 30 deniz mili ayırma istenmektedir.

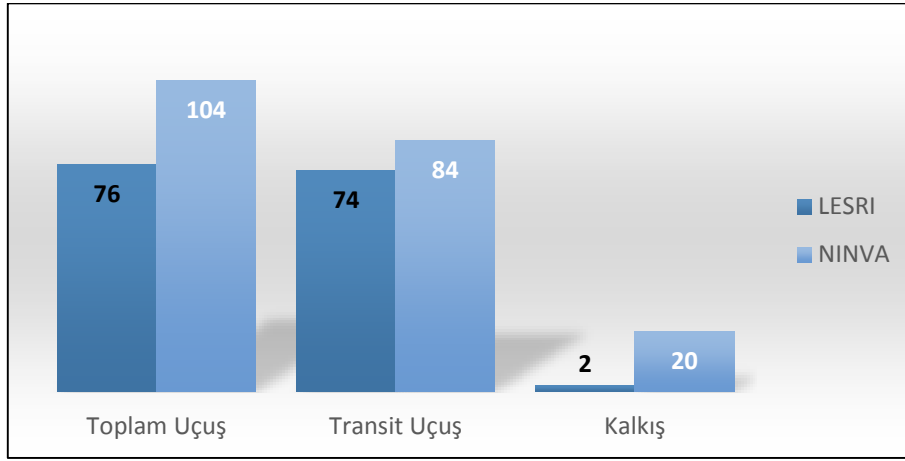
3.5 Türkiye Hava Sahasının İncelenmesi

Türkiye hava sahasında oluşan gecikmeler ve bu gecikmelerin nedenlerinin belirlenmesi amacı ile İstanbul Saha Kontrol Merkezi ile Ankara Saha Kontrol Merkezinde yerinde incelemeler yapılmıştır. Aktif hava trafik kontrolörleri ile görüşmeler yapılmış ve Türkiye hava sahasının hava trafik akışı canlı olarak gözlemlenmiştir. Özellikle Irak hava sahasının Türkiye hava sahası üzerinde oluşturduğu etkilerin belirlenmesi amacı ile Türkiye hava sahasından Irak hava sahasına geçen uçuşlar incelenmiştir. Ocak 2013 ay sonu itibari gerçekleşen uçuşların dağılımı Şekil 3.5’de görülmektedir.



Şekil 3.5. Ocak 2013 Türkiye Genelinde Gerçekleşen Uçuşlar [27]

Ocak 2013 de gerekleŒen uuŒlar rotalarına göre incelendiğinde Ankara Güneydoğu Sektöründen devredilen uuŒlar LESRI ve NINVA keŒiŒim noktalarından Türkiye hava sahasını terk etmektedir. 6 Ocak 2013 tarihinde Türkiye hava sahasında gerekleŒen 1914 uuŒun %9,6 kadarı Ankara güneydoğu sektöründen ıkıŒ yapmıŒlardır. 6 Ocak 2013 tarihli uuŒların ıkıŒ noktaları olan LESRI ve NINVA keŒiŒim noktalarına göre dağılımları 3.6’da yer almaktadır.



Œekil 3.6. Ankara Güneydoğu Sektöründen Devredilen UuŒ Dağılımı

Güneydoğu sektöründe gerekleŒen 180 uuŒun 76’sı LESRI ıkıŒ noktasından Œam uuŒ bilgi bölgesine devredilerek Suriye hava sahasına gemiŒtir. Geri kalan 104 uuŒ ise NINVA noktasından Irak hava sahasına geçerek Bağdat uuŒ bilgi bölgesine devredilmiŒtir. Bağdat uuŒ bilgi bölgesinde kullanılan radarsız ayırma prosedürlerinden dolayı 104 uuŒtan aynı uuŒ seviyesinde olan uuŒlar 30 NM uzunlamasına ayırma ile Irak hava sahasına gnderilmiŒtir. Irak hava sahasına devredilen uuŒların 84’ transit geiŒ ve 20’si Türkiye’deki eŒitli meydanlardan kalkan uçaklardan oluŒmaktadır.

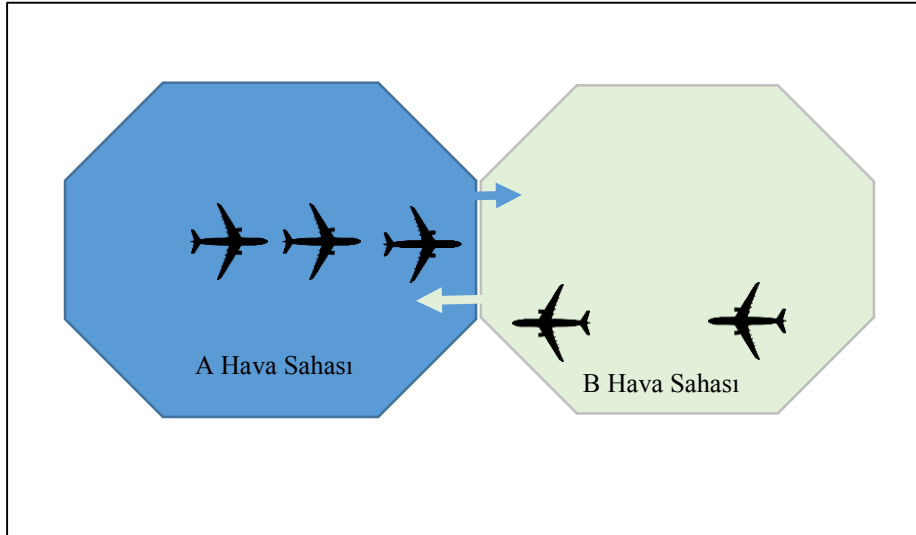
Bağdat uuŒ bilgi bölgesine devredilecek olan hava araçları arasındaki ayırma minimumunun 10 mil yerine 30 mil olarak uygulanması Türkiye hava sahası için bir kapasite sorunu oluŒurmaktadır. Bu kapasite sorunu sadece güneydoğu sektörüne değil tüm Türkiye hava sahasına yansımaktadır.

3.6 Kapasite Probleminin Belirlenmesi

Türkiye hava sahasında gerçekleşen uçuşlar ve uçuşlardaki gecikmeler incelendiğinde Irak hava sahasındaki radarsız ayırma koşullarından kaynaklandığı görülmektedir. Irak hava sahasındaki radarsız ayırma prosedürleri Türkiye hava sahasından Bağdat uçuş bilgi bölgesine geçecek olan uçuşlar için ayırmaların artmasına neden olmaktadır. Bu da Türkiye hava sahası kapasitesi için önemli bir kısıt oluşturmaktadır. İstanbul saha kontrol merkezinde ve Ankara saha kontrol merkezinde yapılan gözlemlerde incelenen canlı hava trafiklerinde de bu kapasite problemi görülmüştür.

Irak hava sahasından kaynaklanan NOTAM'lar sebebi ile Ankara uçuş bilgi bölgesinde yol kontrol, ayırmaları seviyeli olarak 10 deniz milinden 30 deniz miline çıkarmaktadır. Hava trafik kontrolörleri bu ayırmayı sağlayabilmek için vektör ve hız talimatları ile NINVA çıkışlı uçuşların arasındaki ayırmayı 30 deniz miline çıkarmaktadır. Bu durum kapasite problemlerinin yanında Ankara uçuş bilgi bölgesi yol kontrol sektörlerinde çalışan tüm hava trafik kontrolörlerine iş yükü de getirmektedir.

Türkiye hava sahasında görülen bu durum aslında genelleştirilebilir bir kapasite problemidir. Birbiri ile etkileşim halindeki iki komşu hava sahasının teknik kapasite kısıtlayıcılarının birbirini etkilediğinin bir göstergesidir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Hava Sahalarının Etkileşimi

Herhangi bir hava sahasındaki radar kapsama alanı, meteorolojik koşullar, seyrüsefer ekipmanlarının dağılımı, sivil havacılık otoritelerinin farklı uygulamaları ile değişen ayırma minimumları diğer komşu hava sahaları başta olmak üzere tüm hava sahalarını etkilemektedir. Hava trafik sistemi içerisindeki tüm hava sahaları aslına bir bütünün parçaları gibi değerlendirilebilir. Herhangi bir nedenden ötürü bir hava sahasında arttırılan ayırma minimumlarından tüm hava trafik sistemi etkilenmektedir.

Bu çalışmada Irak hava sahasının radarsız ayırma prosedürlerinin Türkiye hava sahasına olan etkileri kapasite problemi olarak ele alınacaktır. Bağdat hava sahasının Türkiye hava sahasına olan etkilerini en aza indirebilmek için çözüm yöntemleri araştırılacaktır.

4. PROBLEME YÖNELİK ÇÖZÜM YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ

Türkiye hava sahasından Irak hava sahasına devredilen uçuşlar için en kesin çözüm Irak hava sahasının radar kapsamının genişletilmesidir. Irak hava sahasının radar kapsamının genişletilerek Bağdat uçuş bilgi bölgesinde de radar ayırma usullerini uygulanabilir hale getirmek aslında problem için en iyi çözümdür. Ancak birbirinden teknik altyapı olarak tümüyle farklı iki hava sahasının uyumlandırılması oldukça büyük yatırım ve süreç gerektirmektedir. Ayrıca Irak hava sahasının seyrüsefer ekipmanlarının sorumluluğu Türkiye hava trafik hizmet sağlayıcısı olan Devlet Hava Meydanları İşletmesinde de değildir. Bu açıdan bakacak olursak Türkiye hava sahasındaki bu kapasite sorunu Bağdat uçuş bilgi bölgesinde yeterli bir radar kapsama alanı oluşturuluncaya denk devam edecek demektir. Ayrıca Türkiye'nin komşusu olan hava sahalarında herhangi bir nedenden ötürü arttırılmak zorunda kalınan tüm ayırma minimumları da Türkiye hava sahasının kapasitesini olumsuz etkileyecektir.

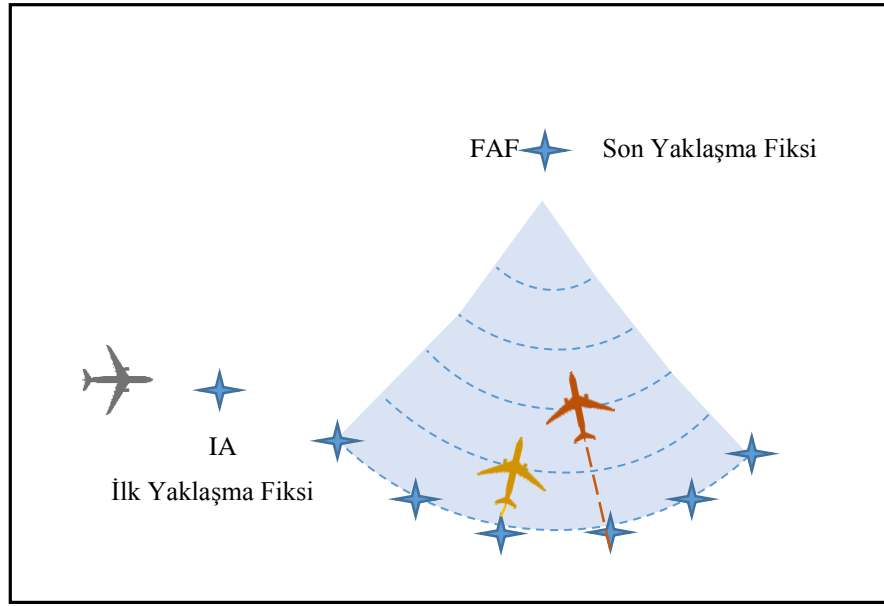
Türkiye hava sahasının komşu hava sahalarında farklı uygulanan ayırma minimumlarından en az derecede etkilenmesini sağlayacak olan yeni bir çözüm yöntemi gerekmektedir. Bu yöntem ile sadece Türkiye hava sahası ile Irak hava sahası probleminin değil, benzer şekilde oluşabilecek tüm problemlerin Türkiye hava sahasına olan etkilerinin azaltılması öngörülmektedir.

Türkiye hava sahasında uygulanan ayırma minimumunun Bağdat uçuş bilgi bölgesine devredilecek uçuşlar için 10 deniz milinden 30 deniz miline çıkarılması gerekmektedir. Ayırma minimumunu 10 deniz milinden 30 deniz miline çıkarabilmek için aslında bir yaklaşma sıralama yöntemi olan Point-Merge yöntemine dayalı bir yol ayırma sisteminin kullanılması bir çözüm olarak düşünülmüştür. Point-Merge sistemi ile Bağdat uçuş bilgi bölgesinin istediği ayırma minimumlarının sağlanmasıyla Türkiye hava sahasının rahatlatılması planlanmaktadır.

4.1 Point-Merge Yönteminin Tanıtılması

Point-Merge yöntemi Eurocontrol Deney Merkezi (Eurocontrol Experimental Center) tarafından 2006 yılında geliştirilmiş olan bir yaklaşma sıralama yöntemidir. 2011 yılında Oslo havalimanında kullanılmaya başlanılan yöntem şu anda Oslo,

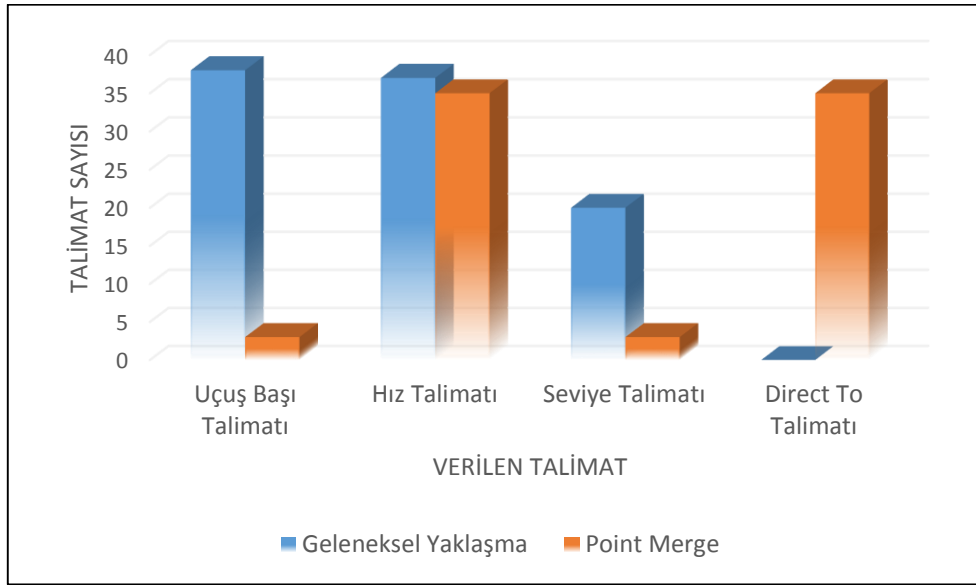
Dublin (2012), Seul (2012) ve Paris (2013) havalimanlarında uygulanmaktadır. Point-Merge yöntemini ile yol kontrolden gelen hava araçları yaklaşma kontrolde istenilen ayırma minimumları ile ayrılarak son yaklaşma fiksine (Final Approach Fix FAF) yönlendirilirler. Point-Merge yöntemi ile hava araçları belirlenen minimum ayırma mesafeleri ile birbirinden ayrılıp sıralanarak son yaklaşma fiksine gönderildiği için bu yöntem bir yaklaşma sıralama yöntemidir. Point-Merge yöntemi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Point-Merge Yöntemi [12]

Point-Merge yönteminde ilk yaklaşma fiksine gelen uçaklar istenilen ayırma sağlanıncaya dek sıralama bacağı denilen yay boyunca uçuşlarına devam ederler. İstenilen ayırmanın sağlandığı an hava trafik kontrolörünün talimatıyla birlikte kavuşma noktası olarak belirlenen Merge noktasına yönlendirilirler. Bu sayede istenilen ayırma minimumu daha kolay karar alınarak gerçekleştirilebilir. Point-Merge yönteminde hava trafik kontrolörü ayırmanın sağlandığı anda hava aracını tek bir “Direct To” talimatı ile Merge noktasına yönlendirebilir. Şekil 4.1’de Point-Merge yönteminin en temel hali yer almaktadır. Birden fazla sıralama bacağı ya da iki yaklaşma fiksi içeren Point-Merge yöntemleri de mevcuttur.

