İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

UYGULAMALI MATEMATİK VE HESAPLAMALI BİLİMLER
ANABİLİM DALI

Otomatik Bağımlı Gözetim - Yayın Verileri Kullanılarak Anomali Tespiti ve Uçuş İstatistiklerinin Değerlendirilmesi

Yüksek Lisans Tezi

Ömer Güneş

EKİM 2023

İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

UYGULAMALI MATEMATİK VE HESAPLAMALI BİLİMLER
ANABİLİM DALI

Otomatik Bağımlı Gözetim - Yayın Verileri Kullanılarak Anomali Tespiti ve Uçuş İstatistiklerinin Değerlendirilmesi

Yüksek Lisans Tezi

Ömer Güneş

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Nurullah Çalık

Danışman

Doç. Dr. Betül Hiçdurmaz

EKİM 2023

TEZ JÜRİSİ ONAYI

Ömer Güneş tarafından hazırlanan "Otomatik Bağımlı Gözetim - Yayın Verileri Kullanılarak Anomali Tespiti ve Uçuş İstatistiklerinin Değerlendirilmesi" başlıklı bu Yüksek Lisans Tezi, Uygulamalı Matematik ve Hesaplamalı Bilimler Anabilim Dalı'nda hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ **İMZA**

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Nurullah Çalık

İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler:

Prof. Dr. Rahmet Savaş

İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Doç. Dr. Peyman Mahouti

Yıldız Teknik Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 04.10.2023

BEYANLAR

Yazım ve Kaynak Gösterme Kılavuzu Beyanı

Danışmanlığımda yazılan bu tezin APA yazım ve kaynak gösterme kılavuzunda belirtilen kurallara uygun olarak yapılandırıldığı ve bu kılavuzun metin içi kaynak gösterme standartlarının bu tezde tutarlı olarak uygulandığı tarafımdan incelenerek teyit edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Nurullah Çalık

Doç. Dr. Betül Hiçdurmaz

Etik İlkelere Sadakat Beyanı

Hazırladığım bu tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

Ömer Güneş

ÖZET

Otomatik Bağımlı Gözetim - Yayın Verileri Kullanılarak Anomali Tespiti ve Uçuş İstatistiklerinin Değerlendirilmesi

Güneş, Ömer

Yüksek Lisans Tezi, Uygulamalı Matematik ve Hesaplamalı Bilimler Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nurullah Çalık

Danışman: Doç. Dr. Betül Hiçdurmaz

Ekim 2023

Bu çalışma, havacılık sektöründe uçuş güvenliği konusundaki önemli bir ihtiyaç olan uçuş sırasında ortaya çıkabilecek potansiyel tehlikeleri belirleme amacı taşımaktadır. Otomatik Bağımlı Gözlem - Yayın (ADS-B) verileri, hava araçlarının anlık konum, hız, irtifa ve kimlik bilgilerini sunan bir kaynak olarak, bu tehlikelerin tespiti için potansiyel bir veri kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Uygulama kapsamında, uçuşlardaki anormal durumları tespit etmek amacıyla matematiksel yöntemler kullanılmaktadır. İlk adımda, öznitelikler tek boyutlu sinyaller olarak ele alınarak incelenmiştir. Bu özniteliklerin incelenmesi sonucunda, uçuşlardaki anormallikleri en iyi tespit edebilecek özniteliğin dikey hız olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma için kullanılan veriler, 2022 yılı Haziran ayında gerçekleşen uçuşlara ait İstanbul Havalimanı kaynaklıdır ve gerçek verileri içermektedir. Bu veriler önce ortanca filtre kullanılarak sinyal gürültülerinden temizlenmiş, ardından konvolüsyon işlemi ile türev alınarak sinyaldeki değişimler belirlenmiştir. İşlenen sinyal daha sonra, irtifa değişimlerine göre kalkış, düz uçuş ve iniş aşamalarına ayrılmış ve her bir aşama ayrıntılı olarak incelenmiştir. Uçuş aşamalarına ait dikey hız verileri, nokta dağılım ve histogram grafikleri kullanılarak incelenmiş ve istatistiksel yöntemlerle anormalliklerin başarıyla tespit edildiği görülmüştür.

ADS-B verilerinin istatistiksel yöntemlerle incelenmesi, uçuşlardaki anormalliklerin etkili bir şekilde tespit edilmesine imkan tanımış ve bu tespitlerin anormalliklerin nedenlerinin araştırılmasına ve gelecekteki uçuş güvenliği önlemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamıştır. Bu çalışma, hava seyahatinin daha güvenli hale getirilmesi yolunda önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Otomatik Bağımlı Gözetim - Yayın, sivil havacılık, dijital sinyal, sinyal analizi, istatistik

ABSTRACT

Anomaly Detection and Statistical Analysis of Flights by Using Automatic Dependent Surveillance - Broadcast Database
Güneş, Ömer
Master of Science Thesis, Applied Mathematics and Computational Sciences Department
Supervisor: Faculty Member Dr. Nurullah Çalık
Supervisor: Assoc. Dr. Betül Hiçdurmaz
October 2023

This study aims to identify potential hazards that may occur during flights, which is a crucial need in the aviation industry for ensuring flight safety. Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) data, providing real-time information about aircraft location, speed, altitude, and identity, emerges as a potential data source for detecting these hazards. To detect abnormal conditions during flights, mathematical methods used in applications. In the initial phase, attributes were treated as one-dimensional signals and analyzed accordingly. The analysis revealed that vertical acceleration is the most suitable attribute for detecting anomalies during flights. The data used for this research originates from flights that took place in June 2022 departing from Istanbul Airport and includes real-world data. These data were initially processed to remove signal noise using a median filter, and then changes in the signal were determined by convolution. Subsequently, the processed signal was divided into takeoff, level flight, and landing phases based on changes in acceleration, and each phase was examined in detail. Vertical acceleration data for each flight phase were analyzed using dot distribution and histogram graphs, and anomalies were successfully detected through statistical methods.

The statistical analysis of ADS-B data has enabled the effective detection of anomalies during flights, paving the way for the investigation of the causes of these anomalies and the development of future flight safety measures. This study is considered a significant step towards enhancing air travel safety.

Key words: Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B), civil aviation, digital signal, signal analysis, statistics

TEŞEKKÜR

Öncelikle hayatım boyunca her zaman yanımda olan aileme; yüksek lisans öğrenimim süresince ilerlemem konusunda her zaman teşvik eden ve bu çalışmayı bir adım öteye taşıyabileceğime inanan danışman hocalarım Dr. Nurullah Çalık ve Doç. Dr. Betül Hiçdurmaz'a, uzak mesafelere rağmen yardımını asla esirgemeyen ve bu tezin son hale gelmesinde borçlu olduğum kıymetli arkadaşım Hatice Şule Özer'e ve son olarak, bana her konuda yol gösteren, çalışmalarımda yardımcı olmak ile kalmayıp; kendimi geliştirmem için destek olan, bana benden çok inanan değerli dostum Dr. Hakan Bayındır'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ JÜRİSİ ONAYI **i**

BEYANLAR **ii**

ÖZET **iii**

ABSTRACT **iv**

TEŞEKKÜR **v**

İÇİNDEKİLER **vi**

ŞEKİLLER **viii**

TABLOLAR **x**

1 GİRİŞ **1**

1.1 ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ 1

1.2 LİTERATÜR TARAMASI 2

1.3 GENEL HAVACILIK BİLGİLERİ VE KISALTMALAR 4

1.4 ADS-B 5

2 ARAŞTIRMA VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ VE İNCELEME YÖNTEMİ **7**

2.1 VERİ KAYNAĞI 9

2.1.1 OpenSky-Network Veri Tabanı 11

2.1.2 Veri Temininde Kullanılan Yöntem ve Kütüphaneler 12

2.2 VERİLERİN İNCELENMESİ 13

2.2.1 Veri Setinin Python Tabanıyla Hazırlanması 16

3 YÖNTEM **17**

3.1 VERİLERİN ÖN İŞLEME SÜRECİ VE İNCELEMEYE HAZIRLANMASI 18

3.2 SAYISAL İŞARET İŞLEME TEKNİKLERİ 20

4 BULGULAR **23**

4.1 BULGULARIN ÖZNİTELİK GRAFİKLERİ ÜZERİNDEN İNCELENMESİ 23

4.1.1 Kalkış Evresi Öznitelikleri nin İncelenmesi 25

4.1.2 Düz Uçuş Evresi Öznitelikleri nin İncelenmesi 26

4.1.3 İniş Evresi Öznitelikleri nin İncelenmesi 28

4.2 BULGULARIN DİKEY İVME DEĞERLERİNİN İSTATİSTİKSEL DAĞILIM GRAFİKLERİ ÜZERİNDEN İNCELENMESİ 31

4.2.1 Kalkış Evresinin İstatistiksel Yöntemlerle İncelenmesi 31

4.2.2 Düz Uçuş Evresinin İstatistiksel Yöntemlerle İncelenmesi . . . 34

4.2.3 İniş Evresinin İstatistiksel Yöntemlerle İncelenmesi 37

5 SONUÇ VE TARTIŞMA **39**

6 KAYNAKÇA **40**

ŞEKİLLER

1 2022 Haziran Ayında Sabiha Gökçen Havalimanı'ndan Stansted Havalimanı'na Giden Uçuşların Konum Grafiği 9

2 2022 Haziran Ayında İstanbul Havalimanı'ndan Birleşik Krallık'a Giden Uçuşların Konum Grafiği 10

3 LTFJ'den EGSS'ye Giden 207 Uçuşun Karşılaştırmalı Grafiği 13

4 Sabiha Gökçen Havalimanı'ndan Stansted Havalimanı'na Giden 1 Uçuş Örneği 14

5 LTFM'den EGLL'ye Giden 158 Uçuşun Karşılaştırmalı Grafiği 20

6 LTFJ'den EGSS'ye Giden 5 Uçuşun Grafiği 23

7 LTFM'den EGKR'ye Giden Uçuşlar Grafiği 24

8 LTFM'den EGLL'ye Giden Uçuşların Kalkış Evresi Dikey Hızları Karşılaştırmalı Grafiği 25

9 LTFM'den EGKK'ye Giden Bir Uçuşun Grafiği 26

10 LTFM'den EGLL'ye Giden Uçuşların Düz Uçuş Evresi Dikey Hızları Karşılaştırmalı Grafiği 27

11 LTFM'den EGLL'ye Giden 5 Uçuşun Grafiği 27

12 LTFM'den EGKK'ye Giden 23 Uçuşun Karşılaştırmalı Grafiği 28

13 LTFM'den EGKK'ye Giden Eksik Verili Uçuş Grafiği 29

14 LTFM'den EGKK'ye Giden Uçuşların İniş Evresi Dikey Hızları Karşılaştırmalı Grafiği 30

15 LTFM'den EGKK'ye Giden Uçuşların Kalkış Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları 31

16 LTFM'den EGKK'ye Giden Uçuşların Kalkış Evresi Dikey Hız Kutu Grafiği 32

17 LTFM'den EGLL'ye Giden Uçuşların Kalkış Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları 32

18 İncelenen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların Kalkış Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları 33

19 İncelenen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların Kalkış Evresi Dikey Hız Kutu Grafiği 33

20 LTFM'den EGLL'ye Giden Uçuşların Düz Uçuş Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları 34

21 LTFM'den EGCC'ye Giden Uçuşların Düz Uçuş Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları 35

22 İncelenen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların Düz Uçuş Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları 35

23 İncelenen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların Düz Uçuş Evresi Dikey Hız Kutu Grafiği 36

24 LTFM'den EGLL'ye Giden Uçuşların İniş Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları 37

25 İncelenen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların İniş Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları 38

26 İncelenen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların İniş Evresi Dikey Hız Kutu Grafiği 38

TABLOLAR

1 Havalimanı İsimleri ve Uluslararası Kodları 4

2 OpenSky-Network Sistem Değerleri 12

3 2022 Haziran Sürecinde Gözlemlenen Uçuş Değerleri 14

4 İstatistiksel İnceleme Öncesi LTFM-EGKK Uçuş Verileri Örnekleri . . 22

1 GİRİŞ

1.1 ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Teknolojik gelişmeler, birçok farklı alanda insanlığı etkilerken, bazı gelişme ve icatlar, diğerlerine öncülük etmekte, hatta başka icatlara gereksinim duymaktadır. Bu gelişmelerin temelinde, iletişim alanında yapılan çalışmalar büyük öneme sahiptir. 21. yüzyılda, Dünya'nın herhangi bir yerinde, hatta uzaydaki insanlarla anında iletişim kurulabilmesi mümkündür. Bu gelişmelerin etkisiyle, hızlı iletişim seviyesinin, fiziksel dünyada da karşılığını bulma gerekliliği doğmuştur. Acil bir durumu öğrenip, fiziki olarak bölgeye gidememek, veya kitaplar dolusu bilgiyi uzaktan anında paylaşırken, yüz yüze görüşmek için günlerce seyahat etmek, kabul edilebilir bir durum olmaktan çıkmıştır.

İnsanların ve nesnelerin daha hızlı hareket etme ihtiyacına çözüm olarak hava taşımacılığı, öncü bir rol oynamaktadır. Dünya genelinde her gün yaklaşık 100,000 uçuş gerçekleşmekte, artan uçuş sayısına bağlı olarak hava trafiği yoğunlaşmakta, kaza riski artmaktadır. Artan kaza riskini düşürmek amacıyla, zaman içinde hava taşımacılığı için alınan güvenlik önlemleri de artmıştır. Otomatik Bağımlı Gözetim - Yayın (ADS-B) sistemi, uçakların konumlarını ve temel uçuş verilerini paylaşarak havada çarpışmaları önlemek amacıyla geliştirilen son teknoloji sistemlerden biridir.

ADS-B sistemi sayesinde uçuşlar hem anlık hem de geriye dönük olarak incelenebilmektedir. Hava trafiğinde meydana gelen değişikliklerin izlenmesi ile bölgesel hava koşulları değişiklikleri, beklenmedik acil durumlar ve hatalı uygulamalar kayıt altına alınabilmekte, sonradan incelenebilmektedir. İncelenen veriler sayesinde, uçuş sırasında ne zaman ve ne büyüklükte hatalı kontrol yapıldığı, seyahat sırasında hangi coğrafyada nasıl hava olaylarıyla karşılaşıldığı gibi konular, gerçek verilere dayalı olarak gözlemlenebilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, hava taşıtları tarafından üretilen ADS-B verilerinin, istatistiksel yöntemler ile incelenerek karşılaşılan anomalilerin tespit edilmesini sağlamaktır. Uçuş sırasında meydana gelen aksaklıklar, her zaman insan gözlemiyle saptanamamakta, bu nedenle bilgisayar destekli analize ihtiyaç duyulmaktadır. İstatistiksel yöntemlerin kullanılması, geniş zaman aralıklarında, farklı coğrafi bölgelere yayılan uçuşların aynı anda analiz edilmesini mümkün kılar. Bu analiz, uçuşlardaki aksaklıkların tespit edilerek, gelecekte benzer sorunların önlenmesi için yapılacak çalışmalara kaynak oluşturur, havayolu taşımacılığı güvenliğinin geliştirilmesine katkı sağlar.

