

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVA TRAFİK KONTROLÖR İŞ YÜKÜNE BAĞLI
HAVA SAHASININ MODELLENMESİ

Murat YAVUZ
Yüksek Lisans Tezi

Anabilim Dalı: Mekatronik Mühendisliği
Programı: Bilgisayar Sistemleri

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAYA

ELAZIĞ 2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVA TRAFİK KONTROLÖR İŞ YÜKÜNE BAĞLI
HAVA SAHASININ MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat YAVUZ

(131134106)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19/07/ 2017

Tezin Sunulduğu Tarih : 03/08/ 2017

Tez Danışmanı : Yrd. Doc. Dr. Mustafa KAYA (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Öznur USANMAZ (Anadolu Ü.)

Yrd. Doc. Dr. Cafer BAL (F.Ü.)

AĞUSTOS – 2017

ÖNSÖZ

Günümüz ulaşım sisteminin en geniş ve en kapsamlı parçası olan “Havacılık” sektörünün işleyişi ve yapısını bana fikir olarak sunan ve ufkumu baştan sona genişletmemi sağlayan, beni her daim motive ederek çalışmama vesile olan danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Mustafa KAYA’ya; karmaşıklıkları ve gözümde büyüyen işlemleri hep küçülten bunun yanı sıra işleyişler hakkında tecrübelerini benimle paylaşan Yrd.Doç.Dr. Haluk EREN’e; Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yazılım, Adli Bilişim ve Mekatronik Mühendisliği ile Sivil Havacılık Yüksekokulu Öğretim Üyeleri’ne; programlama konusunda sürekli kahrımı çeken Arş. Gör. Zafer GÜLER’e, Elazığ Öğrt. Sıdıka Avar Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi’ndeki mesai arkadaşlarıma; bütün bu sürecin destekleyicisi, moral motivasyon kaynağım ve baş tacım olan AİLEM’ e sonsuz teşekkürler.

Murat YAVUZ

Elazığ - 2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ	IX
KISALTMALAR	X
SEMBOLLER	XI
1 GİRİŞ.....	1
2 HAVACILIK VE HAVA TRAFİK YÖNETİMİ.....	3
2.1 Havayolu Taşımacılığı.....	3
2.2 Sivil Havacılık	6
2.3 Hava Trafik Yönetimi	11
2.3.1 Hava Trafik Kontrolörü	14
2.3.2 Hava Trafik Kontrolör İş Yüğü	16
2.4 Hava Sahası.....	20
2.4.1 Hava Sahası Sektör Yapısı	24
2.4.2 Hava Sahası Sektör Yapılanmasında Kullanılan Yöntemler.....	30
3 SEKTÖRLERDE KÜMELEME YÖNTEMLERİ	34
3.1 Bölümlemeli Kümeleme Yöntemleri.....	34
3.2 Hiyerarşik Kümeleme Yöntemleri.....	35
3.3 Yoğunluk Tabanlı Yöntemler	36
3.4 Model Tabanlı Yöntemler.....	37

3.5	Kümeleme Yöntemlerinde Uzaklık Hesaplama.....	37
3.5.1	Öklid Uzaklığı	37
3.5.2	Manhattan Uzaklığı	38
3.5.3	Minkowski Uzaklığı	38
3.5.4	Chebyshev Uzaklığı	38
3.6	K – Ortalama (k-means) Algoritması	38
3.6.1	Örnek k Ortalama (k-means) Algoritma Çalışması	41
3.7	K-medoids Yöntemi.....	43
3.8	En Yakın Komşu Yöntemi.....	44
3.9	En Uzak Komşu Algoritması	45
4	GENETİK ALGORİTMA	46
4.1	Genetik Algoritma Adımları	46
4.1.1	Başlangıç Topluluğu Oluşturma.....	47
4.1.2	Uygunluk	47
4.1.3	Tekrar Üretme.....	47
4.1.4	Çaprazlama	47
4.1.5	Mutasyon	47
4.1.6	Genetik Algoritma Örnek Çalışması	48
5	İŞ YÜKÜ DAĞILIMI VE SEKTÖRLERİN YAPILANDIRILMASI	51
5.1	Veri Toplama	51
5.2	Uygulama.....	54
5.2.1	Kümeleme.....	56
5.2.2	Genetik Algoritma	57
6	SONUÇ VE ÖNERİLER	64
	KAYNAKLAR.....	66
	ÖZGEÇMİŞ.....	71

ÖZET

Ulaşım sektörü günümüzde teknolojinin gelişimi ve ekonomik imkânlar ile ağırlıklı olarak havayolu üzerinden şekillenmektedir. Sadece ulaşım sektörü değil aynı zamanda gerek savunma sanayi ve gerekse ticari yaklaşımlar da artık havayolu tercihlerini ilk sırada tutmaktadırlar. Bunların yanı sıra İHA'lar (İnsansız Hava Araçları) ve mini İHA olarak nitelendirilen Drone'lar gökyüzünü çeşitli amaçlar doğrultusunda doldurmaya başlamıştır.

İnsanların seyahat planlamalarında, hobi veya ticari amaçlarında, lojistik ve kargo firmalarının ürünlerini hızlı şekilde teslimlerinde havayolunu seçmeleri bu sektörün hep pozitif yönde ilerlemesini sağlamaya devam edecektir.

Havayolu ulaşımında uçakların, helikopterlerin ve İHA'ların bulunduğunu düşünürsek bunların bir düzen halinde kontrol mekanizmasıyla yönetilmesi gerekecektir. Günümüzde bu işi yapan hava trafik kontrolörlerinin az oluşu ve onların kontrol bölgelerindeki uçuş sayılarının çokluğu düşünüldüğünde bir iş yükü dağılımının şimdi ve gelecekte çözülmesi gerekecek en önemli problemlerden biri olduğu görülmektedir.

Hava sahaları sektörlerden oluşmaktadır. Bu sektörlerin kontrolörlerin iş yüklerinin dağılımlarına göre yeniden modellenmesi yapılmalıdır. Bu bir kümeleme ve optimizasyon problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunu gerçekleştirmek havacılık sisteminin yoğun ve karmaşıklığı nedeniyle uzun bir süre alabilecektir.

Kümeleme ve optimizasyon için uygun yöntemler araştırılmıştır. Oluşturulan çözüm modeli ile ülkemiz hava sahası için bir modelleme yaparak iş yüklerinin sektörel boyutta eşit dağılımı yapılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hava Trafik Yönetimi, Hava Meydanları Yönetimi, Hava Trafik Kontrolörleri, Hava Sahası, Hava Trafik Analizi, İnsansız Hava Araçları

SUMMARY

Remodeling the Airspace According to Workload of Air Traffic Controller Workload

Today, the transportation sector is shaped by the development of the technology and economical facilities mainly through the airline. Not only the transportation sector, but also the defense industry and commercial approaches are now in the forefront of airline preferences. In addition to these, the Drones that are described as light and mini in the UAV (Unmanned Aerial Vehicles) have started to fill the sky for various purposes.

People's choice of airline in travel planning, hobby or commercial purposes, logistics and cargo companies to deliver their products quickly will keep this industry going forward in a positive direction.

If we think about the presence of airplanes, helicopters and UAVs in air transportation, they will have to be managed in a controlled manner through a control mechanism. Considering the low number of Air Traffic Controllers doing this job today and the high number of flights in their control zones, it is seen that the distribution of workload is one of the most important problems to be solved today and in the future.

Airfields are made up of sectors. These sectors should be remodeled according to the distributions of the workloads of the controllers. This is a confusion as a classification and optimization problem. This can take a long time because of the intense and complexity of the aviation system.

Appropriate methods for clustering and optimization will be explored. With the solution model created, we tried to make an equal distribution of the workloads in the sectoral dimension by making a model for the airfield of our country.

Keywords: Air Traffic Management, Airports Management, Air Traffic Controllers, Airfield, Air Traffic Analysis, Unmanned Air Vehicle

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Türkiye havayolu taşımacılığı verileri [3].....	5
Şekil 2.2 Hava trafik sisteminin işleyişi [19].	12
Şekil 2.3 Hava trafik hizmetleri [14].	13
Şekil 2.4 Hava trafik kazaları oransal dağılımı	18
Şekil 2.5 Eurocontrol' e üye ülkeler [42].....	21
Şekil 2.6 Türkiye hava sahası uçuş bölge bilgileri [46].	23
Şekil 2.7 Türkiye hava sahası sektör yapısı [52].	24
Şekil 2.8 Katar krizinden sonra değişen uçak rotaları	27
Şekil 2.9 Yaman'ın elde ettiği Türkiye hava sahası sektör yapısı [43].....	28
Şekil 2.10 Temizkan'ın elde ettiği Türkiye hava sahası sektör yapısı [50].	29
Şekil 2.11 BSP yapısı ve adımları	30
Şekil 2.12 Sonlu noktaların Voroni diyagramı ve Delaunay üçgenlemesi.....	32
Şekil 3.1 AGNES yapı.....	35
Şekil 3.2 DIANA yapı	35
Şekil 3.3 k-means akış şeması	40
Şekil 3.4 k-means veri seti örnek noktaları	41
Şekil 3.5 k-means sonucunda elde edilen kümeler.....	43
Şekil 3.6 k-medoids uygulama örneği	44
Şekil 3.7 Kümeler arası en yakın noktalar.....	44
Şekil 3.8 Kümeler arası en uzak noktalar	45
Şekil 5.1 Türkiye hava sahası örnek trafik yoğunluğu (12/07/2017 – 10:30) [74].	53
Şekil 5.2 Hava trafik yoğunluğunun sektörel olarak gösterilmesi.....	53
Şekil 5.3 Türkiye hava sahası yoğunluğu	54
Şekil 5.4 Sistem blok diyagramı.....	55
Şekil 5.5 Popülasyon 10	61
Şekil 5.6 Popülasyon 20	62
Şekil 5.7 Popülasyon 30	62
Şekil 5.8 Popülasyonlar sonucu kümeleme	63
Şekil 5.9 Türkiye hava sahası için önerilen yeni sektörler	63

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 TÜİK verilerine göre Türkiye'de havayolu taşımacılığı	4
Tablo 2.2 ACI verilerine göre havalimanları ve taşınan yolcu sayıları.....	8
Tablo 2.3 Havayolu firmalarının skytrax firmasının yolcu anketine göre sıralanması	10
Tablo 2.4 Sağlanan trafik hizmet ve koşullara göre hava sahası sınıflandırılması [45].....	22
Tablo 2.5 Ülkemiz hava sahası sektörlerinin yükseklik değerleri [48].	25
Tablo 3.1 k-means örnek veri seti	41
Tablo 3.2 Noktaların merkezlere olan uzaklıkları	42
Tablo 3.3 Yeni merkez tespiti.....	42
Tablo 4.1 Genetik algoritmanın elle uygulaması.....	49
Tablo 5.1 Türkiye hava sahası sektörleri uçuş sayıları.....	51

KISALTMALAR

ACC	: Area Control Center
ACI	: Airports Council International
ATCo	: Air Traffic Controller
ATM	: Air Traffic Managment
BSP	: Binary Space Partitions Tree
DHMI	: Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü
FEAST	: First European ATCO Selection Test
FIR	: Flight Information Region
FL	: Flight Level
IAS	: Indicated Air Speed
IATA	: International Air Transport Association
ICAO	: International Civil Aviation Organisation
IFR	: Instrument Flight Rules
İHA	: İnsansız Hava Aracı
NAS	: National Airspace System
PAM	: Partitioning Around Medoids
SHGM	: Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü
TMA	: Terminal Managment Area
TUSAŞ	: Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UIR	: Upper Information Region
VFR	: Visual Flight Rules
YÖK	: Yüksek Öğrenim Kurulu

SEMBOLLER

$w(k)$	: İş yükü
W	: Sistemin kapasitesi
K	: Küme sayısı
N	: Kümedeki eleman sayısı
D_k	: Bir kümenin ortalama mesafe değeri
$\vec{P}_i$	: i noktası
$\vec{C}_k$	: Bir kümenin merkezi
D	: Sistem mesafeler toplamı
E	: Sistemin hata payı
δ	: İş yükü dengesizliği
y_1	: Ortalama iş yükü dengesizliği
y_2	: İş yükü dengesizliğinin standart sapma değeri
y	: Uygunluk fonksiyonu

1 GİRİŞ

Günümüzde insanlar uzak mesafelere yaptıkları seyahatlerde tercihlerini havayollarından yana kullanmaktadırlar. Her geçen gün artan yolcu sayısı, yapılan havaalanları ve gelişen uçak teknolojisi ile bu sektör sürekli ilerleyen bir yapıdadır. Havacılık ilk başlarda askeri amaç gütsede şimdi ulaşım sektörü başta olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Bu da havayollarının ne denli önem arz ettiğini bize göstermektedir.

Dünyada ve ülkemizde yaşanan çeşitli olaylara rağmen havacılık sektörünün bundan olabildiğince az etkilenmesi ve pozitif ivmelenmesi bu sektörün ulaştırma alanında sürekli ön planda kalmasına neden olmaktadır. Bu pozitif ivmelenme hem insanların hayatlarını kolaylaştırmakta hem havayolu taşımacılığı yapan firmaların rekabet çitasını yükseltmekte ve hem de istihdama olanak sağlamaktadır.

Havacılık sektörünün bu olumlu işleyişi özellikle sivil havacılık yapısında ilerliyor gözükse de aynı zamanda askeri havacılık sektöründe de gelişmeye devam etmektedir. Son yıllarda kullanımları hızla artan İHA ve Drone'lar bu sektörün yeni kahramanları haline gelmektedirler. Bunlara bağlı olarak Yüksek Öğretim Kurulu Başkanlığı (YÖK) bünyesindeki üniversitelerde açılan havacılık okulları sektörün hemen hemen her noktasına eğitilmiş ve yetiştirilmiş eleman sağlamakta, bunun yanı sıra Millî Eğitim Bakanlığı' da Sivil Havacılık Alanı oluşturarak lise seviyesindeki gençleri bu alan eğitimleri ile donatıp sektörün eleman ihtiyacının karşılanmasına yardımcı olmaktadır.

Havacılık sektörünün bu büyüme hızına paralel olarak düzenli ve sistemli bir şekilde kontrol edilmesi kuşkusuz büyük bir önem arz etmektedir. Bu kontrolü Hava Trafik Kontrolörleri sağlamaktadır.

Uçuşun planlı, düzenli ve hızlı gerçekleşmesini çok kısa sürede sağlayan kontrolörlerin iş yüklerinin oldukça fazla olduğunu söylemek zor değildir. Bu durum aynı zamanda çeşitli hatalara da zemin hazırlamaktadır.

Hava trafik kontrolörlerinin iş yüklerinin dengeli dağılması ve sistematığının iyi yapılması önem arz etmektedir.

Bu çalışma ile Türkiye hava sahası hava trafik kontrolörlerinin iş yüklerine bağlı olarak yeniden bir sektörleme çalışmasına tabi tutulmuş, bu sektörleme için genetik

algoritmadan faydalanılmıştır. Avrupa hava sahası için önerilen bir yaklaşım ülkemiz hava sahası için uygulanmıştır.

Çalışmamızda ilk olarak havacılık ve hava trafik yönetimi isimli bölümde yönetim sistemi detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Havacılık kavramına genel bir bakış sergilenmiş ve sektörün neden önemli olduğuna dair açıklamalar yapılmış, havayolu taşımacılığı ile sektörün tarihçesi ile gelecek yıllardaki beklentilere değinilmeye çalışılmıştır. Sivil havacılığın gelişimi ve sivil havacılığın parçalarından olan hava limanları, hava yolu firmaları ve uçaklar hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Hava sahası kavramına değinilmiş hava sahasının oluşumu ve sektör yapısı anlatılmıştır. Hava trafik yönetiminin yapısı ve hava trafik kontrol ifadesi açıklanmıştır. Hava Trafik Kontrolörlerinin görevleri ve eğitimlerine değinilmiş ardından ise genel manada iş yükü kavramından bahsedilmiş ve hava trafik kontrolör iş yükü kavramı açıklanmıştır.

Sektörlerde kümeleme yöntemleri isimli bölümde kümeleme kavramı ve kümeleme ile ilgili yöntemlerden bahsedilmiş ve çalışmada kullanılan k-means kümeleme yöntemi hakkında kısaca bilgi verilmiş ve basit bir örnekle açıklanmıştır.

Genetik algoritma bölümünde genetik algoritma ve adımları hakkında bilgiler verilmiştir. Genetik algoritma ile ilgili basit birer örnek verilerek anlaşılması sağlanmıştır.

İş yükü dağılımı ve sektörlerin yapılandırılması isimli son bölümde ise yapılan uygulamanın detayı, adımları ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır.

Sonuç bölümünde de yapılan çalışmanın katkılarına değinilmiş ve ileride yapılacak çalışmalara ışık tutacak yönler belirtilmiştir.

2 HAVACILIK VE HAVA TRAFİK YÖNETİMİ

2.1 Havayolu Taşımacılığı

Geçmiş dönemlerde lüks sayılan havacılık ulaşımı, işletmelerin kendini yenilmeleri; sektör teknolojisinin gelişmesi ve yaşam standartlarının artması ile günümüzde ulaşım sektörünün en önemli payını oluşturmaktadır. İnsanlar kısa vadeli seyahatlerini planlarken veya lojistik firmaların ürünlerini en kısa sürede ve güvenle teslim etme amaçlarında havayolu tercihleri ilk sırada gelmektedir.

1991 yılında oluşan Uluslararası Havaalanları Konseyinin (Airports Council International - ACI) [1] Nisan – 2016 yılında yayınladığı verilerde havayolu ile seyahat eden yolcu sayısı bir önceki yıla göre %6,1 taşınan kargo miktarı %2,4 ve hava yolu ile yapılan taşınma-hareket oranı ise %1,8 olarak artmıştır [2].

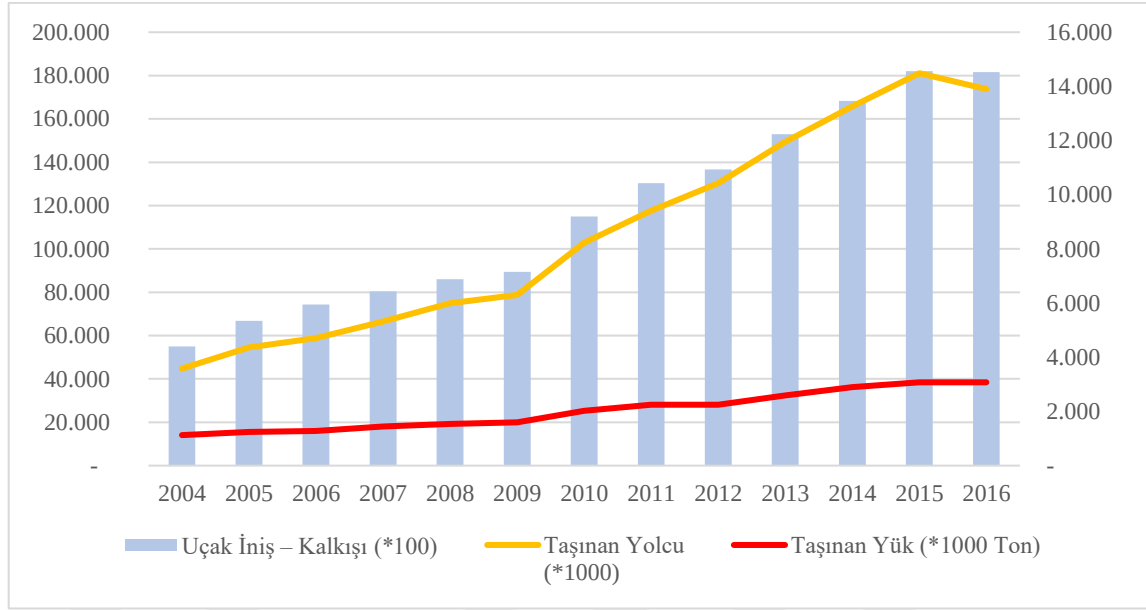
Dünyada bu artış gözlemlenirken ülkemizde Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri incelendiğinde 2015 yılı sonunda bir önceki yıla oranla taşınan yolcu sayısı %9,27, taşınan kargo sayısı %6,21 ve uçak iniş kalkış oranı ise %8,22 artış göstermiştir. Ancak 2016 yılında uçak iniş kalkışlarında %0,25 lik ve taşınan yolcu sayısında ise %4 lük bir düşüş gerçekleşmiştir [3]. Ulaştırma Bakanlığı Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMİ) verileri incelendiğinde aslında 2016 Haziran ayı verilerine kadar havayolu trafiğinde genel bir azalma gözlemlenmemiştir. Ancak ülkemizde 15 Temmuz günü yapılmaya çalışılan darbe girişiminin oluşturduğu olumsuz etkiyle hava trafiğinde bir düşüş meydana gelmiştir. Bu tarz olaylar dünya çapında da gözlemlendiğinde (Körfez krizi, 11 Eylül saldırıları v.b.) benzer düşüşler yaşanmaktadır. Ancak havacılık sektörü genel manada bu düşüşü çok küçük oranlarla atlatmaktadır. Ağustos ayından sonra ülkemiz hava trafiği yine pozitif bir ivme kazanmıştır. Ancak bu ivmelenme biraz düşük oranlarla seyretmiş ve yıllar arası değişim miktarında bir önceki yıl değerlerine göre geride kalmış ve yıl sonunda negatif bir değer oluşmuştur [4].

Tablo 2.1 TÜİK verilerine göre Türkiye'de havayolu taşımacılığı

Yıllar	Uçak İniş – Kalkış Toplamı	Taşınan Yolcu Toplamı	Taşınan Yük (Ton)
2004	440.238	44.789.140	1.126.107
2005	534.087	54.525.727	1.249.555
2006	594.749	58.778.131	1.279.340
2007	642.988	66.463.286	1.447.603
2008	688.189	74.968.329	1.534.619
2009	715.544	78.742.075	1.597.699
2010	919.411	102.800.392	2.021.076
2011	1.042.369	117.620.469	2.249.474
2012	1.093.047	130.351.620	2.249.133
2013	1.223.795	149.430.421	2.595.316
2014	1.345.954	165.720.234	2.893.000
2015	1.456.673	181.074.531	3.072.831
2016	1.452.995	173.743.537	3.076.914

Tablo 2.1 incelendiğinde 2004 ile 2016 yılları arasında seyahat eden yolcu sayısı yaklaşık 4 kat, taşınan kargo yaklaşık 3 kat ve uçak iniş kalkış hareketi sayısı da 2 kat artmıştır. Taşınan kargo miktarında sadece lojistik firmalara ait taşınan malzemeler değil uçakla seyahat eden yolculara ait bagajlar ve mektup gibi posta hizmet ürünler de yer almaktadır.

Tablo 2.1 verileri ülkemizdeki kişi ve firmaların havayolu ile seyahat veya yük taşıma tercihlerinin dünya geneline göre daha yüksek oranda tercih ettiklerini göstermektedir.



Şekil 2.1 Türkiye havayolu taşımacılığı verileri [3].

İnsanlar günümüzde rahat, konforlu ve hızlı seyahat etmeyi planlamaktadırlar. Bazen gününbirlik il dışı çalışma ve eğitimleri planlayarak bu seyahati havayolu üzerinden gerçekleştirmektedir. Bu tercihler gelişen teknoloji ile kendini yenileyen uçaklar ve bu uçaklarla yapılan konforlu ve güvenli seyahat; devlet politikaları ile yenilenen ve yeni kurulan hava limanları; bilet fiyatlarında yapılan düzenleme ve iyileştirme ile herkesin havayolunu tercih edebilmesine olanak sağlayan imkanlar doğrultusunda kendini göstermektedir.