Point-Merge yönteminde iç içe çizilen kesikli çizgiler ile gösterilen her bir yay birbirine eşit uzaklıktadır. Uçaklar arasında sağlanması gereken ayırma mesafesi bu yaylar arasındaki ölçek göz önüne alınarak sağlanabilmektedir. Çok yoğun hava trafik akışında bile kontrolörlerin Point-Merge yöntemi ile uçaklar arasında ki ayırmayı sağlaması kolaydır. Point Merge sistemi pek çok avantajı bir araya getirmektedir. Sıralama kolaylığı ve kontrolör iş yükünü azaltmasının yanı sıra Point-Merge yöntemi ile sürekli alçalma yaklaşması da (Continuous Descent Approach) uygulanabilmektedir. Point-Merge yöntemi kontrolör tarafından uçağa verilen talimat sayısında dolayısıyla da frekans meşguliyetinde de ciddi derecede bir düşüş sağlamaktadır. Point-Merge yöntemi ve geleneksel radar vektörlemesi ile yapılan yaklaşma kontrolü arasındaki talimat kıyaslamasını Şekil 4.2’de verilen grafikte görülmektedir [12].



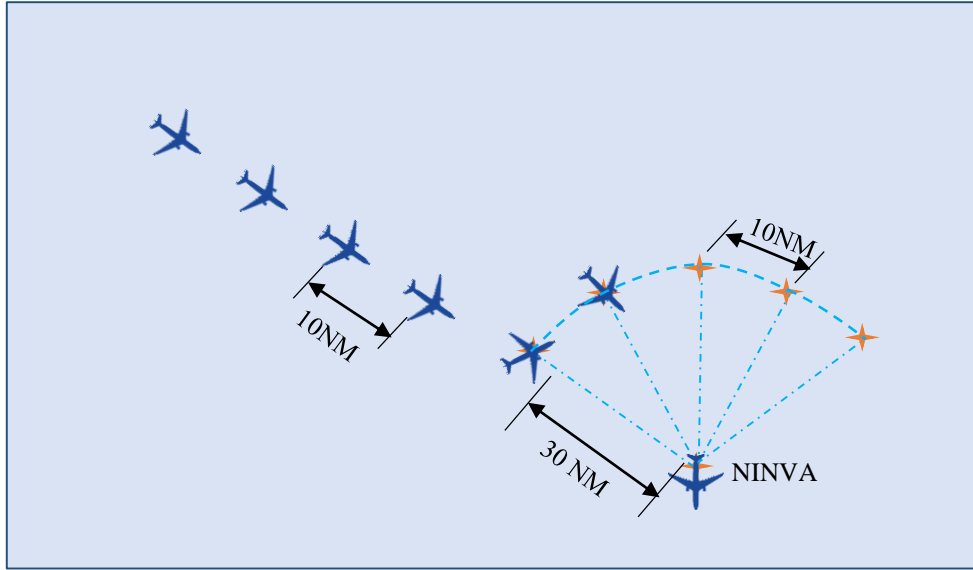
Şekil 4.2. Verilen Talimatların Kıyaslanması [12]

Point-Merge yöntemi belirtildiği gibi aslında bir yaklaşma sıralaması yöntemidir. Yol kontrolden yaklaşma kontrole geçen uçakları uygun ayırmalarla ayıran ve son yaklaşma fiksine getiren bir yöntemdir. Yol safhasındaki uçuşlar seviye ayırması ya da radar vektörü ve/veya hız talimatları ile sağlanan yatay ayırmalar ile ayrılmaktadır. Bu çalışmada ayırma minimumlarının bir devir noktası için artırılmasının gerekli olduğu durumlarda Point-Merge yönteminin

kullanılmasının faydalı olması beklenmektedir. Bu açıdan Point-Merge uygulamasının yol safhasındaki uçuşlara da uygulanması düşünülmektedir.

4.2 Point-Merge Sisteminin Yol Safhasındaki Uçuşlara Uyarlanması

Bir hava sahasından diğer bir hava sahasına geçiş yapan hava araçları arasındaki ayırma, hava aracının transfer edileceği hava sahasındaki ayırma minimumlarına bağlı olarak değişmektedir. Eğer hava aracının transfer edileceği hava sahasındaki ayırma minimumları, hava aracını devredecek olan hava sahasındaki ayırma minimumlarından daha yüksekse öncelikle hava araçları arasındaki ayırmanın artırılması gerekmektedir. Türkiye hava sahası ile Irak hava sahasındaki durum bunun bir örneğidir. Türkiye hava sahasında 10 deniz mili olarak uygulanan radar ayırma minimumu Irak hava sahasında 30 deniz mili radarsız ayırma olarak uygulanmaktadır. Bu da hava araçlarının Irak hava sahasına devrinden önce 30 deniz mili ayrılmasını gerektirmektedir.



Şekil 4.3. Point-Merge Yönteminin Yoldaki Uçuşlara Uygulanması

Point-Merge yöntemiyle hava araçlarının Irak hava sahasına girişten hemen önce 30 deniz mili ayrılmaları sağlanabilmektedir. Point-Merge yöntemi tıpkı yaklaşma safhasında kullanıldığı gibi, yol safhasında da uçaklar bir yay etrafında birbirinden yeterli derecede ayrılana kadar hareketlerine devam etmektedir. Ayırmayı sağlayan uçak direk rota ile kavuşma noktasına yönlendirilmektedir.

Point-Merge yönteminin yol safhasındaki uygulamasındaki tek fark uçaklar kavuşma noktasına direk rota aldıklarında alçalmadan uçuğu seviyeyi muhafaza edecek şekilde gitmektedir. Şekil 4.3’de Türkiye hava sahasından Irak hava sahasına geçecek olan uçuşlar için türetilmiş örnek bir Point-Merge yöntemi görülmektedir. NINVA Türkiye hava sahasından, Irak hava sahasına geçişteki transfer noktasıdır. Point-Merge yönteminde NINVA noktası kavuşma noktası olarak seçilmiştir. Point-Merge uygulaması bu sayede uçuşun yol kontrol safhasında da ayırma minimumlarının anlık olarak artırılması gereken hallerde kullanılabilir. Türkiye hava sahasından Irak hava sahasına hava trafiğinin devri probleminde çözüm olarak Point-Merge yöntemi kullanılabilir.

4.3 Önerilen Çözüm Yönteminden Beklenen Faydalar

Türkiye hava sahasından Irak hava sahasına hava trafiklerinin devrinde Point-Merge yönteminin kullanılması ile bazı faydalar beklenmektedir. Bunlardan ilki frekans meşguliyetinde ve verilmesi gereken talimat sayısında azalmadır. Point-Merge yöntemi yaklaşma sıralaması amacı ile kullanıldığında frekans meşguliyetini azalttığı görülmüştür [12]. Benzer şekilde Point-Merge yönteminin yol kontrolde ayırmaları sağlamak için kullanımı da frekans meşguliyetini ve verilmesi gereken talimat sayısını azaltacaktır. Bu hem frekansın daha etkin kullanımını sağlayacak, hem de hava trafik kontrolörü iş yükünü azaltacaktır. Hava trafik kontrolörünün 30 deniz mili olan gereken ayırmayı sağlaması daha düzenli bir yöntemle sağlanacağı için hava trafik kontrolörünün karar alması da kolaylaşacaktır.

Point-Merge yönteminin sadece en son sektör olan Ankara Güneydoğu sektöründe kullanılıyor olması diğer sektörlerin 30 deniz mili ayırmadan etkilenmeden hala 10 deniz mili ayırmayı kullanabilmesini sağlayacaktır. Bu sayede Ankara Kuzey, Ankara Kuzeydoğu, Ankara Merkez ve Ankara Batı sektörleri 10 deniz mili radar ayırmasını kullanarak daha çok hava aracına hizmet sağlayabilir hale gelecektir. Buda sektörlerin birim saatte hizmet verebileceği uçak sayısında yani kapasitesinde artış sağlayabilecektir.

Point-Merge yönteminden önceki her noktada uçaklar arası ayırma 10 deniz mili olarak kullanılabilecektir. Bu sayede her bir hava aracı Point-Merge noktasına

kadar 30 deniz milinden daha az bir ayırma ile ayırılabilceğinden daha az gecikmeye maruz kalacaktır. Yani uçakların ayırmalardan ötürü alacakları vektör ve hız talimatları azalacaktır.

Her bir hava aracının alacağı vektör ve hız talimatının azalması ve hava araçları arasında sağlanması gereken ayırmanın Point-Merge bölgesine bırakılması yakıt tüketimini de azaltacaktır. Daha az dönüş hareketi ile Point-Merge bölgesine gelen hava araçlarının yakıt tüketiminin de doğal olarak daha az olması beklenmektedir. Ayrıca bu hava araçları sadece Point-Merge bölgesinde daha az ağırlıkla dönüş manevrası gerçekleştireceklerdir. Her bir hava aracının daha düşük bir ağırlıkla Point-Merge bölgesinde dönüş yapması da yakıt tüketiminde ek bir iyileştirme sağlayacaktır.

5. SİMULASYON VE MODELLEME

5.1 Simülasyon ve Kullanım Amacı

Simülasyon 1950'lerden günümüze kadar ilerleyerek ulaşmıştır. 1950-1960 yılları arasında daha çok çelik üretiminde ve havacılık alanında kullanılmaya başlanılmıştır. O yıllardaki bilgisayar teknolojisi ile son derece maliyetli bir şekilde simülasyonlar yapılmıştır [28]. 1980-1990 arasında gelişen bilgisayar teknolojisi ile bilgisayar programları halinde yapılan simülasyonlar hız kazanmıştır. 1990'dan günümüze özellikle de yüksek seviyeli bilgisayar programlama dilleri ile simülasyonlar bilgisayar ortamında rahatlıkla yapılabilir hale gelmiştir.

“Simülasyon genellikle bilgisayar kullanılarak gerçek bir sistemin davranışının taklit edildiği yöntem ve uygulamaların bir bütünüdür” [28]. Tanımdan anlaşılacağı üzere simülasyon bir sistemin taklit edilmesi ile gerçekleştirilen incelemelerden oluşur. Simülasyon ile bir sistem ya da ona ait bir model incelenebilir. Çoğu zaman sistemin kendisinin incelenmesinin mümkün olmadığı durumlarda sisteme ait bir model kullanılır. Ekonomik maliyet, zaman gerekliliği, emniyet ya da çevresel şartlardan ötürü kolayca incelenemeyecek olan sistemler için modeller üzerinden simülasyonlar gerçekleştirilir. Havacılık da bu alanlardan bir tanesidir. Hem maliyet hem de emniyet gerekçeleri ile çoğu analiz simülasyonlar ile sağlanır. Gerçekleştirilen simülasyonların doğruluğu oluşturulan modelin sistemi temsil edebilmesine bağlıdır. Sistemi en iyi şekilde temsil eden model gerçeğe en yakın simülasyona imkan tanır ve en gerçekçi sonuçları sağlar.

Gerçek sistem üzerinde çalışmaların yapılamayacağı durumlarda sistemi temsil etmek üzere modeller oluşturulmuştur. Bu modeller kimi zaman gerçek sistemin ölçeklendirilmiş boyutlarda maketlerinden oluşurken kimi zamanda matematiksel olarak sistemlerin ifade edilmesinden oluşurlar. Simülasyon ortamında kullanılan modeller ikiye ayrılmaktadır.

Fiziksel modeller daha çok sistemlerin minyatür boyutlarda ölçeklenmesi ile yapılan temsilleridir. Bu modeller genellikle yapı ve mimaride inşa edilmesi düşünülen yapının inşasından önce fikir verme amacıyla kullanılırlar. Uzay ve yer çekimi etkilerinin incelendiği özel olarak hazırlanan yer çekimi odaları gibi fiziksel ortamlar da fiziksel modellerdendir. Havacılık alanında bakılacak olursa rüzgar

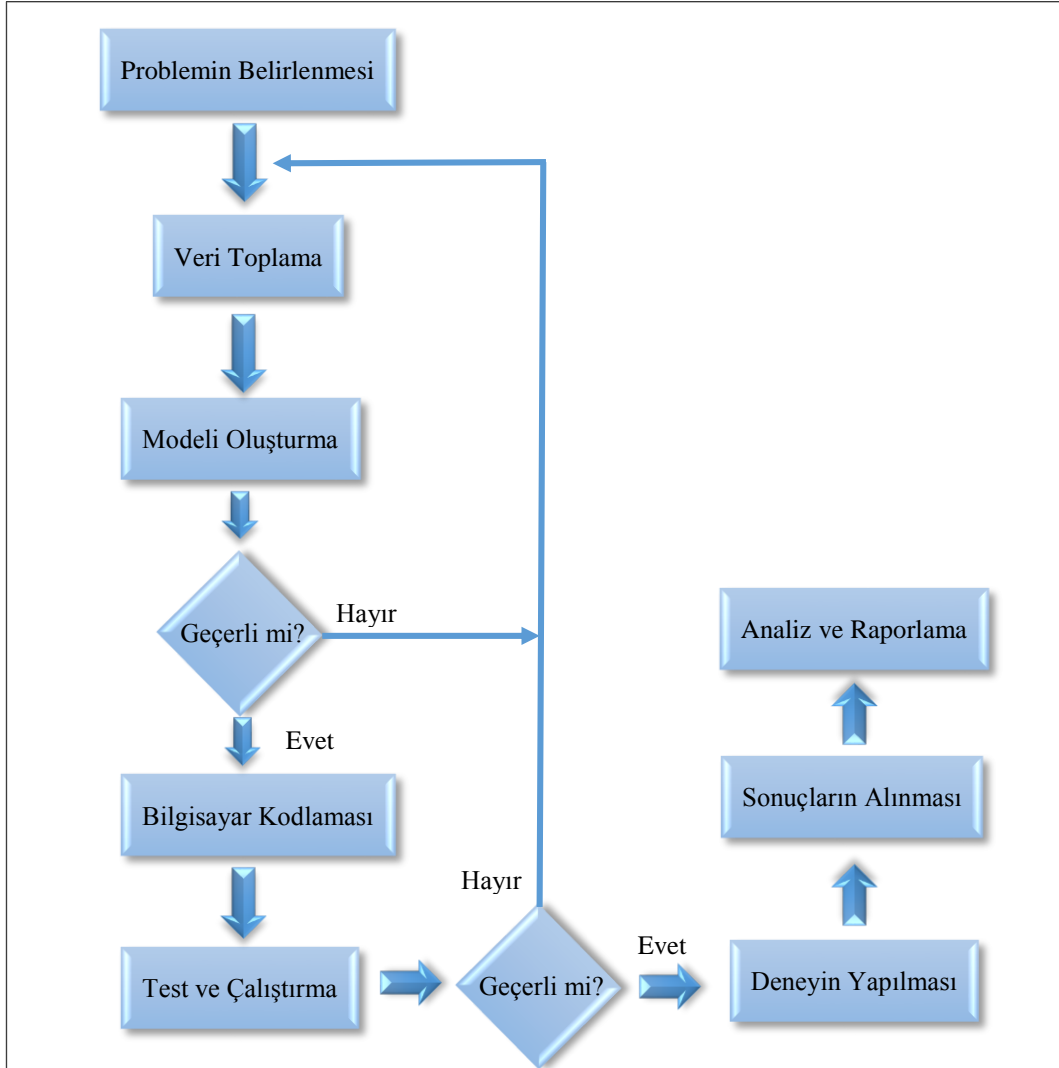
tüneli testlerine tabi tutulan kanat profilleri ve gövde yapıları gibi gerçeğinin küçültülmüş boyutlarında imal edilen test materyalleri de birer fiziksel modeldir.