1.2 LİTERATÜR TARAMASI

Bu çalışma kapsamında literatür taraması yapılırken, öncelikle, Otomatik Bağımlı Gözetim - Yayın verilerinin içeriği, verilerin nasıl temin edilebileceği ve işlenebileceği araştırılmıştır.

Otomatik Bağımlı Gözetim - Yayın verilerinin içeriğini ve sistemi araştıran en önemli çalışmalardan biri Sun, 2021 tarafından yapılmıştır. Bu bahsedilen çalışmada ADS-B sisteminin önemine odaklanılmış, son yirmi yıl içerisinde hava araçlarının izlenmesi sürecinin, hava trafik kontrolü tabanlı sorgulamadan otomatik yayına dönüştüğüne vurgu yapılmıştır. Sun, ADS-B sisteminin diğer iletişim sistemleri gibi 1090 MHz bandında çalıştığını, bu verilerin açık kaynak olarak yayınlandığını ve düşük maliyetli alıcılar tarafından izlenebildiğini açıklar. Ayrıca, bu çalışmada ADS-B verilerinin literatürde sistematik bir incelemesinin eksik olduğu da belirtilir.

ADS-B verilerine en temel ve kolay ulaşım yöntemi, kişilerin kendi yapacakları ADS-B alıcılarıdır. Shravan et al., 2020 makalesinde, RTL-SDR kullanarak, Raspberry Pi bilgisayarı üzerinden çalışan bir sistemle ADS-B verilerine ulaşım konusunda bilgi vermiştir. Benzer sistem bu çalışma sürecinde de kullanılmış ve veri tabanına ek bir referans sağlamıştır.

Veri içeriği hakkında bilgi edinilmesinin ardından, büyük veriye erişilebilecek bir veri tabanı arayışı başlamış, bu bağlamda Schäfer et al., 2014 tarafından yayımlanan "Bringing up OpenSky: A large-scale ADS-B sensor network for research" makalesinden yararlanılmıştır. Veri Kaynağı bölümünde ayrıntılı bahsedilen OpenSky-Network, akademisyenlere ve araştırmacılara, ADS-B verilerini ulaşılabilir kılmayı hedefleyen bir sistem oluşturmayı hedeflemektedir.

Çalışmasında, elde edilen verilerin işlenmesi konusuna değinen Olive, 2019 ise, havacılık ve hava trafik kontrolü ile veri bilimi alanlarındaki araştırmalarda, yörünge, yer hızı, dikey hız gibi önemli uçuş parametrelerini içeren büyük miktarda verinin işlenmesinin gerekliliğine vurgu yapmıştır. Bu bağlamda, Python dilinde geliştirilen traffic kütüphanesini, veri bilimcileri ve akademisyenleri desteklemek için tasarlamış, diğer kütüphaneleri bir araya getiren bir katalog olarak tanımlamıştır.

ADS-B üzerinde yapılan çalışmalar arasında, Figuet et al., 2023'in yaptığı, havada çarpışma risklerinin modelleme yöntemiyle incelendiği çalışma da bulunmaktadır. Bu çalışma, havada yaşanabilecek çarpışmaların ADS-B verileri üzerinden olasılığını araştırırken Ekstrem Değer Teorisi'ni kullanmıştır. Ayrıca, bu çalışma, veriye dayalı yaklaşımın, geleneksel analitik yöntemlerle yapılan çalışmalara göre daha az varsayım gerektirdiğini vurgulamıştır.

Havada çarpışma riskleri konusunda bir başka çalışma da, Hermansson, 2023 tarafından yapılan ve istatistiksel çalışmaların, model doğruluğuna bağlı olduğu için,

gerçekçi veri üretmede sınırlı olduğundan bahsederek probleme alternatif yöntemler aradığı çalışmasıdır.

ADS-B verileri açık kaynak olduğu için, güvenlik doğrulama mekanizmalarının eksikliğinden kaynaklanan güvenlik riskleri konusunda da çalışmalar yürütülmüştür. Bu bağlamda, Wu et al., 2023, veri güvenliği ile ilgili endişeleri dile getirir ve açık kaynak verilerin iletişim protokolünde güvenlik önlemleri içermediğini vurgular. Bu durumun, verilerin sahte sinyal oluşturularak manipüle edilebileceği veya hava araçlarına siber saldırılar gerçekleştirilebileceği anlamına geldiğine işaret eder. Wu et al., 2023 çalışmasında, ADS-B sisteminin güvenliğini blockchain teknolojisiyle sağlama amacı gütmüştür.

Havacılık güvenliğiyle ilgili birçok çalışma arasında, Joerger et al., 2023 yaptığı çalışmada, 2022 yılında Teksas'ta yaşanan GPS sinyal karıştırma olayını inceleyerek ADS-B verilerinden yararlanmıştır. Çalışmada, sinyal karıştırma olaylarının yalnızca çatışma bölgeleriyle sınırlı olmadığı, ABD sınırları içinde de meydana geldiği ve bunun operasyonel ve ekonomik etkilere sahip olduğu vurgulanmıştır.

Havacılık güvenliği arttırmayı hedefleyen çalışmaların yanı sıra, sivil uçuşların daha verimli gerçekleşmesini hedefleyen çalışmalar da mevcuttur. Dhief et al., 2023 tarafından yürütülen çalışma, hava trafiğinin artışının, havalimanları çevresindeki hava sahası kapasitesinin yetersiz olduğu bir duruma yol açtığını ve bu sorunun temel nedeninin iki uçak arasındaki gereken minimum güvenlik mesafesi olduğunu belirtmektedir. Bu çalışma, varış uçuşlarını optimize etmek için Meta-Heuristik tabanlı bir yaklaşım önermektedir.

Havacılık işletmeleriyle ilgili bir başka çalışma, Zhang et al., 2023 tarafından gerçekleştirilmiştir. Modern veri odaklı yöntemler, genellikle zaman serisi tahminleri olarak uygulandığı için, uçuş rotası tahminlerinin yüksek doğruluğa ulaşamadığına işaret etmektedir. Yaratıcı bir yaklaşım kullanarak, geliştirdiği kodlayıcı-çözücü sinir mimarisiyle veriler üzerinden yapılan çalışmasında, zaman-frekans analizin rota tahminleri konusunda başarılı sonuçlar sunduğunu belirtmiştir.

Havacılık teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, veri güvenilirliği daha da önemli hale gelmiştir. Rotaların güvenilir bir şekilde tahmin edilmesini vurguladığı Khaledian et al., 2023 çalışmasında, otomatik pilot gibi sistemlerin uçuş sırasında planlanan rotadan sapabileceğine dikkat çekilmiş ve bu nedenle güvenilir rota verilerinin kritik olduğu ifade edilmiştir. Bu bağlamda, gerçek zamanlı aktif seyrüsefer sistemleri için yeni bir yöntem geliştirme amacı güdülmüştür.

Geleneksel hava taşımacılığına ek olarak, teknolojinin gelişmesiyle birlikte ortaya çıkan yeni hava araçları nedeniyle hava trafik kontrolü sorunlarına değinen Hui et al., 2023 çalışmasında, literatürdeki hava trafik simülasyonu eksikliğine dikkat çekerek, bu eksikliği gidermek amacıyla geliştirdikleri AirTrafficSim adlı yazılımı tanıtmıştır.

1.3 GENEL HAVACILIK BİLGİLERİ VE KISALTMALAR

Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (International Civil Aviation Organization - ICAO), 1944 yılında, Birleşmiş Milletler'e bağlı olarak kurulmuş bir havacılık örgütüdür. Sivil havacılığın güvenliğini amaçlayan ICAO, bu amaçla bir çok standart oluşturmuştur. Bu standartlardan biri de, her havalimanına özgün olarak verilen havalimanı kod sistemidir. Bu araştırma kapsamında incelenen havalimanları ve ICAO kodları aşağıda listelenmiştir. Bu tez kapsamında, havalimanlarından bahsederken ICAO kodları kullanılacaktır.

Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (International Air transport Association - IATA), sadece hava yolu şirketlerinin üye olabildiği bir ticari kuruluş olarak 1919 yılında kurulmuştur. IATA'nın amaçları arasında, düzenli, ekonomik, uygun ve güvenli hava taşımacılığının sağlanması, havacılık endüstrisinin teşvik edilmesi ve bu alanda yaşanabilecek aksaklık ve problemlerin önüne geçilmesi yer almaktadır. Gündelik yaşam ve konunun profesyoneli olmayanların, havacılık konularında ve havalimanlarıyla ilgili konuşurken IATA kısaltmaları kullanmalarının nedeni, biniş kartı ve biletlerin üzerinde bu kodların olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, incelenen havalimanlarının ICAO kodları kullanılacak olmakla birlikte, akılda kalıcılığı açısından, aşağıda IATA kodları da bilgilendirme amaçlı verilmiştir.

Havalimanı Adı	**IATA Kodu**	**ICAO Kodu**
Ankara Esenboğa Hava Limanı	ESB	LTAC
İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı	SAW	LTFJ
İstanbul Havalimanı	IST	LTFM
Londra Stansted Havalimanı	STN	EGSS
Londra Heathrow Havalimanı	LHR	EGLL
Londra Gatwick Havalimanı	LGW	EGKK
Londra Redhill Havalimanı	KRH	EGKR
Birmingham Havalimanı	BHX	EGBB
Manchester Havalimanı	MAN	EGCC

Tablo 1: Havalimanı İsimleri ve Uluslararası Kodları

1.4 ADS-B

Otomatik Bağımlı Gözetim-Yayın (Automatic Dependent Surveillance–Broadcast) kısaca, ADS-B, hava araçlarının takip edilmesi ve denetlenebilmesi için kurulan, hız, irtifa, konum gibi bilgilerini ileten, uçuş güvenliğini ve hava trafiğini daha güvenli bir hale getirmek için tasarlanmış teknolojik bir sistemdir. "Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B)", 2023

Wright kardeşleri modern havacılığın başlangıcı kabul edersek, 1960 yılında, çok uzun süre geçmeden, hava trafiği konusu gündeme gelmiş ve bu konuda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. İlk günlerde yer gözlem ve radar istasyonlarına bağlı olan bu sistemleri daha güvenilir bir hale getirmek amacıyla ADS-B teknolojisi icat edilmiştir.

ADS-B teknolojisi, temel olarak, hava aracının navigasyon sistemlerinin topladığı verileri, belirli aralıklarla radyo dalgaları olarak yaymasına dayanır. Konum, hız, irtifa gibi bilgileri içeren bu radyo yayınları, başka bir hava aracı veya yer istasyonu tarafından izlenebilmekte, bu sayede hava araçlarının gerçek zamanlı takibi yapılabilmektedir.

Büyük bir yenilik olarak ortaya çıkan ADS-B teknolojisinin bir çok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar aşağıda başlıklar halinde belirtilmiştir.

- **Hava Trafik Yönetimi'nin İyileştirilmesi:** Hava araçlarının anlık ve gerçek zamanlı olarak izlenebilmesini sağlayarak, hava trafik yönetimine katkı sağlar, hava yollarının daha verimli kullanılmasını sağlayarak, kaza riskini azaltır.
- **Uçuş Güvenliğinin Arttırılması:** Sistemin, hava aracı konumlarına daha kesin bir şekilde erişim sağlaması, uçuş güvenliğine katkı sağlar ve acil durumda hava aracına ulaşımı kolaylaştırır.
- **Verimli Uçuş Planlaması:** Sistemin anlık olarak veri paylaşması sayesinde, hava durumu, coğrafi koşullar gibi değişkenlerin etkileri daha net şekilde görülebilir ve buna göre daha verimli bir planlama yapılabilir.
- **Verimli Hava Durumu Tahmini:** Sistem anlık olarak doğrudan hava durumu verileri topladığı için, tahminlerin daha gerçekçi yapılmasını sağlar bu da uçuşta hava şartlarına daha rahat uyum sağlanmasına katkıda bulunur.
- **Maliyetin Düşürülmesi:** ADS-B sisteminin sağladığı gerçek zamanlı veri sayesinde, eski teknoloji olan radar sistemlerine ve yer istasyonlarına ihtiyaç azalır, dolayısıyla maliyet düşer.

Bu avantajların yanında, dolaylı olarak en büyük avantajı sistemin çok boyutlu, zaman bağımlı veri tabanı oluşturmasıdır. Uçaklardan elde edilen veriler, veri ta-

banlarında saklandığında hem hava ulaşımının gerçek zamanlı incelenebilmesi ve araştırılabilmesine katkı sağlar, hem de diğer istatistik ve makine öğrenmesi gibi alanlara ciddi büyüklükte bir kaynak oluşturarak, bu alanlarda yapılan araştırmalar için veri kaynağı rolü oynar.

Yukarıda bahsedilen sebepler, yani ADS-B sisteminin gerek havacılık alanında katkıları, gerekse bir veri tabanı oluşturma başarısı, sistemin gelecekte daha da yaygınlaşacağı ve gelişeceği beklentisini oluşturmaktadır. Bu sayede hava ulaşımının çok daha güvenli hale gelmesine yardımcı olacaktır.

Her sistemde olduğu gibi ADS-B sistemi de son haline bir günde gelmemiş, standartlarını sürekli yükseltmiştir. Günümüz son teknoloji ADS-B sistemleri DO-260B standardını kullanmaktadır. DO-260B standardı öncesinde, DO-260 ve DO-260A standartları kullanılmaktaydı. Bu standartlar havacılık camiası için önemli kilometre taşları olarak kabul edilse de, yenilenen DA-260B standardı ile, ADS-B sisteminin performansı daha da geliştirilmiş ve verilerin doğruluk seviyeleri arttırılmıştır. Bu gelişmeler hava trafiğinin yönetilmesi ve uçuşların daha güvenli hale getirilmesine katkı sağlamaktadır.

ADS-B sisteminin gelişmesinde önemli konu başlıkları, veri doğruluğunun arttırılması, sinyal ve yayın kalitesinin yükseltilmesi ve farklı platformlardan takip edilebilmesidir.

DO-206B standardı sayesinde, geçmişe göre verilerin doğru şekilde ölçülmesi sağlanmış, özellikle verilerin yayınlanmasında sinyal gücü, kalitesi ve yayın sıklığı arttırılmıştır. Ayrıca ADS-B sistemi sadece profesyoneller tarafından değil, basit sistemler sayesinde konuya ilgili amatörler tarafından bile takip edilebilmektedir.