Yakın tarihte dünya çapında gerçekleşen bazı olaylar havacılık sektörü için olumlu ve olumsuz etkiler üretse de genel mana da havacılık ivmesini hep pozitif yönde sürdürmüştür. 1990'lı yılların başında gerçekleşen Körfez Krizi ile havayolu ile seyahat eden yolcu sayısında bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu da havacılık sektöründeki şirketlerin sermaye küçültme, personel azaltma gibi düzenlemeleri yapmalarına sebep olmuştur. Ancak havacılık ve havayolu ile seyahat eden yolcu sayısı kısa sürede yeniden artış göstermeye başlamıştır. Bu artışlar 11 Eylül 2001'de Amerika'da yapılan saldırılarla yeniden zedelenmiştir. Kendine gelip toparlanmaya başlayan sektör 2004 yılından itibaren yeniden güçlenmeye devam etmiştir [5]. Daha önce de değinildiği ve Türkiye için Tablo 2.1 ile verilen veriler ışığında bu güçlenmenin günümüzde de sürdüğünü söyleyebiliriz.

2.2 Sivil Havacılık

DHMI genel havacılığı “Ücret karşılığı veya kiralama yolu ile yapılan tarifeli ve tarifesiz hava taşımacılık faaliyetleri dışındaki tüm sivil havacılık faaliyetleri (eğitim ve sportif amaçlı faaliyetler, hava taksi, v.b.)” şeklinde tanımlamaktadır [6]. Sivil havacılık ise kısaca havacılık sektörünün askeri amaçlar dışında kullanılmasıdır da diyebiliriz [7]. Aslında uçaklar I. Dünya Savaşı’nda askeri amaçlı kullanılmış ve savaşta başarıyı getiren unsurlardan biri olarak yer almıştır [8]. Bunun etkisiyle ülkeler askeri alanda kullanacakları uçakları geliştirmeye başlamıştır. Sadece askeri değil sivil kullanıma yönelik de gelişmeler devam etmiş ve Charles Lindberg 1927 yılında 33 saatlik uçuşu ile 5800 km. lik bir mesafe olan Atlantik’i geçen ilk insan olmayı başarmıştır [9].

II. Dünya Savaşı sonrasında eski askeri uçakların yolcu ve yük taşımasıyla başlayan sivil havacılık yapısı, bu alanda kurulan şirketlerle oluşmaya başladı. Bu aslında havacılık tarihinin bir dönüm noktası olabilecek bir gelişmedir.

Son yıllarda ticaret hayatının batıdan doğuya doğru kaymaktadır [10]. Bu da doğuda bulunan ülkelerin havayolu trafiklerinin de yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Coğrafi konum olarak ülkemiz bu yapıda çok önemli bir köprü veya bir kavşak pozisyonunda bulunmaktadır.

Gelişen teknoloji ve sektörün ivmesiyle uluslararası ticaretin gelişmesi, insanların daha hızlı, güvenilir, konforlu ve ekonomik seyahat etmelerini ve bunun yanında turizm sektörüne sağladığı imkânlarla modern havacılık sistemi başlı başına bir önem arz etmektedir.

Bu gelişmeler ile Havacılık sektörünün gelecekteki beklentileri, kat edeceği mesafeler hem ülkemizde hem de uluslararası düzeyde büyük bir yükselme gösterecektir.

Uçakların iniş – kalkış yaptığı, bakım onarım ve çeşitli işlemlerinin yapıldığı aynı zamanda yolcu ve yük taşımasının gerçekleştiği birimleri bulunan yerler Hava Alanı (Havalimanı) olarak isimlendirilebilir.

Havalimanlarında uçakların iniş ve kalkışlarını gerçekleştirdiği yüzeye pist denilir. Bunun yanı sıra hava limanlarında uçakların kısmi bakım onarım işlemlerini gerçekleştirdikleri hangarlar, pistin durumu ve uçaklar ile irtibat kurulmasını sağlayan hava trafik kulesi, yolcuların işlemlerini gerçekleştirdikleri terminal binası da bulunmaktadır.

Uluslararası uçuş gerçekleştirilen havalimanlarında ekstradan gümrük tesisleri bulunabilir. Yapı ve büyüklüklere göre çeşitli havalimanlarında da yolcuların yemek, uyku

gibi ihtiyaçlarını karşılayabilecek restoran, otel, bekleme salonları gibi ekstra bölümlerde bulunabilmektedir.

Gerek ülkelerin coğrafı konumu gerekse de ticaret, sanayi ve turizm gibi faktörler insanları o ülkeye çeşitli amaçlarla seyahat etmeye yönlendirmektedir. Havayolu firmaları da rotalarını planlarken bu ülkeleri ön planda tutar ve uçakları ile beraber çeşitli kampanyalarını bu bölgelere göre düzenlemektedirler. Bu şartlarda ülkeler arası yolculuk yapan insan veya ürünler havalimanları aracılığıyla o ülkeye giriş veya o ülkeden çıkış yaparlar. Bu havalimanları o ülkenin ilk vizyonu da olabilir diyebiliriz. İnsanların güvenli, hızlı ve konforlu bir şekilde seyahat etmeleri önemli bir özelliktir.

1947 yılında kurulan Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (ICAO - International Civil Aviation Organisation) Dünya zerindeki tüm hava meydanlarını tanımlamak üzere her bir meydan için oluşturulmuş 4 karakterli bir kod standardı üretmektedir. Örneğin Elazığ Havalimanının ICAO kodu L T C A, İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanının ise L T F J dir.

ICAO kodunun yanı sıra 1919 yılında kurulan Uluslararası Hava Taşıyıcıları Birliği (IATA - International Air Transport Association) dünya üzerinde her havalimanını gösteren üç haneli alfabetik kod üretmektedir. İlk olarak 1930'lu yıllarda pilotlara yn göstermede kolaylık sağladığı için kullanılmıştır. Kodlar genellikle havalimanının bulunduğu şehrin isim kısaltmasından alınır. Ancak bazen isim benzerliğinden dolayı çakışma olmasını engellemek için farklı karakterlerde kullanılabilir. Örneğin İstanbul'da bulunan Atatürk Hava Limanının IATA kodu IST iken Sabiha Gökçen Havalimanının IATA kodu SAW, Elâzığ Havalimanının IATA kodu ise EZS'dir. Bu kodlar havalimanlarında seyahat ederken yolcu bagajlarındaki etiketlerde de yer almaktadır.

Havalimanlarının vizyon olması bir yandan da o ülkenin coğrafı olarak kalkınmasına ve etkileşimde bulunulan kişi veya toplulukların gelişimine pozitif yönde katkı sağlamaktadır. Havalimanları gelişen teknolojiler ve beklenen geliştirmeler ile gelecek nesiller için de düzenlenmeli ve inşa edilmelidir. Hava ulaşımının istikrarlı artışını ülkemiz veya uluslararası olarak yeniden düşündüğümüzde havayolu firmaları ve uçaklardan sonra en önemli parametrenin havalimanları olması aşıkârdır.

Ülkemiz coğrafı olarak uluslararası köprü konumunu sürekli muhafaza etmektedir. Gerek doğal güzelliklerinin çeşitliliği ve fazlalığı ve gerekse de sanayi ve ticari olarak yapılan atılımlarla ivmelenmesi hep pozitif yönde olan ülkemiz bu coğrafı konumda sabit bir temel olmaktadır. İstanbul' a yapılan ve 2018 yılında faaliyete geçecek 3. havalimanı

hizmet vermeye başladığı zaman ülkemiz vizyonunda parlamalar görülecek, ülkemizi ziyaret edecek turistlerin sayısında artışlar yaşanacak, ülkemize girecek döviz miktarı artacak; böylece ekonomik açıdan daha canlı ve güçlü, ticari açıdan daha müreffeh bir şekilde kalkınmamıza olumlu yansımalar katacaktır.

Airbus firmasının yaptığı çalışmalara göre 2013 yılında Kuzey Amerika Kıtasındaki insanlar en fazla seyahat ederken 2033 yılında ise Avrupalı insanlar daha fazla seyahat edeceklerdir. 2013 yılında dünya nüfusunun %33'ü orta sınıf nüfusa sahipken 2033 yılında bunun %63'e çıkması beklenmektedir [11].

Bu artışlarla insanların artık daha fazla seyahat edecekleri ve orta sınıf şeklinde nitelendirilen halkın daha ekonomik bir seyahati tercih edeceğini düşünebiliriz. Bunu yorumladığımızda da havayolu firmalarının konforu ekonomiyle birleştirmeleri beklenebilecektir. Yine bununla birlikte havalimanlarının da aynı doğrultuda hareket ederek yeniden tasarlanması veya büyütülmesi, kapasitelerinin artırılması, imkân ve hizmetlerin geliştirilmesi gerektiğini söyleyebiliriz.

Ülkeler jeopolitik konumları ile de yolcular tarafından tercih edilebilirler. Dünya üzerindeki kıtalar ve bu kıtalardaki ülkelere göre daha tercih edilebilir bir halde bulunabilir. Buda o ülkeye havayolu ile yapılan seyahatlerin ve dolayısıyla da o ülke havalimanlarında taşınan yolcu sayısının daha fazla olmasına neden olacaktır.

ACI' nin dünya genelindeki hava limanlarının 2016 yılı toplam yolcu taşıma sayılarına göre en yüksek değere sahip olan 20 havalimanı Tablo 2.2 de verilmiştir [12]. Tabloda ülkemizin en işlek hava limanı olan Atatürk havalimanının Dünya'nın büyük ülkelerinin havalimanları arasında durması bu alanda başarımızın arttığını göstermektedir.

Tablo 2.2 ACI verilerine göre havalimanları ve taşınan yolcu sayıları

Sıra No	Hava Limanı	Ülke	Taşınan Yolcu Sayısı
1	Hartsfield–Jackson Atlanta Int. Airport	A.B.D.	104.171.935
2	Beijing Capital International Airport	Çin	94.393.454
3	Dubai International Airport	Bir.Arap Emirlikleri	83.654.250
4	Los Angeles International Airport	A.B.D.	80.921.527
5	Tokyo Haneda Airport	Japonya	79.699.762
6	O'Hare International Airport	A.B.D.	77.960.588
7	London Heathrow Airport	Birleşik Krallık	75.715.474

Tablo 2.2' nin devamı

Sıra No	Hava Limanı	Ülke	Taşınan Yolcu Sayısı
8	Hong Kong International Airport	Honkong	70.305.857
9	Shanghai Pudong International Airport	Çin	66.002.414
10	Paris-Charles de Gaulle Airport	Fransa	65.933.145
11	Dallas/Fort Worth International Airport	A.B.D.	65.670.697
12	Amsterdam Airport Schiphol	Hollanda	63.625.534
13	Frankfurt Airport	Almanya	60.786.937
14	Istanbul Atatürk Airport	Türkiye	60.119.876
15	Guangzhou Baiyun International Airport	Çin	59.732.147
16	John F. Kennedy International Airport	A.B.D.	58.873.386
17	Singapore Changi Airport	Singapur	58.698.000
18	Denver International Airport	A.B.D.	58.266.515
19	Seoul Incheon International Airport	Kore	57.849.814
20	Suvarnabhumi Airport	Tayland	55.892.428

Şüphesiz hava yolu taşımacılığının temel taşı uçaklardır. Taşıma işleminin bütün gerçekleşme potansiyeli üzerinde olan uçakların üretimi, motor sistemleri, yakıtları, bakımları gibi birçok faktör bizler için önem arz etmektedir. Nihayetinde herhangi bir olumsuz durum büyük felaketlere yol açabilecektir. Bazen çok küçük bir ayrıntının bile büyük sorunlar oluşturabileceği gibi yeri geldiğinde bütün stratejilerin uçaklar üzerinde yoğunlaşıp gerçekleşeceği de unutulmamalıdır. İngiltere, A.B.D., Almanya, Fransa ve Türkiye gibi dünyanın çeşitli ülkelerinde belirli amaçlara yönelik uçaklar ve uçak donanımları üretilmektedir. Örneğin Türkiye’de bulunan Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ) Airbus - 380 model uçağa parça üretmektedir. Veya İtalya ve Fransız ortak kuruluşu olan ATR 48 – 72 kişilik küçük yolcu uçakları üretmektedir.

Uçakların performans farklılıkları havalimanlarında kapasiteyi etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Bu farklılıklar uçağın yaklaşma hızı, pist kullanım süresi ve kuyruk türbülansı ayırmalarını değiştirmektedir. Kuyruk türbülansı ayırmaları ICAO’nun uçak kategorilerine göre değişiklik göstermektedir. ICAO’nun kategorilendirmesi maksimum kalkış ağırlığına göre yapılmaktadır. Uçağın ağırlığı arttığında havada minimum tutunma ve yaklaşma hızları da artmaktadır. Bu kategorilendirme aynı zamanda uçakların kalkışları inişleri ve yaklaşımları sırasındaki emniyetli hız limitlerini etkilemektedir [14].

- **Light** : Kalkış ağırlığı 7000kg'a kadar olan uçaklardır. Örneğin Cessna C-172, Trinidad TB-20 vb.
- **Medium** : Kalkış ağırlığı 136000kg'a kadar olan uçaklardır. Örneğin Boeing 727 – 737, Airbus 319 – 320 vb.
- **Heavy** : Kalkış ağırlığı 136000 kg'dan fazla olan uçaklardır. Örneğin Boeing 767 – 777, Airbus 333 – 343 vb.

Havacılık ile ilgili parametreleri düşündüğümüz zaman havalimanlarının önemi hava yolu taşımacılığı yapan firmalara göre daha ön plana çıkmaktadır. Firmalar insanların güvenli ve ekonomik bir şekilde seyahatlerini gerçekleştirmelerine yardımcı olmaktadır. Çeşitli stratejiler ile müşteri kazanırken aynı zamanda da çağın gerektirdiği yeniliklere ayak uydurmakta ve yeni teknolojilerle donatılmış uçaklarla hizmet vermektedirler. Ekonomik olarak güçlenerek birçok kişiye istihdam olanağı sağlarken diğer yandan da kendi prestijlerini üst seviyelere doğru taşımaktadırlar. Yine sefer yapılacak noktaları seçerken, o noktalara hangi uçağın gideceğine karar verir ve önemli bir coğrafi veya stratejik konumda olan ülke veya şehirleri de dikkate alarak birçok parametre ile hareket etmektedirler.

Yolcu taşıması yapan firmaları www.worldairlineawards.com sitesinin uluslararası bilet satışı yapan skytrax firmasının talebe göre belirlediği bir puanlama kriterine göre sınıflandırarak yaptığı sıralamanın ilk 20 tanesini Tablo 2.3'de görülmektedir [13].

Tablo 2.3 Havayolu firmalarının skytrax firmasının yolcu anketine göre sıralanması

Havayolu Firması	2017 Yılı	2016 Yılı	2015 Yılı	2014 Yılı	2013 Yılı
Qatar Airways	1	2	1	2	2
Singapore Airlines	2	3	2	3	3
ANA All Nippon Airways	3	5	7	6	4
Emirates	4	1	5	4	1
Cathay Pacific Airways	5	4	3	1	6
EVA Air	6	8	9	12	12
Lufthansa Airlines	7	10	12	10	11
Etihad Airways	8	6	6	9	7
Hainan Airlines	9	12	22	19	19
Garuda Indonesia	10	11	8	7	8
Thai Airways	11	13	19	14	15
Turkish Airlines	12	7	4	5	9

Tablo 2.3'ün Devamı

Havayolu Firması	2017 Yılı	2016 Yılı	2015 Yılı	2014 Yılı	2013 Yılı
Virgin Australia	13	18	16	15	13
Swiss International Airlines	14	15	14	13	16
Qantas Airways	15	9	10	11	10
Japan Airlines	16	21	21	23	25
Austrian Airlines	17	19	13	21	33
Air France – KLM	18	14	15	25	40
Air New Zealand	19	17	17	16	18
Asiana Airlines	20	16	11	8	5

Tablo 2.3 Temmuz ayında revize edildiğinden sadece 2017 yılının ilk yarısı için verilerin elde edildiği düşünülebilir. Bununla ulusal havayolu firmamız Türk Hava Yolları'nın dünyanın çok tercih edilen havayolu firmalarından biri olarak nitelendirildiğini görmekteyiz. Bu başarı ülkemiz prestijini, ekonomisini ve ulaştırma faaliyetlerindeki gelişimini bir kez daha göz önüne sermektedir.

2.3 Hava Trafik Yönetimi

Kavram olarak yönetim sabit bir tanımı olmayan bir kavramdır. Bu aslında çeşitli amaçları gerçekleştirmek için insan veya araçların da yönetilebilmesinden kaynaklanmaktadır [15]. Doğal olarak insanların kendileri veya ihtiyaçları için çeşitlendirdiği bir tanım haline dönüşmüştür. Örneğin finansal yönetim, teknolojik yönetim gibi.

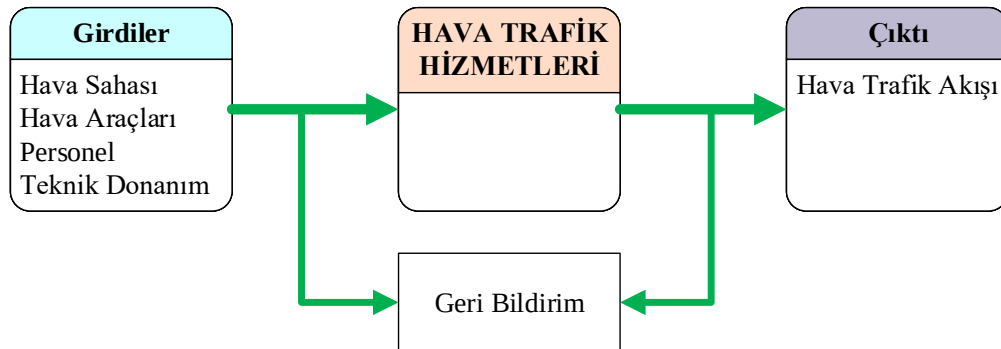
Bu bağlamda Hava Trafik Yönetimi (Air Traffic Management – ATM) kavramı da hava araçlarının güvenilir, hızlı ve sistemli bir şekilde uçmalarını ve koordinasyonlarını sağlayan yapıdır diyebiliriz. Yine ICAO'nun ifadesiyle “Hava ve yer fonksiyonlarını kapsayacak tüm birimlerin işbirliği ile oluşturulan tesisler ve sağlanan düzenli hizmetler vasıtasıyla – emniyetli, ekonomik ve etkin olarak - hava trafik hizmetlerini, hava sahası yönetimini ve hava trafik akış yönetimini kapsayacak şekilde, hava trafiğinin ve hava sahasının entegre ve dinamik yönetimidir” [16].

ATM kavramı Eurocontrol tarafından 3 faaliyetten oluşan bir sistem olarak ifade edilmektedir [17]. Bu faaliyetler şunlardır:

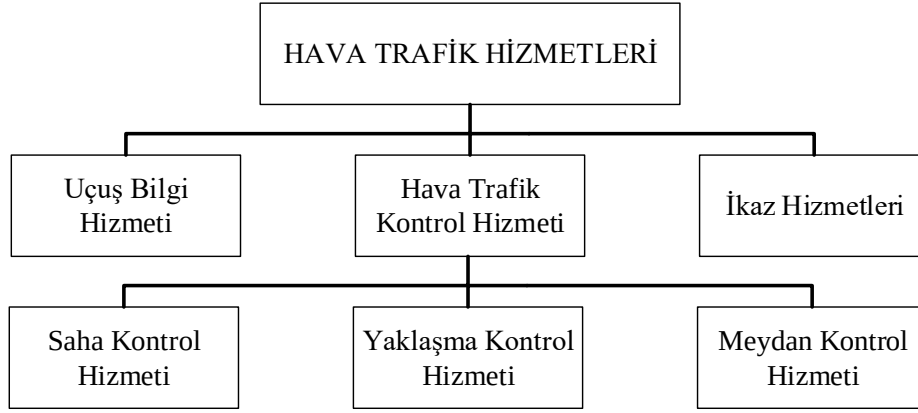
- Uçakların hava limanlarından güvenli bir şekilde kalkışları ile gökyüzünde hareketleri ve devamında varış hava limanına inişlerini ifade eden Hava Trafik Kontrolü (Air Traffic Control),
- Uçuşun gerçekleşmesinden önce uçuş planlarının ulusal ve uluslararası düzeyde incelenerek uçuşun gerçekleşmesinin sağlandığı Hava Trafik Akış Yönetimi (Air Traffic Flow Managment),
- Hava sahası kullanıcılarının ihtiyaç duyduğu navigasyon, emniyet, teknik bilgiler gibi tüm havacılık bilgilerinin bulunduğu Havacılık Bilgi Hizmetleri (Aeronautical Information Services)

Her sistemin bir kapasitesi vardır. Kapasitenin üstünde gelen talepler o sistemde tıkanıklıklara yol açmaktadır. Havacılık sektöründe son yıllarda elde ettiği pozitif ivmelenme bu sisteme olan talebi arttırmaktadır. Bu talep artışı bir hizmet üretim sistemi olan hava trafik sisteminde tıkanıklıklara yol açmakta bu tıkanmalar gecikmelere yol açmaktadır. Bu gecikmelerde ek maliyetler, yolcu memnuniyetsizliği gibi sorunları beraberinde getirmektedir. Hava trafik yönetimi bu sorunları emniyetli bir şekilde en aza indirmeye çalışan bir birliktir [18].

Gerek havadaki ve gerekse de yerde bulunan hizmetlerin tamamını kapsayıcı bir şekilde etkin bir şekilde yürütülen faaliyetler ile birlikte başlı başına bir organizasyon olan Hava Trafik Yönetiminin dinamik yapısı ve hız – güvenlik parametreleriyle hava ulaşım sisteminin neredeyse en önemli parçası haline gelmiştir.



Şekil 2.2 Hava trafik sisteminin işleyişi [19].



Şekil 2.3 Hava trafik hizmetleri [14].

- Uçuş bilgi hizmeti: Hava trafik akışının hızlı, emniyetli ve verimli yapılabilmesi için faydalı bilgi ve tavsiyelerin verildiği hizmettir. Hava durum raporu, serbest alanlara ait uçuş bilgileri, atmosferdeki zehirli kimyasal ve radyoaktif maddeler, seyrüsefer yardımcılarının çalışma durumları gibi uçuşum emniyetini etkileyebilecek bilgileri içermektedir. Bu bilgiler ışığında uçuş planında bir değişiklik yapma kararı her zaman kaptan pilotun elindedir [20].

- İkaz hizmeti: Arama ve kurtarma faaliyetlerine ihtiyaç duyan uçaklar ve ilgili kuruluşları bilgilendirmek ve gerektiğinde bu kuruluşlara yardımcı olmak için Uçuş Bilgi Bölgesine (Flight Information Region – FIR) içerisinde verilen bir hava trafik hizmetidir. İkaz hizmeti; hava trafik kontrol hizmeti verilen tüm uçaklara ya da uçtuğu bilinen tüm uçaklara ve kanunsuz bir girişime uğramış olduğu bilinen ya da buna inanılan her uçağa verilir. Bu hizmette uçuş bilgi ve saha kontrol merkezleri uçağın yaşadığı acil durum ile ilgili bütün bilgileri toplayarak kurtarma koordinasyon merkezine aktarılmasını sağlarken bir birim olarak çalışmaktadır [21]. Bir uçağın yaşadığı durumun acil olarak kabul edilebilmesi için şüphe hali, alarm hali ve tehlike hali durumlarının oluşması gerekmektedir [20].