İncelenmesi istenilen sistemi yakınsamalar ya da varsayımlar dahilinde matematiksel olarak temsil eden modeller de mevcuttur. Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen simülasyonlarda daha çok matematiksel modeller yer alır. Matematiksel modelleri oluşturmak fiziksel modellere göre daha karmaşık ve zor olabilmektedir. Ancak matematiksel modeller ile daha ucuz maliyetli simülasyonlar istenildiği kadar tekrarlanabilir.

Simülasyon daha az maliyetli ve sistemi hiç etkilemeden gerçekleştirilebildiği için oldukça faydalı bir analiz aracıdır. Ancak simülasyonlarda sisteme etkileyen dış etkenleri simülasyona dahil edebilmek ve sistemi gerçeğe en yakın olarak modellemek güçtür. İstenilen düzeyde bir analiz için simülasyonda dikkatle takip edilmesi gereken işlem adımları Şekil 5.1’de yer alan akış diyagramında görülmektedir.

Simülasyon akış diyagramında ilk sırada problemin belirlenmesi yer almaktadır. İncelenecek olan problemin belirlenmesi oldukça önemlidir. Problemin açık ve net bir şekilde belirlenmiş olması simülasyon koşullarının belirlenmesini sağlayacaktır. Problemin belirlenmesinin ardından veri toplama adımına geçilir. Veri toplamada adımında incelenecek olan sistem hakkında gerekli olan girdi parametreleri ve koşullar için gerekli veriler elde edilir. Problemin belirlenmesi ve probleme ait verilerin toplanmasının ardından simülasyon modelinin oluşturulmasına geçilir. Simülasyon modeli, gerçekleştirilecek olan simülasyon analizinin sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. Hatalı geliştirilen bir model hatalı sonuçlara sebebiyet verebilmektedir. Modelin oluşturulmasının hemen ardından sorulması gereken soru oluşturulan model geçerli midir yani incelenmesi istenen sistemi yeterince temsil edebilmekte midir bu sorgulanır. Eğer modelleme geçerli ve yeterli ise bir sonraki aşamaya geçilir, eğer yetersiz ise verilerin toplanması aşaması tekrarlanır. Eğer modelleme geçerli ise simülasyonun bilgisayar ortamına aktarılmasına geçilir. Bilgisayar ortamına aktarılan ve kodlanan simülasyon verileri derlenerek test edilir. Eğer bilgisayar ortamında düzgün çalışan simülasyon kodlaması var ise deneyin yapılması, sonuçların elde edilmesi son olarak da analiz ve raporlama aşamaları ile simülasyon başarıyla gerçekleştirilmiş olur. Eğer düzgün

alışan bir simülasyon kodlaması yok ise tekrardan verilerin toplanması aşamasına dönlür. Sağlıklı bir simülasyon analizi için bu aşamaların titizlikle yerine getirilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.1. Simülasyon Akış Diyagramı

Simülasyon analizleri genellikle tek bir sistem için mevcut durumu modelleyen temel senaryo ve geliştirilen ya da incelenmek istenilen alternatif senaryo olmak üzere iki farklı senaryoyu içermektedir. Aynı sistem iki farklı senaryo durumunda simüle edilerek istenilen değişikliklerin alternatif senaryoda sağlanıp sağlanmadığı incelenir.

Bu tez çalışması kapsamında incelenen Türkiye hava sahasından, Irak Hava sahasına olan hava trafiklerinin devrinin analizi için de temel senaryo ve alternatif senaryo geliştirilmiştir.

5.2 Temel Senaryo

Temel senaryoda, Türkiye hava sahasının Irak hava sahasından kaynaklanan radarsız ayırma minimumlarının hava trafik kontrol ünitelerindeki hava trafik kontrolörlerince sağlanması ele alınmaktadır. Ankara ve İstanbul saha kontrol merkezlerinde yerinde yapılan incelemelerde, kontrolörlerin Ankara uçuş bilgi bölgesinden, Bağdat uçuş bilgi bölgesine transfer edecekleri uçuşlar için uyguladıkları ayırma yöntemleri gözlemlenmiştir. Mevcut durumda kontrolörler Bağdat hava sahasına devredilecek olan uçuşlar arasındaki ayırmayı, bu uçakların Türkiye hava sahasına girdikleri andan itibaren Bağdat hava sahasına geçinceye kadar kademeli olarak 10 deniz milinden 30 deniz miline çıkarmaktadırlar. 10 deniz mili olan mesafenin 30 deniz miline çıkartılması için ise hız ve vektör talimatı ile uçakları geciktirmektedirler. Uçaklar arasında 30 deniz mili ayırma sağlanamayacaksa da dikey ayırma sağlanarak uçakların Bağdat hava sahasına devri gerçekleştirilmektedirler.

5.2.1. Temel Senaryo İçin Kabuller

Temel senaryonun simülasyon ortamında modellenebilmesi için bazı kabuller yapılmıştır. Simülasyonda kullanılacak olan uçak tiplerinin performans verileri ve hesaplamaları için Eurocontrol tarafından geliştirilen Base of Aircraft Data (BADA) uçak performans modeline ait veriler kullanılmıştır. Simülasyon boyunca tüm uçakların 350 uçuş seviyesinde oldukları kabul edilmiştir. Simülasyona giren tüm uçakların giriş ağırlığı olarak BADA referanslarında belirtilen nominal ağırlıkla simülasyona girdikleri varsayılmıştır. Simülasyon süresince uçak kategori tipine göre uçakların uçabilecekleri hava hızı değeri 350 uçuş seviyesi için BADA verileri ve referans uçak ağırlığı kullanılarak True Airspeed –TAS olarak hesaplanmış olan Çizelge 5.1’de belirtilen değerler aralığında tanımlanacaktır.

Simülasyon süresince belirlenen ayırmaların sağlanabilmesi için kullanılacak olan ayırma yöntemleri öncelik sırasına göre hız, vektör ve holding olarak

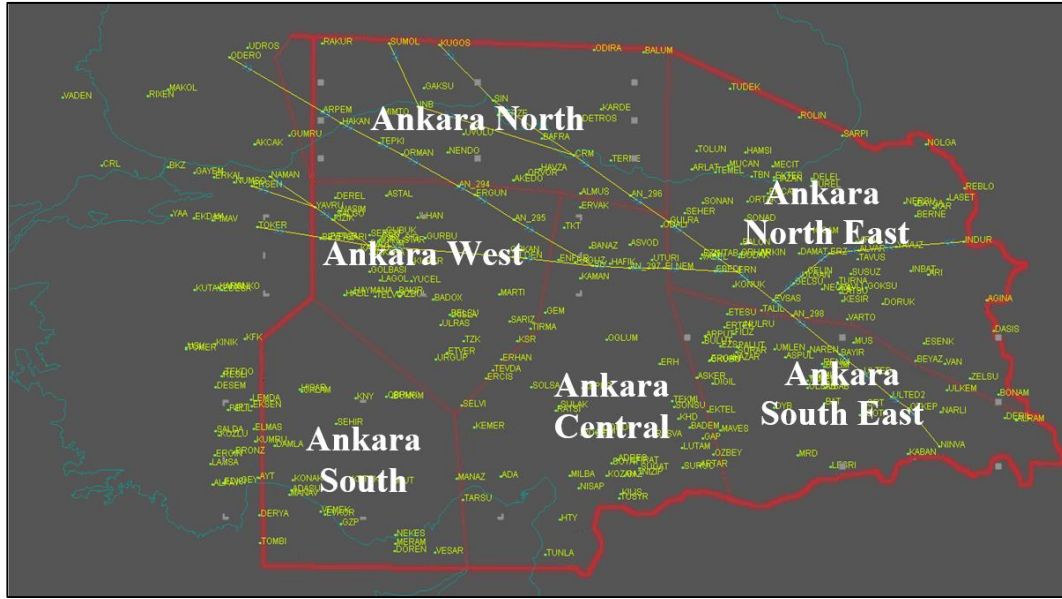
uygulanacaktır. Ancak holding gecikmeleri de vektör gecikmesi olarak değerlendirilecektir.

Çizelge 5.1. Simülasyonda Kullanılan Hız Kabulleri

Uçak Tipi	Minimum Hız (TAS knot)	Nominal Hız (TAS knot)	Maksimum Hız (TAS knot)
Ağır (Heavy)	397	450	503
Orta (Medium)	362	418	473
Hafif (Light)	331	405	478

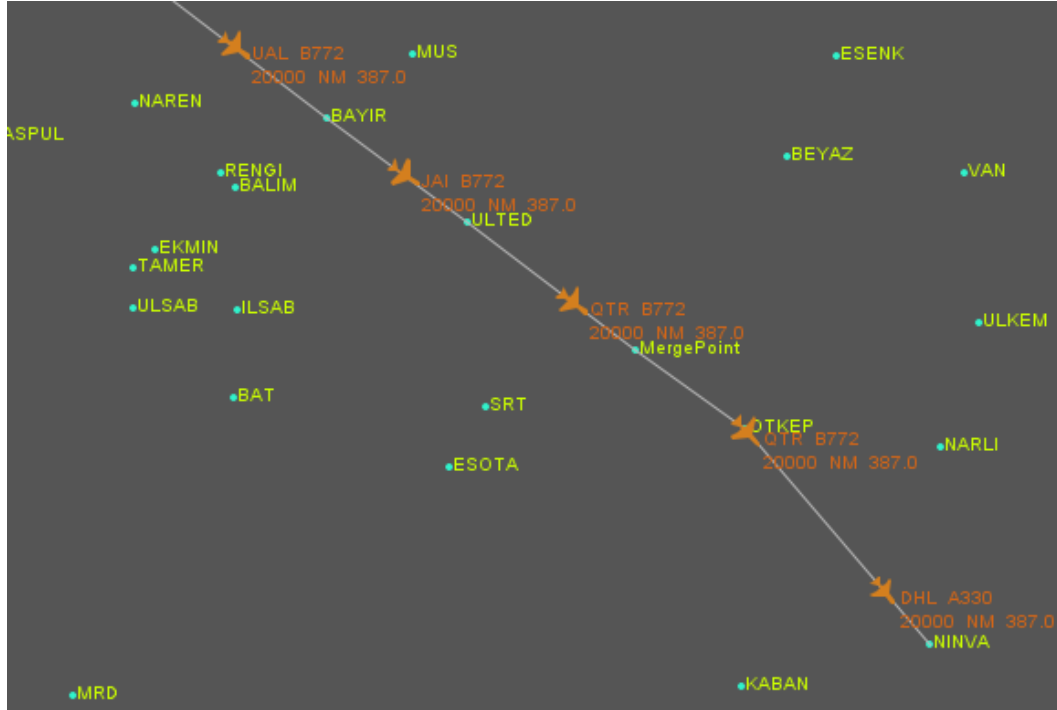
5.2.2. Temel Senaryonun Modellenmesi

Modellemenin ilk aşaması olarak Ankara uçuş bilgi bölgesi tüm hava sahası seyrüsefer yardımcıları ile birlikte SIMMOD ortamına aktarılmıştır. Daha sonra Türkiye hava sahasında 6 Ocak 2013 tarihinde gerçekleşen uçuş verilerine uygun olarak, Bağdat uçuş bilgi bölgesine transfer edilen uçuşların izledikleri rotalar simülasyon ortamına aktarılmıştır. Şekil 5.2’de Ankara uçuş bilgi bölgesinden gelen Bağdat uçuş bilgi bölgesi çıkışlı uçuşların rotaları SIMMOD ortamında gözükmektedir.



Şekil 5.2. Ankara FIR'ın SIMMOD Ortamındaki Ekran Alıntısı

Ayırma minimumları gerçek koşullara uygun olacak şekilde kademeli olarak 10 deniz milinden 30 deniz miline çıkacak şekilde simülasyona girdi olarak tanıtılmıştır. Ayırma minimumlarının bu kademeli dağılımında Ankara Batı (Ankara West), Ankara Kuzey (Ankara North) ve Ankara Kuzeydoğu (Ankara Kuzeydoğu) sektörlerinde yol ayırma minimumu 10 deniz mili olarak tanımlanmıştır. Bu ayırma minimumu daha sonra NINVA çıkış noktasına doğru kademeli olarak önce 20 deniz miline daha sonrada 30 deniz miline çıkmaktadır. NINVA çıkış noktasına gelindiğinde hava araçlarının 30 deniz mili ile Bağdat uçuş bilgi bölgesine transferi sağlanmaktadır. NINVA çıkış noktasına ait SIMMOD ekran alıntısı Şekil 5.3' de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. NINVA Çıkış Noktası

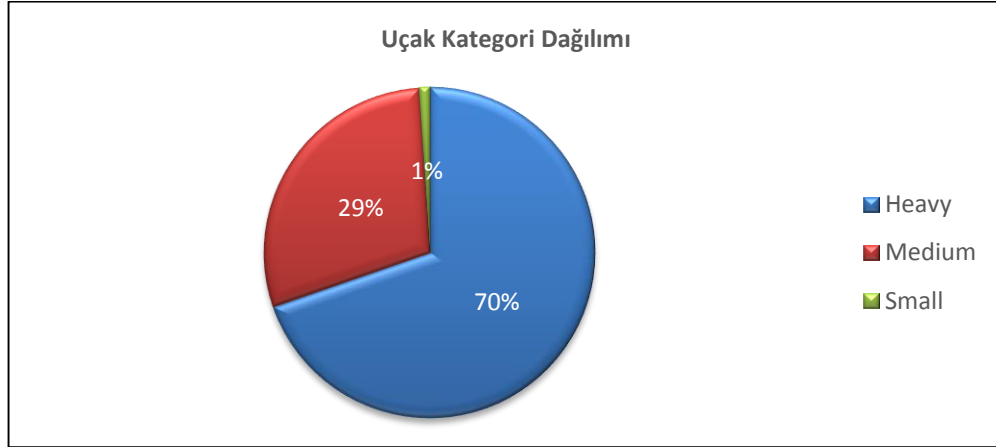
Ankara uçuş bilgi bölgesinin ve ayırma minimumlarının simülasyon ortamına alınmasından sonra uçuş verilerinin simülasyon ortamına aktarılmasına geçilmiştir. 6 Ocak 2013 tarihli uçuş verileri Şekil 3.6'da daha önceden verilmişti. Bu verilere bakıldığında NINVA çıkış noktasını kullanan toplam 104 uçuş bulunmaktadır. Ancak verilerde 5 adet uçuşa ait rota bilgisi bulunmadığı için 99 uçuşun

simülasyon ortamına aktarılması yapılmıştır. Bu 99 uçuşun uçak tiplerine göre dağılımını Çizelge 5.2’de verilmiştir.