ADS-B sisteminin gerekliliği açık olmakla birlikte, sistemin gelişme ihtiyacı havacılıkta yaşanan üzücü olaylar sebebiyle oluşmuştur. 2014 yılında Malezya Havayolları'nın MH370 kodlu uçağının uçuş sırasında kaybolması ve uzun süre uçağa ulaşılamaması, kullanılan radar sistemlerinin yetersizliklerini göz önüne sermiş ve daha gelişmiş bir sistem ihtiyacı ortaya çıkmıştır. ADS-B sistemi, bu ihtiyaca cevap olarak daha da ön plana çıkmıştır. Sun, 2021

2 ARAŞTIRMA VERİLERİNİN ELDE EDİLMESİ VE İNCELEME YÖNTEMİ

Otomatik Bağımlı Gözetim - Yayın (ADS-B) verilerinin hava araçlarınca, herkes tarafından takip edilebilecek şekilde yayınlandığından, bir önceki bölümde bahsedilmiştir. Kişi veya kurumlar, yayın frekansını takip eden bir radyo alıcıyı, bilgisayar sistemine bağlı olarak kullanarak, dijital sinyalleri elde edebilir ve dijital veriyi anlamlı bilgilere dönüştürebilir. Bununla birlikte, bu tarz bir sistem, ancak radyo sinyallerinin fizik kuralları çerçevesinde yayılma çapına bağlı kalacaktır. Bir başka deyişle, tek bir alıcı sistem kullanıldığında, yayınlar, hava durumu, yayın gücü, alıcı antenin önünün açık olması gibi koşullara bağlı olarak, belli bir mesafeye kadar takip edilebilir. Açıktır ki, tüm dünyadaki uçuşları, hatta aynı ülkedeki bir uçuşun bile tamamını bu şekilde 1 alıcı ile takip etmek mümkün değildir. Bu sebeple ülkelerdeki havacılık otoriteleri, özel şirketler, kamu kuruluşları ve sivil toplum örgütleri, bu verileri bölgesel olarak toplayarak, kendi veri tabanları içinde birleştirmektedir. Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü (DHMİ) verilerine göre ülkemizde DHMİ kontrolünde 14 yer alıcısı bulunmaktadır. Bu veriler, bahsedilen kurum ve kuruluşların yapısına, amacına ve izinlerine göre kendilerinden tedarik edilebilir. Bu çalışmadaki veriler, Opensky Network olarak adlandırılan ticari olmayan bir organizasyondan temin edilmiştir.

Uygun veri kullanımı, istatistik temelli çalışmalar yapılırken karşılaşılan ilk sorunlar arasında gelmektedir. Veri havuzunun büyüklüğü, verinin sıklığı, tarafsızlığı, tüm verinin veya belirli grupların incelenebiliyor olması, bir veri içerisinde, birden çok inceleme yapılabilecek alanların olması, yapılan çalışmanın ihtiyaçlarına göre belirlenir. Bu ihtiyaçların belirlenmesinin ardından, uygun veri havuzuna ulaşılması veya ulaşılan verinin çalışma için uygun niteliklere getirilmesi yer alır.

ADS-B verileri, veri havuzu büyüklüğü bakımından, incelemek için araştırmacılara sınırsız alternatifler sunar. Büyük veri olarak da tanımlanabilecek bu veriler, hem geçmişe yönelik çalışılabilir, hem de o an uçmakta olan uçakların takibi ile rota tahmini yapılması gibi, gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilir. Sistem dünya çapında kullanılabilir olması ve herkese açık olması sebebiyle, bölgesel ulaşılabilir verilerin yanı sıra, tüm dünyayı içeren incelemeler yapılmasına da olanak sağlar. Ayrıca, veriler saniyede bir olarak yayınlandığı için, yüksek frekanslı bir inceleme yapmaya olanak sağlar. Kurgulanmış veri olmayıp gerçek veri olması, bilimsel temellerle elde edilen, hız, irtifa gibi bilgileri içermesi ve yorum içermemesi sebebiyle, tamamen objektif ve tarafsızdır. İstenirse belli bir havayolu operatörünün, belli bir ülke hava sahasının, veya belli bir kıtanın uçuşlarının incelenmesi mümkün olduğu için de araştırmacının amacına yönelik veriye ulaşma imkanı vardır.

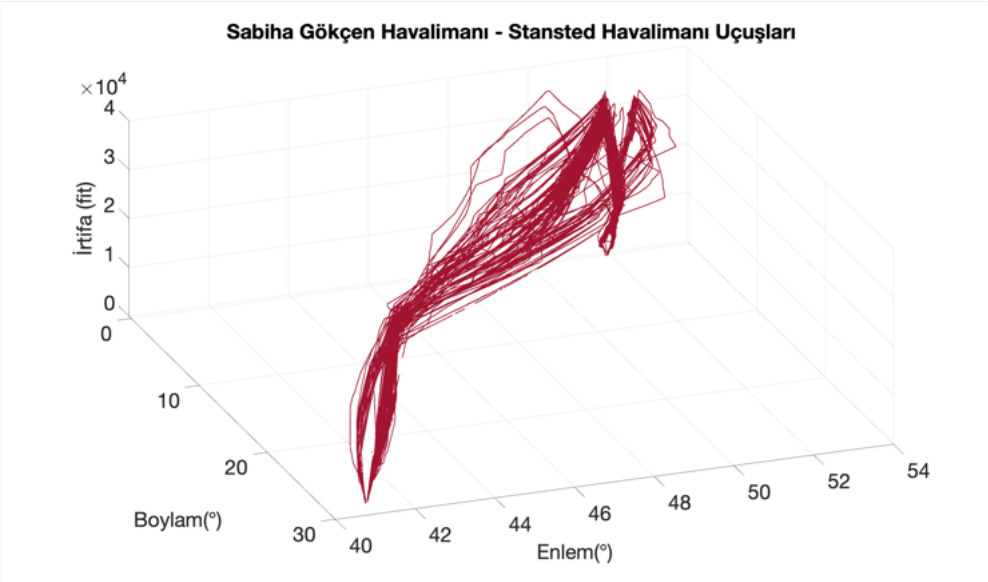
Yukarıda bahsedilen sebepler, yani istatistik incelemesi yapmak için veri havuzunun uygun olmasına ek olarak, makine öğrenmesi ve yapay zeka geliştirme çalışmalarında, büyük veri örneği olarak kullanılabilmesi, ADS-B verilerinin önemini daha çok ortaya koymaktadır. Bu sebepledir ki, bilimsel araştırmalarda gün geçtikçe kendine özgün bir yer edinen ADS-B verilerinin bu çalışmada veri havuzu olarak kullanılması uygun görülmüştür.

ADS-B verileri incelemeleri, literatürde yoğunlukla makine öğrenmesi yöntemleriyle yapılmaktadır. Makine öğrenmesi yöntemleri, büyük veri tabanları ile yapılan çalışmalarında verimli sonuçlar vermekle birlikte, eldeki verilerin ayrıntılı incelenmesi, kapsam alanında geri planda kaldığından, bu araştırma süresince, az sayıda verinin, istatistiksel yöntemlerle, standart sapma ve dağılımlarının incelenmesine karar verilmiştir.

2.1 VERİ KAYNAĞI

Araştırmanın ADS-B verileri ile yapılacağı belirlenmesi ve verilerin açık kaynak olarak ulaşılabilir olması ile birlikte, bu verilerin elde edilmesi, çeşitli alternatif yöntemlerle gerçekleşmektedir. Bu yöntemlerden bazıları, araştırma sürecinde denenmiş ve en uygun yöntemin OpenSky-Network sisteminden veri alınması olduğu gözlemlenmiştir.

İlk olarak, sistemi temel seviyede kullanarak, uçakların ilettikleri veriye doğrudan ulaşma yöntemi denendi. Shravan et al., 2020 'in makalesinde bahsettiği gibi, Raspberry Pi bilgisayarına, RTL-SDR modeli bir radyo alıcı bağlandı. Bu yöntem, amatör meraklıların sık sık kullandığı bir yöntem olarak, alıcı kapsama alanından geçen uçakların gözlemlenmesine olanak verse de, önceki bölümlerde bahsedilen sebeplerden dolayı, uçuşun tamamının incelenmesi mümkün olmadığı, tecrübe edilmiştir. Bu aşama sonrasında, bir adet alıcı ile araştırma yapmanın, veri havuzuna yeterli veri sağlayamayacağı gözlemlenmiş, ve bir çok alıcı ile geniş çaplı veri toplayan organizasyonel bir veri tabanına erişimin ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

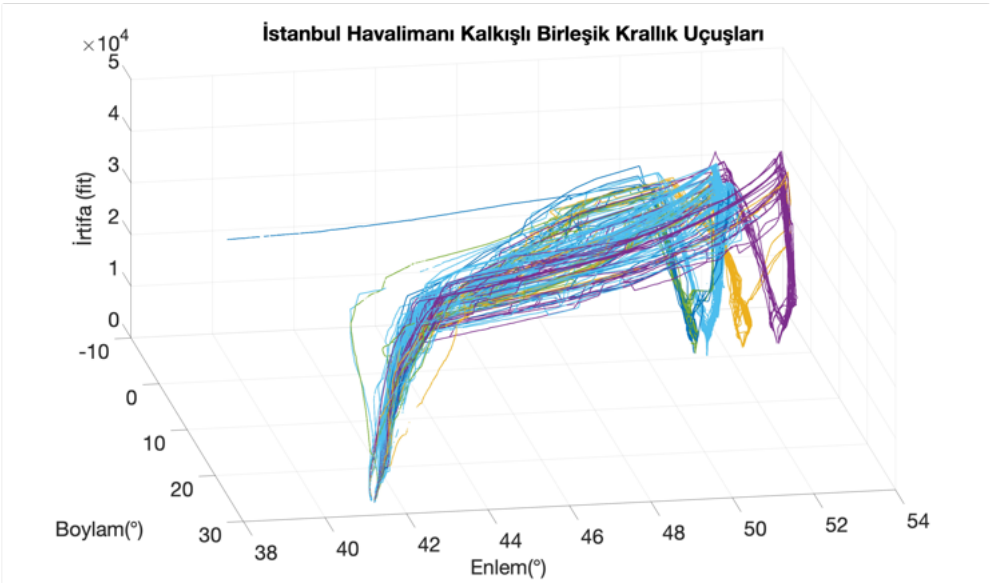


Şekil 1: 2022 Haziran Ayında Sabiha Gökçen Havalimanı'ndan Stansted Havalimanı'na Giden Uçuşların Konum Grafiği

Sivil hava taşıtlarının takibi konusunda hem profesyoneller hem amatör ilgililer tarafından kullanılan iki adet ticari kuruluş bulunmaktadır. FlightAware ve FlightRadar24 adlı siteler üzerinden erişim sağlanan ticari kuruluşlar, kendi alıcılarını kurarak, sistemin kapsama alanına destek olan amatörlere, veri tabanlarına ulaşmak da dahil olmak üzere geniş erişim imkanları vermektedir. İkinci yöntem olarak, Raspberry Pi ve RTL-SDR ile kurulan sistemin toplandığı verilerin, FlightRadar24 (kısaca FR24) kuruluşuna gönderilmesiyle, FR24 veri tabanına erişim sağlandı ve araştırma amacında kullanılabilirliği incelendi. FR24 kuruluşunun ticari amaçlı bir

kuruluş olması sebebiyle, hava araçlarından gönderilen ham verileri değil, işlemden geçirilmiş verileri depoladığı ve bu verilerin de sistemsel yöntemlerle toplu tedariğinin mümkün olmadığı, tek tek tedarik edilmesi gerekliliği sebebiyle, araştırmalarda kullanılmasının, verinin erişilebilirlik ve tarafsızlık ilkelerine uygun olmayacağı düşüncesiyle vazgeçildi.

Üçüncü alternatif olarak, günümüzde İsviçre'de bulunan ve akademik amaçlı araştırmacılara ADS-B veri tabanına erişimi sağlayan, ticari olmayan, OpenSky-Network kuruluşundan ham verilerin elde edilmesi denenmiş, ve bu araştırma için uygun olduğuna kanaat getirilmiştir. Kuruluş ve sistemleri ile ilgili ayrıntılı bilgi, bir sonraki kısımda. Şekil 1'de çalışma kapsamında incelenen 2022 yılı Haziran ayında, Sabiha Gökçen Havalimanı'ndan Stansted Havalimanı'na yapılan uçuşların konum grafiği görülmektedir. Veriyi işleme ve inceleme çalışmaları sırasında ilk örneklem olarak kullanılan rotada, örnek sayısı karşılaştırmalı analiz için yetersiz gelmiştir. Bu sebeple, çalışmanın ilerlemesi ile birlikte, İstanbul Havalimanı'ndan Birleşik Krallık'ta bulunan farklı havalimanlarına yapılan seferler de incelenmiştir. İstanbul Havalimanı kalkışlı seferlerin rotaları, Şekil 2'de görülebilir.



Şekil 2: 2022 Haziran Ayında İstanbul Havalimanı'ndan Birleşik Krallık'a Giden Uçuşların Konum Grafiği

2.1.1 OpenSky-Network Veri Tabanı

OpenSky Network veri tabanı, İsviçre'de bulunan ve kar amacı gütmeyen bir kuruluştur. Kuruluş, hava alanlarının daha emniyetli, güvenli ve verimli kullanılması amacıyla, sadece geçmişteki uçuşların kayıtlarını tutmakla kalmayıp, bununla birlikte anlık olarak yayınlanan hava trafik verilerine de açık erişim sağlamayı amaçlamaktadır.

Kuruluş, Bölüm 2.1'de açıklandığı şekilde, birden çok yer alıcısından verileri toplayarak internet aracılığıyla bir veri tabanı oluşturmaktadır. Bu alıcılar gönüllüler, sektör şirketleri, akademik ve devlet organizasyonları tarafından kurulmakta ve çalıştırılmaktadır. Elde edilen tüm ham veriler, büyük bir tarihi veri tabanı içerisine arşivlenmekte ve bu veri tabanı, öncelikle hava trafik kontrolü teknolojilerini incelemeyi ve geliştirmeyi amaçlayan araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır.

OpenSky Network sisteminin temelinde yatan teknoloji, Otomatik Bağımlı Gözetim - Yayın (ADS-B) teknoloji ve MODE-S kodlarıdır. MODE-S kodları, hava araçlarına, ülkelerin sivil havacılık otoriteleri, tarafından verilen kuyruk kodlarına karşılık gelen 8 haneli kodlardır. Ülkemizde bu otorite Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'dür. MODE-S kodları ADS-B sistemi aracılığı ile, 1090 MHz frekansından herkese açık şekilde yayınlanmaktadır. Schäfer et al., 2014

OpenSky Network, 2012 yılında İsviçre Federal Savunma Tedarik Ofisi (armasuisse), Kaiserslautern Üniversitesi (Almanya), Oxford Üniversitesi arasında bir araştırma projesi olarak başladı. 2015 yılında, dünya çapında yapılan açık kaynak yayınlarını sürekli şekilde takip etme ve sistem ağını geliştirme amacıyla, proje bağımsız OpenSky Network Derneği'ne evrilmiştir.

Tablo 2'de, OpenSky-Network sisteminin 2013 tarihinden itibaren topladığı veri istatistikleri görülmektedir. Bu verilere göre, 10 yılı aşkın çalışma süresi boyunca, kuruluşundan günümüze kadar 190 farklı ülkeye kayıtlı toplam 506,000'e yakın farklı hava aracı sistem tarafından tespit edilmiştir. Sistem bu verileri, 1,894'ü aktif olarak çalışan, toplam 6,451 kayıtlı alıcı ve 110 adet anonim alıcı sayesinde toplamıştır. Saniyede ortalama 188,075 ADS-B mesajı kaydeden sistem, günümüze kadar26 trilyonun üzerinde ADS-B mesajı tespit etmiştir. Tez yazım sırasında, anlık olarak dünya çapında takip edilen hava aracı sayısı 10,253 adettir.