- Meydan kontrol hizmeti: Meydanın çevresine ve harekât alanlarına hâkim, önünde engel olmayan yerlere kurulan kulelerde verilen hizmettir. Bu hizmetler trafik akışının düzenli ve güvenli bir şekilde sürmesini sağlamak ve olası kazaları önlemektir. Kulelerde pistlerdeki faaliyetlerden, pist dışında kalan alandan ve uçuşların izin işlemlerinden sorumlu kontrolörlerce verilen hizmettir.

- Yaklaşma kontrol hizmeti: Meydandan kalkan veya iniş için meydana yaklaşan uçuşlar için verilen hizmettir. Kendilerine ayrılmış terminal kontrol sahalarında (Terminal Managament Area – TMA) saha kontrol hizmetinden aldığı uçuşun güvenle iniş yapmasını sağladıkları gibi meydan kontrol hizmetinden aldığı uçuşun da yine güvenle kalkış yapmasını sağlarlar.

- Saha kontrol hizmeti: Kontrollü hava sahalarında uçuşun kontrolü için verilen hizmettir. Uçuşların bir noktadan diğer noktaya yapılması istense de bu durum bizim için önemli olan iş yükü sorununun bir nedeni olmaktadır.

2.3.1 Hava Trafik Kontrolörü

Bir hava aracının bir noktadan ulaşmak istediği başka bir noktaya kadar düzenli, emniyetli ve hızlı bir şekilde uçmasını sağlayan meslek gruplarına Hava Trafik Kontrolörü (Air Traffic Controller – ATCo) denmektedir [22]. Hava trafik kontrolörleri pilotlarla telsizler yardımıyla irtibata geçerek onlara tavsiye, bilgi veya talimatlar verir. Bu talimatları verirken çeşitli yardımcı üniteler ve teknolojinin yeni kaynaklarından faydalanır. Böylelikle pilotun uçuşunu düzenli ve emniyetli bir şekilde gerçekleştirmesini sağlar. Oldukça kritik görevleri olan kontrolörlerin eğitim süreçleri hem zor hemde yoğun olmaktadır.

Hava trafik kontrolör eğitimleri ülkemizde DHMİ ve Anadolu Üniversitesi bünyesinde verilmektedir. Anadolu Üniversitesi bünyesindeki Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nde yer alan Hava Trafik Kontrol Bölümü ulusal ve uluslararası standartlar çerçevesinde hava trafik kontrolörü adayı yetiştiren bir lisans eğitimi vermektedir. Bu eğitim dahilinde genel dersler, hava trafik kontrolörlüğü için gerekli olan bilginin kazanılacağı temel dersler, teorik dersler ve uygulama yapılan simülatör dersleri verilmektedir. Bu dersler ışığında daha önceden değindiğimiz gecikme, kapasite problemleri gibi karşılaşılabilecek hava trafik yönetim sistemi sorunları ve bunların çözümü için gerekli bilgi birikimi de kazanılmaktadır [23].

Hava trafik kontrolör lisans sahibi olmak için gerekli bilgiler ICAO – Annex 1' de belirtmiştir. Bu bilgiler yaş, beceri, sağlık ve zihinsel faaliyetler gibi daha çok genel sayılan bilgilerdir [24].

Hava Trafik Kontrol Hizmetleri Personeli Lisans ve Derecelendirme Yönetmeliği'nin (SHY 65-01) 28. maddesi gereği eğitime başlayacak adayların 27 yaşından gün almamış olması, ICAO hükümlerine uygun bir sağlık raporunun olması, KPDS sınavından 70 ve üzeri puan almış olmak ve bir kısım genel yetenek, kişilik değerlendirme

testlerini başarıyla geçmek gibi çeşitli şartlara sahip olması gerekmektedir [25]. Hava seyrüsefer hizmet sağlayıcı kuruluş, gerektiğinde ICAO veya Eurocontrol kaynaklı testleri kullanarak yeterlilik değerlendirmesi yapabilir. Bu değerlendirmede başarılı sayılmak için 100 üzerinden 70 puan alınması zorunludur.

Bu şartları taşıyan adayların başvuruları sonrası aynı yönetmeliğin Üçüncü Bölüm İkinci Kısımında açıklanan “Hava Trafik Kontrolörlerinde Aranılan Nitelikler ve Sağlık Şartları” gereğince belirtilen eğitim ve sınavlardan başarılı olmaları kaydıyla çeşitli lisans ve derecelere sahip olabilmektedirler.

DHİM bünyesinde açılan kurslara aday olarak katılabilmek için Bakanlar Kurulu’nun 18/03/2002 tarih ve 2002/3975 numaralı karar gereği Kamu Personeli Seçme Sınavı’nda yeterli puanı almak gerekmektedir. Merkezi sınavı başarıyla geçen ve gerekli şartları taşıyan kişiler hava trafik kontrolör adayı olarak atanırlar. Daha sonra ortalama 9 aylık teorik ve uygulamalı eğitimin ardından mesleğe hava trafik kontrolörü asistanı olarak giriş yaparlar. Aday hava trafik kontrolörlerine ICAO’nun belirlediği kriterler çerçevesinde teorik ve uygulamalı dersleri simülasyon ortamında yapılır [26].

DHİM Eurocontrol ile 2009 yılında bir sözleşme imzalayarak FEAST testini adaylar için rekabetçi bir şekilde uygulamaya başlamıştır. Bu testte sözel algılama, hız ve dikkat testi, üç boyutlu düşünme ve problem çözme gibi çeşitli alanlarda belirli bir zaman diliminde web tabanlı olarak yarış formatında adayların değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Ülkemizde Esenboğa Hava Limanında bulunan modern altyapısı, teknolojik olarak çok ileri düzeyde oluşturulmuş derslikler ve özel bir simülatör ile Eurocontrol (Common Core Content - Ortak Çekirdek Eğitim) müfredatına uygun olarak yoğun ve kapsamlı bir eğitimden geçirilen kontrolör adayları verilen eğitimin sonunda yapılan sınavlarda başarılı olmaları halinde mezun edilmektedir.

Hava trafik kontrolörleri görevlerini çok dikkat göstererek gerçekleştirmek zorundadırlar. Konsantrasyonlarını çok üst seviye de sağlamalıdır. Bununla birlikte hızlı ve güvenli kararlar alarak yönlendirmelerini yapmalıdırlar. Zamanın önemli olduğu bu karar alma sürecinde yaşanacak olumsuzluklar ciddi sonuçlara neden olabilmektedir. Çalışma şartları bu denli önemli olan kontrolörlerin iş yükleri de bu nedenlerle fazla olmaktadır.

Hava trafik kontrolörleri bir uçağın ilk motorunu çalıştırdığı andan uçuşunu tamamlayıp park yerinde kadar geçen sürede dahil olmak üzere uçuşun tamamında rol üstlenirler. Bu rollerin bir kısmı şu şekildedir [27];

- Hava araçları ile sürekli iletişim halinde olmak,

- Hava araçlarının hareketlerini yönlendirmek,
- Hava araçlarına uçuşuyla ilgili direktifler vermek ve uçuş seviyesi ayarlamak,
- Hava araçlarına hava durumu hakkında bilgilerini sağlamak,
- Uçaklar arasında asgari mesafelerin muhafaza edilmesini sağlamak,
- Anormal şartlarda oluşacak acil durumları ve planlama harici oluşacak hava trafiğini yönetmek,
- Pistte yönelik veya pistten gerçekleştirilecek hareketlerin kontrol edilmesini sağlamak,
- Uçakların terminal etrafındaki yer hareketlerinin sevk ve idare edilmesini sağlamak,
- Araçların havalimanı etrafındaki yer hareketlerinin sevk ve idare edilmesini sağlamak,

Bu roller uçağın uçuş yüksekliğinden hızına kadar birçok çeşitliliktedir. Kontrolörler aynı anda onlarca uçağın sorumluluğunu taşıyabilirler. Bununla birlikte anlık karar vermeleri nedeniyle her an bir can veya mal kaybına neden olabilirler.

Ülkemiz hava sahasında 1189 hava trafik kontrolörü uçuşları düzenlemekte ve gerek sivil gerekse de askeri hava trafiğine 24 saat hizmet verilmektedir [28] .

2.3.2 Hava Trafik Kontrolör İş Yükü

İş, bir güç harcayarak herhangi bir şeyi ortaya koymak veya bir sonuç elde etmek için yapılan etkinliklerdir. Yük ise bir kişinin üzerindeki görev demektir. İş yükü ise bu iki kavramın birleşimidir. Kısaca bir kişi üzerine düşen iş denebilir. İngilizce Workload manasına gelen iş yükü birçok alanda kullanılan ve problem olarak düşünüldüğünde ön sıralarda bulunan bir kavramdır.

Havacılık alanında en kritik görev yukarıda da değindiğimiz üzere hava trafik kontrolörlerine düşmektedir. Zira bir uçuşun ilk anından son anına kadar sürekli etkin rol üstlenmektedirler. Doğal olarak da kontrolörlerin iş yüklerinin yüksek olduğunu söylemek mümkündür.

Hava trafik kontrolörlerinin uçuş esnasında gösterdiği performans uçuş sisteminin en önemli konusudur. Gelişecek olan bir çevresel olay kontrolörün kullandığı bilgi-işlem kaynaklarında talep oluşturmaktadır. Bu talepler çeşitlilik gösterebilir. Başarılı bir kontrolör talebi yerine getirirken öncelikle readback denilen verilen talimatın anlaşılabilirliğinin teyidini gerçekleştirir. Bu sırada zekice davranan yetenekli bir kontrolör bu teyidi sağlarken bir

yandan da bu talep bilgisini (uçağın adı, seviyesi, kalkış ve iniş meydanları vb.) strip denilen kartlara yazabilir. Bu olaylar hava trafiğinin yoğun olduğu durumlarda gerçekleşir.

Ancak gelebilecek herhangi bir yeni talep kontrolörün hızlıca durumu gözden geçirmesine, bilgi-işlem kaynaklarını kontrol etmesine ve karar almasına neden olacaktır. Bu da bilgi-işlem kaynaklarının sınırları ve fazla yüklemden kaynaklı zorlanmaları beraberinde getirecektir. Bu nedenle iş yükü kavramı hava trafik kontrolünde birçok tartışmaya neden olmaktadır. Bu tartışmaların büyük kısmı ise iş yükünün en iyi nasıl ölçülmesi konusunda olmaktadır [29].

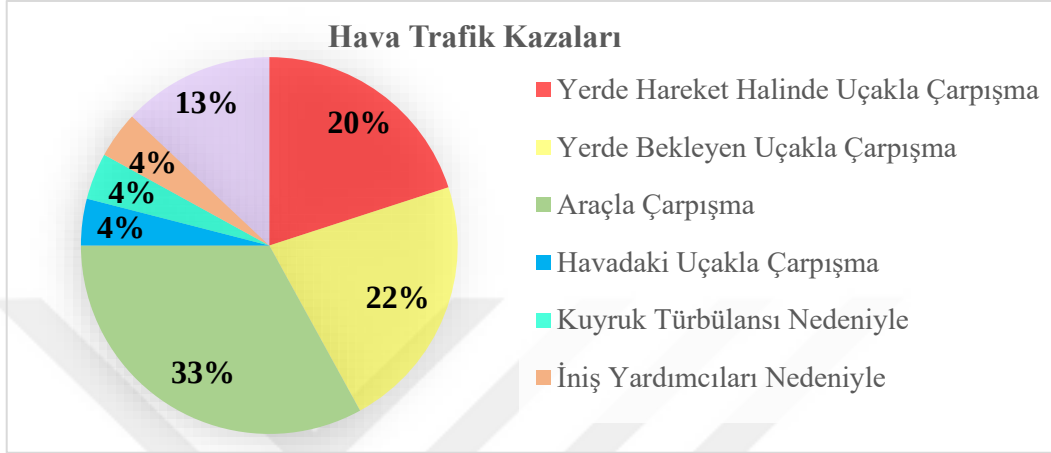
İş yükü bireysel olarak farklılaşabilir ancak kontrolörün görevi çok stratejik ve önemli olduğundan kontrolörün vereceği bir iş yükü raporu önemsenmelidir [30].

Uçakların askeri alanın yanı sıra sivil kullanıma açılmasıyla beraber uluslararası düzeyde hava trafik sisteminde bir yoğunlaşma gözlenmektedir. Bu yoğunluk her geçen gün ise artmaya devam etmektedir. Hava ulaşımına olan bu talebin artması hava trafik sisteminde belirli merkezlerde kapasite sınırlarının aşılmasına neden olmaktadır. Bu aşılma ile sistemde tıkanıklıklar oluşmakta ve uçuşlarda gecikmeler, yolculardan şikayetler ve firmaların maliyetlerinde artışlar gözlemlenmektedir. Temel olarak uçuşlardaki gecikmeler bir sonraki uçuş veya uçuşların gecikmesini de beraberinde getirmektedir. Gecikmelerin çoğu uçağın, uçuş ekibinin, yolcu veya yükün gecikmesi kaynaklıdır. Bunun yanı sıra hava durumu kaynaklı sis, kar, buzlanma gibi gecikmeler veya hava limanı kapasitesi, hava sahası trafik kontrol donanım veya personeli gibi sistemsel gecikmeler de yaşanmaktadır. Sistemin gecikmesi veriminin azalmasına sebep olmaktadır. Oluşan sistem tıkanmalarının ortadan kaldırılması için hava trafik kontrolörlerinin müdahalesi gerekmektedir. Bu müdahalenin kısa sürede planlanıp uygulanması gerektiğinden yapılacak müdahale bir iş yükü doğurmaktadır. Bu da beraberinde insani hatalara bir altyapı oluşturmaktadır. Aynı zamanda sistemde ek tıkanıklara, uçuş çakışmalarına ve kazalara yol açabilecek, emniyet açısından da problemlere sebebiyet verecektir [31]. Bu olumsuz durumlar kontrolörlerinin performansına direkt etki etmekte ve başarı oranlarını azaltmaktadır. Oluşan iş yükünün azaltılarak hava trafik yönetim sisteminin başarımının artırılması sağlanmalıdır.

Aslında havacılık tarihinin ilk dönemlerinde de çeşitli kazalar yaşanmıştır. Ancak bu kazaların oluş nedeni o zamanki uçak teknolojisinin ve teknik alt yapının basit düzeylerde olmasındandır. Hatta büyük bir kısmının makinelerden kaynaklı olduğunu söyleyebiliriz.

Ancak zamanın teknolojiyi giderek yaygınlaştırmasıyla yenilenen modern uçaklar, insanlar için güvenli seyahatin tercih sıralamasının ilk basamağında havayolunun

bulunmasını sağlamıştır. Bu zaman sürecinin ilerlemesiyle artık kazalar makine kaynaklı değil insan kaynaklı olmaya başlamıştır. Bu kaynaklar da pilot veya kontrolör ağırlıklı olarak durmaktadır. Pilotların sadece bir uçağı kontrol halinde tutmasına karşın kontrolörün pistte veya havada olan birçok uçağı kontrol halinde tuttuklarını söyleyebiliriz [32].



Şekil 2.4 Hava trafik kazaları oransal dağılımı

Hava trafik kontrolörlerinin iş yüklerinin araştırılması 2. Dünya Savaşı'ndan önceki dönemlerde bile dikkat çeken bir konu olmaktadır. Hava sahalarının bilgisayar sistemleri ile donatılması ile verilen alışlagelmiş bazı kararların insan yerine bilgisayarlar ile alınması bir iş yükleri açısından bir çözüm şeklinde irdelenmeye başlamıştır [29].

Yine Uğur Turhan'ın aktarımıyla Katz ; hava trafik kontrolörlerinin iş yüklerine pilotların vermiş olduğu taleplerin etki ettiğini; Melton'a göre ise bu iş yükünün strese bağlı olarak beliren psikolojik bir durum olduğu ifade edilmiştir. Yine Repetti'nin günlük trafik yoğunluğunu kontrolörler için iş yükü olduğu aktarılmıştır.

Loura'ya göre; Hava trafik kontrolörleri birçok ekipman, prosedür ve çalışanlara hizmet etmektedir. Doğal olarak sistem hem makinelerle hem de insanlarla beraber çalışmaktadır. Dolayısıyla kişisel ve otomatik işlemlerin gerçekleştiği bir görev yapı içermektedir. Bunların sonucu zihinsel bir iş yükünün varlığıdır. Hızla artış gösteren hava trafik akışları ile bu zihinsel iş yükünün daha da artacağı ama aslında görev yükü ile iş yükünün ayrı kavramlar olduğu ve bunların daha iyi ifade edilmesi gereklidir [33].

Abdul Rahman ve arkadaşları hava trafik kontrolörlerinin iş yüklerinin hava ulaşımının gelişmesinde bir engel olduğunu belirtmişlerdir. İş yükünün neden kaynaklandığını araştırmışlardır. Bir sektörde bulunan kontrolör iş yükünü ölçmek için

hazırlanan ölçütlerin diğer sektörlerde de ölçüm yapılabilirliği karşılaştırmışlardır. Kontrolörlerin iş yüklerini gerçek zamanlı ölçmek için kullanılabilecek bir metrik geliştirmişlerdir [34].

Pfeiffer ve arkadaşları ise kontrolörlerin iş yüküyle birlikte duygusal olarak durumunu da ele almışlardır. Kontrolörlerin en stresli işlerden birini gerçekleştirmekte olduğunu, uçakların sadece kalkış ve inişlerini değil aynı zamanda hava trafiklerinin de kontrol altında tutulduğu bir görevi yaptıklarını ifade etmişlerdir. Duygusal durumlarının işlerine etki edeceği vurgulanarak duygu görüntülemenin geliştirilmesi için tasarım gereksinimlerini vurgulamışlardır [35].

Yapılan çalışmaların büyük bir kısmının hava trafik kontrolörlerin zihinsel iş yükü yoğunluğuna dayalı olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında pilotlar veya diğer sistem personelinin taleplerinin de iş yükü oluşturduğunu söyleyebiliriz.

Turhan önemli iş yükü kaynaklarını şöyle sıralamıştır:

- Hava trafiğinin yapısı
- Ekranlar
- Kontrolör – pilot ve kontrolör – kontrolör iletişimi
- Uyanıklık
- İş dinlenme tarifeleri
- Algılama
- İşyeri tasarımı ve otomasyon

Daniel Delahaye' ye göre ise hava trafiğinin yoğunluk ve karmaşıklılığı hava trafik kontrolörlerinin iş yükünün büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Her gün yaklaşık 8000 uçağın uçtuğu Fransa hava sahasında kontrolör iş yükünün oldukça yüksek olduğunu vurgulamıştır. Delaheye 3 tür iş yükünden bahseder.

- İzlenen uçakların oluşturduğu iş yükü
- Sektörde kesişen iş yükü
- Sektör içi oluşan eşgüdüm ve bunu oluşturan koordinasyonun iş yükü

İş yüklerinin kontrolörlerin aynı iş yüküne sahip olmalarını sağlama açısından dengelenmesi gereklidir [36].

Biz çalışmamızda iş yükünü hava trafik kontrollerini saha kontrol hizmeti bünyesinde ele alarak sahalarında kontrol ettikleri uçak sayısı olarak değerlendirdik. Bu

değerlendirmeyi uçuş trafiğinin yoğun olduğu 01 – 03, 09 – 11 ve 19 – 21 saatleri arasındaki uçak hareketleriyle ele aldık.

2.4 Hava Sahası

Boyutları Ölçülendirme parametreleri ile tanımlanmış hacimli bir alana hava sahası denmektedir [6]. Hava sahaları teknolojinin gelişimiyle günümüzde havayolunu tercih eden kişi veya işletmelerin artmasıyla bir yoğunluk içerisinde. Hava sahalarının hava araçlarınca ortak kullanıldığı düşünüldüğünde aynı hava sahasında emniyetli ve düzenli bir seyrüsefer olması için araçlar arasındaki mesafenin de korunması gerekecektir [37]. Bunun yanında çeşitli hava araçlarının da gökyüzünde yer almaya başlamasıyla kontrol mekanizmasının yükü oldukça artmaktadır.

ABD'nin Şikago kentinde 1944 yılında imzalanan Uluslararası Sivil Havacılık Konvansiyonu'na (Şikago Konvansiyonu) katılan 52 ülke, Birleşmiş Milletler kuruluş kararnamesinin 43. Maddesi gereği ICAO'nun 04 Nisan 1947 tarihinde kurulmasını sağlamıştır [38]. Konvansiyona göre her devlet kendi toprak veya karasuları üzerindeki hava sahasında egemendir [39].

Ancak 1963 yılında Fransa, Belçika, Hollanda, Federal Almanya (o zamanki ismiyle), Lüksemburg ve İngiltere arasında Brüksel kentinde imzalanan “Hava Seyrüseferinin Emniyetine Yönelik İşbirliğine İlişkin Eurocontrol Uluslararası Sözleşmesi (Eurocontrol International Convention relating to Cooperation for the Safety of Air Navigation)” ile Avrupa üst hava sahasını bir tek kuruluş sorumluluğunda tutma çalışması başlamıştır. 1 Mart 1963'te yürürlüğe girmesine rağmen çeşitli yıllarda sistemsel gelişmeleri tam gösterememişse de günümüzde halen 40 Avrupa ülkesiyle Kıbrıs, Ermenistan ve Gürcistan'ın da dahil olduğu toplamda 43 üyeli bir sistemdir [40].

Eurocontrol mevcut üye ülkeleri ile birlikte hava trafik yönetiminin başarımını arttırmayı ve temel amaç olarak Avrupa'yı tek hava sahası içerisinde toparlamayı hedefleyen bir yapıdır. Bu yapı gerek havacılık operasyonlarını ve gerekse de sistemin teknik altyapısını kapsayıcı bir sistem oluşturmaktadır. Hem askeri hem de sivil havacılık alanlarında danışmanlık gerçekleştirmektedir. Çoklu sektör planlaması kullanarak mevcut hava trafik akışına çeşitli düzenlemeler yaparak ve böylece iş yükünü azaltıp sektörler arasında bir denge oluşturmayı hedeflemektedir [41].

Tablo 2.4 Sağlanan trafik hizmet ve koşullara göre hava sahası sınıflandırılması [45].