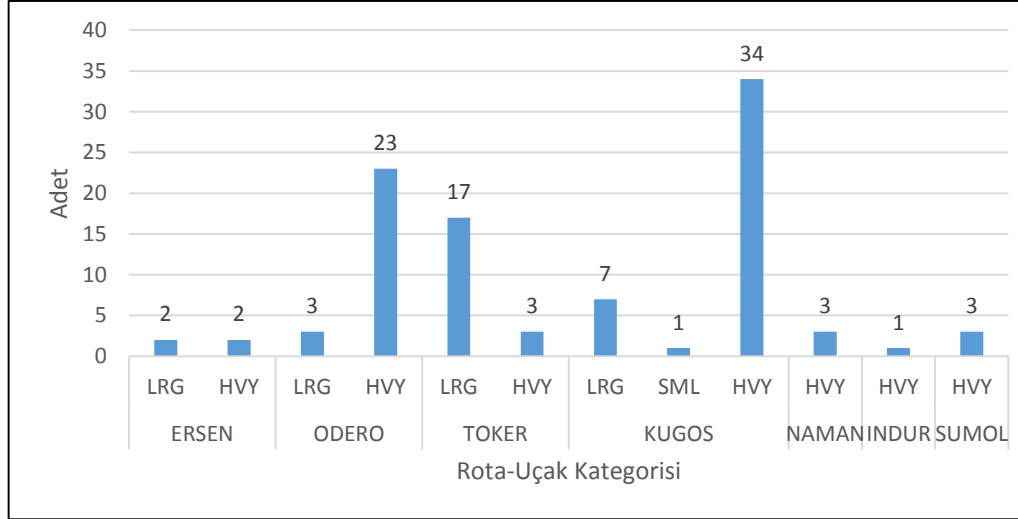
Çizelge 5.2. Uçuşların Uçak Tiplerine Göre Dağılımı

Uçak Tipi	Adet	Uçak Tipi	Adet
A300	1	A319	4
B747-200	1	B737-800	8
A330	23	A321	6
A340	6	A320	7
B772	23	B737-500	2
B767-300	2	B-737	2
B747-400	13	Learjet35	1

Simülasyona aktarılan uçuşların uçak kuyruk türbülans kategorilerine göre dağılımını Şekil 5.4’ de yer almaktadır.



Şekil 5.4. Uçak Kategori Dağılımı



Şekil 5.5. Simülasyonda Yer Alan Uçakların Rota Dağılımları

Simülasyonda yer alan uçuşların rota dağılımları Şekil 5.5’de yer almaktadır. Rota dağılımlarında uçuşların simülasyona giriş noktaları yatay ekseninde yer almaktadır. Simülasyona giriş noktalarından gelen uçuşlar da kendi içinde kuyruk türbülans kategorisine göre Şekil 5.5’de yer almaktadır. Simülasyondaki KUGOS ve ODERO giriş noktaları Ankara Kuzey sektöründe yer almaktadır. Uçuşların %57 si Türkiye hava sahasına Ankara Kuzey sektöründe yer alan ODERO ve KUGOS kesişim noktalarından girerek NINVA kesişim noktasında ise Bağdat uçuş bilgi bölgesine devredilmektedir.

Tüm hava sahasının, ayırma minimumlarının, simülasyonda kullanılacak olan hız limitlerinin ve uçuş verilerinin SIMMOD ortamına alınmasının ardından senaryonun modellenmesi tamamlanmıştır. Temel senaryo SIMMOD ortamında başarılı bir şekilde derlenerek çalışmaya hazır hale getirilmiştir. Temel senaryo SIMMOD ortamında çalıştırılarak mevcut duruma ait analizler gerçekleştirilmiştir.

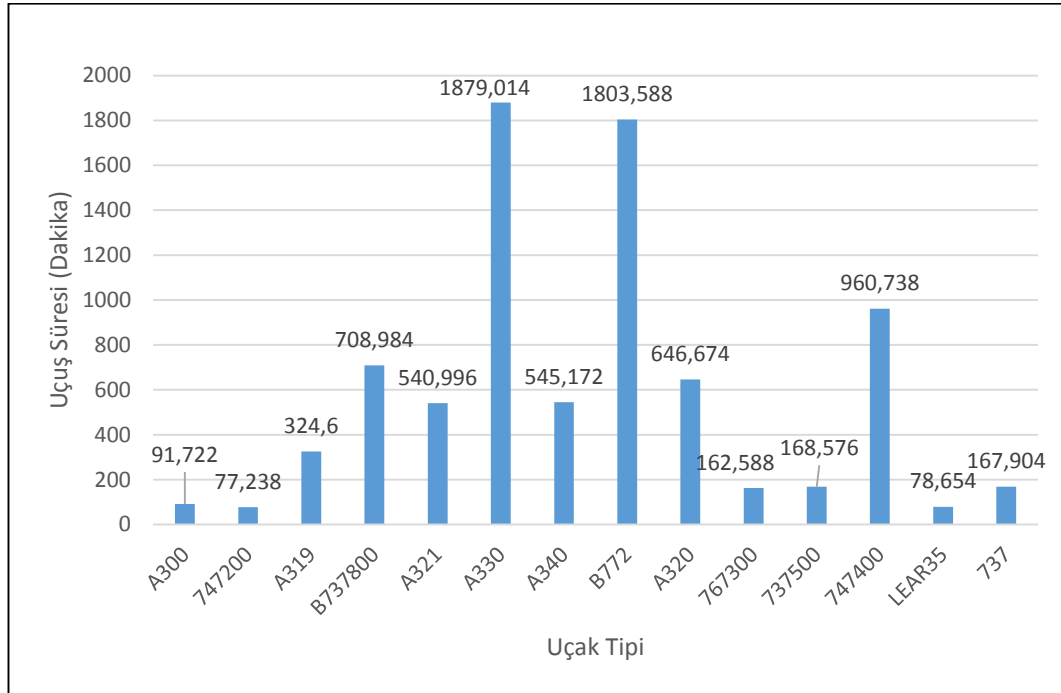
5.2.3. Temel Senaryo Sonuçları

Temel senaryoda Ankara uçuş bilgi bölgesinden Bağdat uçuş bilgi bölgesine olan uçuşlar 10 kez tekrarlanan simülasyon ile analiz edilmiştir. Bütün tekrarlamalarda mevcut simülasyon koşulları ve uçuş verileri aynı tutulmuştur. Burada verilecek olan sonuçlar 10 kez tekrarlanan simülasyon sonuçlarının ortalamasından oluşmaktadır.

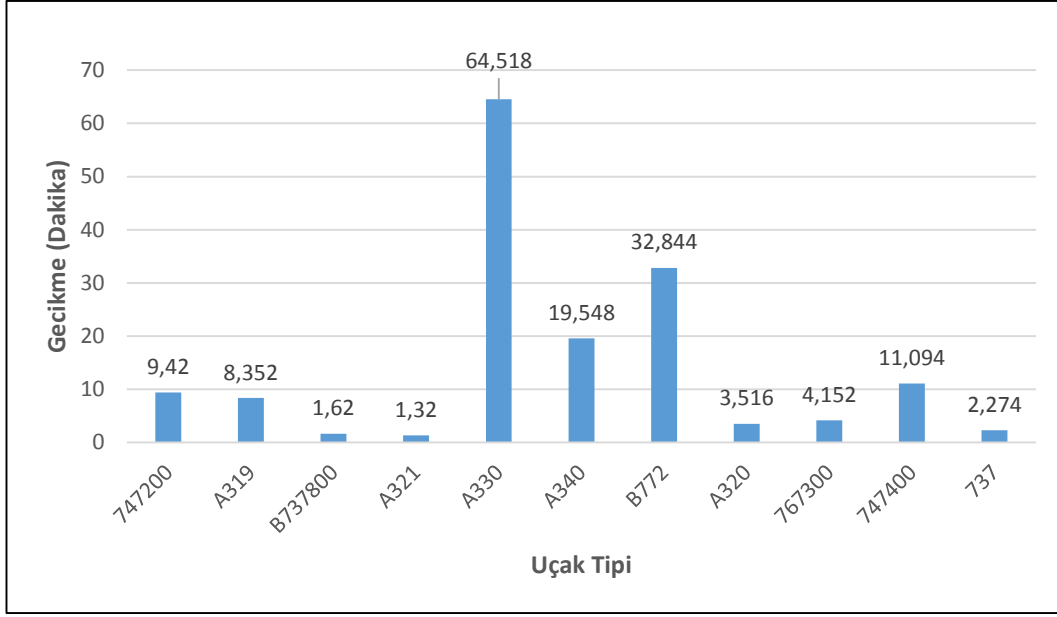
Temel senaryoda gerçekleştirilen 99 uçuşa ait uçuş sürelerinin uçak tiplerine göre dağılımı Şekil 5.6’da yer almaktadır.

Belirtilen uçuş süreleri simülasyonda incelenen tüm uçak tiplerinin toplamı ile birlikte verilmektedir. Uçuş süreleri uçuşun simülasyona giriş yaptığı andan çıkış yaptığı ana kadarki havada kalma süresini vermektedir. Gerçekleştirilen incelenen 99 uçuş da toplam uçuş süresi ise 8156 dakikadır. Tüm uçuşlar aslında 24 saatlik bir senaryoda incelenmiştir. Burada belirtilen uçuş süreleri her bir uçağın havada kalma sürelerinin toplamıdır.

Temel senaryoda meydana gelen gecikmelerin uçak tiplerine göre dağılımı ise Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



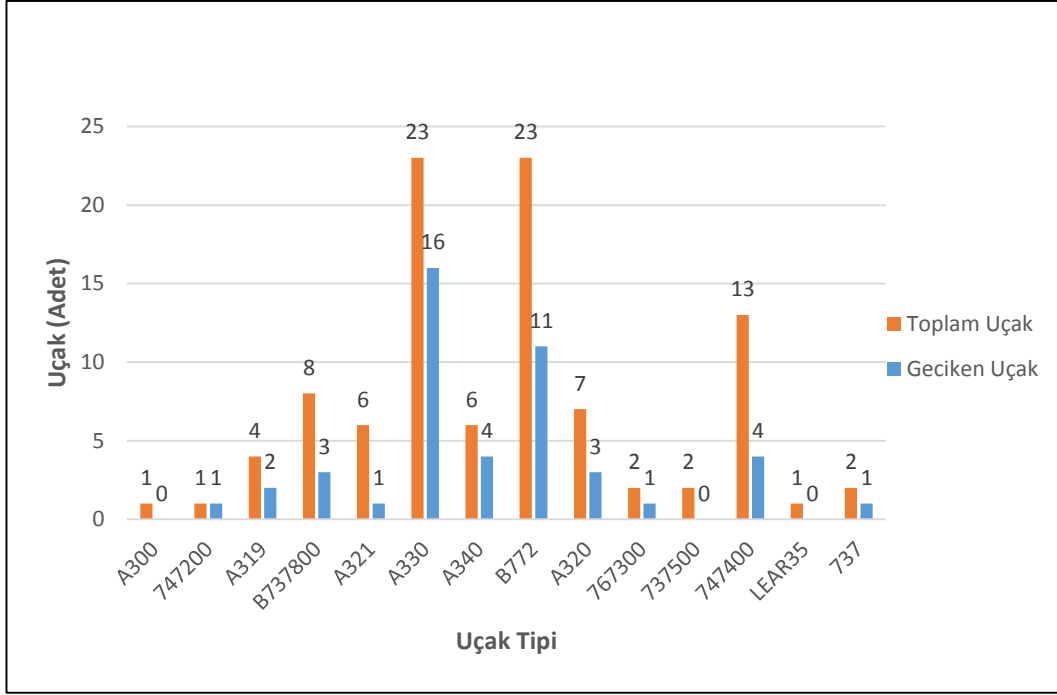
Şekil 5.6. Temel Senaryo Uçuş Süreleri



Şekil 5.7. Temel Senaryo Gecikme Dağılımları

Temel senaryoda simülasyon sonucu yapılan analizde gün sonunda gerçekleşen 99 uçuşta toplam 158,65 dakikalık bir gecikmenin yaşandığı görülmektedir. Bu gecikmenin önemli bir kısmı geniş gövdeli hava araçlarına aittir. Yaşanan 158 dakikalık gecikmenin nedenleri arasında kuyruk türbülans ayırmaları, Türkiye hava sahasında uygulanan 10 deniz mili ayırmalar ve Bağdat uçuş bilgi bölgesinden kaynaklanan 30 deniz mili ayırmalar yer almaktadır. Yaşanan gecikmelerin en büyük nedeni ise Bağdat hava sahasının zorunlu kıldığı 30 deniz mili ayırma gerekliliğidir.

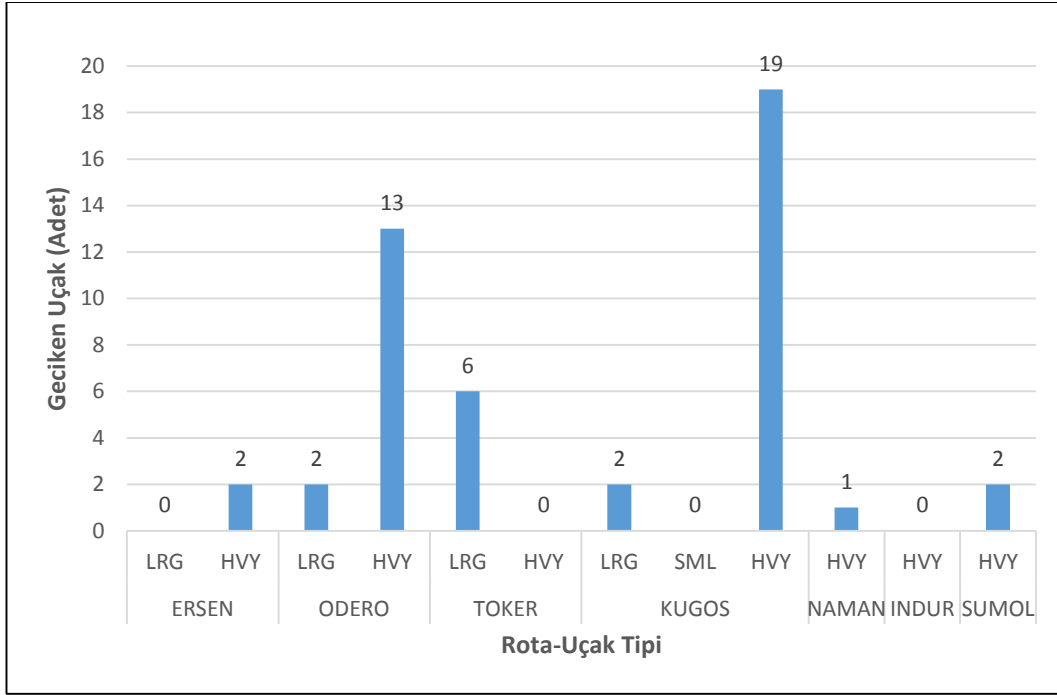
Gecikme sürelerinin yanında bir diğer önemli parametre ise gecikmeye maruz kalan uçak sayısıdır. 158 dakikalık gecikmenin kaç uçak üzerinde dağıldığının bir göstergesi de gecikmeye maruz kalan uçak sayısıdır. Simülasyonda yer alan toplam uçak sayısı ile birlikte gecikme yaşayan uçak sayılarını gösteren grafik Şekil 5.8'de yer almaktadır.



Şekil 5.8. Temel Senaryo Geciken Uçuş Dağılımı

Şekil 5.8’de yer alan grafikte toplam uçak olarak ifade edilen değerler simülasyon süresince tanımlanan ve simülasyonda yer alan uçak sayılarını göstermektedir. Gecikmelerin uçak tiplerine göre dağılımları incelendiğinde 16 adet geciken uçak ile Airbus 330 en çok gecikmeye maruz kalan uçak tipidir. Temel senaryo genelinde gerçekleşen 99 uçuşun 47 si gecikmeye maruz kalmıştır.