Özellik	Ulaşılan Değer
Bağımsız Hava Aracı Sayısı	505,954
Hava Aracı Tescil Ülkeleri	190
Sistemin Çalıştığı Gün Sayısı	3,719
Kayıtlı Alıcılar	6,451
Aktif Kayıtlı Alıcılar	1,894
Aktif Anonim Alıcılar	110
Toplanan Mesaj Sayısı	26,017,767,132,150
Saniyedeki Mesaj Sayısı	188,075
Takip Edilen Hava Aracı	10,253

Tablo 2: OpenSky-Network Sistem Değerleri

2.1.2 Veri Temininde Kullanılan Yöntem ve Kütüphaneler

OpenSky-Network, veri paylaşımını, Impala arayüzü üzerinden yapmaktadır. Bununla birlikte, hem sistemin toplu erişimlerde verimsiz çalışabilmesi sebebiyle, hem de indirilen verilerin ham halde verimli kullanılamaması, sonradan işlem görme ihtiyacında olması sebebiyle, veriyi işlemek için farklı yöntemler geliştirilmiştir.

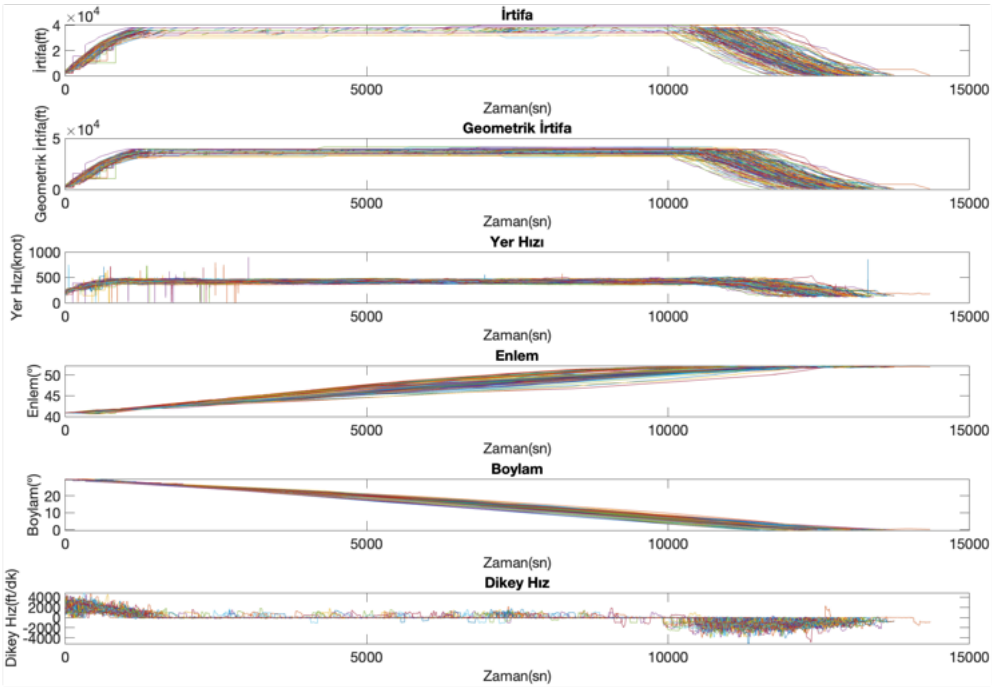
Veri tabanına erişim için kullanılan başlıca yöntemler, Python için hazırlanan traffic, pyModeS ve pyOpenSky, MATLAB için hazırlanan em-download-opensky ve em-processing-opensky, R dilinde kullanılan openSkies, osn, openskyr gibi paket ve kütüphanelerdir.

Kütüphane ve verilerine kolayca ulaşılabilmesi, birden çok kişinin açık kaynak olarak geliştirmesi sayesinde ve hemen her senaryo için alternatif yöntemlere ulaşılabilmesi sebebiyle, Python tabanlı traffic kütüphanesinin bu çalışmada kullanılmasına karar verildi. Olive, 2019

Python dili için Delft Teknik Üniversitesi yetkilileri tarafından hazırlanan "traffic" isimli kütüphane, OpenSky Network veri tabanına erişimi rahatlatmakla birlikte, sonuçların incelenmesi için de kullanılabilen bir arayüz sunmaktadır. Ayrıca çevrimiçi doküman sistemi sayesinde, kütüphanenin hızlı bir şekilde, örnekler yardımıyla öğrenilerek, kısa sürede araştırma amacıyla kullanılmaya başlanabilmesi, olumlu yönlerindendir.

2.2 VERİLERİN İNCELENMESİ

Ne tür verilerin kullanılacağına karar verilmesi, veri kaynağı ve veri tabanının belirlenmesi ve erişiminin ardından, hedef veri kitlesinin belirlenmesi, elde edilen verilerin ön inceleme sonucu hatalı veya eksik yönlerinin farkına varılması, belirlenen hata ve eksiklerin araştırmayı olumsuz etkilemeyecek şekilde çözüme kavuşturulması ve ardından, arındırılmış ve incelemeye hazır verinin, araştırmada kullanılması süreçleri gelmektedir.

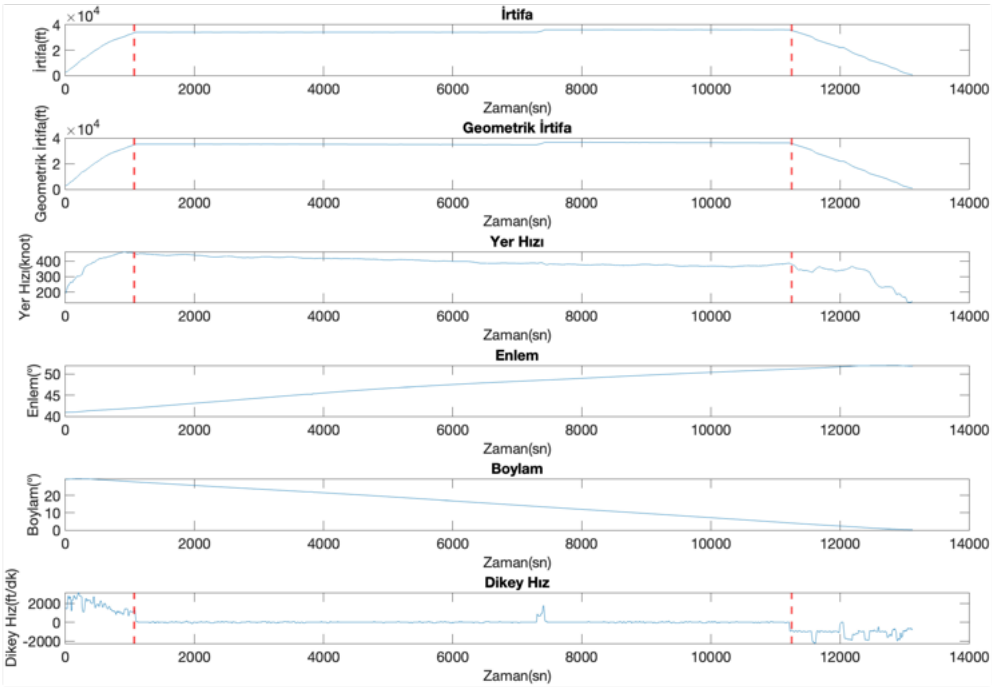


Şekil 3: LTFJ'den EGSS'ye Giden 207 Uçuşun Karşılaştırmalı Grafiği

OpenSky-Network organizasyonu, ticari olmayan bir organizasyondur ve veri tabanını, gönüllülerin, kurdukları radyo alıcılardan topladığı verileri, organizasyona göndermesi sayesinde genişletmektedir. Araştırmanın başında, ülkemizdeki en işlek iç uçuş hatlarından olan, Ankara Esenboğa Havalimanı (LTAC) ile İstanbul Sabiha Gökçen (LTFJ) havalimanları arasındaki uçuşların incelenmesi hedeflenmiştir. Ancak, Anadolu coğrafyasında, OpenSky-Network'e veri sağlayan gönüllülerin, sağlıklı veri elde edilmesi için yeterli olmaması sebebiyle, bu hatta çalışma yapılamamıştır.

İkinci olarak, Sabiha Gökçen Havalimanı kalkışlı tüm uçuşlar değerlendirmeye alınmış ve en çok uçuşun EGSS kodlu Londra Stansted Havalimanı'na yapıldığı fark edilerek, bu iki havalimanı arasındaki rotalar incelenmiştir. Yapılan incelemede yaz sezonunda uçuş yoğunluğunun yüksek olması sebebiyle 2022 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları süresince yapılan uçuşlar değerlendirilmiş, Haziran ayında elde edilen 30 günlük verinin, çalışma için yeterli olduğu ve daha fazla veri işlemenin gerektirdiği işlemci maliyeti sebebiyle, Temmuz ve Ağustos aylarındaki veriler çalışmada kullanılmamıştır. Haziran ayında LTFJ'den EGSS'ye günde ortalama 6 uçuş

gerçekleşmiştir. İlgili uçuşların eksenler üzerindeki hareketi Şekil 1'de, öznitelikleri Şekil 3'te gözlenmektedir



Şekil 4: Sabiha Gökçen Havalimanı'ndan Stansted Havalimanı'na Giden 1 Uçuş Örneği

Verilerden seçilen rastgele uçuş örneklemesi sonucu, Şekil 4'te görüleceği üzere, bir uçuşa ait veri çeşitlerinin zamana göre değişimi aşağıda verilmiştir. Burada, uçuşun kalkış, düz uçuş ve iniş evrelerinde, uçuş özniteliklerinin benzer değişimler gösterdiği gözlenebilmektedir.

Uçuş Rotası	Uçuş Sayısı	Ortalama Veri Noktası	Toplam Veri Noktası
LTFJ-EGSS	210	11,007	2,311,472
LTFM-EGLL	162	12,327	1,996,986
LTFM-EGKK	23	12,354	284,151
LTFM-EGKR	20	12,765	255,308
LTFM-EGBB	33	13,494	445,302
LTFM-EGCC	46	13,180	606,289

Tablo 3: 2022 Haziran Sürecinde Gözlemlenen Uçuş Değerleri

Çalışmanın ilerlemesi ile birlikte, yakın bölgelerdeki farklı havalimanlarına yapılan uçuşların karakteristik benzerliklerinin değerlendirilmesi düşüncesiyle, sefer sayılarının daha fazla olması sebebiyle kalkış havalimanı olarak İstanbul Havalimanı (LTFM) seçilmiş, iniş havalimanı olarak da İngiltere'de bulunan havalimanları, Londra Heathrow Havalimanı (EGLL), Londra Gatwick Havalimanı (EGKK), Londra Redhill Havalimanı (EGKR), Birmingham Havalimanı (EGBB), Manchester Havalimanı (EGCC) ele alınmıştır. Bu uçuşların tamamının eksenler üzerindeki hareketi Şekil 2'de görülmek-

tedir. Bu havalimanı verileri arasında Birmingham'a ait verilerin, diğer havalimanlarına oranla sayıca az olması sebebiyle, tekil incelemesi yapılmamış, genel incelemeye dahil edilmiştir. Ayrıca, Londra Redhill Havalimanı incelenirken, İstanbul'dan kalkan yolcu uçaklarının teknik olarak bu piste inmesinin mümkün olmadığı fark edilmiş, ayrıca uçuş kodları incelendiğinde seferlerin LTFM-EGKR değil, LTFM-EGKK uçuşlarına ait olduğu belirlenmiştir. Verilerdeki bu hatanın sebebinin, ADS-B sistemine yanlış bilgiler girilmesi olduğu düşünülmektedir. Varış havalimanı isminin yanlış olması dışında verilerin içeriğinde bir problem olmaması sebebiyle, ayrı bir havalimanı gibi incelenmeye devam edilmiş, genel incelemeye de katılmıştır. İncelenen verilerin genel durumu, Tablo 3'te görülebilir.

2.2.1 Veri Setinin Python Tabanıyla Hazırlanması

Veri tabanının incelenmesi sürecinde, sunduğu imkanlar sebebiyle Python dilinin seçildiğinden Bölüm 2.1.2'de bahsedilmiştir. Bununla birlikte, Python'da yapılan çalışmalar, temel olarak aşağıdaki basamaklarda aşamalandırılmış şekilde belirtilmiştir.

1. Python Kütüphanelerinin kurulması (Algoritma 1)

```
from traffic.data import opensky
import traffic
import sqlite3
import matplotlib as mpl
import numpy as np
import scipy.io
```

Algoritma 1: Uygulamada Kullanılan Python Kütüphaneleri

2. Hedef verinin indirilmesi (Algoritma 2)

```
def opensky_download(start_date,end_date,airpod):
    for n in range (gun*24):
        flight_saw_iterate =opensky.history(
            " \' {} \' ".format(str_start_date),
                " \' {} \' ".format(str_end_date),
            departure_airport=airpod,)
```

Algoritma 2: OpenSky-Network Indirme Algoritmaları

Bu aşamada incelenen verinin boyutu dikkat çekmiş ve işlemci süresini kısaltmak amacıyla, verilerin sqlite kütüphanesi aracılığıyla, bilgisayarda yerel bir veri tabanına kaydedilmesi, ve sonrasında gerçekleştirilecek incelemelerde, oluşturulan yerel veri tabanının kullanılması uygun bulunmuştur.

3. İndirilen verilerin, sqlite ile oluşturulan yerel veri tabanına kaydedilmesi

4. Veri hatalarının ayıklanması (Algoritma 3)

```
if ucuslar[i][j][k][l] == 'NULL':
  if k == 0:
    for t in range (len(ucuslar[i][j])):
      if ucuslar[i][j][k][l] == 'NULL':
        if ucuslar[i][j][t][l] != 'NULL':
          ucuslar[i][j][k][l]=ucuslar[i][j][t][l]
        if k!=0:
          ucuslar[i][j][k][l]=ucuslar[i][j][k-1][l]
```

Algoritma 3: Hatalı ve Eksik Verilerin Düzenlenmesi

3 YÖNTEM

Araştırmanın nasıl yapıldığı konularından Bölüm 2.2 bölümünde öncül olarak bahsedilmiştir. Kısaca izlenilen aşamalar aşağıdaki 6 madde ile özetlenebilir.

1. Veri Kaynağına ulaşılması.
2. Python ile verinin indirilmesi
3. Python ile verinin ön işlemeye hazır hale getirilmesi
4. MATLAB ile verilerin sinyal olarak filtrelenmesi
5. MATLAB ile uçuş evrelerinin ayrıştırılması
6. Ayrıştırılan uçuş evrelerinin istatistiksel metotlar ile incelenmesi

Bu aşamaların ilk ikisinden Bölüm 2.1.1 ve Bölüm 2.2.1 başlıklarında bahsedilmiştir. Verinin elde edilmesinden sonra yapılan işlem ve incelemelerden Bölüm 3.1 Verilerin Ön İşleme Süreci, İncelemeye Hazırlanması kısmında bahsedilecektir.