Sınıf	Uçuş Tipi	Ayrırma	Hizmet	Hız Limiti	Radyo Haberleşme Gerekсинimi	HTK Kleransı
A	Sadece IFR	Bütün Uçaklara	Hava Trafik Kontrol Servisi	Uygulanmamakta	İki Yönlü Sürekli	Var
B	IFR	Bütün Uçaklara	Hava Trafik Kontrol Servisi	Uygulanmamakta	İki Yönlü Sürekli	Var
	VFR	Bütün Uçaklara	Hava Trafik Kontrol Servisi	Uygulanmamakta	İki Yönlü Sürekli	Var
C	IFR	IFR'den IFR'ye	Hava Trafik Kontrol Servisi	Uygulanmamakta	İki Yönlü Sürekli	Var
	VFR	VFR'den IFR'ye	1) IFR'den ayırma için HTK hizmeti 2) VFR/VFR Trafik bilgisi	3050m (10000 ft) altında 250 knot IAS	İki Yönlü Sürekli	Var
D	IFR	IFR'den IFR'ye	Hava trafik kontrol hizmeti, VFR uçuşlar hakkında trafik bilgisi	3050m (10000 ft) altında 250 knot IAS	İki Yönlü Sürekli	Var
	VFR	Tanımsız	IFR/VFR ve VFR/VFR trafik bilgisi	3050m (10000 ft) altında 250 knot IAS	İki Yönlü Sürekli	Var
E	IFR	IFR'den IFR'ye	Hava trafik kontrol hizmeti ve mümkün olduğunca VFR uçuşlar hakkında trafik bilgisi	3050m (10000 ft) altında 250 knot IAS	İki Yönlü Sürekli	Var
	VFR	Tanımsız	Mümkün olduğunca trafik bilgisi	3050m (10000 ft) altında 250 knot IAS	Yok	Yok
F	IFR	IFR'den IFR'ye pratik olarak	Hava trafik tavsiye hizmeti; Uçuş bilgi hizmeti	3050m (10000 ft) altında 250 knot IAS	İki Yönlü Sürekli	Yok
	VFR	Tanımsız	Uçuş bilgi hizmeti	3050m (10000 ft) altında 250 knot IAS	Yok	Yok
G	IFR	Tanımsız	Uçuş bilgi hizmeti	3050m (10000 ft) altında 250 knot IAS	İki Yönlü Sürekli	Yok
	VFR	Tanımsız	Uçuş bilgi hizmeti	3050m (10000 ft) altında 250 knot IAS	Yok	Yok
Geçiş irtifası 3050 m (10.000 ft) deniz seviyesinden daha düşük olduğunda 10.000 ft yerine FL 100 kullanılmalıdır.						

IFR : Aletli Uçuş Kuralları (Instrument Flight Rules)

VFR : Görerek Uçuş Kuralları (Visual Flight Rules)

IAS : Belirlenen hava hızı (Indicated Air Speed)

HTK : Hava Trafik Kontrolörü



Şekil 2.6 Türkiye hava sahası uçuş bölge bilgileri [46].

Hava sahası'nda bulunan FIR'lar bazı durumlarda dikey olarak üst (Upper) ve alt (Lower) olarak bölümlenebilir. Lower bölüm bir FIR olarak nitelenidirilebilirken üst kısım UIR olarak bahsedilebilir [47].

Ankara FIR: 360456N-0295958E, 385956N-0295958E, 392956N-0305958E, 424756N-0305958E, 424756N-0315958E, 424656N-0335958E, 424356N-0361559E, 424056N-0374259E, 415356N-0401959E, 413556N-0411659E, 413056N-0413259E noktaları ile Türkiye'nin Gürcistan, Ermenistan, İran, Irak ve Suriye sınırlarını takiben 355456N-0353959E, 355456N-0333258E, 360456N- 0295958E noktalarını birleştiren hattır [48].

İstanbul FIR: 415900N-0280200E, 415900N-0281900E, 420700N-0290000E, 424755N-0304513E, 424756N-0305958E, 392956N-0305958E, 385956N-0295958E, 360456N-0295958E noktaları ile kesin olmayan ve tam coğrafik noktalara dayanmayan ve bazı bölgelerde Türkiye karasularını izleyen teorik bir hat ile Türkiye-Yunanistan kara sınırının denizde başladığı noktaya, buradan da Türkiye'nin Yunanistan ve Bulgaristan ile mevcut kara sınırlarını takiben 415900N-0280200E noktasına uzanır [48].

Her sınıflandırma için bir düzenleme de yapılır. Bu düzenlemeler uçuş tipi, uçak tipi, ekipman ve irtifa şeklinde yapılmaktadır. Bu şekilde yapılan düzenlemeler ile örneğin C sınıfı belirlenen bir hava sahasında sadece bu sınıfı kullanabilecek uçakların buraya girebileceğini ifade etmektedir.

2.4.1 Hava Sahası Sektör Yapısı

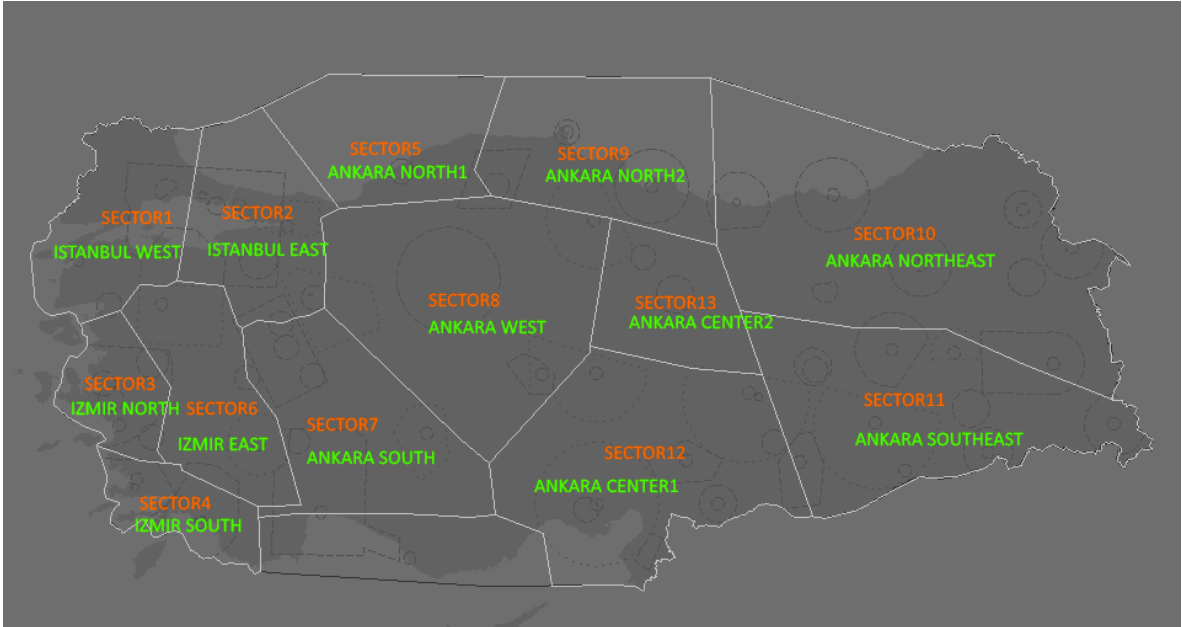
Kelime manası bölüm, kesim, dal gibi manaya gelen sektör kavramı havacılık sektöründe ise sanal bir bölümü ifade etmektedir. Bu bölüm hava sahasının bir parçasıdır, başka bir ifade ile hava sahası sektörlerden oluşmuş bir yapıdır.

DHMİ ise bir radyo frekansı tanımlanmış, koordinatları belli olan ve bir kontrolör grubu tarafından kontrolü sağlanan hava sahasının veya FIR' ın bir parçasını sektör olarak tanımlamaktadır [49].

Eurocontrol kontrolörlerin kapasiteleri doğrultusunda hava sahasının bölünebileceği sektör sayısını kendisinin belirlemesini istemektedir [50].

Havacılık alanının gelişim süreci dikkate alındığında bir yoğunluk gözlemlenmektedir. Bu yoğunluk hem kontrolörlerin iş yükünü arttıracak hem de sektör yapısının yeniden düzenlenmesini gerektirecektir. Bu düzenlemeyle yeni bir hava sahası sektörü de eklenebilecektir. Yeni bir sektörün eklenmesi trafik akışı, sektördeki mevcut uçuş saatleri, koordinasyon prosedürleri gibi etkenlerin bir birleşimi olacaktır.

Eurocontrol gelecekte doğacak yoğun hava trafik taleplerini karşılamak ve başarısı yüksek gereksinimleri karşılamak için serbest rota hava sahası operasyonlarına dayalı esnek, verimli ve dinamik bir hava sahası yapısını oluşturmayı planlamaktadır [51].



Şekil 2.7 Türkiye hava sahası sektör yapısı [52].

Türkiye hava sahası sektör yapısı incelendiğinde Ankara FIR' a dahil 8, İstanbul FIR'a dahil 5 sektörün bulunduğu göze çarpmaktadır.

Türkiye hava sahası genel olarak Ankara saha kontrol merkezi (Area Control Center – ACC) tarafından yönetilmektedir. Ankara ACC’ ye bağlı olarak ülkemizdeki 13 hava sahası sektörünün dikey olarak üst ve alt bölümleriyle bu bölümlerin dikey olarak başladığı yükseklik ve sonlandığı yükseklik Tablo 2.5 ile verilmiştir. Tablodaki alt ve üst sektörlerdeki trafik talebine göre Ankara ACC FL325, FL345, FL355 ve FL365 değerlerini değiştirebilir.

Tablo 2.5 Ülkemiz hava sahası sektörlerinin yükseklik değerleri [48].

Sektör No	Adı	Bölüm	Başlangıç Yük.	Bitiş Yük.
1	İstanbul Batı	Alt	Deniz Seviyesi	FL325
		Üst	FL325	Limitsiz
2	İstanbul Doğu	Alt	Deniz Seviyesi	FL325
		Üst	FL325	Limitsiz
3	İzmir Kuzey		Deniz Seviyesi	Limitsiz
4	İzmir Güney		Deniz Seviyesi	Limitsiz
5	Ankara Kuzey 1	Alt	Deniz Seviyesi	FL325
		Üst	FL325	Limitsiz
6	İzmir Doğu	Alt	Deniz Seviyesi	FL325
		Üst	FL325	Limitsiz
7	Ankara Güney	Alt	Deniz Seviyesi	FL325
		Üst	FL325	Limitsiz
8	Ankara Batı	Alt	Deniz Seviyesi	FL325
		Üst	FL325	Limitsiz
9	Ankara Kuzey 2	Alt	Deniz Seviyesi	FL325
		Üst	FL325	Limitsiz
10	Ankara Kuzeydoğu	Alt	Deniz Seviyesi	FL325
		Üst	FL325	Limitsiz
11	Ankara Güneydoğu	Alt	Deniz Seviyesi	FL325
		Üst	FL325	Limitsiz
12	Ankara Merkez 1		Deniz Seviyesi	Limitsiz
13	Ankara Merkez 2		Deniz Seviyesi	Limitsiz

Tabloda yer alan bazı sektör alt limitleri Kontrol bölgesi, terminal kontrol sahası, askeri terminal kontrol sahası ve yaklaşma kontrol ofislerini hariç tutar.

Havacılık günden güne kullanımı artan bir ulaşım alanıdır. Uçaklar, helikopterler, İHA’lar ve hatta Drone’ lar ile gökyüzü trafiği yoğunlaşmaktadır. Hava sahasının kapasitesini sonsuz olarak algılayamayız. Hava sahaları günümüzde farklı şekillerde optimize edilmiştir. Hava sahaları bir kontrolör grubunca denetim altında bulunan sektörlerle ayrılmıştır. Kontrolörler uçuş trafiğini kontrol ederek planlama doğrultusunda hareket edilip

edilmediğini kontrol ederler. Bir sektörün de kapasitesi belirli bir zaman dilimi içerisinde kontrolörün kontrol edeceği emniyetli ve verimli uçuş sayısı olarak düşünülebilir. Hava sahasında kullanılan sektörler uçuşların emniyetli bir şekilde organize edilmesi için kullanılmaktadır [36] .

Hava sahası sektörlerinin yeniden yapılması çalışmaları son yıllarda üzerinde durulan bir problem olmaktadır. Gelişen teknoloji ve artan hava trafik yoğunluğu bunun en önemli nedenlerindendir. Hava sahalarının kapasitelerinin gözden geçirilerek daha verimli kullanılması gerekmektedir. Sektör yapısı kontrolörlerin işlerini kolaylaştırmaktadır.

Yapılacak sektörizasyon çalışmaları ile hava sahaları yeniden modellenmesi planlanmaktadır. Bu planlama geometrik olarak bir uyum ve bütünlük içinde olmalıdır. Bunu gerçekleştirirken ya sektörlerle eklemeler yaparak yeni sektör oluşturulacak ya da mevcut sektör yeniden boyutlandırılacaktır. Böylelikle hava sahasının kapasitesi artmış ve bu hava sahasının iş yükünü azaltılmış olacaktır. Ancak hava sahasının kapasitesinin artırılması sektör sayısından bağımsızdır. Bununla birlikte özellikle sektörlerdeki iş yükü dağılımının olabildiğince eşit olması istenilen bir diğer çözümdür [53]. İş yükünün hesaplanması ve yeniden planlanması ise farklı bir problem dağılımı oluşmasını sağlar.

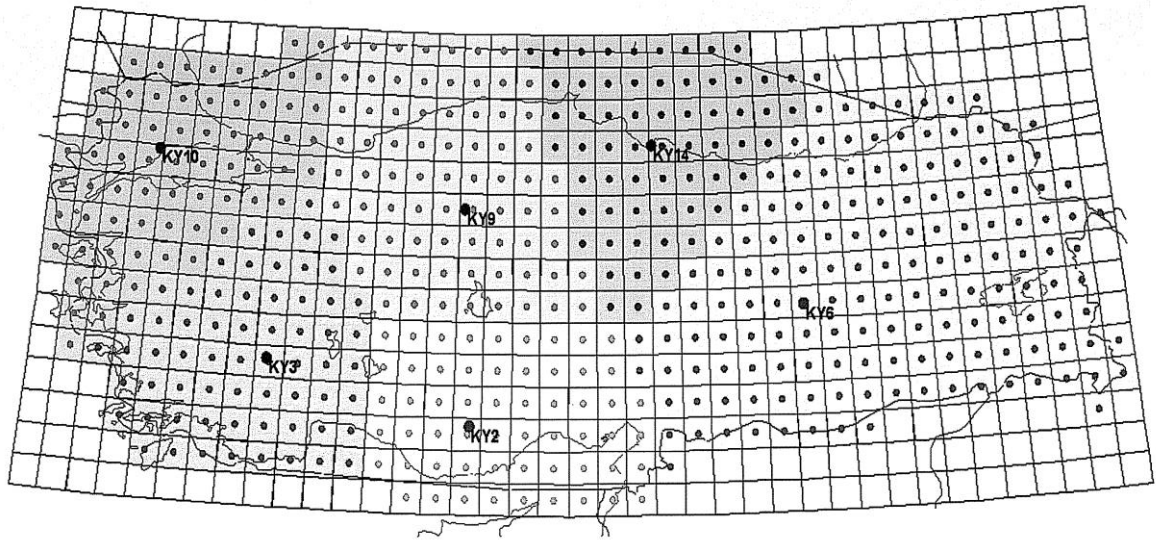
Hava sahası sürekli dinamik bir yapıda seyretmektedir. Ülkelerde yaşanan çeşitli olaylar havacılık sektörünü doğrudan etkilemekte ve rotalarda değişimler, seferlerde iptaller gibi havacılık sektörünün temel yapısında da bir dizi küçük problem oluşturmaktadır. Örneğin 2017 yılı Haziran ayında Arap ülkeleri ile Katar arasında çıkan krizde Katar'a ait havayolu firmaları rotalarını değiştirmek zorunda kalmışlardır. Dinamiklik bizimde çalışmamızın kendini güncellemesine ve değişimleri de uygulayacak yapıda olmaya teşvik etmiştir.



Şekil 2.8 Katar krizinden sonra değişen uçak rotaları

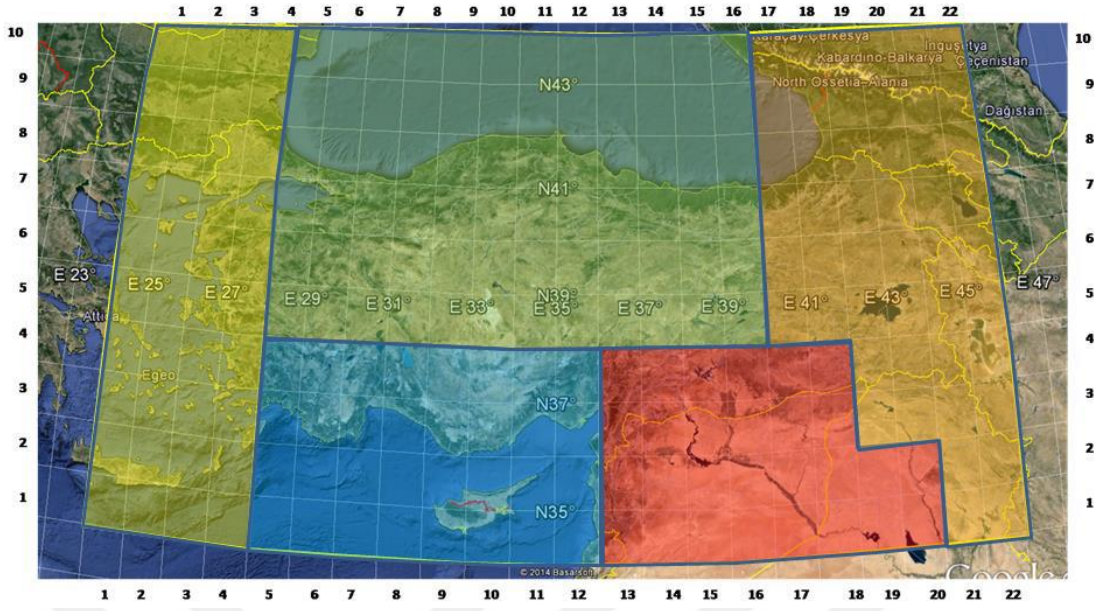
Sektörizasyon konusunda ülkemizde yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. 66,708 km kontrollü hava yolu ve 982,206 km² 'lik kontrollü hava sahası ile ülkemiz hem coğrafi konumu hem de stratejik olarak havacılık sektöründe önemli bir noktadır [54]. Türkiye hava sahasının Ankara ve İstanbul FIR olarak iki bölümden oluştuğunu belirtmiştik.

Yaman çalışmasında kontrolör iş yüklerini DHMİ'den aldığı uçuşun yoğun olduğu 2 pik saat diliminde ele almış ve ızgara temelli kümeleme yaklaşımında karelaj yöntemini tercih etmiştir. Hücreleri kare ızgaralardan teşkil etmiştir. Her bir birim hücrenin iş yükünü izleme iş yükü, uçak hareket değişim iş yükü, koordinasyon iş yükü ve çakışma ve çözüm iş yükü olarak ele alıp hesaplamıştır. Kontrolörlere bir anket çalışması yaparak sektör kapasitesini hesaplamıştır. GAMS 21.5 yazılımı kullanarak modelini tasarlamıştır [43]. Modeli sonuçlandırarak Şekil 2.9'daki hava sahası modelini elde etmiştir.



Yaman sektör yapısını 6 sektör olarak bulmuştur. Oysa günümüzde DHMİ 13 sektör kullanmaktadır. Artan trafik yoğunluğu ve bununla beraber oluşan iş yükünü karşılamakta bu 6 sektör yetersiz kalacaktır. Aynı zamanda sistem statik sektör yapılanması yaptığından dinamik olan hava trafiğinde zayıf kalacaktır.

Temizkan ise yaptığı çalışma ile araç rotalama probleminden yola çıkarak bir esnek bir matematiksel model önermiştir. Amaç fonksiyonu olarak toplam mesafeyi minimum tutmayı hedeflemiştir. Sektör sayısını inceleyerek bu sayının artması durumunda çözüm sürelerinin arttırdığını gözlemlemiş bunun da araç rotalama problemindeki düğüm sayısının artmasıyla etkili olduğunu vurgulamış ve sektör sayısını 4 olarak belirlemiştir. Çalışması sonucunda Türkiye hava sahasının sektör yapısı Şekil 2.10 da verilmiştir [50].



Şekil 2.10 Temizkan'ın elde ettiği Türkiye hava sahası sektör yapısı [50].

Yaman'a göre bir sektörün temel yapısal özellikleri şunlardır [43];

- Sektörün geometrisi
- İrtifa
- Yol sayısı
- Yolların kesişim noktalarının sayısı
- Komşu sektör sayısı
- Sektörün hacmi
- Özel kullanımlı hava sahası
- Havaalanları

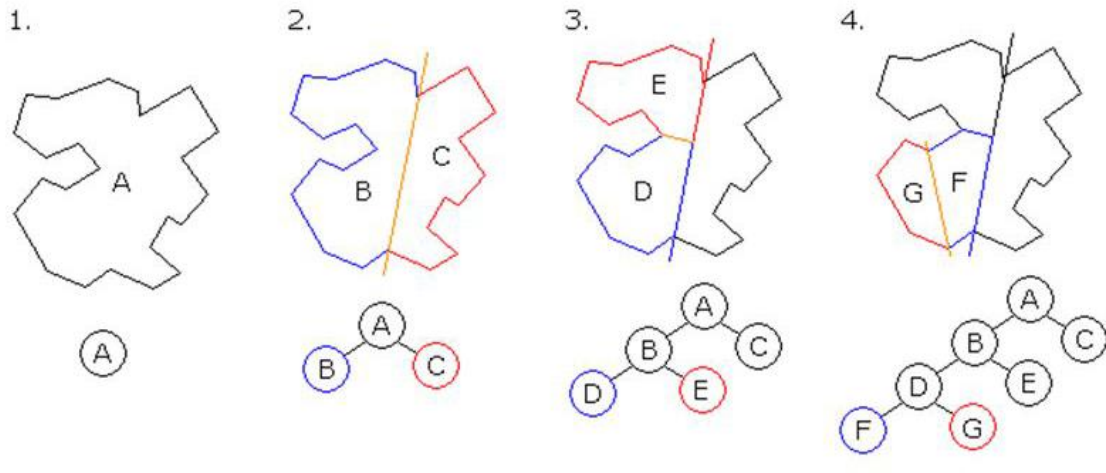
Yaman'ın araştırmasında sektörizasyon çalışmalarının sınırlılığı vurgulanmıştır. Yapılan çalışmalarda araştırmacıların geometrik yaklaşımlarında bir sınıflandırma göz önüne alınmıştır. Bu yaklaşımlar 3 başlıkta toplanmıştır.

- İkili alan bölme
- Üçgenleme
- Izgara temelli

2.4.2 Hava Sahası Sektör Yapılanmasında Kullanılan Yöntemler

2.4.2.1 İkili Alan Bölme

1980 yılında Fuchs, Kedem ve Naylor isimli bilim adamları tarafından önerilen ikili alan bölme yöntemi veya ağacı (BSP - Binary Space Partitions Tree) n boyutlu bir alanın dışbükey alt alanlara bölünerek hiyerarşik bir yapı oluşturmaktır. Kök düğümde başlayarak 2li bölünmeler veya eklemeler yapılmaktadır. 2 boyutlu uzayda bölünme bir çizgi, 3 boyutlu bir uzayda ise bir düzlemdir. Yöntem statik görüntülerin gerçek zamanlı etkileşimi için oldukça yararlı bulunmaktadır [55].



Şekil 2.11 BSP yapısı ve adımları

Basu ve arkadaşları hava sahasını kontrolör iş yüküne göre geometrik algoritma kullanarak modelleme yapmışlardır. Yapılan bu çalışma Amerika Ulusal Havasahası Sistemi (NAS – National Airspace System) için Kuzey Amerika üzerinde birçok uçuşun gerçekleşmesine olanak vermek için tasarlanmıştır. Yapılan çalışma ile k adet sektör kısıtlaması ile sektörlerdeki iş yükünü minimize etmek veya iş yükü kısıtlaması ile sektör sayısını (k) minimize etmeyi hedeflemiştir. İş yükü olarak belirli zaman periyodunda kontrol edilen uçuş sayısı alınmıştır. Çalışma önce tek boyut olarak ele alınmış devamında ise BSP kullanarak 2 boyutlu tasarlanmıştır. Ancak komşular arası koordinasyon, kesişim, irtifa değişimi gibi iş yükünü etkileyici farklı etkenler dikkate alınmamıştır. [56].