Gecikme yaşayan uçak sayısı ve gecikme sürelerinin yanında bir diğer önemli parametre de gecikmelerin daha çok hangi rotalarda yaşandığıdır. Gecikme yaşayan 47 uçuşun rotalara göre dağılımı Şekil 5.9’ da yer almaktadır. Gecikme yaşayan uçakların rotalarına bakıldığında, gecikmenin büyük kısmının Otero ve Kugos girişli uçuşlarda yaşandığı görülmektedir. Ankara Kuzey sektöründe yer alan Otero ve Kugos giriş noktalarından Türkiye hava sahasına giren uçuşlar %68 gibi büyük bir oranda gecikmeye maruz kalmaktadır. Ankara saha kontrol merkezi ve İstanbul saha kontrol merkezinde yapılan saha incelemelerinde de pek çok hava trafik kontrolörü Türkiye’nin kuzeyinden gelen ve Irak çıkışlı uçuşların ayırma sorunu oluşturduğunu ve gecikmelere sebep olduğunu belirtmişlerdir. Gerçekleştirilen simülasyon sonuçları da hava trafik kontrolörlerinin belirttikleri duruma örtüşmektedir. Bu da bir bakıma yapılan simülasyon modelinin geçerliliğinin ve gerçek sistemi temsil kabiliyetinin bir göstergesidir.



Şekil 5.9. Temel Senaryo Gecikmeli Uçakların Rotaya Göre Dağılımı

5.3 Alternatif Senaryo

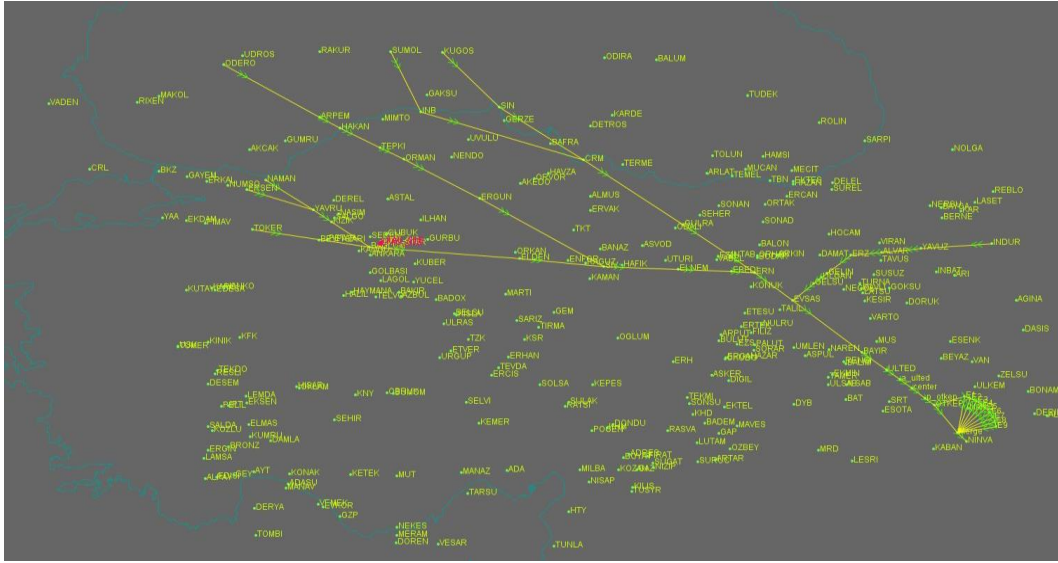
Alternatif senaryo da Türkiye hava sahasından Irak hava sahasına devredilecek olan uçuşlar arasındaki ayırmanın Point-Merge yöntemiyle yapılması ve incelenmesi planlanmıştır. Alternatif senaryonun oluşturulmasında Point-Merge yöntemi incelenmiş ve bu yöntemin yol kontrol aşamasındaki uçuşlara simülasyon ortamında uygulanması öngörülmüştür. Alternatif senaryo ile Irak hava sahasından kaynaklanan radarsız ayırma minimumlarının Türkiye hava sahasına olan etkilerinin en aza indirilmesine çalışılmıştır.

5.3.1. Alternatif Senaryo İçin Kabuller

Alternatif senaryo ile temel senaryonun kıyaslanabilir olması için alternatif senaryodaki tüm kabuller temel senaryodaki kabullerin aynısıdır. Alternatif senaryoda değişen tek şey ayırma yöntemidir. Temel senaryodan farklı olarak uçaklar arasındaki ayırma Point-Merge yöntemine kadar 10 deniz mili olarak sabit tutulmuştur. Bağdat uçuş bilgi bölgesinin radarsız ayırma usullerinden kaynaklanan 30 deniz mili ayırma Point-Merge yöntemi kullanılarak sağlanmıştır.

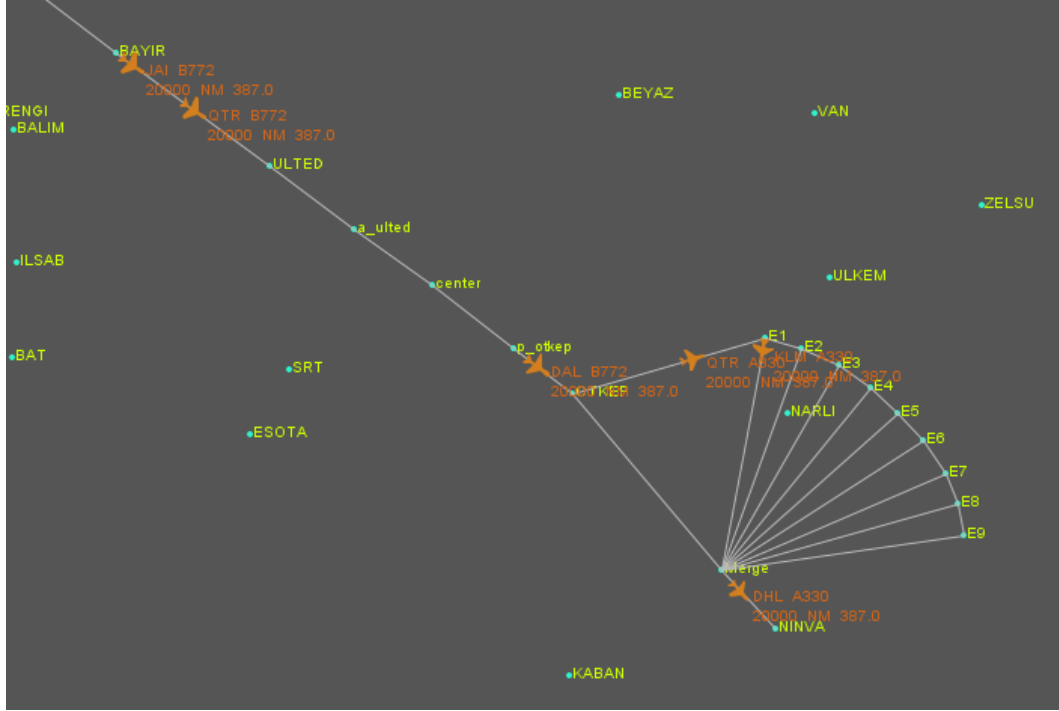
5.3.2. Alternatif Senaryonun Modellenmesi

Alternatif senaryo için Ankara uçuş bilgi bölgesinde yer alan seyrüsefer yardımcılarını SIMMOD ortamına aktarılmıştır. 6 Ocak 2013 tarihli uçuş verilerine göre uçuş rotaları SIMMOD ortamında çizilmiştir. Uçuş rotalarına ek olarak NINVA keşişim noktasından hemen önce Point-Merge yöntemi de simülasyon ortamına aktarılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda SIMMOD ortamında oluşturulan alternatif senaryonun ekran alıntısı Şekil 5.10' da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Alternatif Senaryo SIMMOD Ekran Alıntısı

Alternatif senaryonun modellenmesinde en önemli farklılık Point-Merge yönteminin eklenmesidir. Point-Merge yönteminin simülasyon ortamında oluşturulan sıralama bacaları ve genel yapısı Şekil 5.11'de yer almaktadır. Simülasyon da OTKEP ve NINVA keşişim noktalarının arasında Point-Merge yöntemi yer almaktadır. Point-Merge yönteminde sıralama bacağı olarak adlandırılan E1, E2, ..., E9 noktalarının birleşimiyle oluşturulan yay alternatif senaryoda aslında ayırma bacağı olarak kullanılmaktadır. Ardışık olan E noktalarının araları 5 deniz milidir. Her bir E noktasının ve OTKEP keşişim noktasının, toplanma noktası olan Merge noktasına olan mesafesi ise 30 deniz milidir. Uçaklar Point-Merge yöntemi ile burada birbirinden 30 deniz mili ayrılarak toplanma noktası olan Merge noktasına yönlendirilmektedir.



Şekil 5.11. Alternatif Senaryo ve Point-Merge Yöntemi

Alternatif senaryoda simülasyon ortamına aktarılan uçuşlar temel senaryoda yer alan uçuşlar ve rotalarıyla birebir aynıdır. Alternatif senaryoda yer alan uçak tipleri ve sayıları Çizelge 5.2’de, rota dağılımlarını da Şekil 5.5’de belirtilen temel senaryo uçuş verileri ile aynıdır.

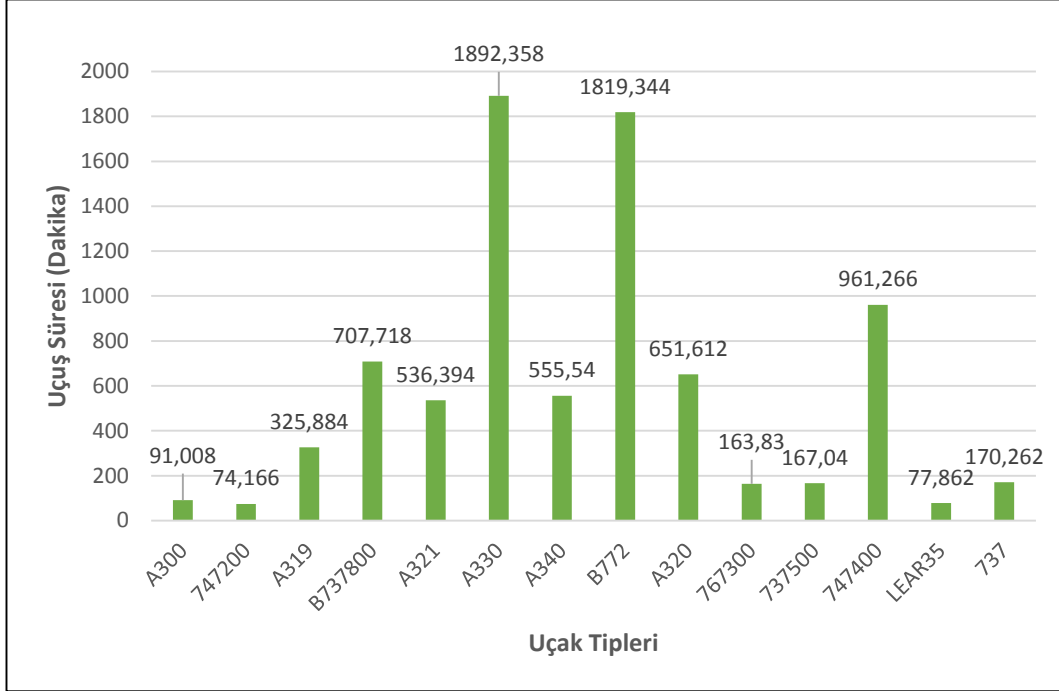
5.3.3. Alternatif Senaryo Sonuçları

Oluşturulan alternatif senaryo modeline girilen 99 uçuş 10 kez tekrarlanan simülasyon ortamında incelenmiştir. Burada verilen sonuçlar 10 sefer tekrarlanan simülasyon sonuçlarına ait ortalama sonuçları içermektedir.

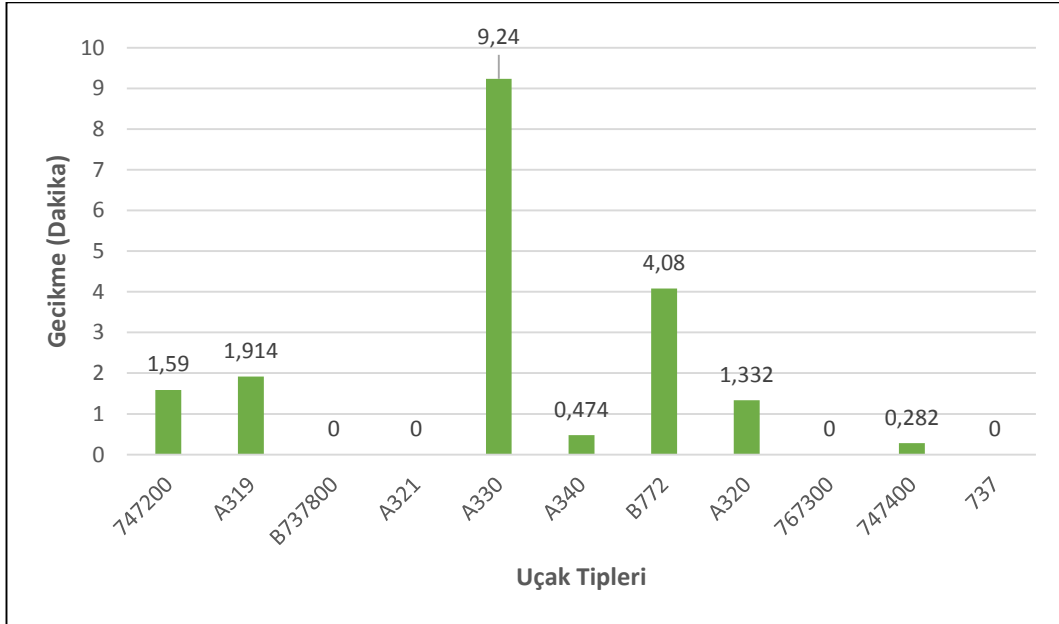
Alternatif senaryoda yer alan uçuşlara ait uçuş süreleri Şekil 5.12’de yer almaktadır. 24 saatlik süre ile gerçekleştirilen alternatif senaryo simülasyonunda toplam uçuş süresi 8194 dakikadır. Tüm uçuşlar aslında 24 saatlik bir senaryoda incelenmiştir. Burada belirtilen uçuş süreleri her bir uçağın havada kalma sürelerinin toplamıdır.

Alternatif senaryo sonucunda gerçekleşen gecikme sürelerinin uçak tiplerine göre dağılımı da Şekil 5.13’de yer almaktadır. Gecikme dağılımları incelendiğinde alternatif senaryo boyunca uçakların toplam 18.91 dakikalık bir gecikme yaşadığı

görülmektedir. Yaşanan gecikmelerin ağır (Heavy) kategorideki uçaklarda yoğunlaştığı görülmektedir.