3.1 VERİLERİN ÖN İŞLEME SÜRECİ VE İNCELEMEYE HAZIRLANMASI

Her araştırmada olduğu gibi, bu çalışma sırasında da verinin elde edilmesinin ardından, incelenmesi ve muhtemel hatalı verilerin düzeltilmesi veya ayrıştırılmasına ek olarak, araştırmaya konu olmayan verilerden de arındırılması gerekmiştir. OpenSky-Network'den temin edilen verilerin içeriğinde 21 adet öznitelik bulunmaktadır.

Bu öznitelikler orjinal İngilizce isimleriyle; "alert, altitude, callsign, day, destination, firstseen, geoaltitude, groundspeed, hour,icao24, last_position, lastseen, latitude, longitude, onground, origin, spi, squawk, timestamp, track, vertical_rate" şeklinde sıralanmaktadır. Bu içerikler arasında uçak durum kodları, acil durum kodları, uçuşun ilk ve son sinyal alınma zamanı gibi veriler de olduğundan, ve bu çalışma kapsamında incelenmeyeceğinden, öncelikle, çalışmada kullanılacak veriler, genel verilerin tablosundan ayrıştırılması ihtiyacı doğmuştur.

```
if ucus_list_genel[i][j][k][l] == 'NULL':

  if k == 0:
    for t in range (len(ucus_list_genel[i][j])):
      if ucus_list_genel[i][j][k][l] == 'NULL':
        if ucus_list_genel[i][j][t][l] != 'NULL':
          ucus_list_genel[i][j][k][l]=ucus_list_genel[i][j][t][l]
  if k!=0:
    ucus_list_genel[i][j][k][l]=ucus_list_genel[i][j][k-1][l]
```

Algoritma 4: Eksik Verilere Nümerik Method Uygulaması

İlk olarak, veriler, yerel veri tabanından istenirken origin (kalkış havalimanı) olarak İstanbul Havalimanı (LTFM) sınırlamasıyla istenmiş, ek olarak incelenecek uçuş süreci, 2022 Haziran ayını kapsayacağı için, day (gün) özniteliği 1 Haziran 2022 tarihinden başlayarak 30 günlük sürecin her gününe ulaşmak amacıyla, her gün için ayrı, toplamda 30 kere çalışacak olan bir döngü oluşturulmuştur. Son olarak, iniş havalimanlarının da filtrelenmesi amacıyla, destination (hedef havalimanı) özniteliğinin, Birleşik Krallık'ta yer alan havalimanlarının ön kodu olan "EG" kodu ile başlaması istenmiştir.

Verilerin indirilmesi, yerel veri tabanına kaydedilmesi ve ardından bu veri tabanından tekrar kullanılması sürecinde elbette birden çok problem ile karşılaşılmaktadır. Bu çalışmada görülen problemlerin bir bölümü, yazılım dili kaynaklı ve araştırmayı etkilemeyecek şekilde olsa da, bu aşama sırasında, verinin yapısından kaynaklanan ve araştırma sürecini doğrudan etkileyecek problemler de bulunmuştur.

Karşılaşılan problemler arasında en önemli olan, eksik üretilmiş verilerin de olmasıdır. Verilerin hazırlanması sürecinde, yukarıda belirtilen özniteliklerden bir veya birkaçının eksik olduğu veri noktaları ile karşılaşıldı. Nümerik metot araştırmaları sonucunda, çalışmanın başarılı sonuçlar çıkartabilmesi amacıyla, bir veya birkaç özniteliğin eksik olduğu durumlarda bu öznitelik değerlerinin komşu veri noktalarından sağlanması ile veri sürekliliğinin sağlanacağına kanaat getirildi. Bu bağlamda, bir veri noktasında, eksik öznitelik olduğunda, bu özniteliğin, bir önceki veri noktasındaki aynı özniteliğin değerini alacağı, eğer bir önceki öznitelik yoksa, örneğin ilgili veri havuzunun ilk veri noktasıysa, sırayla verinin elde edilebileceği sonraki veri noktalarını inceleyen bir döngü hazırlandı. İlgili döngü, Algoritma 4'de görülebilir.

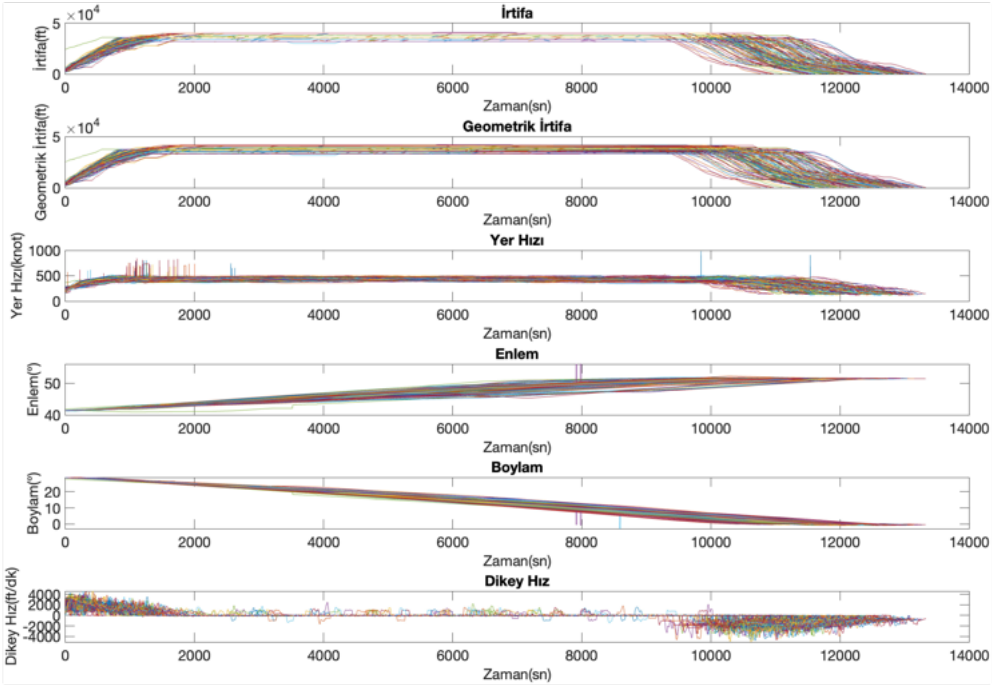
Yerel veri tabanından, istenilen zaman aralığı, kalkış ve iniş havalimanlarına olan uçuşların bilgileri elde edildiğinde, istatistiksel inceleme sırasında kullanılacak olan, altitude (barometrik irtifa), geoaltitude (Küresel Konumlandırma Sistemi irtifası), groundspeed (yer hızı), latitude (enlem), longitude (boylam), track (geometrik kuzeye göre yönü), vertical_rate (dikey hız) öznitelikleri dışındaki veriler silinerek, 7 özniteliğe sahip rafine veriye ulaşılmış oldu.

Her havalimanı ve uçuş olan her gün için ayrı ayrı ".mat" yapısında oluşturulan matrisler, her havalimanı için ayrı olarak, struct formatında MATLAB programına aktarıldı. Böylece, MATLAB içerisinde, havalimanı ismiyle tanımlı bir değişken incelendiğinde, öncelikle 30 günlük periyod içerisinde uçuş olan günlere ulaşılabilmesi, bu günlerden birinin ayrıntılı olarak incelenmesiyle de, o gün gerçekleşen uçuşların 7 öznitelik değerine ulaşılması sağlandı.

3.2 SAYISAL İŞARET İŞLEME TEKNİKLERİ

Sinyaller, zaman içerisinde belirli bir kurala göre veya bağımsız şekilde değişen değerler dizisidir. Farklı disiplinlerde farklı şekillerde tanımlanmakla birlikte, genel anlamda, taşıyıcı olarak zaman değişkeni üzerinde kodlanmış bilgidir.

Verilerin Python programlama dili aracılığı ile elde edilmesinin ardından, sinyal olarak incelenmek üzere MATLAB programına aktarılarak zaman ekseni üzerinde açılmasıyla, veri üzerinde hatalı olduğu belli olan noktalar fark edilmiştir. Bu sebeple, hatalı verilerin ayrıştırılması için bazı uygulamalar yapılmıştır.



Şekil 5: LTFM'den EGLL'ye Giden 158 Uçuşun Karşılaştırmalı Grafiği

İlk olarak, incelenen öznitelik sinyallerinin, uçuş evrelerine göre ayrıştırılması gerekmektedir. Şekil 5'te LTFM-EGLL uçuşları üzerinden özniteliklerin değişimi görülmektedir. Ayrıştırma sonrasında her uçuş evresine özel gözlem yapabilmek, farklı uçuşların aynı evrelerini birbiri ile kıyaslayarak, doğru sonuca ulaşmak amaçlanmaktadır. Sinyal verilerinin, uçuş evrelerine ayrıştırılabilmesi için, öncelikle sinyalin gürültülerden ayrıştırılması gerekmektedir. Sinyal analizinde, ideal olmayan doğal ortamdan alınmış veriler incelenirken filtre kullanımı elzemdir. Bu amaçla, sırasıyla medyan filtre ve konvolüsyon işlemleri uygulanmıştır. Medyan Filtre, yani Ortanca Filtre aracılığıyla yapılan filtreleme işleminde, veriler birbiri ile karşılaştırılır, ve ortanca değer yeni değer olarak kabul edilir. Burada farkında olunması gereken, ortalama değer değil, sıralandığında ortadaki sıraya gelen, ortanca değer yeni değer olarak kabul edilmektedir. Konsept olarak basit görünen bu yöntem uygulanırken, sayı olarak kaç adet komşu değere bakılacağı yüksek önem arz etmektedir. Yapılan

çalışma kapsamında incelenen öznitelikler den irtifa özniteliği, verinin uçuş evrelerine ayrılması için kullanılacak değer olarak belirlenmiştir. Medyan filtre uygulanması sonucunda, özellikle tek olarak bulunan uç değerlerden, veri tabanının arındırılması sağlanmış, bununla birlikte, daha yumuşak geçişlere sahip öznitelik sinyalleri elde edilmiştir. Bu işlemlerin MATLAB aracılığıyla yapılmasında, Algoritma 5 kullanılmıştır.

```
tmp_signal      = getfield(ucus_signal , field_name);
tmp_signal_filt = medfilt1(tmp_signal , medfilt_h1);
tmp_signal_diff = conv(tmp_signal_filt , h_filt , 'same');
```

Algoritma 5: MATLAB *medfilt*1 ve *conv* Algoritmaları Uygulamaları Temsili

Konvolüsyon iki sinyal (matris) ile çalışır, bu sinyallerden ilki, giriş sinyali (input) ikincisi ise filtre yani kerneldir, ve bu sinyaller aracılığıyla üçüncü sinyal yani çıktı elde edilir. Giriş sinyaline f ve kernele g dersek, f ve g'nin konvolüsyonu yani $f * g$;

$$(f * g)(n) = \sum_k f(k)g(n-k) \tag{1}$$

şeklinde gösterilir. Bu işlem yapılırken, kernel matrisi, giriş sinyali üzerinde kaydırılıyor gibi düşünülebilir.

$$f = \begin{bmatrix} 100 & 500 & 600 & 100 & 100 & 200 & 400 & 300 \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$g = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

Yukarıdaki f ve g vektörleri ile işlem yapıldığında; ve sonuca h denirse, $h(i)$ filtrenin merkezinin $f(i)$'ye gelecek şekilde yerleştirilmesi ve geri kalan değerlerin, 0 olarak yerleştirilmesidir. Bu durumda $f(2)$'nin örneği aşağıda verilmiştir.

$$f(2) = 100 * -1 + 500 * 0 + 600 * 1 = 500 \tag{4}$$

Bu işlemin tüm f vektörü üzerinde yapılmasının sonucu aşağıda gösterilmiştir.

$$f * g = \begin{bmatrix} 500 & 500 & -400 & -500 & 100 & 300 & 100 & -100 \end{bmatrix} \tag{5}$$

Yukarıda verilen örnekte ulaşılan sonuç matrisi, $f * g$ konvolüsyonu sonucu çıkan matristir.

Konvolüsyon işlemi, eldeki verinin, bir kernel matrisi ile çarpılarak, filtrelenmesi

sürecidir. Farklı amaçlar için uygulamalar olmakla birlikte, bu çalışmadaki uygulama amacı, yan yana olan değerlerin, birbirine yakınlığını belirlemek, böylece uçuş fazlarını ayırmaktır. Bu işlem temel olarak nokta çarpımı ve aradaki kernel matrisin bölgesel olarak hareket etmesi olsa da, uygulamanın amacına göre, alternatifleri arasından kernel matrisinin belirlenmesi gerekir. Çalışma kapsamında kullanılan matris aşağıda belirtilmiştir.

$$g = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & ... & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

MATLAB'da bu işlemler, dahili algoritmalar aracılığı ile yapılabilmekte, medyan filtre için $w = medfilt1(x, n)$ ve konvolüsyon işlemi için $w = conv(u, v, shape)$ dizimleri kullanılabilmektedir. Ortanca filtre içinde gösterilen x, filtre uygulanacak sinyali, n ise işlemin kaçıncı derecede yapılacağını belirtmektedir. Konvolüsyon işlemi içinde u, medyan filtre sonucu çıkan sinyali, v konvolüsyon matrisini belirtip, *shape* ifadesi, uygulamada *same* özelliğinde kullanılıp, konvolüsyon vermezinin u vektörü yani sinyalle aynı boyutta olmasını sağlamıştır.

```
sec_region = abs(tmp_signal_diff)<segment_alti_tresh;
[Lbl,N_reg] = bwlabel(sec_region);
```

Algoritma 6: MATLAB *abs* ve *bwlabel* ile Bölgelere Ayırma

Filtreden geçirilmiş sinyal, hatalı uç değerlerden arındırılmak için, bir basamaktan daha geçirilerek, beklenenin üzerindeki büyüklüğe sahip verilerin silinmesi sağlanılmış, ardından *bwlabel* algoritması ile, sinyalin bölgelere göre belirlenmesi sağlanmıştır. Bu işlemler Algoritma 6'da gösterilen betik ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında anlatılan uygulamalar sonucunda, Tablo 4'de örneklenen veriler elde edilmektedir ve bu veriler istatistiksel inceleme için uygundur.