İkili alan bölme yöntemi grafiksel işlemlerde ve bilgisayar oyunlarında kullanılan ve ışın izleme işleminin verimliliğini arttıran yöntemlerdendir [57]. Alt bölümler oluşturulurken herhangi bir kısıtlarının olmaması ve arama yaparken yapraklara ulaşıncaya kadar yüksek bir maliyet oluşturması ise dezavantajlarıdır.

2.4.2.2 Üçgenleme

Amaç olarak ele alınan bir yüzeyi birbiri üzerine denk gelmeyecek üçgenlerin birleşimi şeklinde ifade etmektir. 2 veya daha çok boyutlu uzaylarda gerçekleştirilebilme imkânı bulunmaktadır. Yeryüzü düzgün olmayan bir yüzeydir. Bu nedenle matematiksel olarak ifade edilmesinde zorluklar vardır. Tam olarak ifadesi için yeryüzündeki bütün noktaların tanımlanması gerekir. Ancak buda pratikte mümkün olmamaktadır. Uygulama safhasında yüzey örnekleme noktaları vasıtasıyla modellenir. Bu noktalar farklı konumlarda bulunabilirler. Referans veya dayanak noktası da denen bu noktaların düzensiz dağılımları nedeniyle yapılacak yüzey modellemelerinde referans noktaların işlenip üçgenleme, eşdeğer eğrilerin (eşyükselti, eğim) oluşturulması ve enterpolasyon işlemi gibi özellikle harita mühendisleri için önemli olan konularda sıklıkla kullanılan bir çözüm yöntemidir.

Üçgenleme hedeflenen amaç ve kullanılan çözüm yönetimi baz alınarak 2 şekilde sınıflandırılabilir [58].

a) Amaca göre sınıflandırma:

Üçgenleme algoritmalarında temel olarak istenen amaçlar şu şekilde sıralanmaktadır.

- Elde edilen üçgenlerin eşkenar üçgenlere en yakın olması veya açılarının 60° 'den az farklı olması (eşaçılık özelliği)
- Elde edilen üçgenlerin kenarları toplamının minimum olması
- Her bir üçgen oluşturulurken olası kenarlardan en kısa olanının seçilmesi

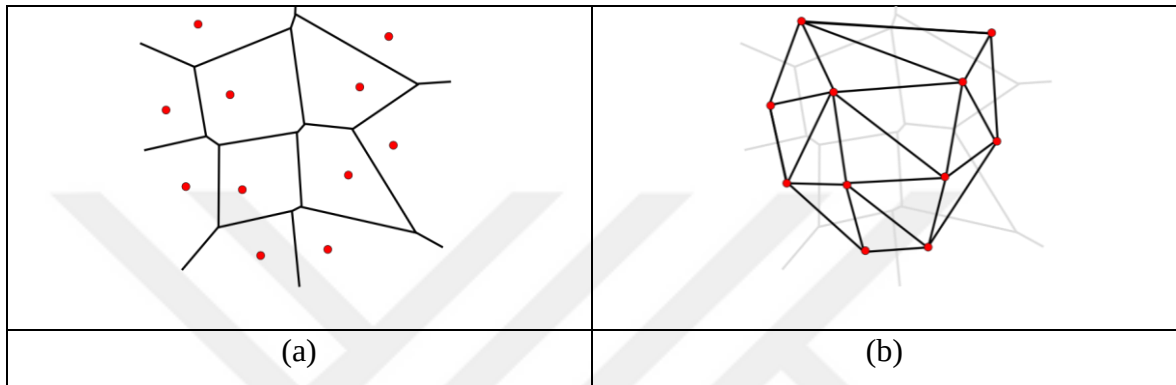
b) Çözüm yöntemine göre sınıflandırma:

İki gruba ayrılabilirler.

- Artan yöntem: Veri alanındaki bir referans noktasından başlayarak adım adım diğer noktaları ağa katarak üçgenlemeyi gerçekleştirir.
- Bölüp – birleştir: En son üçgen oluşana kadar veri alanını ardışık alt bölgelere ayıran yöntemdir.

Üçgenleme yöntemlerinde Delaunay Üçgenlemesi ve Voroni diyagramları geometride önemli bir konumda bulunmaktadır. Voroni diyagramları 1903 yılında Georgy Voronoi tarafından önerilen bir veri bölme yöntemidir. Düzlemde yer alan sonlu nokta kümesine ait herhangi bir noktaya, kümedeki diğer noktalardan daha yakın konumda bulunan düzlem noktalarının geometrik yerine, o noktanın “Voronoi Alanı” denilmektedir. Kümedeki tüm noktaların Voronoi çokgenlerinin birleşimi, o kümenin Voronoi diyagramını

oluşturur. Bir noktanın Voronoi çokgeni o noktayı, komşu noktalar denen, o noktaya en yakın konumdaki noktalardan ayırmaktadır. Çokgenin kenarları, nokta ile komşu noktaları birleştiren doğru parçalarının kenar orta dikmelerinden oluşmaktadır. Her nokta ile komşularına ait noktalar birleştirildiğinde de ortaya Delaunay üçgenlemesi çıkar [59]. Şekil 2.12 da örnek bir sonlu nokta kümesine ait Voroni diyagramı (a) ve yine aynı kümenin Delaunay üçgenlemesi (b) verilmiştir.



Şekil 2.12 Sonlu noktaların Voroni diyagramı ve Delaunay üçgenlemesi

Trandac ve arkadaşları bir hava sahası sektörizasyon işlemini problemi grafiksel olarak ele almış ve üçgenleme yöntemi kullanarak bölme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma kontrolör iş yükünü dengeli bir şekilde dağıtmayı ve komşu sektörler arasında koordinasyonu minimize etmeyi hedeflemektedir. Tanımlanmış 4 kısıt bulunmaktadır.

- Dışbükeylik; Aynı uçağın aynı sektöre ikinci defa girmemesi.
- En az mesafe; Sektörün sınırı ve kritik nokta arası mesafe verilen mesafeden az olmalıdır.
- En az sektör geçiş süresi; Uçağın geçtiği sektörde belirlenen en az kalma süresi veya fazlası kadar kalması gerekmektedir.
- Bağlantı; Sektör bütün olarak kalmalı, parçalanmamalıdır.

Bu çalışmada sektörlendirme 2 boyutlu düşünülmüş ve uçakların dikey olarak yükselip alçalmaları dikkate alınmamıştır [60].

Delahaye ve arkadaşları ise genetik algoritma tabanlı bir 3 boyutlu hava sahası modellemesi yapmışlardır. Çalışma üçgenleme yöntemi olarak Voroni diyagramlarını kullanmaktadır. Eurocontrol ile ortaklaşa yürütülen ve Avrupa Birliği tarafından SESAR

programınca finanse edilerek yürütülen bir çalışmadır [36]. Bu çalışma bizim için model bir çalışma olmakla beraber ileriki başlıklarda detaylandırılacaktır.

2.4.2.3 Izgara Temelli Yöntemler

Bu yöntemler Karma Tamsayı Programlama yöntemleri olarak da isimlendirilmektedir. Hava sahasını büyüklükleri eşit olan çokgenlere bölerek işlem yapılmaktadır. Her çokgen bir hücre olarak adlandırılmakta ve bu hücreler merkez olarak belirlenen yerlere atanarak sektörler oluşturulmaktadır

Yousefi'nin yaptığı çalışma NAS için hava trafik kontrolörlerinin iş yükü esaslı bir bölme ve optimum hava sahası tasarlamaya yöneliktir. Çalışmayı diğer sektörizasyon yöntemlerinden ayıran ise sektör sınırlarının değişiminde daha analitik yaklaşım uygulamasıdır. Hava trafiğinin uçakların irtifalarındaki dağılım ile iş yükü arasındaki ilişki düşünülmüş. Bu çerçevede de sektör boyutları altıgen ızgaralar ile belirlenmesi önerilmektedir. Altıgen ızgaraların yatay ve dikey olmanın yanında diagonal yönlerde de genişleyebileceği ve böylece sektörizasyon işleminde üçgen ve dikdörtgenlere göre daha uygun olduğu belirtilmiştir [61].

Klein de yaptığı çalışma ile NAS hava sahası için yeni bir sektörizasyon çalışması yapmıştır. Her bir merkezdeki toplam trafik miktarı belirlenen bir zaman aralığında olabildiğince eşit olması esasına dayanmaktadır. Böylelikle trafiğin çok olduğu merkezler boyutça küçültülecek, trafiğin yoğun olmadığı merkezler ise büyültülecektir. Öncelikle olması muhtemel bir merkez seçilir. Bu en düşük pozisyon raporuna göre sektörlerin seçilmesini gerçekleştirir. 200 iterasyon sonucu her merkezdeki toplam trafik yoğunluğu %1'i geçmeyecek şekilde 8 merkeze dağıtılmıştır [62].

3 SEKTÖRLERDE KÜMELEME YÖNTEMLERİ

Çalışmamız temelde Delahaye'nin Eurocontrol destekli çalışmasının [36] Türkiye için uyarlanmasına dayanmaktadır. Amaç olarak kontrolörlerin iş yükleri baz alınarak bu iş yükünü eşit dağıtmayı hedef almıştır. Öncelikle iş yüklerinin nasıl hesaplanması gerektiği konusunda çeşitli araştırmalarda bulunulmuştur. İş yüklerini saha kontrol hizmetinde kontrol altında bulunan uçak sayıları olarak değerlendirilmiştir. Bu iş yüklerinin bir kümeleme ile sektörel dağılımını değerlendirmek gerekeceğinden öncelikle kümeleme konusunda bir araştırma yapılmıştır. Kümeleme işleminden sonra hava sahası sektörlerinin incelenerek yeniden tasarlanması yapılmıştır. Bunu gerçekleştirirken de parametrelerin fazla olması nedeniyle genetik algoritma kullanılmıştır.

Bir veri setindeki verilerin çeşitli özelliklerindeki benzerliklerine göre bir arada toplanması veya gruplanması olarak nitelendirilir. Pazar araştırmaları, internet sitelerinde belge sınıflandırmaları, deprem bölgelerinin tehlikelere göre gruplandırılmaları, kütüphanedeki kitapların düzenlenmesi, desen tanımlama, resim işleme ve hatta emlak sektöründe belirli bölgedeki evlerin fiyatlarının yüksek veya düşük olması gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Temelde 4 yöntem kullanılmaktadır [63].

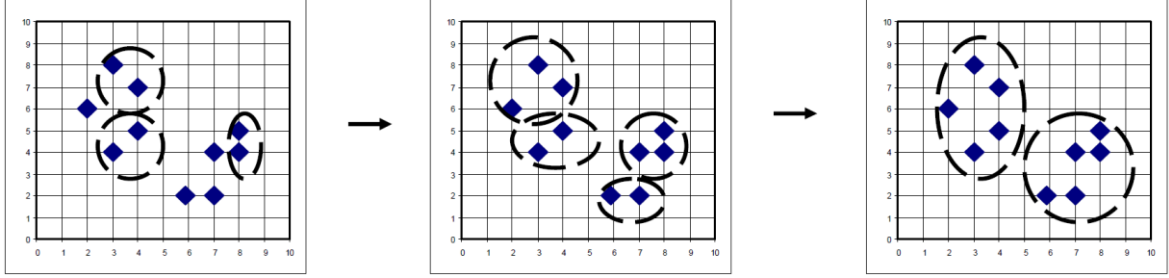
1. Bölümlemeli yöntemler (Partitioning methods)
2. Hiyerarsik yöntemler (Hierarchical methods)
3. Yoğunluk tabanlı yöntemler (Density-based methods)
4. Model tabanlı yöntemler (Model-based methods)

3.1 Bölümlemeli Kümeleme Yöntemleri

n adet veriden oluşan veri setini önceden verilen $k \leq n$ olmak üzere k adet kümeye bölmeye dayanır. Veri setindeki her bir eleman bir fark fonksiyonuna göre verilen k kümeden birine dahil edilir. k -means, k -medoids ve CLARA-CLARANS olarak bilinen algoritmaları kullanır. Sayısal veri tercih ettiğinden dolayı pazarlama, sigorta, eğitim, biyoloji ve jeoloji gibi birçok alanda benzer özellikli kümelemede ve görüntü işlemede kullanılır.

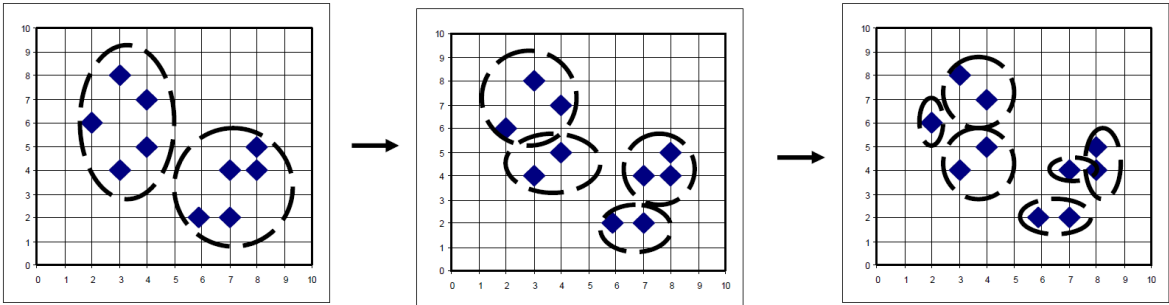
3.2 Hiyerarşik Kümeleme Yöntemleri

Çok kümeden tek kümeye dönüşen eklemeli veya tek kümeden tek kümeye geçen bölmeli yapıyı kullanılır. Eklemeli yapı AGNES (AGglomerative NESting) olarak da bilinir. 1990 yılında Kaufmann ve Rousseeuw tarafından önerilmiştir. İlk önce her nesne bir küme olarak alınır, aralarında en az uzaklık olan kümeler birleştirilir, sonuçta tek küme olana kadar devam eden bir süreci kullanır [64].



Şekil 3.1 AGNES yapı

Bölmeli yapı ise AGNES yapının yaptığı işlerin tersini yapar. Yine Kaufmann ve Rousseeuw tarafından 1990 yılında önerilmiştir. DIANA (DIvisive ANALysis) olarak da bilinir. Genel kümenin içinde birbirine en az benzeyen iki elemanı bularak kümeyi bu iki elemana olan yakınlıklara göre bölerek ve bu işlemi alt kümelerde de tekrarlayarak istenen küme sayısına veya belirli bir eşik değerine ulaşana kadar devam eden yapıdır.



Şekil 3.2 DIANA yapı

Kümeye bir eleman eklenmesi veya çıkarılması sonucunda Dendrogram denilen ağaç yapısı şeklinde oluşum gösteren yöntemlerdir [65]. Mevcut veri集中的 verilerin birbirleriyle benzer özelliklerine göre veya uzaklıklarına göre ardışık kümeler oluşturma ve yeni eklenecek elemanında bu niteliklere göre kümelenmelerini sağlamaktadırlar [66]. Hiyerarşik kümeleme metotlarının kullandığı uzaklıklara göre şöyle sıralayabiliriz;

- Tek Bağlantı Kümeleme Yöntemi (TEKBKY, Single Linkage, Nearest Neighbor Method): Küme elemanları arasındaki en düşük uzaklık değeri temel alınarak kümelerin oluşturulması esasına dayanır.
- Ortalama Bağlantı Kümeleme Yöntemi (ORTBKY, Average Linkage Method): Tek bağlantı ve tam bağlantı tekniği ile paralel olarak, kümeler arasındaki ortalama uzaklığın en düşük değerini temel alır.
- Tam Bağlantı Kümeleme Yöntemi (TAMBKY, Complete Linkage Method): İki kümenin elemanları arasındaki en yüksek uzaklığın minimum değerini temel alır.
- Küresel Ortalama Bağlantı Kümeleme Yöntemi (KOBKY Centroid Linkage Method): Bir kümeyi oluşturan gözlemlerin ortalamalarını esas alır. Kümede sadece bir merkez varsa onun değeri merkez olarak kabul edilir.
- Ward Bağlantı Kümeleme Yöntemi (WBKY, Ward Linkage Method): Minimum varyans yöntemi olarak da bilinen bu yaklaşım, bir kümenin ortasına düşen gözlemin, aynı kümenin içinde bulunan gözlemlerden ortalama uzaklığını ele alır ve toplam sapma karelerinden yararlanır.

Hiyerarşik kümeleme yöntemlerinin kullanıldığı algoritmalarından en bilinen iki tanesi şunlardır;

- En yakın komşu algoritması (Nearest neighbor method)
- En uzak komşu algoritması (The farthest neighbor algorithm)

Sayısal verilerde tercih edildiğinden bölümlenmeli kümele gibi veri madenciliği, istatistiksel, görüntü işleme ve birçok alanda tercih edilen bir yöntemdir.

3.3 Yoğunluk Tabanlı Yöntemler

Veri setindeki nesnelerin dağılımı bir yoğunluk fonksiyonu ile tespit edilir. Belirlenen eşik yoğunluğunu aşan bölgeler kümelenir. Rastgele şekillerde kümeler üretebilmektedir bu özelliği ile birlikte gürültü ve istisnalardan etkilenmemesi ve tek tarama ile sonuca ulaşma avantajları ile en başarılı kümeleme yöntemleri arasındadır [63].

Yoğun veri ortamının bulunduğu yerlerde kullanılır. Örneğin DBSCAN yöntemi veri tabanına bakışı uzaysal bir açıyla ele aldığı için genellikle uzaysal verilerin analizinde kullanılmaktadır.

Başlıca yoğunluk tabanlı yöntemler şunlardır [64] ;

- DBSCAN
- OPTICS
- DENCLUE
- CLIQUE

3.4 Model Tabanlı Yöntemler

Veri setindeki verileri bir matematiksel model ile ifade etmeye çalışan yöntemdir. Veri için düşünülen matematiksel modelin en uygun hale getirilmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda verinin belirli bir olasılık dağılımlarının karışımından geldiği kabul edilir. Bu yöntemler istatistik yaklaşım ve yapay zekâ yaklaşımı olarak iki temel yaklaşım kullanırlar. Tıp, eğitim gibi alanlarda kullanılmaktadır.

3.5 Kümeleme Yöntemlerinde Uzaklık Hesaplama

Kümeleme yöntemlerinde uzaklık hesaplama ile ilgili çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Biz bunlardan bilinen ve en çok kullanılanları yöntemleri Taşçı'nın [67] aktardığı gibi kısaca açıklayalım.

3.5.1 Öklid Uzaklığı

Kümeleme ve sınıflandırma algoritmalarında sıklıkla kullanılan bir uzaklık hesaplama yöntemidir. İki nokta arasındaki doğrusal uzaklığın hesaplanmasıdır. Yeni eklenecek elemandan etkilenmeyen bir uzaklık hesaplama yöntemidir. $P = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ve $Q = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$ şeklinde iki nokta olmak üzere Öklid uzaklığı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$|P - Q| = (\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2})$$

(3.3.1)

3.5.2 Manhattan Uzaklığı

n boyutlu iki nokta arasındaki farkların mutlak değerlerinin toplamıdır. Yine Öklid uzaklığındaki P ve Q noktalarını ele alırsak manhattan uzaklığı Formül 3. 2 ile hesaplanır.

$$|P - Q| = (\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|)$$

(3.3.2)

3.5.3 Minkowski Uzaklığı

Sınıflandırma, kümeleme gibi makine öğrenmesi, veri madenciliği uygulamalarında sıklıkla kullanılan Öklid uzayında tanımlı bir dizidir. $P = (x_1, x_2, x_3, \dots x_n)$ ve $Q = (y_1, y_2, y_3, \dots y_n)$ şeklinde iki nokta olmak üzere aşağıdaki formüle göre hesaplama yapılır.

$$|P - Q| = (\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^m)^{1/m}$$

(3.3.3)

Bu formülde m değerinin farklı değerleri için çeşitli uzaklık ölçütleri tanımlanabilmektedir. Örneğin $m=1$ için Manhattan uzaklığına; $m=2$ için bu formül Öklid uzaklığını ve $n \rightarrow \infty$ ise Chebyshev uzaklığını vermektedir.

3.5.4 Chebyshev Uzaklığı

Minkowski uzaklığı formülünde $n \rightarrow \infty$ şeklinde ifade edilirse elde edilir. iki nokta arasındaki farkların mutlak değerlerinin maksimumu olarak tanımlanmaktadır. Yine $P = (x_1, x_2, x_3, \dots x_n)$ ve $Q = (y_1, y_2, y_3, \dots y_n)$ şeklinde iki nokta olmak üzere aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$|P - Q| = \lim_{m \rightarrow \infty} (\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^m)^{1/m} = \max_{i=1}^n |x_i - y_i|$$

(3.3.4)

3.6 K – Ortalama (k-means) Algoritması

90'lı yıllarda kullanımı artmaya başlayan veri tabanı sistemleri ile artan çeşitlilikteki verilerin nasıl kullanılabileceği ve onlardan nasıl faydalana bileceği sorunları ortaya

çıkmiştir. Bu sorunlar ile veri madenciliği kavramı gelişmiştir. Veri madenciliği geniş bir veri kümesi içerisinde ilişkilerin, değişimlerin, düzensizliklerin ve önceden tespit edilememiş çok net olmayan ancak önemli bilgilerin keşfedilmesidir.

Veri madenciliği içerisinde demetleme yöntemleri bulunmakta ve bu yöntemler arasında da günümüzde de en yaygın kullanılanlarından birisi k-means Algoritması'dır. Yapısal olarak veri setinde bulunan n adet elemanı her bir elemanın sadece bir kümeye ait olduğu k adet kümeye dağıtmak veya k adet gruba ayırmaktır. Algoritma'nın ana fikri 1956 yılında Hugo Steinhaus tarafından ortaya koyulsa da terim olarak James MacQueen tarafından 1967 yılında kullanılmıştır [68]. 50 yıl önce kullanılmaya başlansa da günümüzde etkinliğini hala sürdürmektedir.