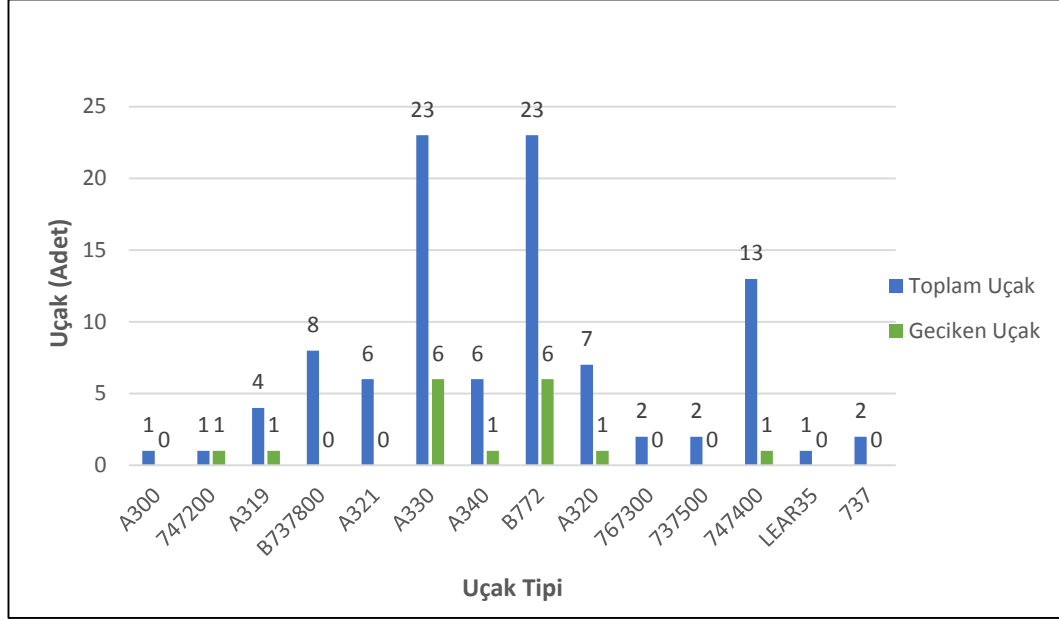


Şekil 5.12. Alternatif Senaryo Uçuş Süreleri



Şekil 5.13. Alternatif Senaryo Gecikme Dağılımları

Alternatif senaryoda gecikmeye maruz kalan uçak dağılımları Şekil 5.14’de görülmektedir.

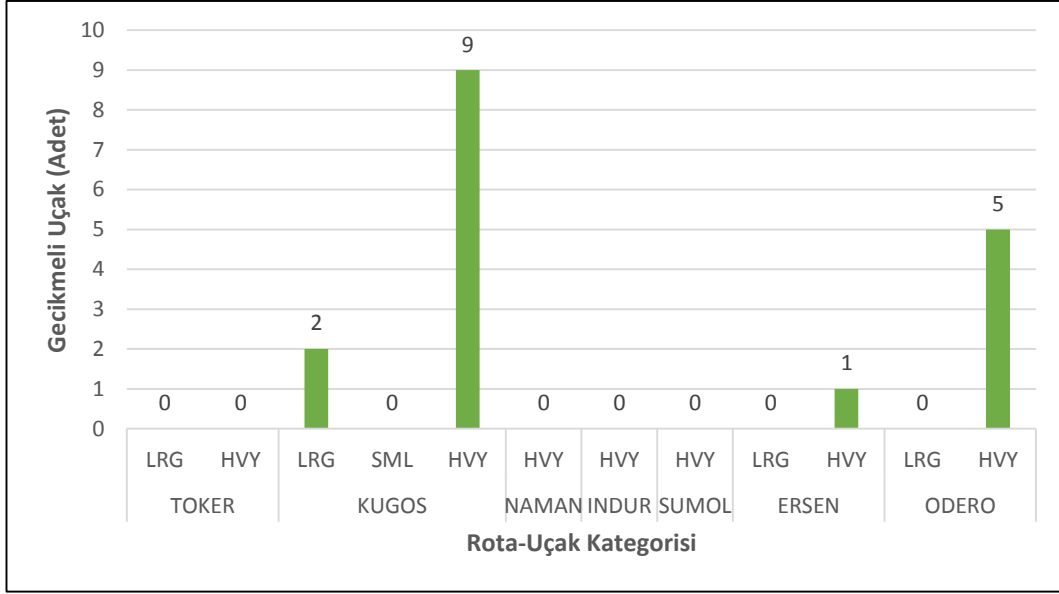


Şekil 5.14. Alternatif Senaryo Geciken Uçak Dağılımı

Gecikmeye maruz kalan uçakların dağılımında, toplam uçak sayısı alternatif senaryoda yer alan ilgili uçak tipine ait simülasyona girilen uçuş sayısını göstermektedir. Alternatif senaryo genelinde toplam 17 uçak gecikmeye maruz kalmıştır. Gecikmeye maruz kalan uçak tiplerine bakıldığında gecikmeye en çok Airbus 330 ve Boeing 772 uçaklarının maruz kaldığı gözükmektedir.

Yaşanan gecikmelerin uçuş rotalarına göre dağılımları ise Şekil 5.15’de yer alan grafikte görülmektedir. Grafik incelenecek olursa yaşanan gecikmelerin temel senaryoya benzer şekilde çoğunlukla Ankara Kuzey sektöründe yer alan ODERO ve KUGOS kesişim noktalarından Türkiye hava sahasına giren uçuşlardan kaynaklandığı görülmektedir. Alternatif senaryoda yaşanan gecikmelerin % 82 gibi önemli bir kısmı Ankara Kuzey sektöründen giriş yapan uçuşlardan kaynaklanmaktadır.

Özetle alternatif senaryoda 8194 dakikalık sürede 99 uçuş gerçekleşmiş olup bu uçuşlarda 17’si 18.91 dakikalık gecikmeye maruz kalmıştır.



Şekil 5.15. Alternatif Senaryo Gecikmeli Uçakların Rotaya Göre Dağılımı

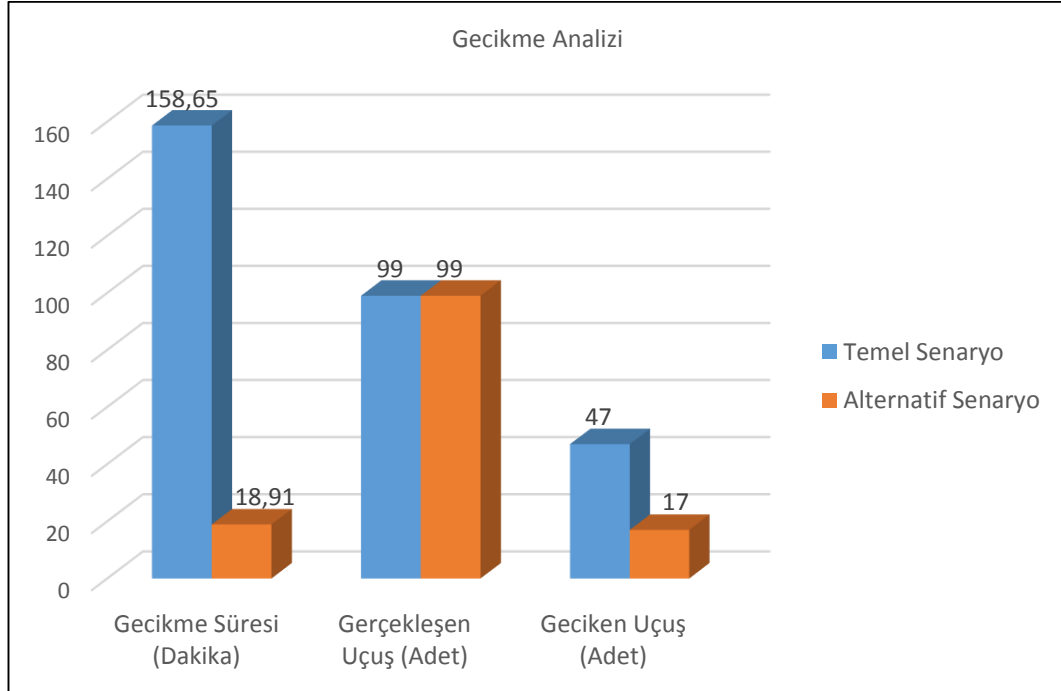
Alternatif senaryo sonuçlarına genel olarak bakıldığında gecikme sürelerinde ve geciken uçak sayılarında ciddi miktarda bir azalmanın görülmektedir. Alternatif senaryo ile temel senaryo sonuçlarının detaylı analizi bir sonraki bölümde yapılacaktır.

6. SİMÜLASYON SONUÇLARININ ANALİZİ

6.1 Gecikme Analizi

Türkiye hava sahasından Irak hava sahasına devredilen uçuşlara ait veriler temel senaryoda ve alternatif olarak geliştirilen senaryoda analiz edilerek alternatif senaryonun probleme olan çözüm katkısı incelenmiştir.

Yapılan simülasyon sonuçlarına bakıldığında yaşanan gecikme süreleri ve gecikme dağılımlarının alternatif senaryoda azaldığı görülmektedir. Şekil 6.1’de temel senaryo ve alternatif senaryo ya ait gecikme süreleri ile gecikmeye maruz kalan uçak sayıları görülmektedir.



Şekil 6.1. Temel ve Alternatif Senaryolarda Gecikme Dağılımı

Alternatif senaryoda ile temel senaryoda gerçekleşen uçuş sayıları birbirine eşittir. Her iki senaryoda da simülasyon süresince toplam 99 uçuş gerçekleşmiştir. Uçuşlarda meydana gelen gecikme sürelerine bakıldığında ise temel senaryoda 158,65 dakika olan gecikme süresi alternatif senaryoda 18,91 dakikaya gerilemiştir. Gecikmeye maruz kalan uçak sayısı da 47’den 17’ye düşmüştür. Alternatif senaryoda Point-Merge yönteminin yoldaki uçuşlara uyarlanması ile gecikmeler ciddi ölçüde azalmıştır. Yaşanan gecikmelerdeki azalma uçakların maruz kaldığı vektör ve hız talimatlarında da azalmayı getirmektedir. Alternatif senaryoda

geliştirilen Point-Merge sisteminin yol safhasındaki uçuşlara uygulanması yöntemi ile gecikmeler azaltılarak Türkiye hava sahasının birim zamanda hizmet verebileceği hava trafiğinde artış sağlanmıştır. Irak hava sahasındaki radarsız ayırma minimumlarından ötürü Türkiye hava sahasının tüm sektörlerinde yaşanan gecikmeler bu yöntem ile azaltılmıştır.

Alternatif yöntem ile Türkiye hava sahasının radar ayırma minimumunu kendi içerisinde belirlediği 10 deniz mili mesafe ile uygulayabilmesi de sağlanmıştır. Irak hava sahasının gerektirdiği 30 deniz mili ayırmalar sadece Ankara Güneydoğu sektöründe Point-Merge yönteminin yol safhasında kullanılması ile sağlanmıştır.

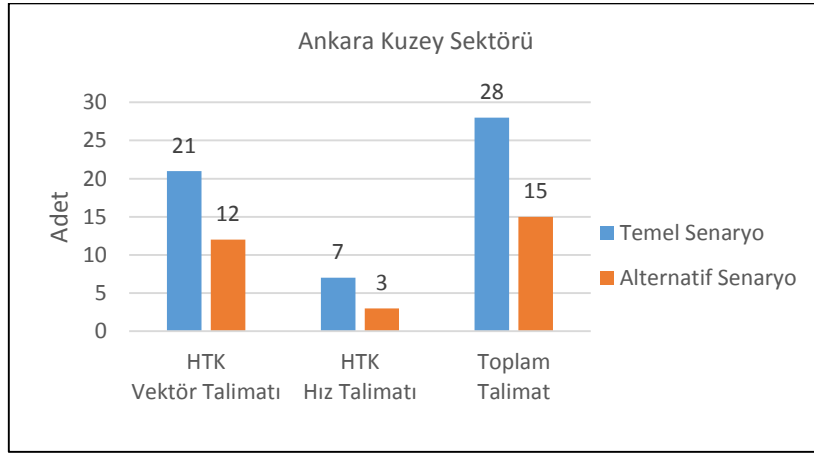
6.2 Frekans Meşguliyeti Analizi

Temel senaryodan alternatif senaryoya geçişle birlikte gecikme sürelerinde azalmanın olduğuna bir önceki bölümde değinilmişti. Hava araçlarının daha az gecikmeye maruz kalması daha az vektör ve hız talimatı aldıklarının bir göstergesidir. Hava araçlarına verilmesi gereken her türlü talimat hem frekans meşguliyeti hem de kontrolör iş yükü demektir. Hava araçlarına verilen her türlü talimat sadece frekanstan söylenmesi ile değil, bu talimat için karar alma süresiyle de hava trafik kontrolörüne iş yükü getirmektedir. Türkiye hava sahasındaki 10 deniz mili olarak uygulanan ayırmanın üç katına çıkarılması hava trafik kontrolörü açısından oldukça yoğun bir karar alma aşamasını da beraberinde getirmektedir. Alternatif senaryoda öngörülen yöntemde hava araçları arasındaki ayırmanın tek bir bölgede Point-Merge yöntemiyle 10 deniz milinden 30 deniz miline çıkartılması daha sistematik bir şekilde gerçekleştiğinden karar alma süreci de kolaylaşmaktadır.

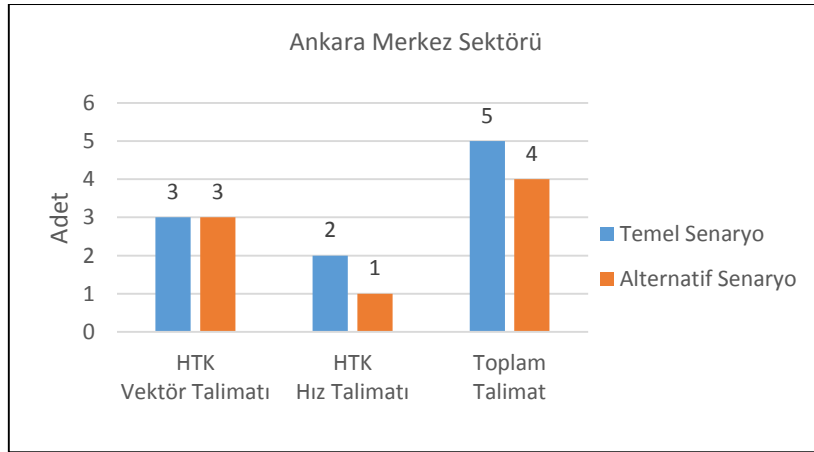
Hava trafiğinde hava araçları arasındaki ayırmaların sağlanabilmesi amacı ile hava araçlarına vektör talimatı, hız talimatı, tırmanma talimatı ya da alçalma talimatı verilebilir. Simülasyon kabullerinde tüm uçuşların 350 uçuş seviyesinde olduğu varsayıldığından hem alternatif senaryoda hem de temel senaryoda hava araçlarına verilebilecek talimatlar vektör ve hız talimatı ile sınırlıdır. Yol safhasındaki uçuşlardan ayırma talebi ile bekleme paternine girmesi beklenmediğinden bekleme talimatı verilmemektedir. Bu açıdan simülasyon

ortamında bekleme olarak yer alan gecikmeler de vektör talimatı olarak değerlendirilmiştir.

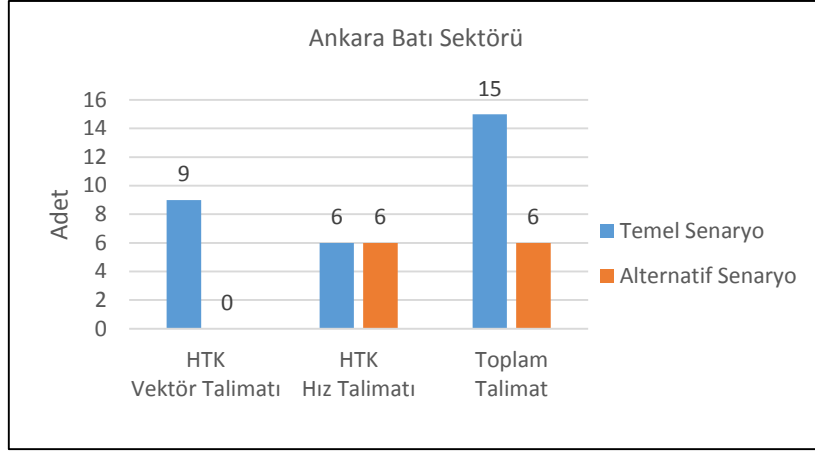
Alternatif ve temel senaryoda ayırmaların sağlanması için hava trafik kontrolörünce verilmesi gereken talimatları Ankara saha kontrol merkezinde yer alan sektörlere göre incelemek daha doğru olacaktır. Her bir sektöre ait hava trafik kontrolörü talimatlarının dağılımı aşağıda yer almaktadır.