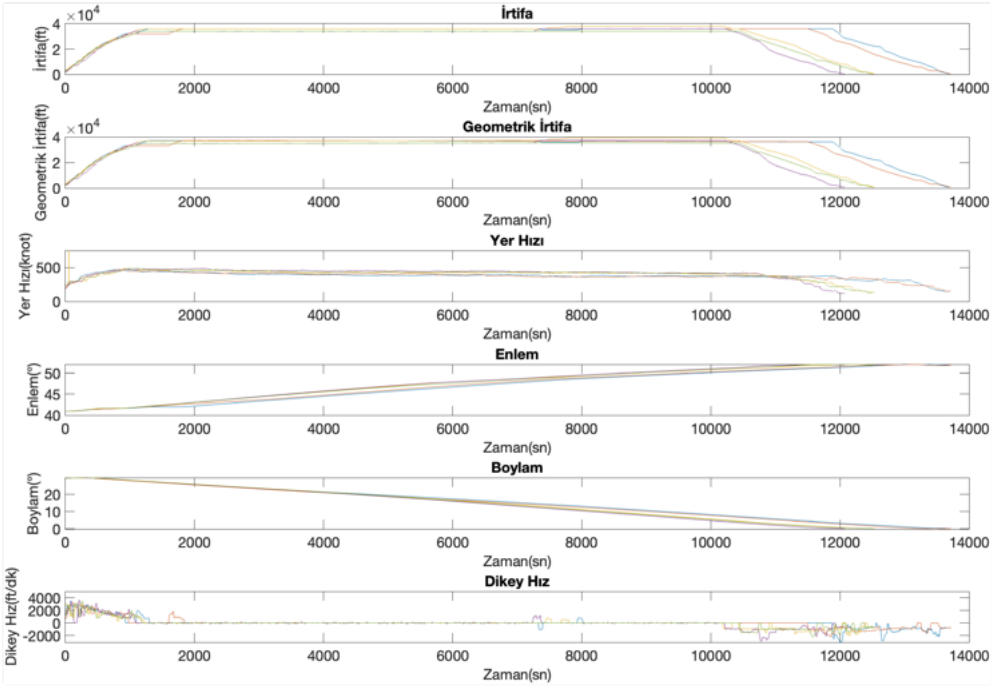
İrtifa	**Geo. İrtifa**	**Yer Hızı**	**Enlem**	**Boylam**	**Rota**	**Dikey Hız**
4700	4925	270	41.4028930	28.6825561	299.2192466	2944
4750	4925	270	41.4034881	28.6810580	299.2192466	2880
4800	5100	271	41.4039916	28.6799344	299.4038390	2944
4850	5100	271	41.4045867	28.6784987	299.4038390	2944
4875	5125	271	41.4052361	28.6769991	299.5877634	3008
4875	5125	271	41.4052361	28.6769991	299.6923404	3008
4950	5250	271	41.4061431	28.6748782	299.9816393	3072
4950	5250	271	41.4086345	28.6690787	300.1650078	3072
4950	5250	271	41.4096221	28.6667633	300.3476966	3008
5150	5450	270	41.4102630	28.6653275	300.5297058	3008

Tablo 4: İstatistiksel İnceleme Öncesi LTFM-EGKK Uçuş Verileri Örnekleri

4 BULGULAR

4.1 BULGULARIN ÖZNİTELİK GRAFİKLERİ ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

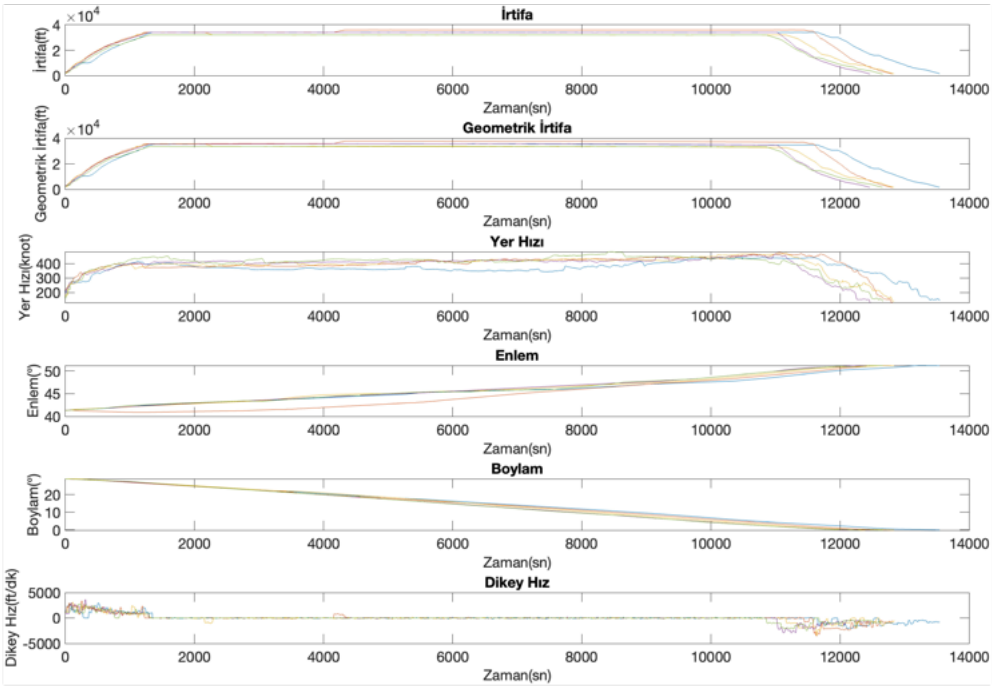
İstanbul ile Birleşik Krallık arasındaki bir uçuşta, genel olarak 10,000'den fazla veri noktası bulunmaktadır ve 200 sefer için bu sayı 2,000,000'a ulaşmaktadır. Bu sayı veri noktaları sayısı olup, her bir nokta 21 öznitelik içerdiğinden, LTFJ'den EGSS'ye bir ay içinde yapılan uçuşlar göz önüne alındığında toplam veri miktarı 42 milyon adeti geçmektedir. Bu değer, yapılacak inceleme için yeterli olmaktadır. Şekil 3'te bir aylık uçuşların değerleri görülebilir. Bununla birlikte, uçuş süreçlerini daha ayrıntılı incelemek amacıyla, Şekil 6'ya bakılabilir.



Şekil 6: LTFJ'den EGSS'ye Giden 5 Uçuşun Grafiği

Yapılan incelemede sonucunda, eldeki verilerin istatistiksel inceleme için yeterli olacağı görülmektedir. Bununla birlikte, veriye ulaşım ve işleme süreçleri halihazırda yapıldığı için, aynı noktadan başlayıp aynı noktada biten verilerin incelenmesi ile birlikte, bir noktadan başlayıp, farklı noktalara iniş yapan uçakların, uçuşlarındaki değişimlerin karşılaştırılabileceğine karar verilmiş ve uçuş sayısının daha fazla olması sebebiyle, kalkış havalimanı olarak İstanbul Havalimanı'nın seçilmesine karar verilmiştir.

İstanbul Havalimanı incelenirken, Sabiha Gökçen Havalimanı incelemesinde takip edilen işlem basamakları, aynı şekilde tekrarlanmış, zaman aralığı olarak 2022 yılı Haziran ayı seçilmiş, ve en sık uçulan havalimanları listelenmiştir. Yapılan in-



Şekil 7: LTFM'den EGKR'ye Giden Uçuşlar Grafiği

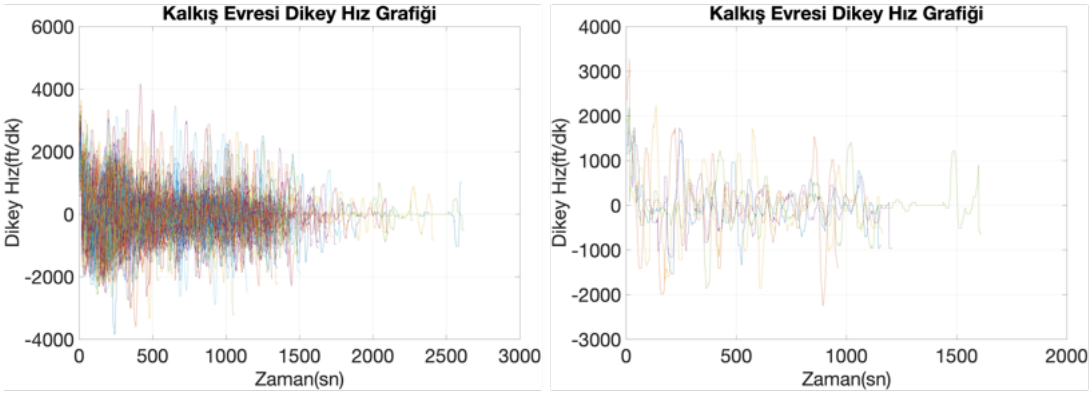
celemede, İstanbul Havalimanı'ndan 2022 yılı Haziran ayında en fazla seferin, 160 adetten fazla sefer olarak, Birleşik Krallık'ta Bulunan Heathrow Havalimanı'na olduğu belirlenmiştir. EGLL, Heathrow Havalimanı'nın ICAO kodudur. Ardından, EGLL çevresinde yakın havalimanları araştırılmış ve eldeki veriye göre, İstanbul Havalimanı'ndan (LTFM), Birleşik Krallık'ta bulunan Gatwick (EGKK), Redhill (EGKR), Birmingham (EGBB) ve Manchester (EGCC) havalimanlarına da uçuş yapıldığı belirlenmiştir. Bu aşamada iki önemli bilgiyi atlamamak gerekir. Öncelikle, bu liste, EGLL çevresinde uçulan havalimanları araştırılırken ortaya çıkmıştır ve en çok LTFM'den en çok uçulan havalimanları sıralamasıyla bağlılık göstermemektedir. İkinci olarak, araştırma sürecinde, havalimanı kodları ile ilgili çalışılmış ve veriler istatistiksel olarak incelenmiş ve bu büyüklükte bir veri havuzunun tek tek incelenmesi mümkün olmadığından, uçuş yeterlilikleri, uçuş kuralları gibi konularda tek tek incelenmemiştir. Raporlama sürecinde, eldeki verilerde, LTFM'Den EKGR'ye giden uçuşlara ait veri görünmesine rağmen, Londra Redhill (EGKR) Havalimanı'nın, ticari uçuşlar için teknik olarak uygun olmadığı, dolayısıyla LTFM-EGKR arası uçuş olamayacağı belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında eldeki veriler incelendiğinde, uçuş kodlarının LTFM-EGKK arası uçuşlara ait olduğu, ancak iniş havalimanı bilgisinin EGKR olarak kaydedildiği fark edilmiştir. EGKK ve EGKR Londra'da bulunmaktadır ve aralarında 5 kilometrelik mesafe bulunan iki havalimanıdır. Elimizdeki verilerde EGKR havalimanına ineceği planlı görülen uçuşların gerçek iniş istasyonun EGKK olduğu bellidir. Hatanın sebebinin kasıtlı veya kasıtsız şekilde farklı uçuş verisi kaydı olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple, EGKR'ye ait veriler araştırmadan kaldırılmamış, genel istatistiklere dahil edilmiştir. İlgili uçuşlar örnek olarak Şekil

7'de gösterilmiştir.

Bu aşamada, veri tabanında incelenecek zaman aralığı ve kalkış iniş havalimanları belirlenmiş şekilde incelemeye geçilebiliyor. Sinyal olarak işlenecek veri, 2.2.1. bölümde belirtilen yöntemler ile, öncelikle ortanca değerleri alınarak filtreden geçirilmiş, ardından konvolüsyon işlemleri uygulanarak, uçuş evreleri ayrıştırılmıştır. Çalışma kapsamında hız olarak bahsedilen öznitelik, uçakların dikey eksendeki hızıdır ve birimi fit/dakikadır. Gatwick Havalimanı'na yapılan uçuşlardan bir örnek üzerinde, uçuş evrelerinin ayrıştırılması gösterilmiştir.

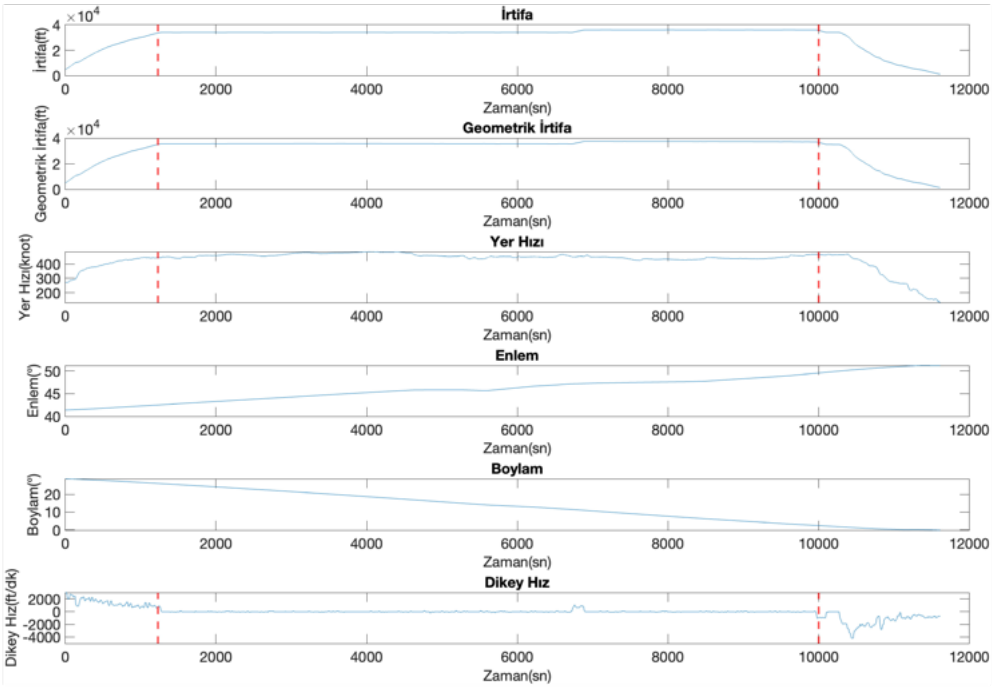
4.1.1 Kalkış Evresi Özniteliklerinin İncelenmesi

Şekil 9'da görülebileceği gibi, dikey yatay çizgiler, hesaplamalara göre uçuş fazının ayrıldığı anlardır. Bu işlem, her havalimanı ve her uçuş için ayrı ayrı yapılarak, uçuş evreleri farklı dosyalar olarak ayrıştırılmıştır. Ardından her uçuş evresi ayrı ayrı olarak ve en sonunda genel olarak incelenmiştir. Şekil 8a'da LTFM'den EGLL'ye Giden 158 Uçuşun Kalkış Evresi Dikey Hız Grafiği görülmektedir. Bununla birlikte, uçuş sayılarının artmasıyla, grafik içindeki sinyallerin artması ve okumanın zorlaşması sebebiyle, çok sayıda uçuş içeren grafikler, aynı rotadaki daha az sayıda uçuş içeren grafiklerden de yararlanarak değerlendirilmelidir. Şekil 8b'de aynı rotada uçan sadece 5 uçağın kalkış evresi dikey hızlarının incelemesi görülmektedir. Şekillerden görüleceği üzere, anlık olarak, farklı dikey hızlarda hareket etmekle birlikte, genel eğitimlerinin, yüksek değer ile başlayıp, zamanla hız büyüklüğünün düşmesi şeklinde olduğu açıktır. Bu grafikler sayesinde, kalkışta ve uçuşun ilk aşamalarında, yüksek hızla hareket eden uçak ve içindeki kişilerin, düz uçuş evresine yaklaştıkça, dikey hızlarının büyüklüğü azalmaktadır.