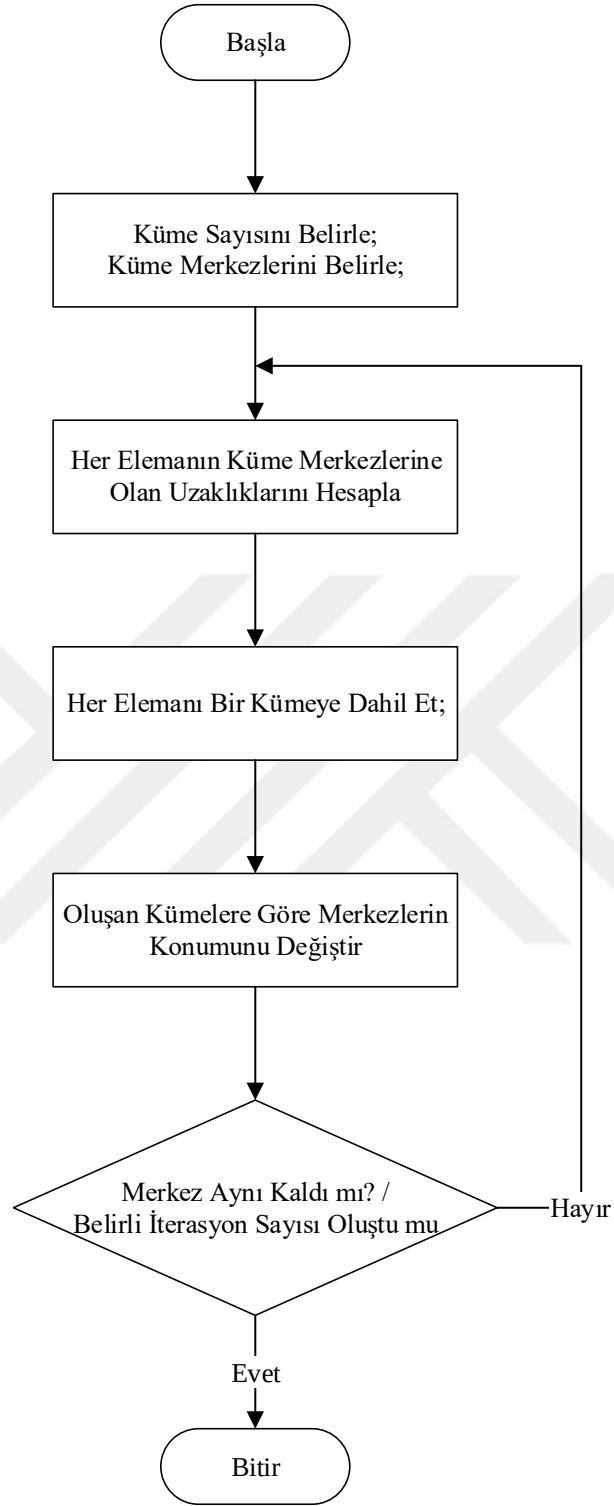
Uygulama mantığı noktaların merkezlere olan uzaklıklarını baz alarak en yakın olunan merkezin olduğu kümeye o noktanın dahil edilmesidir. Algoritmanın ismindeki "k" ifadesi de küme merkezlerinin sayısına k demekten gelmektedir. Sayısal verilerde düzgün çalışmaktadır. Çakışan kümelerde ise iyi sonuç vermeyebilir.

Aşamalarını şöyle sıralayabiliriz;

- Küme sayısı ve bu kümelerin merkezleri belirlenir,
- Veri setindeki n elemanın veya nesnenin seçilen merkez noktalarına uzaklıkları hesaplanır,
- Elde edilen uzaklıklara göre her bir eleman kendine mesafe olarak en yakın merkezin bulunduğu kümeye dahil edilir, oluşan kümeleme neticesinde merkez noktanın yeri kümedeki elemanların ortalama değeri ile değiştirilir,
- Merkez noktasının yeri ve değeri değişmeyene kadar veya belirli bir iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar bu işlemler ikinci aşamadan yeniden uygulanır.

Kümeleme yöntemlerinden karmaşıklığı az olanı k-means yöntemidir. Bu yöntemi kullanmak ve geçirmek kolaydır. Ancak bazı durumlarda iyi sonuç veremeyebilir. Bu durumlar;

- Veri gruplarının boyutları farklı ise
- Veri grupları farklı yoğunluklarda ise
- Veri grupları küresel dışında bir şekle sahip ise
- Veri içinde aykırılık var ise



Şekil 3.3 k-means akış şeması

k-means yöntemi adımlarının içerisinde bulunan uzaklıkların ölçümünün nasıl yapılacağı konusunda çeşitli yöntemler kullanılabilmektedir. Kullanılan yöntemlerin belirli

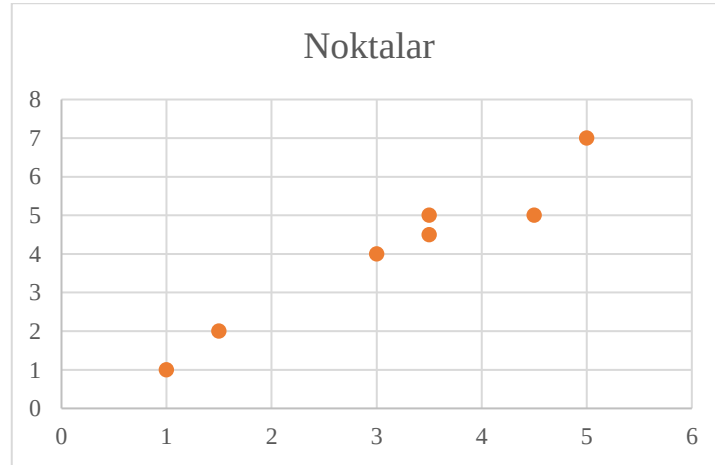
özellikleri de vardır. Örneğin uzaklık negatif olamaz, her elemanın kendine olan uzaklığı 0'dır veya iki nokta arasındaki uzaklık simetriktir.

3.6.1 Örnek k Ortalama (k-means) Algoritama Çalışması

Öncelikle veri setimizi oluşturuyoruz [69]. Bu veri setinde 7 noktamız bulunmaktadır. Her noktanın X ve Y koordinatları vardır. Aynı zamanda k yani kümse sayısı değerimizi de 2 olarak belirliyoruz. Rastgele 2 noktamızı da bu kümelerin merkezi olarak belirliyoruz bunlar en uzak olan 2 noktalar (1 ve 4 nolu noktalar)

Tablo 3.1 k-means örnek veri seti

Nesne No	X	Y
1	1	1
2	1,5	2
3	3	4
4	5	7
5	3,5	5
6	4,5	5
7	3,5	4,5



Şekil 3.4 k-means veri seti örnek noktaları

Daha sonra diğer noktaların bu merkezlere olan uzaklıkları Öklid kullanılarak hesaplanır.

Tablo 3.2 Noktaların merkezlere olan uzaklıkları

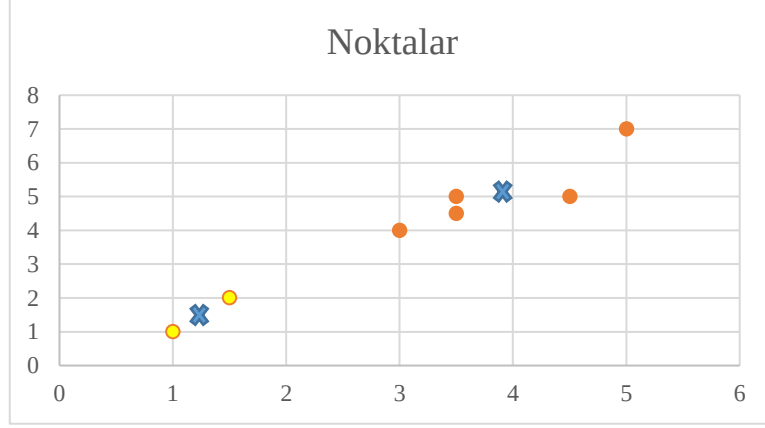
	1. Merkeze Olan Uzaklık	2. Merkeze Olan Uzaklık	Yakın Olunan Merkez No
Nesne 2	1,118	6,103	1
Nesne 3	3,052	3,606	1
Nesne 5	3,145	2,500	2
Nesne 6	3,771	1,031	2
Nesne 7	2,734	1,434	2

1 ve 2 numaralı küme merkezlerine yakın olunan noktalardan bu kümelerin yeni merkezinin hesaplanması gerçekleşir. O kümeye ait noktaların (nesne) X ve Y değerlerinin ortalama değerleri hesaplanır. Böylece yeni merkezin X ve Y noktaları elde edilmiş olur.

Tablo 3.3 Yeni merkez tespiti

	Yeni Merkez 1		Yeni Merkez 2	
	X	Y	X	Y
Başlangıç	1	1	5,000	7,000
Nesne 2	1,250	1,500	5,000	7,000
Nesne 3	1,833	2,333	5,000	7,000
Nesne 5	1,833	2,333	4,250	6,000
Nesne 6	1,833	2,333	4,333	5,667
Nesne 7	1,833	2,333	4,125	5,375

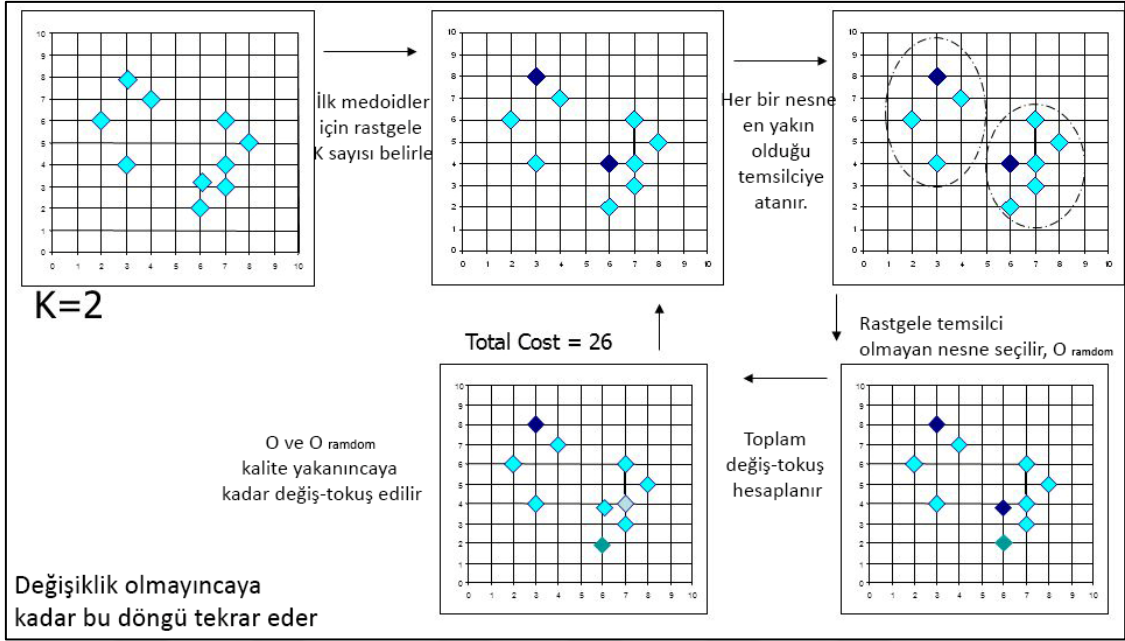
Yeni merkezlerin X ve Y noktalarına göre Öklid uzunlukları hesaplanır ve böylece ikinci iterasyon sağlanır. İterasyonun devamında küme merkezi değişimi yeniden hesaplanır ve Öklid hesabı yeniden yapılarak iterasyonlar devam eder. Ne zaman kümelerin merkezleri ve gruplarda değişim olmazsa o zaman işlem sona erer ve kümeleme gerçekleşmiş olur. 3. iterasyon sonunda gruplarda değişim olmaz. Bu durumda algoritma sonlandırılır. En son oluşan küme merkezi değerleri küme 1 için (1.3 - 1.5) iken küme 2 için (3.9 - 5.1)'dir.



Şekil 3.5 k-means sonucunda elde edilen kümeler

3.7 K-medoids Yöntemi

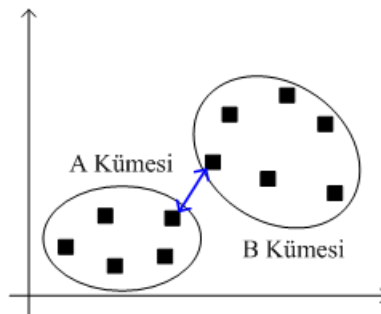
1987 yılında Kaufman ve Rousseeuw tarafından k -means algoritmasının gürültü ve istisna verilerine aşırı duyarlılığını gidermek amacıyla geliştirilen nesne temelli bir tekniktir. Algoritma kümeyi temsil edecek merkez noktayı bulmak için küme elemanlarının ortalamasını almak yerine kümenin en merkez noktasındaki elemanı yeni küme merkezi olarak alır. Böylece istisna verilerin küme merkezini kenarlara doğru kaydırması problemi giderilmiş olur. Bu algoritmanın birçok farklı modeli bulunmaktadır. Bunlardan ilk ortaya atılan PAM (Partitioning Around Medoids) 'dır. İlk olarak rastgele seçilen k adet veriyi merkez alır. Her yeni veri eklendikçe kümenin bütün elemanlarını deneyerek kümenin gelişmesine en fazla katkıda bulunabilecek noktayı tespit eder. Bulduğu bu noktayı yeni merkez yapar, eski merkezi ise sıradan bir küme elemanı olacak şekilde yer değiştirir. PAM, büyük veri tabanlarında başarılı olamayınca 1990 yılında Kaufman ve Rousseeuw bu kez CLARA (CLARANS) isimli diğer modeli ortaya atmışlardır. Model veri tabanının tamamı yerine küçük bir örneklem kümesini ele alıp bu örneklem üzerine PAM algoritmasını uygular. Böylelikle daha büyük veri kümelerine uygulanabilir olmaktadır. Bunun yanı sıra seçilen örneklemin boyuna göre performansının değişmesi ve seçilen örneklemin veri setini yeterince temsil edememiş olması durumunda yanlış sonuçlar verebilme olasılığından dolayı bir dezavantaja sahiptir [63]. k-medoids yönteminin basit bir uygulaması Şekil 3.6 da verilmiştir [70].



Şekil 3.6 k-medoids uygulama örneği

3.8 En Yakın Komşu Yöntemi

Hiyerarşik kümelemenin örnek tabanlı öğrenme biçimli bir yöntemidir. Başlangıçta veri setindeki her bir eleman bir küme olarak ele alınır. Her adımda bu kümeler birleştirir ve yeni kümeler elde edilmiş olur. K-means algoritması gibi önce veri setindeki her noktanın arasındaki uzaklıklar Öklid, Manhattan veya Minkowski gibi uzaklık ölçüm hesapları kullanılarak hesaplanır. Literatürde k sayısının en uygun deneme yanılma yöntemi ile bulunması belirtilmektedir [71]. Önemli olan, her bir kümenin özelliklerinin önceden net bir şekilde belirlenmiş olmasıdır.



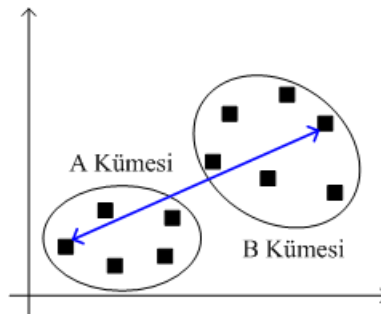
Şekil 3.7 Kümeler arası en yakın noktalar

Yöntemin performansını k en yakın komşu sayısı, eşik değeri, benzerlik ölçümü ve öğrenme kümesindeki normal davranışların yeterli sayıda olması kriterleri etkilemektedir. Sınıflandırma sırasında çıkarılan özelliklerden, sınıflandırılmak istenen yeni bireyin daha önceki bireylerden k tanesine yakınlığına bakılır. Örneğin $k=3$ için yeni bir eleman sınıflandırılmak istensin. Bu durumda eski sınıflandırılmış elemanlardan en yakın 3 tanesi alınır. k değeri çok küçük olursa model çok etkilenir. Çok büyük olursa da tek bir sınıf gibi düşünülür. Aşamaları;

- Yeni gelen birey sınıfa eklenir.
- k komşusuna bakılır.
- Çeşitli uzaklık fonksiyonları (Manhattan, Minkowski, Öklid) kullanılarak uzaklık hesaplanır.
- En yakın neresi ise birey oraya atanır.

3.9 En Uzak Komşu Algoritması

Tam bağlantı kümeleme yöntemi olarak da bilinmektedir. En yakın komşu algoritmasına benzerlik göstermektedir. Tek bir veriden oluşan kümeler arasındaki uzaklıklar herhangi bir uzaklık bağıntısı ile hesaplanır. Birden fazla değere sahip kümeler arasında mesafeler hesaplanırken iki kümede birbirine en uzak olan iki veri noktası arasındaki uzaklık kümeler arası uzaklık olarak belirlenir. i ve j olarak belirlenen iki nokta arasında hesaplanan uzaklıklar göz önüne alınarak en küçük değer $\text{Min}[d(i, j)]$ tespit edilir. Bu uzaklıklar ile ilgili satırlar birleştirilir ve yeni bir küme elde edilir. Elde edilen yeni kümeye göre uzaklıklar tekrar hesaplanarak işlem devam eder [72].



Şekil 3.8 Kümeler arası en uzak noktalar

4 GENETİK ALGORİTMA

Kümeleme işlemlerinde sonucun en iyi, en ideal olması beklenmektedir. Ancak çoğu zaman optimizasyon teknikleriyle birlikte kullanılarak istenen en iyi çözüme ulaşmak hedeflenir. Bu çalışmada ki optimizasyon, sektörlerin sayısı, kontrolörlerin iş yükü, kontrolör sayısı ve sektör alanı büyüklüğü parametrelerinin değişim aralığından dolayı lineer yöntemlerle çözümü zor olan NP-hard problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden optimizasyon tekniklerinden sezgisel bir yöntem olan genetik algoritma kullanılmıştır.

Matematiksel veya belirli kurallara göre tanımlanan problemleri çözmek için algoritmalar kullanılmaktadır. Optimizasyon çalışmaları için sezgisel algoritmalar da kullanılmaktadır. Optimizasyon yöntemi olarak Genetik Algoritma ilk olarak, John Holland ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda 1970'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Temel amacı, fazla sayıda sınırlama içeren ve karmaşık optimizasyon sorunlarının çözümlerini yazılımlar yardımıyla araştırmaktır. Genetik algoritmalar rastgele arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan bir yöntemdir. Genetik algoritmalar optimize etmeye çalıştıkları problemle ilgili herhangi bir bilgiye ihtiyaç duymazlar. Problemlerin parametre değerleri ve uygunluklarını değerlendirirken kodlama ihtiyacı duyar [73]. Belirli problemlerin çözümlerinde diğer metotlara nazaran daha etkili çözümler sunarlar. Buda optimum sonuca ulaşmada daha hızlı mesafe almayı sağlarlar. Doğrudan amaç fonksiyonunu kullanırlar. Aramaya tek noktadan değil noktalar kümesinden başlarlar.

4.1 Genetik Algoritma Adımları

Bir genetik algoritma adımları aşağıdaki şekilde sıralanabilir

- a) Başlangıç,
- b) Birey Sayısı, Mutasyon Oranı, Çaprazlanacak Bit Sayısı ve Nesil Sayısı girilir,
- c) Kodlama yapılır ve Başlangıç Topluluğu oluşturulur,
- d) Bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır,
- e) Sonlandırma sorgusu yapılır, uygunsa (h) adımına geçilir.
- f) Çaprazlama yapılır, yeni nesil üretilir,
- g) Uygun bireyleri seçerek yeni topluluk oluşturulur ve (d) adımına geçilir,
- h) İşlemler sonlandırılır.

4.1.1 Başlangıç Topluluğu Oluşturma

Genetik Algoritmayı bir probleme uygulamadan önce, verinin nasıl kodlanacağı ve mümkün olabilen çözümler kümesinden örnek çözümlerin bilinmesi gerekir. Genel olarak en yaygın kodlama uzunluğu belirlenmiş bit katarı şeklindedir. Başlangıç topluluğu, rastgele veya kestirme ile genelleştirilmiş potansiyel çözümler kümesidir. Rastgele olarak seçilen ilk topluluk, çözümler hakkında hiç bilgi yoksa kullanılır. İkinci yöntemde yaklaşıma bilinen bir çözüm kümesinden başlanılır. Buda iyi çözüme ulaşmaya, daha kısa sürede imkân sağlayacaktır.

4.1.2 Uygunluk

Başlangıç topluluğu bir kez oluşturulduktan sonra evrim başlar. Genetik algoritma bireylerin uygunluk ve iyiliklerine göre ayrılıp fark edilmesine gerek duyar. Uygunluk, topluluktaki bir kısım bireyin problemi nasıl çözeceğini belirlemek için iyi bir ölçüdür.

4.1.3 Tekrar Üretme

Yeniden üretme operatörü, hazır topluluktan uygun olan bireylerin seçilmesi ve bunların sonraki topluluğa kopyalanarak hayatta kalmalarını sağlamak için işletilir.

4.1.4 Çaprazlama

Amacı daha iyi, daha dayanıklı birey oluşturup ait olduğu bireyler topluluğunun neslini dışarıdan etkiyle daha mükemmel hale getirmektir. Bu işlem yapılırken her zaman sonuçlar önceden tahmin edilemez. Bu yüzden gelişigüzel yapılan değişikliklerde sonucun mükemmelliğe doğru gitmesi için belirli kriterler bulmak için çalışılır.

4.1.5 Mutasyon

Elimizdeki birey katarında rastgele bir bit bilgisinin alternatifinin alınmasıyla ilgilidir. Mutasyon aramada kısır döngüye girilmemesini sağlamak, toplulukta çözüm olmayan birbirine benzer bireylerden kurtulmak ve yeni alt en uygun çözümler bulunmasını sağlamak için kullanılır. İkili kodda bu ilişki 0' ın 1' e ve 1' in 0' a değiştirilmesidir. Mutasyon ihtimalinin değeri genellikle 0.001 ile 0.01 sınırında çok küçük tutulmaktadır. Topluluk büyüklüğü arttıkça bu ihtimal değerinin de küçülmesi gerekmektedir.

	Mutasyondan önce	Mutasyondan sonra
1. döl	10011001	1|1|011001
2. döl	11011100	1101|0|100

4.1.6 Genetik Algoritma Örnek Çalışması

Basit bir genetik algoritma örneğini şu şekilde düşünebiliriz. A ilinde bulunan bir havalimanında bir uçuşun gerçekleşebilmesi için hava şartlarının iyi, uçuşu tehdit edecek nesnelerin de olmamasını istemekteyiz. Hava şartları ve uçuş tehdidi 0 – 15 değerleri arasında olacak şekilde 8 bitlik bir uçuş bilgisi kodlanacaktır.

Hava şartlarının maksimize ve uçuş tehdidinin ise minimize edilmesi ile en ideal uçuş bilgisini kodlamaya çalışalım.

8 Bitlik uçuş bilgisini iki ayrı 4 bit gibi düşünelim;

Uçuş bilgisine a ,

Hava Şartlarına x

Tehdit Unsurlarına da y diyecek olursak

Uçuş Bilgisi = x (4 bit) y (4 bit) şeklinde kodlanacaktır.

$a = xy$ de diyebiliriz.

a	x (Hava)				y (Tehdit)			
(8 Bit)	8	7	6	5	4	3	2	1

$$f(x,y) = \frac{x[i]}{16} + \frac{16-y[i]}{16} \quad (4.1)$$

Denklemimizin iki değeri de 0 – 1 arasında olacak ve her iki değerinin 1 olması durumunda $f(x,y)$ en fazla 2 değerini alacaktır.

$$0 \leq \frac{x[i]}{16} \leq 1 \text{ ve } 0 \leq \frac{16-y[i]}{16} \leq 1 \quad (4.2)$$

şeklinde yazabiliriz.

Rastgele seçilmiş 0, 36, 74, 108, 137, 182, 209 ve 255 değerlerini elle çözüm için kullanalım.

0	00000000
36	00100100
74	01001010
116	01110100
137	10001001
182	10110110
209	11010001
255	11111111

Binary değerleri başlangıç topluluğu olarak belirlenir. x ve y değerleri hesap edilerek f(x,y) fonksiyonu bulunur.