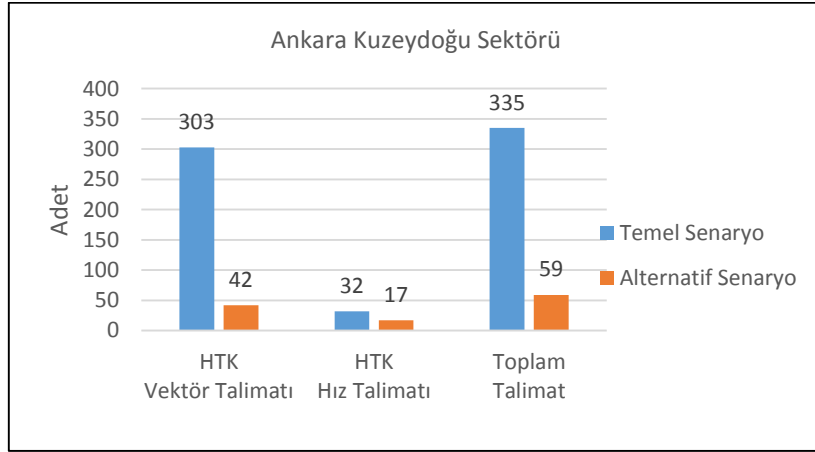
Şekil 6.2. Ankara Kuzey Sektörü Talimat Dağılımı



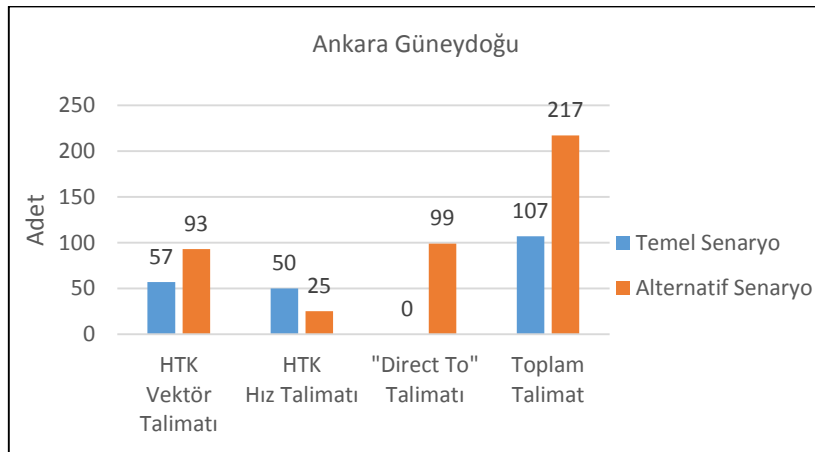
Şekil 6.3. Ankara Merkez Sektörü Talimat Dağılımı



Şekil 6.4. Ankara Batı Sektörü Talimat Dağılımı



Şekil 6.5. Ankara Kuzeydoğu Sektörü Talimat Dağılımı

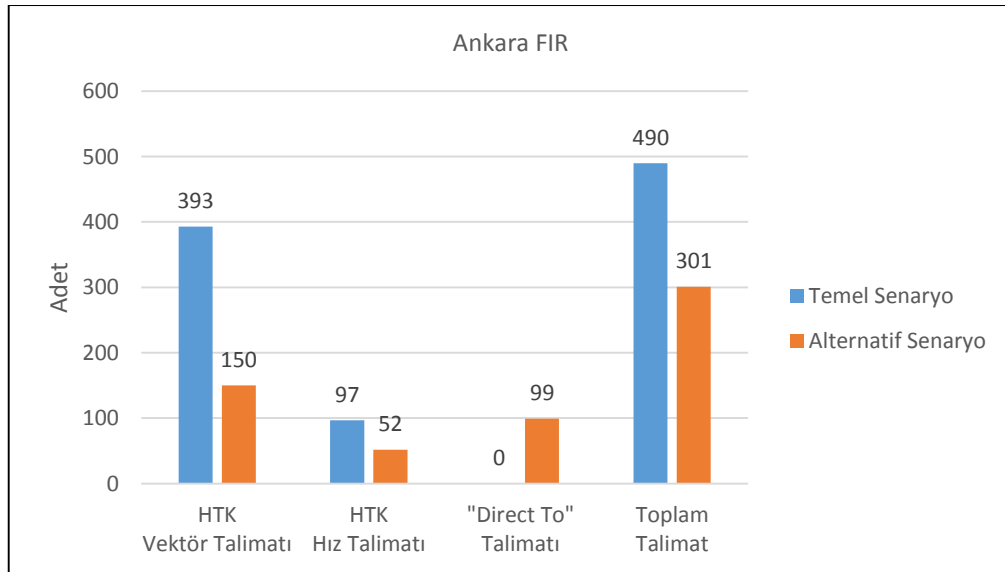


Şekil 6.6. Ankara Güneydoğu Sektörü Talimat Dağılımı

Ankara saha kontrolde yer alan sektörler bazında hava trafik kontrol ünitelerinde yer alan hava trafik kontrolörlerinin vermesi gereken talimat sayılarına bakıldığında Ankara Güneydoğu Sektörü haricindeki sektörlerde alternatif senaryoda temel senaryoya göre ciddi miktarda azalma görülmektedir. Ankara Kuzeydoğu sektöründe alternatif senaryoda verilen talimat sayısı temel senaryoya göre %82 azalmıştır. Kuzeydoğu sektöründe bu derece bir azalmanın nedenleri arasında gelen uçuşların çoğunun bu sektörden Türkiye hava sahasına girmesi ve Kuzeydoğu sektöründe yer alan kesişim noktalarının konumlarından kaynaklanmaktadır.

Ankara Güneydoğu sektöründe ise alternatif senaryoda verilmesi gereken toplam talimat sayısında temel senaryoya göre artış görülmektedir. Bu artışın sebebi Point-Merge yönteminde kullanılan “Direct To” talimatının bu sektörde verilmesidir. Temel senaryoda Point-Merge uygulanmadığından herhangi bir “Direct To” talimatı yer almamaktadır. Ancak alternatif durumda her bir uçuşun kavuşma noktasına yönlendirilebilmesi için “Direct To” talimatı gerekmektedir. Bu nedenden ötürü alternatif yöntemde Ankara Güneydoğu sektörüne vektör ve hız talimatlarının yanı sıra 99 adet de “Direct To” talimatının verilmesi gerekmektedir.

Alternatif senaryo ve temel senaryoda verilmesi gereken toplam talimat dağılımı Şekil 6.7’de verilmiştir.



Şekil 6.7. Ankara FIR Talimat Dağılımı

Ankara FIR’ında alternatif senaryo ve temel senaryodaki hava trafik kontrol talimatlarının dağılımına bakıldığında vektör ve hız talimatlarında Point-Merge yönteminin yol safhasında uygulanması ile birlikte azalmalar görülmektedir. Hava trafik kontrolörü alternatif senaryoda temel senaryoya göre 189 daha az talimat kullanmaktadır. Bu da hava trafik kontrolörü iş yükünü ve frekans meşguliyetini %38 mertebesinde azaltmaktadır.

6.3 Yakıt Sarfiyatı Analizi

Alternatif senaryoda geliştirilen yöntemin, temel senaryoya kıyasla ekonomik ve çevresel etkilerinin belirlenmesi için yakıt sarfiyatlarının araştırılması gerekmektedir. Her ne kadar uçak tipleri ve mevcut uçuş sayısı her iki senaryoda da aynı olsa bile, gecikme miktarları, farklı manevra koşulları (vektörleme ve hız tahditleri) yakıt tüketimini önemli derecede etkilemektedir. Bu nedenle alternatif senaryo ve temel senaryo da gerçekleştirilen uçuşlar için yakıt tüketimlerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir.

BADA performans verilerine [29] bakıldığında jet uçaklarına ait yakıt tüketimi (6.1) de yer almaktadır.

$$f_{cruise} = C_{f1} \times \left(1 + \frac{V_{TAS}}{C_{f2}}\right) \times T \times C_{fcr} \text{ (kg/dakika)} \quad (6.1)$$

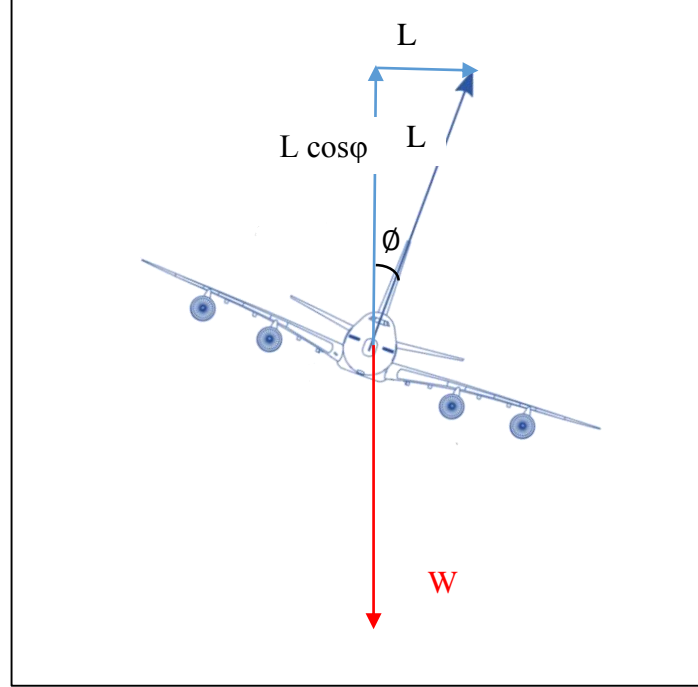
Denklem (6.1) de C_{f1} , C_{f2} ve C_{fcr} uçak modeline göre değişen BADA yakıt tüketim katsayılarını, V_{TAS} knot cinsinden gerçek hava hızını, T de tepki kuvvetini ifade etmektedir. Düz uçuş için bakıldığında tepki kuvveti (6.2) deki gibidir [30].

$$T = D = C_d \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times S \quad (6.2)$$

Denklem (6.2) der yer alan D sürüklenme kuvvetini, C_d sürüklenme katsayısını, ρ hava yoğunluğunu, V havaya göre izafi hızı, S de kanat alanını ifade etmektedir.

Düz uçuş için koşulunda (6.1) ve (6.2) yardımı ile yakıt tüketimi hesaplanabilir. Ancak dönüş hareketinin getirdiği yatış açısından kaynaklanan yük

faktörü nedeni ile yatış hareketinde yakıt tüketimi artmaktadır. Şekil 6.8’ de yatış hareketi görülmektedir.



Şekil 6.8. Yatış Hareketi

Yatış hareketi incelendiğinde,

$$L \cos \phi = W$$

$$L = \frac{W}{\cos \phi}$$

$$L = nW$$

$$C_L \frac{1}{2} \rho V^2 S = nW$$

$$C_L = \frac{2nW}{\rho V^2 S}$$

$$C_d = C_{d0} + K C_L^2 = C_{d0} + K \left(\frac{2nW}{\rho V^2 S} \right)^2$$

$$T = D = C_d \frac{1}{2} \rho V^2 S = \left(C_{d0} + K \left(\frac{2nW}{\rho V^2 S} \right)^2 \right) \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad (6.3)$$

Yatış hareketi ile birlikte yakıt analizinde kullanılması gereken tepki kuvveti (6.3) de verilmiştir. Burada C_{d0} parazit sürüklenme katsayısını, K endüklenmiş sürüklenme katsayısını, n yük faktörünü, \emptyset yatış açısını, W uçak ağırlığını, ρ hava yoğunluğunu, V havaya göre izafi hızı, S ise kanat yüzey alanını ifade etmektedir. Denklem (6.3) de yatış hareketine bağlı olarak yük faktörü n' nin etkisi görülmektedir. Yatış hareketinde yakıt tüketimini arttıran parametre yük faktörünün artmasıdır. Dikkat edilecek olursa yatış açısı \emptyset nin 0 olması durumunda yük faktörü $n = 1$ olmakta ve tekrardan düz uçuş durumundaki (6.2) denklemine gelinmektedir.

Simülasyon sonuçlarına göre yakıt tüketiminin hesaplanmasında eğer uçak düz uçuş yapıyor ise (6.1) ve (6.2) kullanılarak yakıt sarfiyatı hesaplanmıştır. Eğer uçak vektör talimatı ile dönüş hareketi nedeni ile yatış hareketi yapıyor ise (6.1) ve (6.3) eşitliği kullanılacaktır.

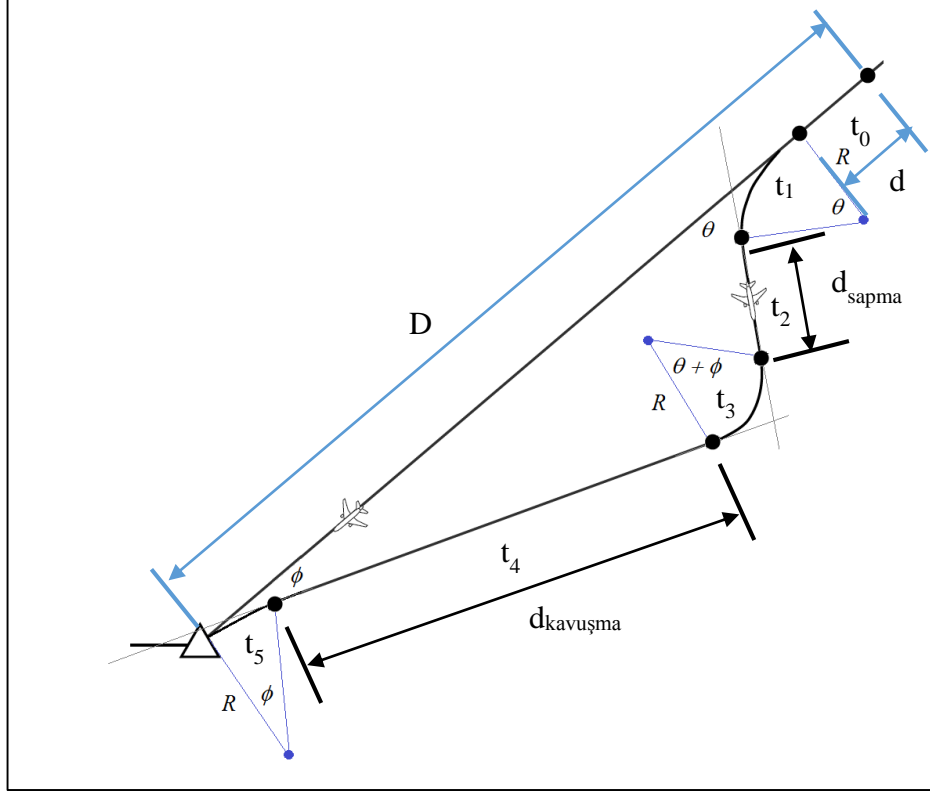
Yatış hareketi boyunca yük faktörünü belirleyen yatış açısı yakıt tüketimini de etkilemektedir. Simülasyon sonuçlarının analizinde standart yatış açısı olan 25° kullanılacaktır.