(a) 158 Uçuş (b) 5 Uçuş

Şekil 8: LTFM'den EGLL'ye Giden Uçuşların Kalkış Evresi Dikey Hızları Karşılaştırmalı Grafiği

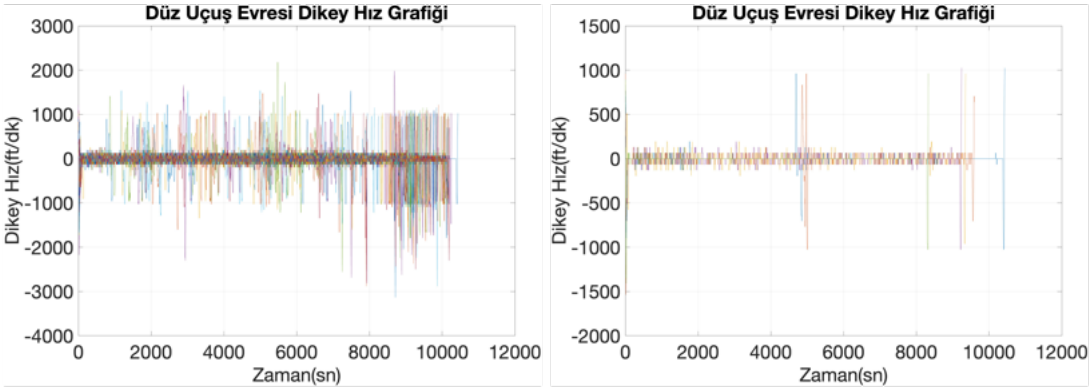


Şekil 9: LTFM'den EGKK'ye Giden Bir Uçuşun Grafiği

4.1.2 Düz Uçuş Evresi Özniteliklerinin İncelenmesi

Kalkış aşamasının ardından, düz uçuş evresindeki uçakların yaşadığı dikey hız değişimleri incelenmiştir. Araştırma başlangıcında, bu konunu incelenmesi hakkında çıkan ilk fikir, uçuşlardaki ani dikey hız değişimlerinin incelenerek, uçakların yaşadıkları acil durumların farkına varılıp varılamayacağını araştırmaktır. Kalkış hız grafiklerinde görüldüğü üzere, kalkış sırasında, uçaklar yüksek büyüklükte dikey hız değişimlerine maruz kaldığı için, acil durumların ayrıştırılması yapılamamaktadır. Ancak, düz uçuş evresinde uçaklar çok daha stabil ilerlemekte, üzerlerindeki hız değişimleri çok daha düşük olmaktadır. Gösterimin daha net yapılabilmesi amacıyla, EGLL'ye yapılan 5 uçuşun, düz uçuş dikey hız değişimlerini incelemek amacıyla Şekil 10b incelenmiştir.

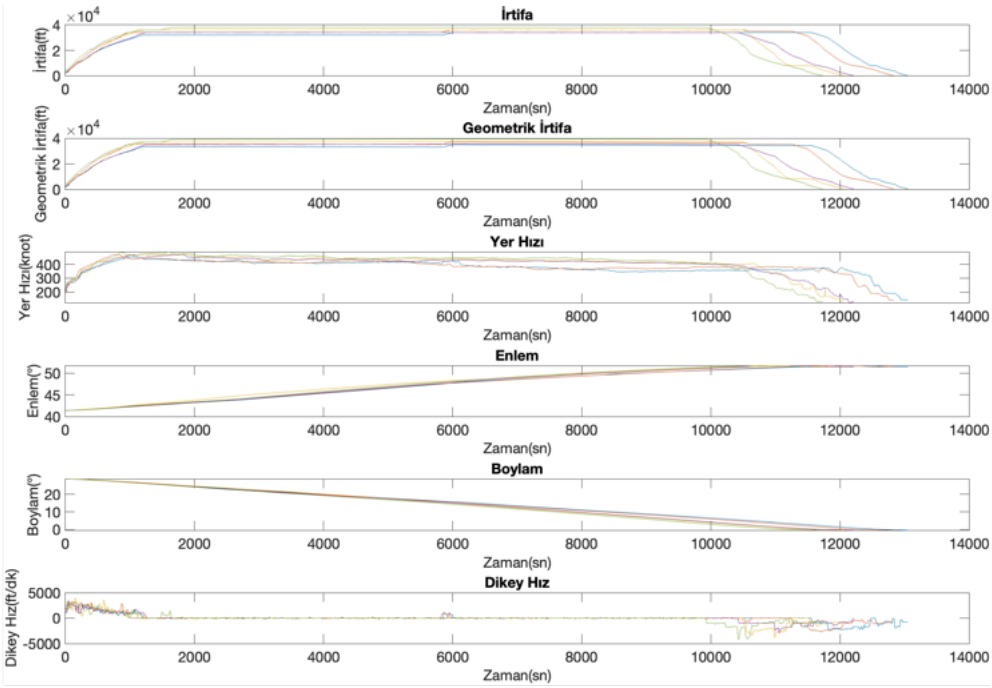
Şekil 10b'de yapılan incelemede, muhtelif noktalardaki istisnalar dışında, hızın belirli bir bant aralığında devam ettiği görülmektedir. Buradan çıkan sonuca göre, düz uçuş sırasında, uçakların genel olarak aniden büyük hız değişiklikleri yaşamadığı söylenebilmektedir. Ayrıca, az sayıda görülen yüksek hızlara dikkat edilirse, genellikle ani değişimin ardından, zıt yönde benzer dikey hız değişiminin daha olduğu görülmektedir. Bu grafiğe bakarak, bölgesel hava şartları sebebiyle, aniden uçağın aşağı veya yukarı hızlandığı, ve hava yapısı eski haline geldiğinde, veya istisnai hava olayı yaşanan bölgeyi geçince, saniyeler içerisinde, zıt yönde hızlanarak, uçağın eski stabilitesini sağlandığı söylenebilir. Bu değişimler uçuştan uçuşa değişebilmekte, anlık hava durumlarına göre gerçekleşmektedir. Bu sebeple bir genelleme yapmak mümkün olmasa da, Şekil 10a göz önüne alınıp, LTFM'den EGLL'ye giden tüm



(a) 158 Uçuş (b) 5 Uçuş

Şekil 10: LTFM'den EGLL'ye Giden Uçuşların Düz Uçuş Evresi Dikey Hızları Karşılaştırmalı Grafiği

uçuşlara bakıldığında, kalkış başlangıcında karşılaşılan dikey hız değerlerine yaklaşmadığı görülmektedir. Düz uçuş kalkışa göre çok daha az hız değişimi yaşamaktadır. Düz uçuş sürecinde yaşanan bu değişimler, tez kapsamında tespit edilmesi amaçlanan anomalilerdir. Şekil 11'e bakıldığında yaklaşık 6000 saniye sürecinde , birden çok uçuşta anomali tespiti yapılmıştır. Bu sürenin belirli bir enlem ve boylam karşılığı olduğu için, belirlenen bölgede beklenmedik hava olayı olduğu tahmin edilebilir ve buna göre rota güncellemeleriyle, sonraki uçakların benzer sıkıntılar yaşanmasının önüne geçilebilir.



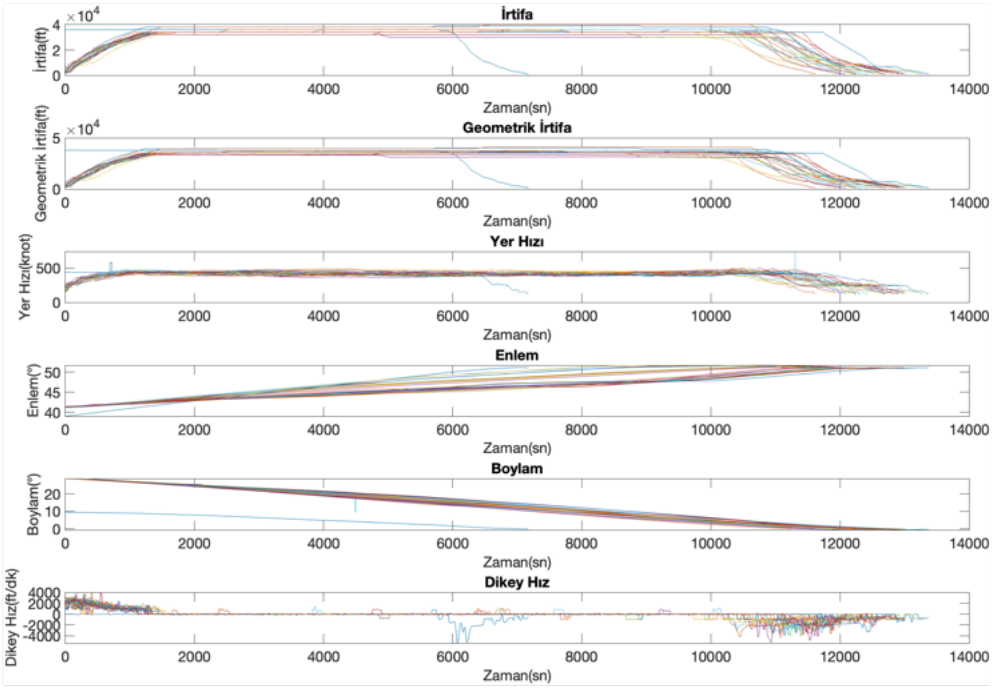
Şekil 11: LTFM'den EGLL'ye Giden 5 Uçuşun Grafiği

Şekil 11'i incelediğimizde, yukarıdaki bulguların teyit edildiğini, incelenen 5 uçuşta yaklaşık olarak 6000 saniye zamanında, grafikteki uçuşlardan 2 tanesinin Enlem ve Boylam dışındaki tüm değerlerinde oynama olduğu görülebilir. Muhtemel olarak,

uçuş günü yaşanan bir hava olayı sebebiyle, belli bir bölgede havanın etkisiyle uçakta hız değişimi olmuş, ardından uçuş bu hava durumuna göre devam etmiştir.

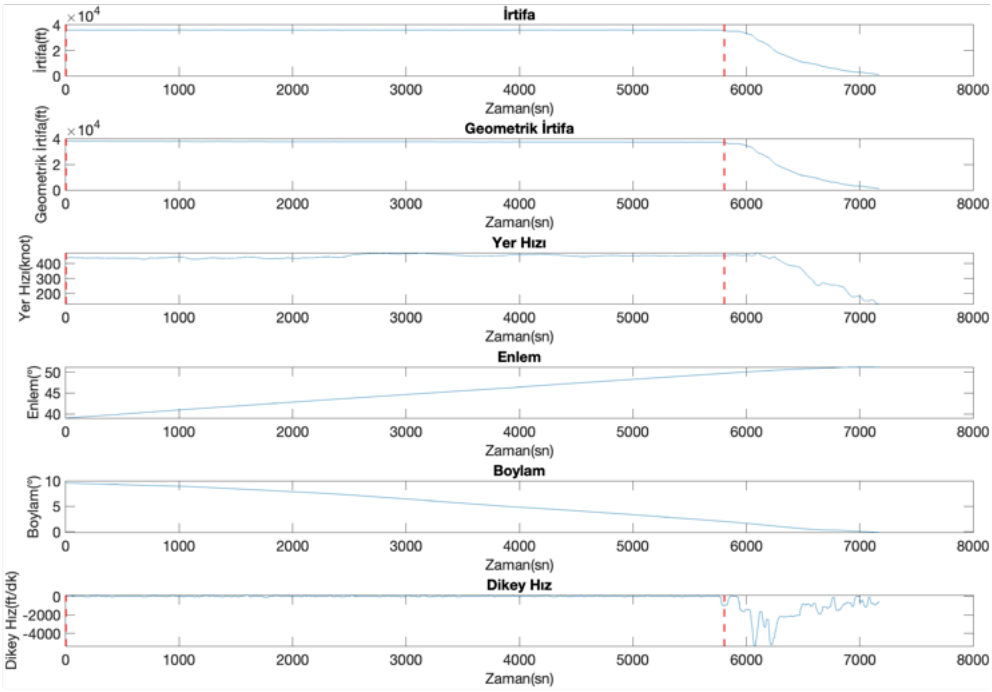
4.1.3 İniş Evresi Özniteliklerinin İncelenmesi

Düz uçuşun ardından, elbette iniş süreci gelmektedir. Çalışmalar sırasında hem tüm uçuşların genel olarak, hem de her havalimanının ayrı ayrı olarak incelendiği daha önceki bölümlerde belirtilmiştir. Bu incelemeler sırasında, Şekil 12'de yer alan LTFM'den EGKK'ye tüm uçuşlar incelenirken, grafik ortasında beklenmedik bir farklılık göze çarpmaktadır. 6000 ile 8000 saniyeleri arasında, bir uçuşta beklenmedik şekilde, irtifa ve yer hızı değerlerinde düşüş göze çarpmaktadır. Grafik incelendiğinde, bir uçuşun, beklenmedik bir zamanda, yere doğru yaklaştığı ve yer hızının düştüğü fark edilmektedir. Bu uçuş, beklenmedik hareketi sebebiyle özel olarak incelenmiştir.



Şekil 12: LTFM'den EGKK'ye Giden 23 Uçuşun Karşılaştırmalı Grafiği

Şekil 13'te uçuş özel olarak incelendiğinde, başlangıç noktasındayken zaten havada olduğu görülmektedir. İncelenen uçuşların saatleri farklı olduğu ve istatistiksel olarak incelenmeyeceği, ayrıca grafiksel gösterimde problem yaratacağı için, verilerin alındığı saniye 0. saniye olarak ele alınarak normalleştirildi, zaman etiketleri silindi. Bu uçuşa bakıldığında, uçuş değerlerinde, uçuşun havada başladığı görülmektedir. Uçuşun verileri, uçuşun yaklaşık 6000. saniyesinde yani uçak havadayken alınmaya başlanmış. Bunun bir etkisi olarak da, toplamda yaklaşık 13000 saniye civarı süren uçuş 7000 saniye gibi görülmüştür. Uçuşun 6000 saniyeden sonraki verileri de, iniş verileri olup, diğer uçuşlardaki iniş verileriyle benzerlik göstermektedir. Şekil üz-



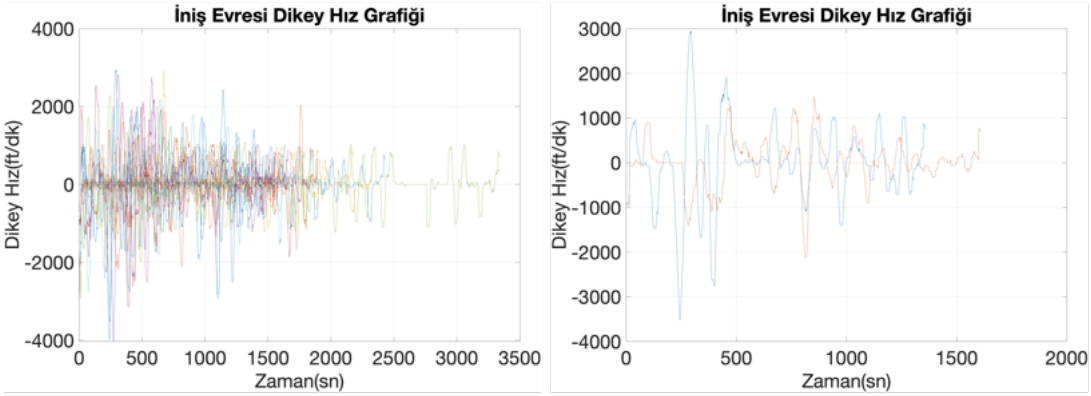
Şekil 13: LTFM'den EGKK'ye Giden Eksik Verili Uçuş Grafiği

erinde bulunan kırmızı dikey çizgilere bakıldığında, Bölüm 3.2'de anlatılan filtre ve inceleme yöntemlerinin, uçuşun kalkış verileri olmasa da düzgün çalıştığı, veriler düz uçuş evresinden başladığı için, kalkış bölümünün anında işaretlenerek sonlandırıldığı ve düz uçuş ve iniş evrelerinin doğru şekilde ayrıştırıldığı görülmektedir. Bu da uçuş evrelerini ayrıştıran algoritmanın başarılı şekilde çalıştığını göstermektedir.