Örneğin;

a= 36 için	x	y
	0010	0100
	x = 2	y = 4

$$f(x,y) = \frac{x[i]}{16} + \frac{16-y[i]}{16} = \frac{2}{16} + \frac{16-4}{16} = \frac{14}{16} = 0,875 \text{ olur} \quad (4.3)$$

Tablo 4.1 Genetik algoritmanın elle uygulaması

Sayı (i)	String	x	y	f(x,y)	P seçilen
0	00000000	0000	0000	0	0
36	00100100	0010	0100	0,875	1
74	01001010	0100	1010	0,625	1
116	01110100	0111	0100	1,187	1
137	10001001	1000	1001	0,937	1
182	10110110	1011	0110	1,312	1
209	11010001	1101	0001	1,75	2
255	11111111	1111	1111	1	1

Bireylerin uygunluk değerlerinin seçime yansımāsından kaç adet kopya oluşturulacağı veya hiç kopya alınmayacağı belirlenir. Yukarıdaki tabloya göre 209 sayısından 2 kopya alınacaktır. 0 sayısından hiç kopya alınmayacak ve diğer sayılardan 1 er kopya alınacak ve yeni topluluk oluşturulacaktır. Daha sonra çaprazlama operatörüyle yeni nesildeki bireyler rastgele gen özellikleriyle çaprazlanacak ve böylece bir nesilden diğer nesile kromozomlar aktarılırken, uygun kromozomların iyi özellikleri tekrar üreme adımında kullanılarak en iyi kromozomlar elde edilebilir. Elle yapılabilen bu örnekte çözüm uzayı yeterince daralarak birbirlerine daha çok benzeyecek bireyler oluştuğu birkaç adım sonra görülecektir.



5 İŞ YÜKÜ DAĞILIMI VE SEKTÖRLERİN YAPILANDIRILMASI

5.1 Veri Toplama

DHMI 'ye bağlı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) ile yapılan yazışmalar ile Türkiye'nin hava sahası sektörel yapısı ve bu sektörlerin trafik yükleri talep edilmiştir. SHGM tarafından Türkiye hava sahası sektörel yapısı verilmiştir. Bu yapı Şekil 2.7 ile daha önceden aktarılmıştı. Yine bu görüşmeler ile 30 Nisan 2017 gününe ait 24 saatlik dilimde sektörlerde gerçekleşen uçuş sayısı Tablo 5.1 de verilmiştir. İzmir Kuzey ve İzmir Güney sektörleri DHMI tarafından tek bir veri olarak iletildiğinden bu iki sektör birleşmiş gibi değerlendirilmiştir. Ancak Şekil 2.7'de de görüleceği üzere sektör yapılanmasında bu iki sektör ayrı ayrı olarak düşünülmüştür [52].

Tablo 5.1 Türkiye hava sahası sektörleri uçuş sayıları

Sıra No	Sektör Adı	Gerçekleşen Uçuş Sayısı
1	İstanbul Batı	613
2	İstanbul Doğu	1102
3	İzmir Kuzey	347
4	İzmir Güney	
5	Ankara Kuzey 1	879
6	İzmir Doğu	345
7	Ankara Güney	1224
8	Ankara Batı	1162
9	Ankara Kuzey 2	1015
10	Ankara Kuzeydoğu	929
11	Ankara Güneydoğu	534
12	Ankara Merkez 1	455
13	Ankara Merkez 2	703

Bir sektörün değerlendirilmesinde sektördeki uçuş sayısı, transit geçişler, sektöre uğrayıp yeniden yapılan girişler, kontrolörün toplam iş yükleri, sektörlerin alan büyüklükleri birer parametre olarak çözüm kümesi verimine etki etmektedir.

Ns: Sektörlerin sayısı

Ny: Kontrolörün iş yükü

Nk: Kontrolör sayısı

Na: Sektör alanı büyüklüğü

Bu parametrelerin çok olması problemimizin NP-hard problem olduğunu göstermektedir. Bu tarz problemlerin lineer çözüm yöntemleriyle çözülmesi mümkün değildir. Bu nedenle de bir algoritma kullanılarak çözülmesi gerekecektir. Bizlerde Genetik Algoritma kullanarak problemimizi çözüme kavuşturmaya çalıştık.

Delahaye sektör tasarımı sektör şekillerini operasyonlara göre şekillendirme olarak ele almıştır [36]. Yine bu tasarım hava trafik kontrolörlerince kabul edilecek geometrik şekillerden oluşmaktadır. Çalışmada maliyet fonksiyonu için şu kriterler ele alınmıştır;

- Sektörler arası iş yükü dengesizliği,
- Koordinasyon iş yükü,
- Sektöre yeniden girişlerin sayısı,
- Oluşan sektör sayısı,
- Sektör sınırlarına yakın çatışma sayısı,
- Sektör boyunca oluşan kısa giriş – çıkış (transit) sayısı.

Çalışmanın sınırlılıkları ise şu şekildedir;

- Bir hava sahası sektörü hava sahasının kesintisiz bir parçası olmalı ve bloklar bağlantısız olmamalıdır,
- Tasarlanan sektörlere trafik yükleri eşit olarak dağıtılmalı ve her sektöre ait iş yükü bir miktar üst sınırı aşmamalıdır,
- Sektöre giren her uçuş belirli bir minimum sürede (1 dk) sektörde kalmalıdır,
- Sektör tasarımı yapılırken sektör sınırları ile çatışmalar arasında yeterli mesafe olacak şekilde tasarlanmalıdır,
- Sektörün şekli ana trafik akışını takip etmelidir,
- Bir sektör çeşitli uçuş seviyelerindeki birbiriyle bağlı olan birkaç bloktan oluşabilir,

- Sektör şekilleri üç boyutlu olmalı ve merdiven veya balkon gibi sektör şekilleri kısıtlanmalı veya yasaklanmalıdır.

Delahaye'nin yaptığı çalışma Eurocontrol için 3 boyutlu olarak hazırlanmıştır.

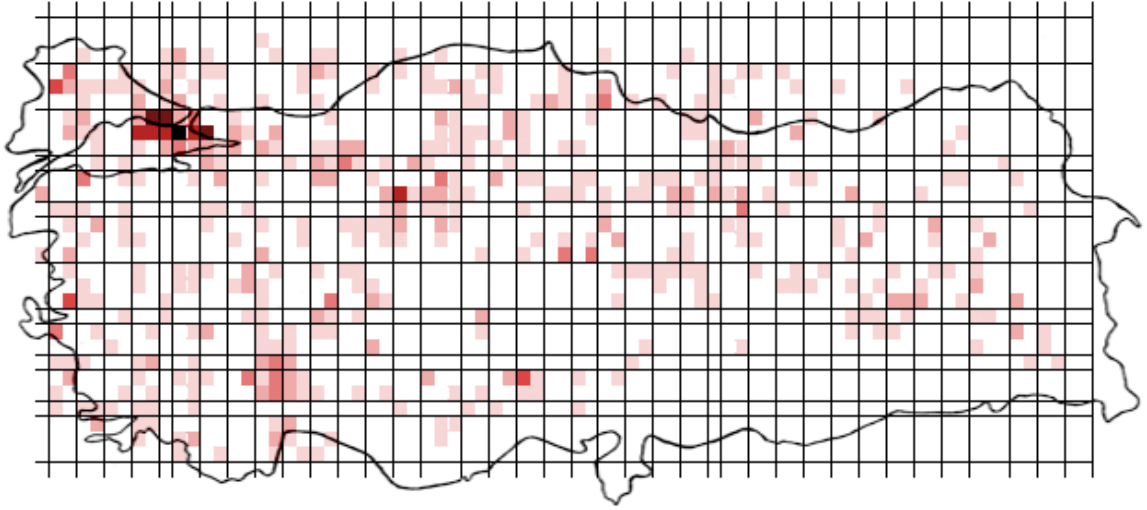
Çalışmamızda ilk olarak DHMİ'den sektörlerin 24 saatlik iş yüklerini ele alınmıştır. www.flightradar24.com internet sitesinden saha kontrol hizmeti çerçevesinde Delahaye 'nin çalışmasında da kullandığı gibi hava trafiğinin yoğun ve iş yükünün maksimum olduğu belirli birkaç saatlik dilimde uçan uçakların uçuş görüntüleri alınmış ve mevcut sektör sınırları içerisindeki yayılımı saha kontrolü bazıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1 Türkiye hava sahası örnek trafik yoğunluğu (12/07/2017 – 10:30) [74].



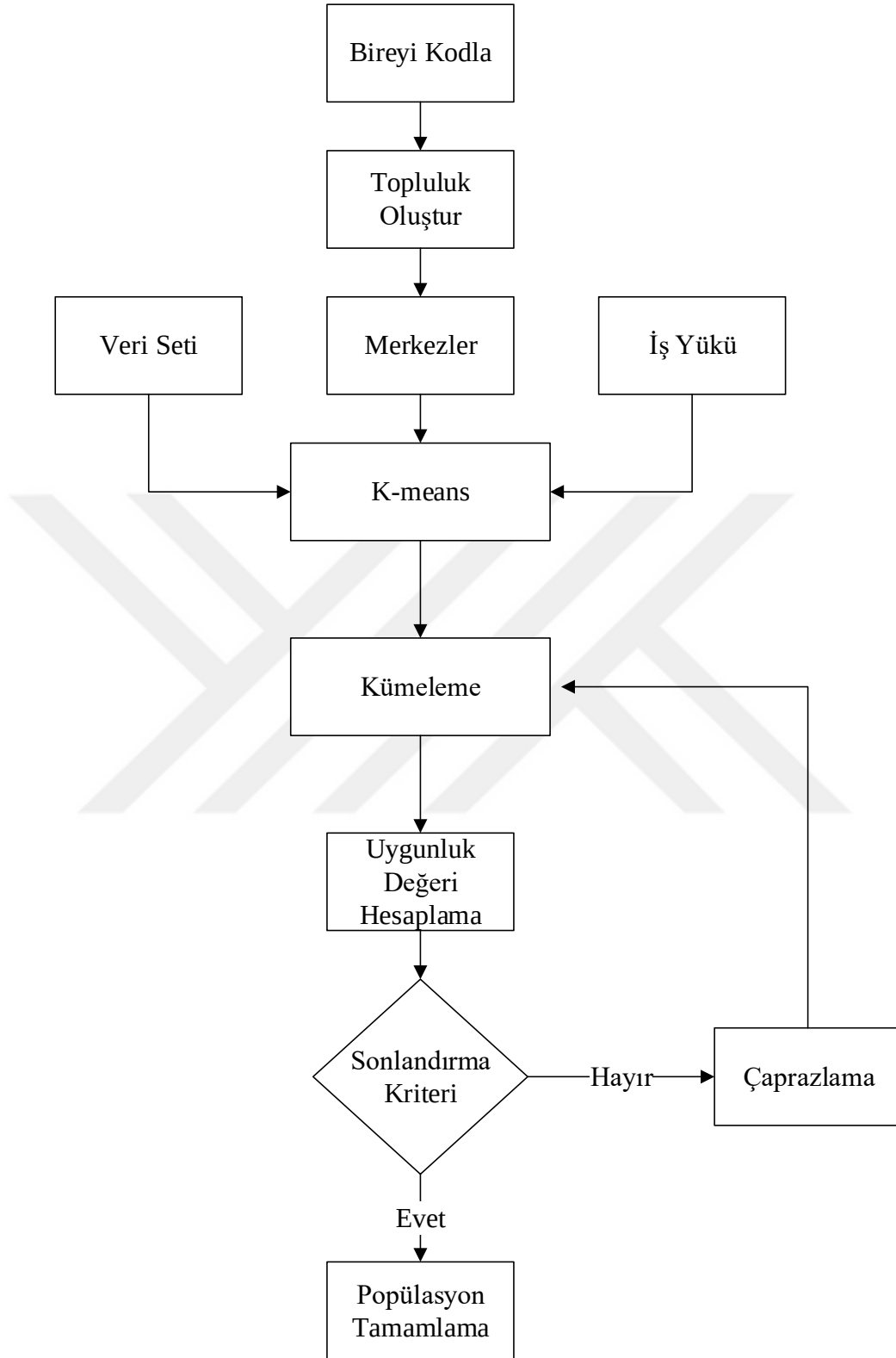
Şekil 5.2 Hava trafik yoğunluğunun sektörel olarak gösterilmesi



Şekil 5.3 Türkiye hava sahası yoğunluğu

5.2 Uygulama

İlk olarak problem basitleştirilmeye çalışılmış ve ülkemiz hava sahası kare şeklinde hücelere ayrılmıştır. Sonra da her hücrenin ağırlığı kontrol edilen veya içinden geçen uçak sayısı olarak nitelendirilmiş ve her hücre için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler bir 32 x 80 matriste toplanmıştır. Sonra kümeleme ve genetik algoritma beraber kullanılarak merkez noktaların hesaplanması ve iyileştirilmesi ile kümeleme gerçekleştirilmiştir. Sistem blok diyagramı Şekil 5.4 ile verilmiştir.



Şekil 5.4 Sistem blok diyagramı

5.2.1 Kümeleme

Veri seti oluşturulduktan sonra oluşturulan matristeki verileri kümeleme işlemine geçilmiştir. Kümeleme işleminde k-means algoritması kullanılmıştır. Algoritma başlangıcında elimizde bulunan veri setinin ilk önce küme merkezlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. İlk küme merkezleri rastgele seçilmiştir.

Algoritmanın sonraki adımında içinde trafik verisi olan her noktanın bütün merkezler ile arasındaki mesafe ölçülmüştür. Bu ölçümde Öklid uzaklığından faydalanılmış ve bir mesafe hesaplaması yapılmıştır. Bir noktanın merkezler ile arasındaki uzaklık değerlerinden en küçük olan merkez noktanın en yakın olduğu merkez olduğundan nokta o merkezin ait olduğu kümeye atanmalıdır (k-means algoritması).

Ancak çalışmamızın temel amacı iş yükünü eşit dağıtmak olduğundan kümeleme yapılırken kümelerin iş yükleri de hesaplanmıştır. Herhangi bir k kümesinin iş yükü $w(k)$ şeklinde ifade edilecektir. Sistemin genel iş yükü bütün kümelerin iş yükü toplamı olarak hesaplanmış ve bu genel iş yükü sektör sayısına bölünerek ortalama iş yükü değeri veya kapasitesi olarak belirlenmiştir.

$$W(S) = \sum_{i=1}^K w(k) \quad (5.1)$$

$$W = \frac{W(S)}{K} \quad (5.2)$$

K toplam küme sayısı olmak üzere $W(S)$ sistemin iş yükü toplamını, W ise ortalama iş yükü veya kümenin kapasite değerini göstermektedir.

Eğer noktanın atanmak istendiği kümenin iş yükü değeri ortalama iş yükü değerinden küçük ise o kümenin uygun olduğu ve elemanın o kümeye eklenebileceğine; eğer ortalama değerden büyük ise o kümenin dolu olduğunu ve bir sonraki mesafesi kısa olan kümeye dahil edilmek için tekrardan iş yükü değerlerinin kontrol işlemine geçilmiştir.

Nokta herhangi bir kümeye atanana kadar kümelere tek tek bakılmıştır. Noktanın kümeye dahil edilmesinden sonra sırayla bütün noktalar için bu işlemler tekrarlanır. Tekrarlama bittikten sonra ilk kümeleme gerçekleşmiş olur.

İlk kümeleme bitince bir iterasyon başlar ve hata payı ölçülür. Hata payının nasıl ölçüldüğü denklem 5.3, 5.4 ve 5.5 ile verilmiştir.

$$D_k = \frac{\sum_{i=1}^N |\vec{P}_i - \vec{C}_k|}{N} \quad (5.3)$$

$$D = \sum_{k=1}^K D_k \quad (5.4)$$

$$E = \sum_{k=1}^K \left| \frac{D}{K} - D_k \right| \quad (5.5)$$

D_k ifadesi bir k kümesindeki mesafe toplamlarının kümedeki eleman sayısına oranını ifade etmektedir. Buradaki $|\vec{P}_i - \vec{C}_k|$ ifadesi ise k kümesindeki bir i noktasının ($\vec{P}_i$) o kümenin merkezine ($\vec{C}_k$) olan uzaklığın Öklid bağıntısı ile hesaplanmasını göstermektedir. N ise k kümesinin eleman sayısıdır.

D ifadesi bütün kümelerin D_k değerlerinin toplamını göstermektedir. K küme sayısıdır.

E ifadesi sistemin hata payının hesaplanmasını göstermektedir. Bu hata payı 1 değerinin altına düşünce veya iterasyon değeri 100 oluncaya kadar sırayla önce her kümenin bir ağırlık noktası hesap edilir ve bu noktalar yeni merkez olarak belirlenir. Ardından kümeler sıfırlanır ve bu yeni merkezlere göre yeniden kümeleme gerçekleşir. Yeni kümelemeyle hata toplamı değeri tekrar kontrol edilir.

5.2.2 Genetik Algoritma

k-means algoritması uygulandıktan sonra yeni küme merkezlerinin bir önceki küme merkezinden daha iyi konumda olup kümelemeyi daha düzenli hale getirmesi gereklidir. Çalışmamızda bunu gerçekleştirmek için bir uygunluk fonksiyonu doğrultusunda genetik algoritma kullanılmıştır.

5.2.2.1 Başlangıç Topluluğu Oluşturma

Genetik algoritma adımları gereği öncelikle bireylerin oluşması gereklidir. Devamında bu bireyler topluluğumuzu meydana getirecektir.

Bireyler mevcut sektör veya küme sayısı kadar 12 bitlik değerlerin birleşmesi ile oluşmuştur. Bu 12 bitin 5 biti X ve 7 biti Y koordinatı olacak şekilde rastgele değerlerden

seçilmiştir. Çalışmamızda sektör sayısı 13 olduğuna göre her bir birey $13 * 12 = 156$ bitten oluşmaktadır. Örneğin;

Birey1 = 001000000110110111000100.....011110110101

...

...

Birey 100 = 100100101001101000100111.....001011001101

Alınan Bireyler 100 elemanlı bir havuzu oluşturmuşlardır. Böylece topluluğumuzu elde etmiş oluruz. Buradaki 100 sayısı bizim belirlediğimiz bir alternatif değerdir

Birey	
1	001000000110110111000100.....011110110101
2	.....
⋮	
100	100100101001101000100111.....001011001101

Bu oluşumdan sonra havuzdaki her bireyin ilk bitten başlamak üzere sırayla 5 biti X ve devamındaki 7 biti Y olacak şekilde sektör sayısı kadar sırayla merkez nokta olarak belirlenmiştir. k-means algoritması bu merkezlere göre yeniden uygulanır.

Birey1 = 001000000110110111000100.....011110110101 şeklindeyse bu bireyden oluşacak merkezler;

Merkez 1		Merkez 2		.....	Merkez 13	
X	Y	X	Y		X	Y
00100 (4)	0000110 (6)	11011 (27)	1000100 (68)	.....	01111 (15)	0110101 (53)

Birey 100 = 100100101001101000100111.....001011001101 şeklinde, o halde bu bireyden oluşacak merkezler

Merkez 1		Merkez 2			Merkez 13	
X	Y	X	Y		X	Y
10010 (18)	0101001 (41)	10100 (20)	0100111 (39)	.....	00101 (5)	1001101 (77)

5.2.2.2 Uygunluk

Yeni merkezler belirlendikten sonra kümelerin iş yükleri yeniden değerlendirilerek evrimin başlaması sağlanacaktır. Genetik algoritma yapısı gereği bireyleri uygunluk değerlerine göre yorumlar. Bizde uygunluk fonksiyonumuzu belirleyerek bundan sonra oluşacak kümelemede bu fonksiyona göre çözüm üretiriz. Sistemimizin uygunluk fonksiyonunu hesaplamak için öncelikle bazı hesaplamaları gerçekleştirmemiz gerekecektir.

$$\delta(k) = \frac{|w(k) - \frac{W}{K}|}{\frac{W}{K}} \quad (5.6)$$

Denklem 5-6 ile herhangi bir k sektörünün iş yükündeki dengesizliği hesap edilir. Burada K toplam küme sayısı, $w(k)$ k noktasının iş yükü değeri ve W ise sistemin ortalama iş yükü değeri veya herhangi bir kümenin iş yükü kapasitesidir. W değerinin nasıl hesaplandığı denklem 5-2 de daha önce verilmişti. Elde edilen iş yükü dengesizliği bütün kümeler için hesap edilir ve Formül 5.7 uygulanarak sistemin ortalama bir iş yükü dengesizlik değeri belirlenir.

$$y_1 = \bar{\Delta} = \frac{\sum_{k=1}^K \delta(k)}{K} \quad (5.7)$$

Sistem iş yükü dengesizliği hesaplandıktan sonra bu iş yükü dengesizliğinin standart sapma değeri Delahaye'nin hesapladığı şekilde Formül 5.8 ile hesaplanmıştır.

$$y_2 = \sigma_{\delta} = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (\delta(k) - y_1)^2} \quad (5.8)$$

Sistemimizin genel uygunluk fonksiyonu için başka parametre değerlendirilmemiştir. Ancak başka parametre eklenmesi gerektiği durumda sadece uygunluk fonksiyonuna küçük bir ekleme yapılması yeterli olacaktır. Mevcut iki parametre için birer uygun katsayı kullanılarak sistemin genel uygunluk fonksiyonunu hesaplanmıştır. Çözüm için katsayılar $\frac{1}{2}$ seçilmiştir.

$$y = \frac{1}{2} y_1 + \frac{1}{2} y_2 \quad (5.9)$$

Sistemimiz topluluk yapısındaki 100 bireyin uygunluk fonksiyonunu belirleyerek küçükten büyüğe doğru sıralamıştır. Devamında kümeleme işlemi yeniden yapılmıştır.

5.2.2.3 Çaprazlama ve Tekrar Üreme

Bireylerin olduğu havuz uygunluk değerlerine göre sıralandıktan sonra çaprazlama yapılarak yeni nesil üretilir. Çaprazlama işleminde havuzdan rastgele 2 birey seçilir. Bu bireylerin yine rastgele seçilen 4 biti karşılıklı yer değiştirir. Böylece 2 birey için çaprazlama yapılmış olur. Bu işlem 25 defa ($100 / 4$) tekrar edilir. Böylece 25 tane yeni birey elde edilmiş olur. Dolayısıyla ilk popülasyon gerçekleşir. Belirlenen popülasyon sayısına ulaşıncaya kadar işlemler tekrar edilir.

Örneğin 1 ve 100 nolu bireyler rastgele seçilenler olsun. Bu iki bireyinde rastgele 4 biti seçilsin

Birey1 = 0010000001**1011**0111000100.....01111 0110101

Birey 100 = 1001001010011**0100**0100111.....00101 1001101

Seçilen bitler karşılıklı yer değiştirilince bireylerin yeni hali veya yeni bireyler şu şekilde oluşur.

Yeni Birey1 = 0010000001**0100**0111000100.....01111 0110101

Yeni Birey 100 = 1001001010011**1011**0100111.....00101 1001101

Bu değişimden sonra 1 ve 100 numaralı bireylerin belirttiği merkez noktalar yenilenmiş olacaktır.