Yatış hareketinde yakıt tüketim hesabına yük faktörünün de dahil edildiği daha önce ifade edilmişti. Yakıt tüketimi dönüş hareketinde yatış açısının yanında dönüşün ne kadar süreyle devam ettirildiğine de bağlıdır. Dönüş süresi ise açısız dönüş hızına ve dönülmesi istenilen açı miktarına bağlı olarak değişir. Açısız dönüş hızı (6.4) ile verilmektedir.

$$\omega = \frac{g\sqrt{n^2-1}}{V} \quad (6.4)$$

Dönülecek olan açı miktarı gerçekte hava trafik kontrolörü tarafından gereken ayırma minimumuna bağlı olarak belirlenmektedir. Ancak simülasyon sonuçlarının değerlendirilerek yakıt analizinin yapılabilmesi için ise bir vektör modeline ihtiyaç vardır. Uçağın simülasyon ortamında vektör talimatı almasıyla birlikte kaç derecelik bir dönüş yapacağını, ne kadar süre sonra tekrar rotasına dönüş yapacağını incelenmesi gerekmektedir. Vektör dolayısı ile rotasından ayrılan uçak gerekli ayırma sağlandıktan sonra kontrolör tarafından tekrardan yoluna

sokulmaktadır. Şekil 6.9’da vektörlmeye bağlı olan dönüş manevraları görülmektedir.



Şekil 6.9. Vektörlmeye Bağlı Dönüşler

Vektör talimatı ile uçak ilk başta θ açısı ile yolundan ayrılmaktadır. Daha sonra uçağı tekrardan yoluna sokmak için $\theta + \phi$ açısı ile yola doğru dönüş gerçekleştirilmektedir. En son olarak ϕ açısıyla sola dönüş ile uçak tekrardan yoluna sokulmaktadır. Burada t_1 , t_3 ve t_5 dönüş sürelerini, t_0 vektör öncesi düz uçuş süresini, t_2 sapma süresini, t_4 de kavuşma süresini ifade etmektedir. Dönüş süreleri dönüş açısına bağlı olmakla birlikte uçağın hızı ve yatış açısı aynı olduğu müddetçe t_3 , t_1 ile t_5 ' in toplamına eşittir. Sapma ve kavuşma süreleri ise tamamen sapma mesafesi (d_{sapma}) ve kavuşma mesafesi ($d_{\text{kavuşma}}$) ile uçağın hızına bağlı olarak değişmektedir.

Sapma ve kavuşma açılarındaki değişiklikler tüm vektör hareketini tamamıyla değiştirmektedir. Yakıt analizi açısından dönüş hareketlerinde baş açısı değişimi ne kadar az olur ise yakıt tüketimi de o kadar az olmaktadır. Bu yüzden simülasyon hesaplamalarında vektör talimatı ile bir gecikme sağlanıyor ise bunu en düşük baş açısı ile yapmak en avantajlı durumdur. Hem temel senaryoda hem de

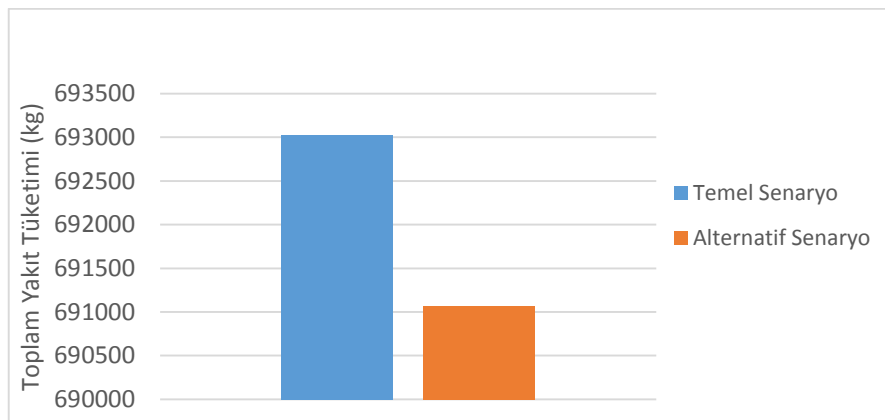
alternatif senaryoda yapılan yakıt analizlerinde, eğer vektörleme gerekli ise uçaklara mümkün olduğunca küçük baş açıları veren vektör talimatları verilmeye çalışılmıştır. En küçük baş açısı ile vektör talimatının hesaplanmasında SIMMOD vektör sapma modelinden faydalanılmıştır [31]. Vektör modelindeki değişkenlerin birbiri ile ilişkisi (6.5), (6.6) ve (6.7) de yer almaktadır. Denklemlerde yer alan $D_{gecikmeli}$ vektör talimatı sonrasında uçulması gereken toplam gecikmeli yol uzunluğunu ifade etmektedir.

$$d = D - \left\{ \frac{D_{gecikmeli} - D}{\left(\frac{\sin \phi \sin \theta}{\sin(180 - \theta - \phi)} \right)} \right\} \quad (6.5)$$

$$d_{sapma} = \frac{\sin \phi (D_{gecikmeli} - D)}{(\sin \phi + \sin \theta - \sin 180 - \theta - \phi)} \quad (6.6)$$

$$d_{sapma} = \frac{\sin \phi (D_{gecikmeli} - D)}{(\sin \phi + \sin \theta - \sin 180 - \theta - \phi)} \quad (6.7)$$

Simülasyon sonuçları yukarıda belirtilen vektör modeli ile incelenerek uçaklara verilebilecek olan en küçük baş açıları ile dönüş talimatı verilmiştir. Temel senaryoda ve alternatif senaryoda gerçekleşen uçuşların tamamına ait simülasyon sonuçları uçak tiplerine ve belirlenen vektörleme modeline göre MATLAB ortamında analiz edilerek yakıt tüketimleri hesaplanmıştır. Yakıt tüketim sonuçları Şekil 6.10'da yer almaktadır.



Şekil 6.10. Yakıt Tüketimleri

Yakıt tüketimlerine bakılacak olursa alternatif senaryoda yaklaşık 2000 kg'lık bir yakıt tasarrufu görülmektedir. Alternatif senaryoda uçakların daha az vektör talimatına maruz kalmaları nedeniyle yakıt tüketiminde azalma görülmüştür. Vektör talimatlarının azalması ile uçaklar rotadaki dönüşler haricinde tamamen düz uçuş ile Point-Merge bölgesine gelebilmişlerdir. Vektör talimatlarındaki azalma dönüşe bağlı yatış hareketlerinde de azalma sağlamıştır. Yatış hareketlerindeki azalmalarda yakıt tüketimini olumlu yönde etkilemiştir. Ayrıca uçaklar Point-Merge bölgesine gelinceye kadar yakıt tüketmekte ve ağırlıkları belirli oranda azalmaktadır. Bu da Point-Merge bölgesinde daha düşük bir ağırlıkla daha düzgün bir dönüş hareketine imkan tanımaktadır. Tüm bu etmenler alternatif senaryoda yakıt tüketiminde azalma sağlamıştır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Türkiye hava sahasından Irak hava sahasına devredilen uçuşlarda yaşanan ayırma sorunu ve gecikmeler incelenmiştir. Çalışmada Irak hava sahasında yetersiz olan radar kapsamı nedeniyle uygulanan radarsız ayırma prosedürlerinin Türkiye hava sahasını olumsuz olarak etkilediği görülmüştür.

Çalışmada kapsamında Türkiye hava sahasının, Irak hava sahasındaki radarsız ayırma minimumlarından olabildiğince az etkilenmesi için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Yaklaşma sıralama yöntemi olan Point-Merge yol kontrol safhasındaki uçuşlara uyarlanarak, ayırmaların Point-Merge yöntemi ile sağlanması öngörülmüştür.

Gerçekleştirilen simülasyon analizlerinde geliştirilen alternatif ayırma yöntemi ile mevcut durum kıyaslanmıştır. Alternatif yöntem sayesinde frekans meşguliyetini ve yakıt sarfiyatını olumsuz etkileyen vektör ve hız değişim talimatları kaynaklı gecikmelerin %88 oranında azaltılmıştır. Alternatif yöntemdeki frekans meşguliyetinin ise temel senaryoya göre %38 mertebesinde azaldığı görülmektedir. Uçak performansına ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişmekle birlikte alternatif yöntemin yakıt tasarrufu sağladığı da hesaplanmıştır. Geliştirilen yöntem hava trafik kontrolörlerine karar destek niteliği taşıdığından ve frekans meşguliyetini azalttığından ötürü hava trafik kontrolörlerinin iş yükünde de azalma sağlamaktadır. Öngörülen yeni yöntem ile hava araçları arasındaki ayırmaların tek bir bölgede istenilen ayırma minimumları düzeyine çıkarılabilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede herhangi bir bölgeye özgü artan ayırma minimumlarının olumsuz etkilerinin hava sahasının diğer bölgelerine olabildiğince az yansıtılması sağlanmıştır.

Çalışma her ne kadar Türkiye hava sahasından, Irak hava sahasına devredilen uçuşlardaki özel bir durumu konu alsada hava trafik sistemi açısından genelleştirilebilir bir yapıdadır. Birbiri ile komşu olan hava sahalarında çeşitli nedenlerden ötürü (radar zafiyeti, meteorolojik kısıtlamalar, sivil havacılık otoritelerinin farklı uygulamaları, vb.) uygulanan ayırma minimumlarının birbirinden oldukça farklı seviyelerde olduğu her durum için genelleme yapılabilir. Bir hava sahasındaki ayırma minimumlarının diğer hava sahasını oldukça olumsuz etkilemesinin, kapasite problemi ve hava trafik kontrol iş yükü ile frekans

meşguliyeti getirmesinin önüne geçebilmek adına bu gibi durumlarda, geliştirilen Point-Merge uygulamasının yol safhasında uygulanması düşünülebilir. Gelecekteki çalışmalarda önerilen çözüm modeli gerçek zamanlı simülasyon ortamında da sınanarak ilgili prosedürlerin geliştirilmesine katkı sağlanması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Juricic, B., Babic, R.,S., Francetic, I., “Zagreb Terminal Airspace Capacity Analysis, Zagreb”, Traffic Management Priliminary Communication, Promet – Traffic&Transportation, Vol. 23, No. 5, 367-375, Faculty of Traffic and Transport Sciences, University of Zagreb, Hırvatistan, 2011
- [2] Mitchell, J. S. B., Krozel, J. “Airspace Throughput Analysis Considering Stochastic Weather”, AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit, Keystone, Colorado, A.B.D, 21-24 Ağustos 2006
- [3] Donaldson, A. D., Hansman, R.,J.,*Improvement of Terminal Area Capacity in the New York Airspace*, MIT International Center for Air Transportation (ICAT) Department of Aeronautics & AstronauticsMassachusetts Institute of Technology, Rapor No: ICAT-2011-4, Cambridge, A.B.D., Şubat 2011
- [4] Majumdar, A., Ochieng, W. Y., “The Factors Affecting Airspace Capacity in Europe: A Cross-Sectional Time-Series Analysis Using Simulated Controller Workload Data”, The Journal of Navigation, 57, 385–405, The Royal Institute of Navigation, Birleşik Krallık, 2014
- [5] *Simmod PRO! Reference Manual*, ATAC Corporation, Santa Clara, Kaliforniya, A.B.D 2013
- [6] RAMS Plus 6.0 User Manuel, ISA Software, 2013
- [7] Total Airspace and Airport Modeller,<http://ww1.jeppesen.com/industry-solutions/aviation/government/total-airspace-airport-modeler.jsp>, Erişim Tarihi Ocak 2015
- [8] Gao W., Xu X., Diao L. ve Ding H., “SIMMOD Based Simulation Optimization of Flight Delay Cost for Multi-airport System”, International Conference on Intelligent Technology and Automation, Volume 1, 698-702, IEEE, Hunan, Çin, 2008
- [9] Chao W., Xinyue Z., Xiaohao, “Simulation Study on Airfield System Capacity Analiysis Using SIMMOD”, International Symposium on Computational Intelligence and Design, Volume 1, 87-90, IEEE, Wuhan, Çin, 2008

- [10] Kleinman, L.N., Hill, D.S., Ilenda, A.V., "SPSA/SIMMOD Optimization of Air Traffic Delay Cost", Proceedings of the American Control Conference, Volume 2, 1121-1125, Albuquerque, New Meksico, 1997
- [11] Wei, G., Taobo, W., "A Simulation Study on Airport Capacity and the Factors", Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 3rd IEEE International Conference, IEEE, 390-393, Chengdu, Çin, 2010
- [12] Boursier, L., Favennec, B., Hoffman, E., Trzmiel, A., Vergne, F., Zeghal, K., "Merging Arrival Flows without Heading Instructions", 7. USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Barcelona, İspanya, 2007
- [13] Meriç, Ö. Ş., Usanmaz, Ö., "RNAV Rota Yapısında Yenilikçi Bir Metod: Toplama Noktası Yöntemi" Mühendis ve Makine, cilt 54, sayı 636, 46-53, 2013
- [14] Eurocontrol, *Real Time Simulation Oslo ASAP*, Rapor No:2010-002, Eurocontrol Experimental Center, Fransa, 2010
- [15] Eurocontrol, *Real Time Simulation Dublin TMA2012 Phase 2*, Rapor No: 2010-012, Eurocontrol Experimental Center, Fransa, 2010
- [16] International Civil Aviation Organization, *DOC4444 Procedures for Air Navigation Services Air Traffic Management*, 15. Baskı, 2007
- [17] Malwitz, A., Yoder, T., Balasubramanian, S., Fleming, G., Waitz, I. *Assessment of the Impact of Reduced Vertical Separation on Aircraft-Related Fuelburn and Emissions for the Domestic United States*, Partnership for Air Transportation Noise and Emissions Reduction An FAA/NASA/Transport Canada Sponsored Center of Excellence, Rapor No: PARTNER-COE-2007-002, A.B.D., Kasım 2007
- [18] Devlet Hava Meydanları İşletmesi, *RADAR Services and Procedures*, DHMİ AIP, Aralık 2001
- [19] Devlet Hava Meydanları İşletmesi, *AIP ATS/RNAV Route Charts*, DHMİ AIP, Nisan 2014
- [20] Devlet Hava Meydanları İşletmesi, *AIP ENR. 2.1 FIR/UIR, ACC*, DHMİ, AIP, Eylül 2014
- [21] Devlet Hava Meydanları İşletmesi, Gerçekleşen Trafik İstatistiği, <http://www.dhmi.gov.tr/istatistik.aspx>, 2014

- [22] Devlet Hava Meydanları İşletmesi, Gerçekleşen Trafik İstatistiği, <http://www.dhmi.gov.tr/istatistik.aspx>, 2008
- [23] Eurocontrol, *Monthly Network Operations Report*, <https://www.eurocontrol.int/tags/network-operations-report>, Ağustos 2014
- [24] Eurocontrol, *Challenges of Growth 2013 European Air Traffic in 2035*, 2013
- [25] Cavcar, A, *Temel Hava Trafik Yönetimi*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, 1998
- [26] Eurocontrol, Monthly Network Operations Report, <https://www.eurocontrol.int/tags/network-operations-report>, Ocak 2013
- [27] Devlet Hava Meydanları İşletmesi, Gerçekleşen Trafik İstatistiği, <http://www.dhmi.gov.tr/istatistik.aspx>, Ocak 2013
- [28] Kelton, W.,D., Sadowski, R., P., Swets, N., B., *Simulation With Arena*, McGrawHill, 5. Baskı, 2010
- [29] Eurocontrol, User Manual for The Base of Aircraft Data (BADA) Revision 3.6, 2004
- [30] Anderson, J.D., *Aircraft Performance and Design*, McGraw-Hill,1999
- [31] *SIMMOD Pro! Section 5 Animator*, ATAC Corporation, Santa Clara, Kaliforniya, A.B.D 2013