Birey	Merkez 1		Merkez 2		.....	Merkez 13	
	X	Y	X	Y		X	Y
1	00100	0000110	11011	1000100		01111	0110101
	(4)	(6)	(27)	(68)	.....	(15)	(53)
Yeni Birey	Merkez 1		Merkez 2		.....	Merkez 13	
	X	Y	X	Y		X	Y
1	00100	00001 01	000 11	1000100		10110	0000011
	(4)	(5)	(3)	(68)	.....	(22)	(3)

Birey	Merkez 1		Merkez 2		.....	Merkez 13	
	X	Y	X	Y		X	Y
	10010 (18)	0101001 (41)	10100 (20)	0100111 (39)	.....	00101 (5)	1001101 (77)
Yeni Birey	Merkez 1		Merkez 2		.....	Merkez 13	
	X	Y	X	Y		X	Y
	10010 (18)	0101001 (41)	11011 (27)	0100111 (39)	.....	00101 (5)	1001101 (77)

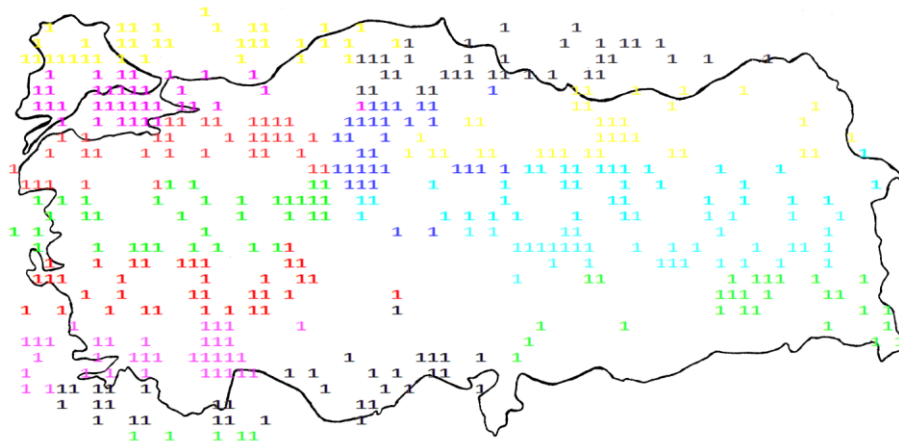
Popülasyon sayısı 100 olarak belirlenmiştir.

Genetik algoritma popülasyonunu tamamladığında uygunluk fonksiyonunun en küçük olduğu kümemizi elde etmiş ve hava sahası için sektör tasarımıımızı tamamlamıştır.

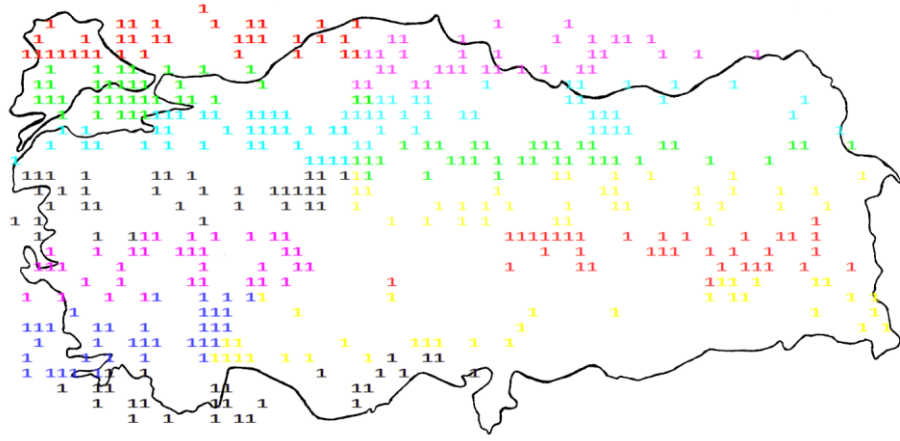
Çalışma C# dili kullanılarak ekte kodları verilen program ile Microsoft Visual Studio yazılımının Console uygulaması kullanılarak yapılmıştır.

Programın çalışma süresi birkaç defa ölçülmüş ve ortalama olarak 20 dakika 34 saniye olarak bulunmuştur.

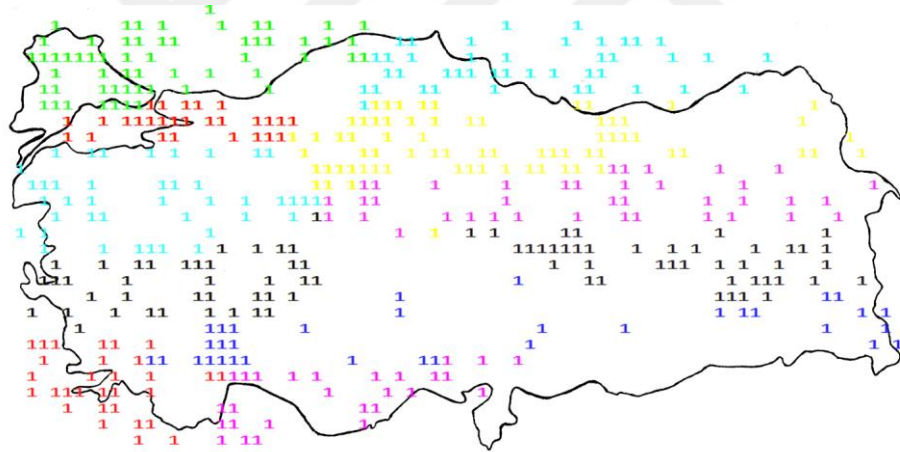
Program içinde popülasyonlarda Şekil 5.5, 5.6 ve 5.7 şeklinde kümeler elde edilmiştir.



Şekil 5.5 Popülasyon 10

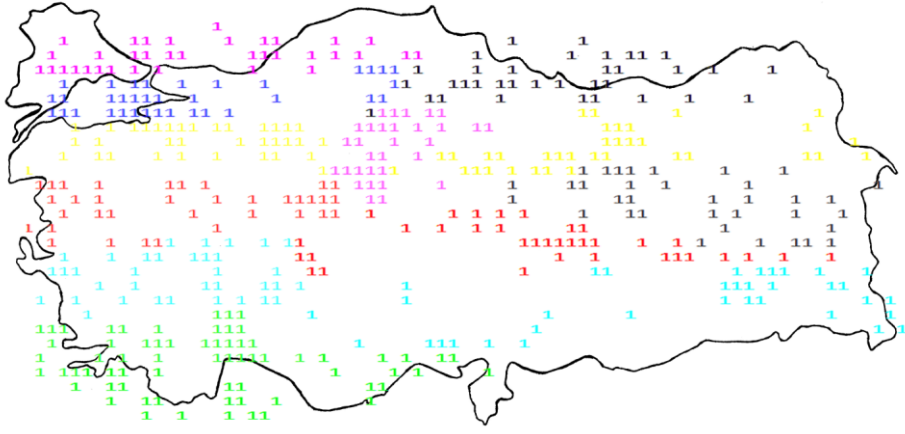


Şekil 5.6 Popülasyon 20

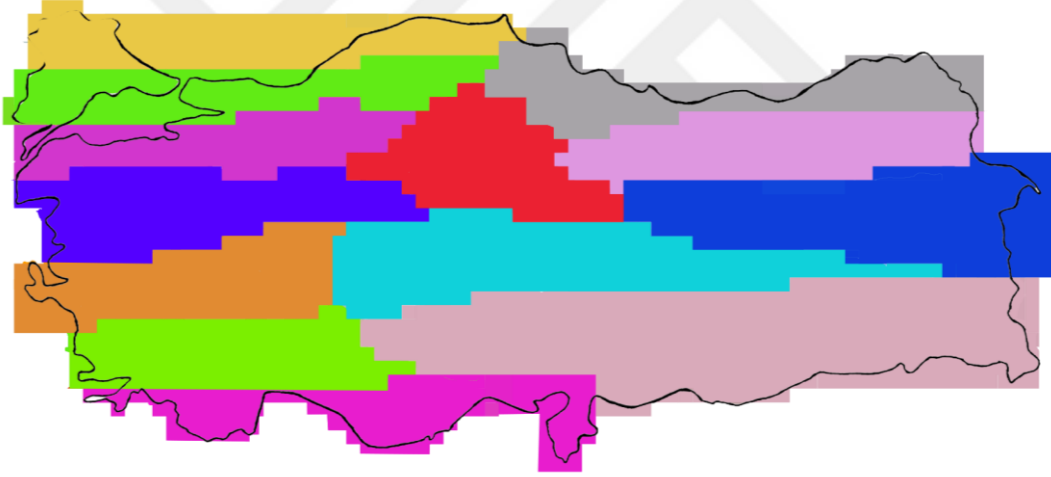


Şekil 5.7 Popülasyon 30

Program 100. popülasyonda ise Şekil 5.8 daki gibi bir kümeleme yapısı elde edilmiştir. Bu küme yapısı Türkiye haritası üzerine yerleştirildiğinde Türkiye hava sahası için önerdiğimiz sektörlerin yapısı Şekil 5.9 ile gösterilmiştir ve DHMİ'ye de öneri olarak sunulmuştur.



Şekil 5.8 Popülasyonlar sonucu kümeleme



Şekil 5.9 Türkiye hava sahası için önerilen yeni sektörler

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaptığımız çalışma ile havacılık sektörünün en kritik görevlerinden birini gerçekleştiren hava trafik kontrolörlerinin iş yüklerini dengeleyerek trafik akışını daha düzenli ve emniyetli hale getirecek hava sahası sektör modeli önerilmiştir.

Hava sektör problemi NP-hard problem sınıfında yer alan bir problemidir. Biz iş yükü parametresini saha kontrol hizmeti bazında kontrol edilen uçak sayısı olarak nitelendirerek bu sayıların oluşturacağı iş yükünü optimize etmeye çalıştık. Ancak bu iş yüküne farklı çalışmalarda birçok parametre daha ekleyebilmek mümkün olacaktır. Özellikle sürekli değişen hava trafiği ile dinamik yapıdaki hava sahasının modellenmesi başlı başına büyük bir problemidir.

Eurocontrol'ün tek Avrupa hava sahası yaklaşımı sonuçlanması halinde sektör yapısı ve sayısı belki de en başından itibaren yeniden planlanacaktır.

Çalışmamızda Türkiye hava sahası $32 * 80 = 2560$ küçük kare halinde ele alınmıştır. Her karenin iş yükü içinden geçen uçak sayısı olarak değerlendirilmiş ve bu değerle ağırlıklandırılmıştır.

Sektörizasyon çalışmaları ülkemizde sınırlı sayıda yapılmıştır. Çalışmada kümeleme yöntemlerinden k-means algoritması kullanılmıştır. Genetik algoritma ile sektör merkezlerinin bir uygunluk fonksiyonu vasıtasıyla en ideal hale gelmesi sağlanmıştır.

Delahaye'nin çalışması Türkiye için uyarlanmış ve Türkiye hava sahasındaki sektörler yeniden modellendirilmiştir. Sektör sayısı DHMİ'nin kullandığı gibi 13 tanedir. Ancak bu sayının arttırılıp azaltılması da mümkündür. Hava trafik yoğunluğunun artışı düşünüldüğünde sektör sayısının arttırılmasında fayda olacaktır.

Sektörler yatay ağırlıklı olarak gözlemlenmiştir. Hazırlanan çalışma DHMİ ile paylaşılarak onların da faydasına sunulacaktır. DHMİ tarafından sektörlerin yapısı istenirse kendi yapısına göre küçük düzenlemeler geçirebilir.

Yapılan bu çalışma ile ileride yapılacak benzer sektörizasyon çalışmalarında model olarak kullanılabilecek bir refereans oluşturulmaya çalışılmıştır.

Çalışma sonucunda oluşan sektörleme ülkemiz hava trafiğinin akış yönü olan doğu – batı istikametinde şekillenmiştir. Bu durum mevcut sektör yapılanmasının bölgesel yapısına alternatif olabilecek bir geometrik yaklaşım oluşturulabilecektir.

Bir sonraki aşamada yaptığımız çalışmayı 3 boyutlu olarak sürdürerek hava sahası sektörlere çalışmasına iş yükü kavramına uçak sayısı dışında farklı parametrelerde ekleyerek yeni bir uygulama gerçekleştirmeyi hedeflemekteyiz. Örneğin günümüzde kullanımı oldukça yaygınlaşan Drone'ların bir kontrol mekanizmasıyla denetlenmesi kaçınılmaz bir durum olacaktır. Bu mekanizma ATCo'lar vasıtasıyla gerçekleştirildiği takdirde iş yüklerinde oldukça bir artış gözlemlenecektir. Bu kontrol mekanizmasının kontrolörler üzerindeki yansıması önemli bir parametre olacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] <http://www.aci.aero/About-ACI/Overview/ACI-History>, 13 Temmuz 2017.
- [2] <https://www.aci.aero/Data-Centre/Monthly-Traffic-Data/Worldwide-Airport-Traffic-Summary>, 13 Temmuz 2017.
- [3] http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051, 13 Temmuz 2017.
- [4] <http://www.dhmi.gov.tr/istatistik.aspx>, 13 Temmuz 2017.
- [5] <http://mdk.anadolu.edu.tr/sites/mdk.anadolu.edu.tr/files/files/6.pdf>, 13 Temmuz 2017.
- [6] DHMİ Havacılık Terimleri Sözlüğü.
- [7] **Karaağaoğlu N.**, 2015, Sivil Havacılık Alanındaki Sektör Beklentileri ve İstihdam Taleplerinin Akademik Programların Oluşturulmasında Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Havacılık ve Türk Hava Kurumu, 1987, Türk Hava Kurumu Yayınları, Sayfa 20, Ankara.
- [9] Tek Kisilik Transatlantik Uçuş, 2008, Aviation Türk Dergisi, Sayı 4, Sayfa 52, İstanbul.
- [10] İzmir Ticaret Odası AR-GE Bülteni, 2010, Nisan.
- [11] Airbus Global Market Forecast.
- [12] <http://www.aci.aero>, 13 Temmuz 2017.
- [13] **Güçlü O.E.**, 2015, Havaalanlarında Uçak Park Yeri Tahsisi ve Taksi Hareketleri Optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [14] http://www.worldairlineawards.com/Awards/world_airline_rating.html, 13 Temmuz 2017.
- [15] **Koçel T.**, 2005, Has Matbaası, İstanbul.
- [16] **Özbek E.**, 2015, Hava Trafik Yönetiminde Koordinasyon: Türkiye Esnek Hava Sahası Konseptinin Koordinasyon Süreçlerinin Betimlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.

- [17] <http://www.eurocontrol.int/articles/what-air-traffic-management>, 13 Temmuz 2017.
- [18] **Cavcar A.**, 1998, Temel Hava Trafik Yönetimi, Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Yayınları, No:7, Eskişehir.
- [19] **Uslu S.**, 2007, Hava Trafik Sistemi Değerlendirme Ölçütleri, Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Yayınları, Eskişehir.
- [20] **Uslu S.**, 2014, Havacılık ve Hava Trafik Kontrol, Aktüel Ofset, Eskişehir.
- [21] **Demirel S.**, 2015, Hava Trafik Kontrol Bölümündeki Simülasyon Eğitiminin Öğrenciler Tarafından Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [22] <http://web.shgm.gov.tr/tr/havacilik-personeli/2129-hava>, 13 Temmuz 2017.
- [23] <https://www.anadolu.edu.tr/akademik/fakulteler/326/hava-trafik-kontrol-bolumu/program-profil>, 13 Temmuz 2017.
- [24] ICAO Annex 1, 2001, Personel Licensing.
- [25] T.C. Resmi Gazete, Hava trafik kontrol hizmetleri personeli lisans ve derecelendirme yönetmeliği(SHY 65-01), 26420, 31-01-2007.
- [26] **Caner F.**, Hava Trafik Kontrolörlerinin Mesleki Yeterlilik Düzeyleri ve Hizmetiçi Eğitim İhtiyaçlarının Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara: 2008, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [27] <http://web.shgm.gov.tr/tr/havacilik-personeli/2129-hava>, 13 Temmuz 2017.
- [28] <http://www.ssd.dhmi.gov.tr/sayfa.aspx?mn=80>, 13 Temmuz 2017.
- [29] **Turhan U.**, 2011, Hava Trafik Kontrolörlerinin Performansında İş Yükünün Etkileri ve Hava Trafik Kontrolörleri Üzerinde Bir Uygulama, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- [30] **Smolensky M., Earl S.**, 1998, Human Factors in Air Traffic Control, San Diego Academic Press, A.B.D.
- [31] **Özgür M.**, 2013, Trafik Hava Akış ve Kapasite Yönetimi İçin Bir Optimizasyon Modeli, *Doktora Tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [32] **Uslu S., Dönmez K.**, 2017, Hava Trafik Kontrol Kaynaklı Uçak Kazalarının İncelenmesi, M.Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Cilt 9, Sayı 18, Burdur.

- [33] **Loura J.**, 2014, International Journal of Management and Social Sciences Research (IJMSSR), Sayı 3.
- [34] **S.M.B. Abdul Rahman, Borst C., van Paassen M.M., Mulder M.**, 2016, Cross-sector Transferability of Metrics for Air Traffic Controller Workload, IFAC-PapersOnLine 49-19, 313–318.
- [35] **Pfeiffer L, Sims T, Rosenthal P.**, 2017, Visualizing Workload and Emotion Data in Air Traffic Control An Approach Informed by the Supervisors Decision Making Process, The Tenth Int. Conference on Advances in Computer-Human Interactions, 81-88, Fransa.
- [36] **Sergeeva M., Delahaye D. and Mancel C.**, 2015, 3D Airspace Sector Design by Genetic Algorithm, Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, 499 - 506, Budapeşte - Macaristan.
- [37] **Aydoğan E.**, 2015, Hava Trafik Akış Ve Kapasite Yönetiminde Saha Kontrol İçin Toplama Noktası Yaklaşımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [38] <https://www.icao.int/secretariat/TechnicalCooperation/Pages/history.aspx>, 13 Temmuz 2017.
- [39] <http://www.icao.int/publications/Pages/doc7300.aspx>, 13 Temmuz 2017.
- [40] <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/2011-history-book.pdf>, 13 Temmuz 2017.
- [41] <https://www.eurocontrol.int/articles/who-we-are>, 13 Temmuz 2017.
- [42] <http://uksatse.ua/index.php?s=7c115775a22e0bc7c97fac61b52ce&act=Part&CODE=243&lang=en>, 13 Temmuz 2017.
- [43] **Yaman K.**, 2010, Hava Sahası Sektörizasyonu Problemine Yeni Bir Yaklaşım, *Doktora Tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [44] **Bulut G.**, 2012, Eurocontrol Bünyesinde Geliştirilen Tek Avrupa Hava Sahası ve Benzeri Düzenlemelerin Ege Hava Sahası Sorunlarına Etkileri, *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [45] ICAO Annex -11, Appendix 4, 2016.
- [46] <http://www.eurocontrol.int/articles/firuir-charts>, 13 Temmuz 2017.

- [47] <http://www.nats.aero/ae-home/introduction-to-airspace/>, 13 Temmuz 2017.
- [48] AIP Türkiye, ENR 2, 13 Kasım 2016.
- [49] <http://www.dhmi.gov.tr/terimler.aspx?Type=1#.WTrqHWiLRPY>, 13 Temmuz 2017.
- [50] **Temizkan Ş., Sipahioğlu A.**, 2016, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31:4, 913 - 920, Ankara.
- [51] <http://www.eurocontrol.int/articles/airspace-design>, 13 Temmuz 2017.
- [52] **Tuncal A., Ertürk Y.**, 2017, Kişisel Görüşme.
- [53] Eurocontrol, 2002, ECAC Airspace Planning Manual,, Vol.2, Edition 1.0.
- [54] http://www.dhmi.gov.tr/dosyalar/annualreport/2015/Annual_Report_2015_site.pdf, 13 Temmuz 2017.
- [55] <https://web.cs.wpi.edu/~matt/courses/cs563/talks/bsp/document.html>, 13 Temmuz 2017.
- [56] **Basu A., Mitchell J.S.B., Sabhnani G.**, 2008, Geometric Algorithms for Optimal Airspace Design and Air Traffic Controller Workload Balancing, Proceedings of the Tenth Workshop on Algorithm Engineering and Experiments (ALENEX), San Fransisco, California, A.B.D..
- [57] **Çolak M.A.**, 2010, Grafik Kartı Üzerinde Paralel Hızlandırılmış Işın İzleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [58] **Watson D.F., Philip G.M.**, 1984, Systematic Triangulations, Computer Vision Graphics and Image Processing, 26, 217 - 223.
- [59] **Yanalak, M.**, Yüzey Modellemede Üçgenleme Yöntemleri, https://www.hgk.msb.gov.tr/images/dergi/makaleler/126_6.pdf, 13 Temmuz 2017.
- [60] **Trandac H., Baptiste P., Duong V.**, 2002, "A Constraint-Programming Formulation For Dynamic Airspace Sectorization", 21 Digital Avionics System Conference, 1C5-1 - 1C5-11, Irvine.
- [61] **Yousefi A.**, 2005, Optimum Airspace Design with Air Traffic Controller Workload-Based Partitioning, *Doktora Tezi*, George Mason University, Fairfax, Virginia, A.B.D.

- [62] **Klein A.**, 2005, An Efficient Method For Airspace Analysis and Partitioning Based on Equalized Traffic Mass, 6th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, A.B.D.
- [63] <http://www.ilyasakkus.com/blog/veri-madenciligi-kumeleme-ve-kumeleme-yontemleri>, 13 Temmuz 2017.
- [64] <http://www.ninova.itu.edu.tr/EgitimDetay.aspx?eId=195>, 13 Temmuz 2017.
- [65] **Ketchen, D.Jr. ve Shook, C.L.**, 1996. "The Application of Cluster Analysis in Strategic Management Research: An Analysis and Critique", *Strategic Management Journal*, 17(6), 441-458.
- [66] **Özdamar K.**, 2004, Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi 2, Kaan Kitabevi, Eskişehir.
- [67] **Taşçı E., Onan A.**, 2016, K-En Yakın Komşu Algoritması Parametrelerinin Sınıflandırma Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi, 18. Akademik Bilişim Konferansı, *Adnan Menderes Üniversitesi*, 3 - 5 Şubat 2016.
- [68] **MacQueen J.B.**, 1967, "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations", 1. Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, University of California Press. pp. 281–297, Callifornia A.B.D.
- [69] <https://www.e-adys.com/post/2016/01/13/kumeleme-algoritmaları-k-means-algoritması>, 13 Temmuz 2017.
- [70] **Han J.,Kamber M.**, 2000, "Data Mining Techniques", Morgan Kaufmann Publishers.
- [71] **Myatt, G.J.**, 2007, *Sayfa 176-181*, Making Sence of Data: A Practical Guide to Exploratory Data Analysis and Data Mining, Wiley.
- [72] **Özkan, Y.**, 2008, Veri Madenciliği Yöntemleri, Papatya Yayıncılık, Sayfa 131 - 148, İstanbul.
- [73] **Karaduman İ.**, 2012, Sinyal Yolaklarının Yeniden Oluşturulması İçin Sezgisel Algoritma ile Graf Teorik Yaklaşım, *Yüksel Lisans Tezi*, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [74] www.flightradar24.com, 13 Temmuz 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Murat YAVUZ

Elazığ Öğretmen Sıdika Avar Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
Müdür Yardımcısı / Bilişim Teknolojileri Öğretmeni

0505 – 430 64 04

muradiwenko@gmail.com

1979 : Elazığ / Keban doğumlu

2001 : Fırat Üniversitesi - Teknik Eğitim Fakültesi – Elektronik Bilgisayar Eğitimi
Bölümü / Bilgisayar Öğretmenliği bölümünden mezun oldu

2001 - 2005 : Bingöl Ticaret Meslek Lisesi’nde görev yaptı

2005 - ... : Elazığ Öğretmen Sıdika Avar Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi’nde
görevine devam etmektedir.

2013 : Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği –
Bilgisayar Sistemleri alanında yüksek lisans tez çalışması devam etmektedir.

2017 : Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yazılım Mühendisliği bölümünden
mezun oldu (mühendislik tamamlama).

Evli ve 2 erkek çocuk babası