Şekil 12'nin diğer bölümlerini incelediğimizde, özellikle düz uçuş evrelerinde birden çok zaman aralığında, dikey hız değerlerinde belirgin sapmalar olduğu gözlemlenmiştir. Bu hız sapmaları her uçuşta olmamakla birlikte, tekil olaylar olarak gözlemlenmektedir. Bu sebeple, fark edilen bu anomalilerin, sebepleri araştırılıp, kaynak incelemesi sonucunda, anomalilerin hava durumu gibi doğal sebeplerle mi yoksa insan etkisiyle mi oluştuğu belirlenip, uygulama değişiklikleri yapılarak, aksiliklerin bir daha yaşanmaması sağlanabilir.

İniş evresi dikey hızları genel olarak incelendiğinde, kalkış evresi dikey hızlarına benzer bir görüntü sergilemektedir. Şekil 14b'de biri önceki paragrafta belirtilen eksik verili uçuş olmak üzere, iki uçuşun iniş evresi dikey hız değişimleri gösterilmiştir. İniş süreci bir çok değişken sebebiyle birebir aynı olamamakla birlikte, hız değişim eğiliminin benzer olduğu, inişin başında, yüksek büyüklükte dikey hız değişimi olduğu ve inişin sonlarına doğru bu değişimin giderek azaldığı gözlemlenmiştir. Dikey hızın pozitif değerde sonlandığı da dikkat çekmiş, bu sonucun, iniş sürecinde güvenlik amaçlı piste yapılan baskının, sonlandırılması sonucu, taşıyıcı ve darbe emici sistemlerdeki gevşemeye bağlı olduğu düşünülmektedir. Uçuş sırasında anlık olarak fark edilemeyen bu bilgiler, daha sonradan incelenerek, uçuş güvenliğine

risk oluşturup oluşturmadığı değerlendirilerek, inceleme sonuçlarına göre, uygulamalarda bir güncelleme ihtiyacı olup olmadığı veya insan hatası olması durumunda gerekli yaptırımların uygulanması sağlanabilir.



(a) 23 Uçuş (b) 2 Uçuş

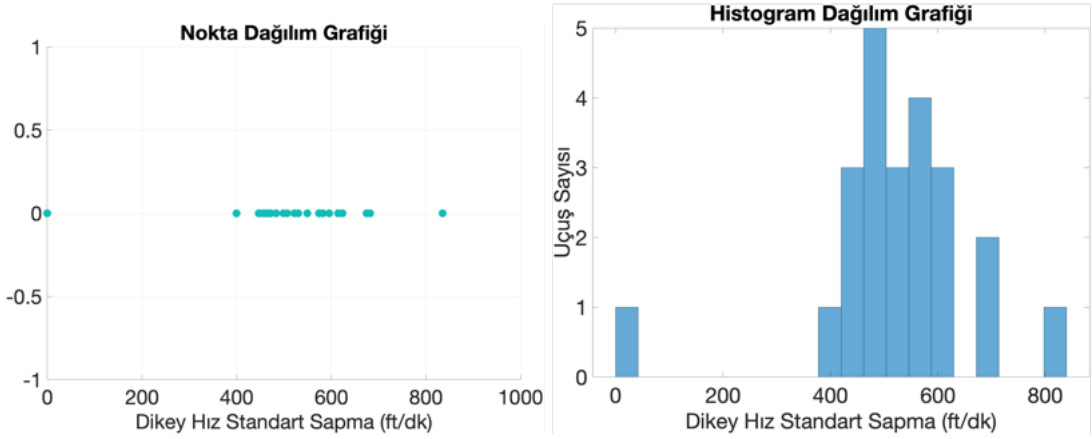
Şekil 14: LTFM'den EGKK'ye Giden Uçuşların İniş Evresi Dikey Hızları Karşılaştırmalı Grafiği

Şekil 14a'da EGKK'ye yapılan inişlerin dikey hız değişimleri incelendiğinde, beklendik şekilde, iniş başlangıcında yüksek dikey hız değişimleri gözlemlendiği, inişin tamamlanmasına kadar geçen süreçte giderek değerlerin düştüğü gözlemlenebilmektedir. Farklı zamanların, farklı havalimanlarının ve farklı uçuşların incelenmesi sonucunda, iniş süreci başlangıcında dikey hız büyüklüğünün yüksek olduğunu, inişin tamamlanmasına kadar geçen süre içerisinde, bu değerlerin konik bir yapıyla azaldığı söylenebilir. Elbette ki uçuş sürecinin doğrusal bir sistem olmaması sebebiyle, değerlerin boyutlarında ve değişim zamanlarında farklılıklar görülmektedir.

4.2 BULGULARIN DİKEY İVME DEĞERLERİNİN İSTATİSTİKSEL DAĞILIM GRAFİKLERİ ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

4.2.1 Kalkış Evresinin İstatistiksel Yöntemlerle İncelenmesi

Kalkış evresi özel olarak incelendiğinde, Şekil 15a'da EGKK'ye yapılan uçuşların kalkış evresi dikey hız dağılımlarının standart sapma dağılımları nokta grafiği üzerinde görülebilir. Şekle göre dikey hız değerleri genel olarak 400 ile 700 fit/dakika aralığında değişmektedir. Bu aralık dışındaki değerler istisna olup, kalkış sırasındaki beklenmedik durumlardan kaynaklanabilir, veya uçuş evrelerinin ayrıştırılması işlemlerinde karşılaşılan sınır değerlerinin etkisi olabilir.

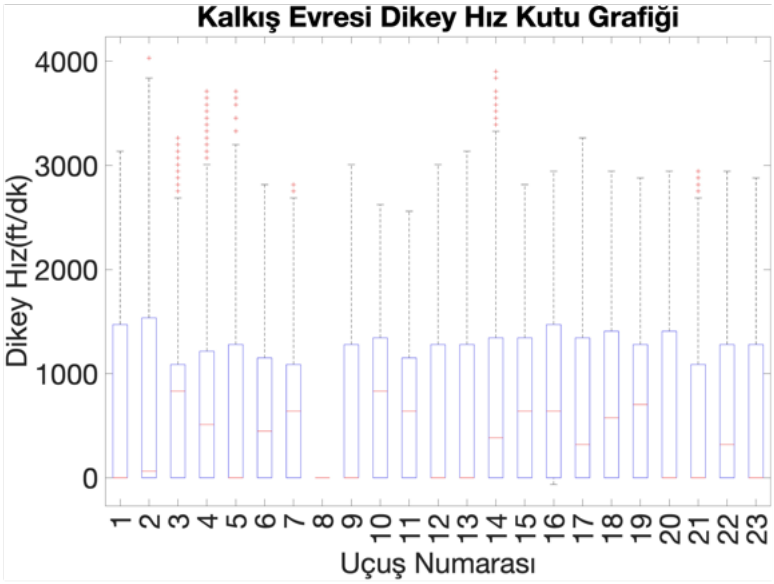


(a) Nokta Dağılım Grafiği (b) Histogram Dağılım Grafiği

Şekil 15: LTFM'den EGKK'ye Giden Uçuşların Kalkış Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları

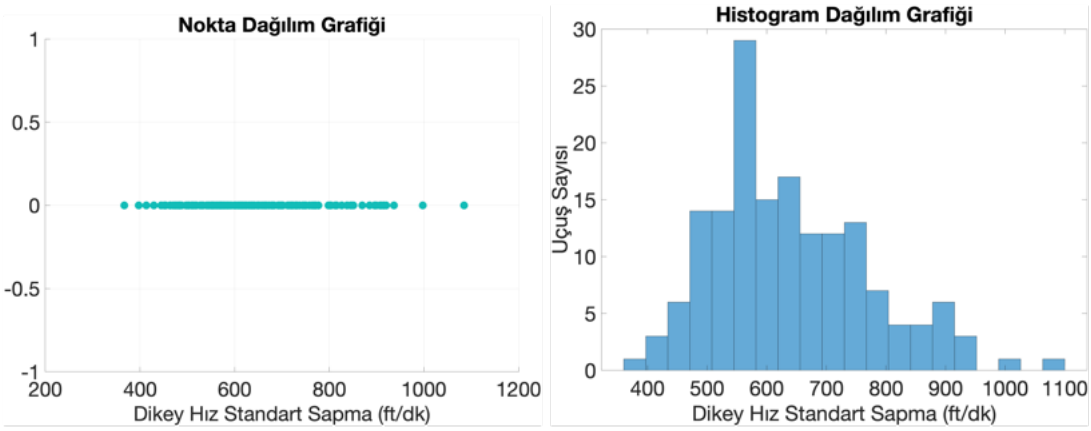
Aynı veriler Şekil 15b'de histogram gösterimi üzerinden incelendiğinde, hangi değerlerin ne sıklıkla karşılaşıldığı daha net gözlemlenebilmektedir. Baş ve sonda bulunan istisnai değerler dışında, kalkışlarda dikey hızın 500 fit/dakika büyüklüğünde olduğu ve bu değer çevresinde dağıldığı gözlemlenebilmektedir. Şekil 16 incelendiğinde, her uçuşun kalkış evresi dikey hız standart sapmalarının dağılımı gözlemlenebilir. Değerler incelendiğinde, genel olarak standart sapmanın 1000 ft/dk değerinin altında olduğu söylenebilmekte, 3000 ft/dk değerinin üzeri, anomali olarak tanımlanabilmektedir.

EGLL'ye yapılan uçuşların kalkış evresi dikey hızlarının standart sapmaları incelendiğinde, EGKK ile benzer bir şekilde, Şekil 17a'da gösterilen nokta grafiğinde hız değerlerinin genel olarak birbirine komşu değerlerden oluştuğu, bununla birlikte, histogram üzerinde değerler incelendiğinde, değerlerin 600 fit/dakika merkezli bir piramit şekilde dağıldığı, düzenli bir eğilimde olduğu görülmektedir. Ek olarak, Şekil 17b'de incelenen EGLL hedefli uçuş sayısının, Şekil 15b'de incelenen EGKK hedefli



Şekil 16: LTFM'den EGKK'ye Giden Uçuşların Kalkış Evresi Dikey Hız Kutu Grafiği

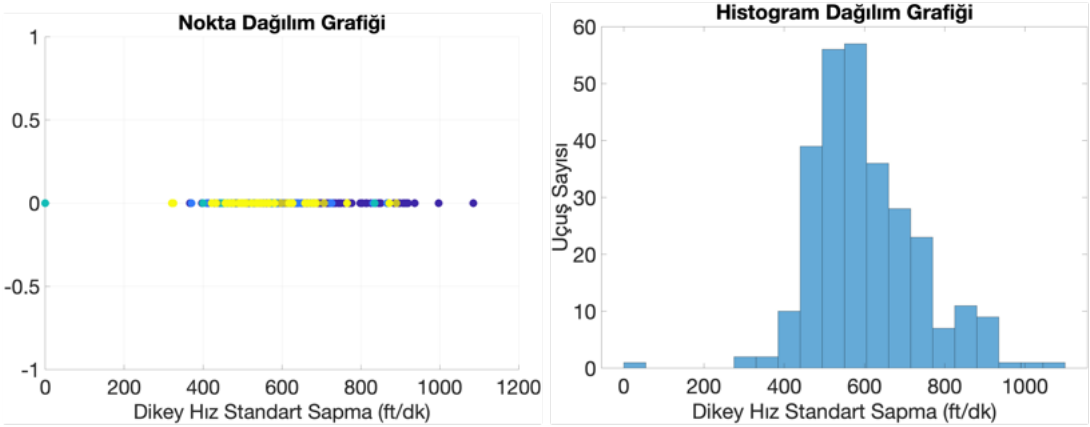
uçuş sayısının 3 katından daha fazla olduğu da inceleme sırasında göz önüne alınmalıdır. Bu farkın etkilerinden biri olarak, belirli hızların sıklığı daha fazla olduğundan, merkez değer çevresinde yayılım daha geniştir. Bununla birlikte, Şekil 15b'de yer alan uç değerler daha fazladır. İki havalimanı verileri karşılaştırıldığında, EGKK hedefli uçuşlarda daha fazla beklenmedik değer görülmektedir. Bu karşılaştırma sayesinde, EGKK hedefli uçuşlarda, EGLL hedefli uçuşlara göre kalkış evresinde daha fazla anomali görüldüğü sonucuna ulaşılmaktadır. Tüm uçuşların İstanbul Havalimanı kalkışlı olmasına rağmen, hedef havalimanına göre farklı sonuçlarla karşılaşılması, ayrıntılı olarak incelenerek, kök neden analizi yapılabilir. Bu analiz sonucunda, kök neden bulunarak, rota konusundaki farklılıklar veya uygulama farklılıkları konularında geliştirmeler yapılarak, uçuşların daha güvenli olması sağlanabilir.



(a) Nokta Dağılım Grafiği (b) Histogram Dağılım Grafiği

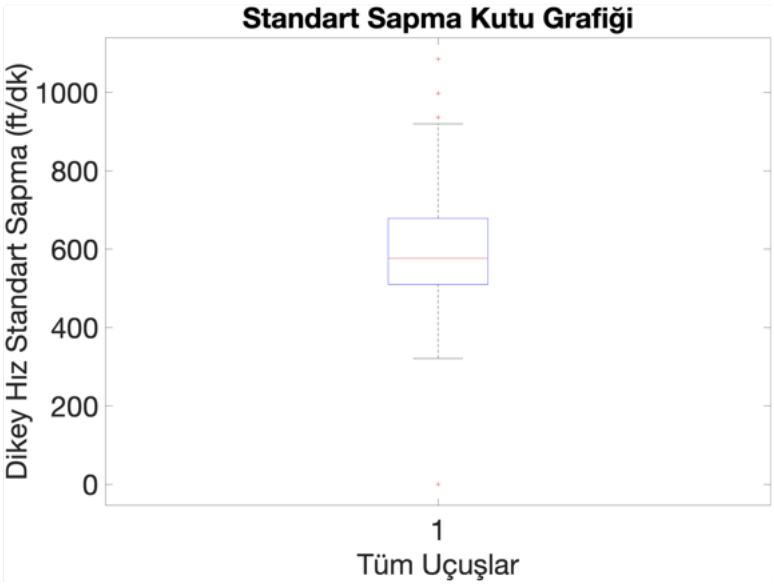
Şekil 17: LTFM'den EGLL'ye Giden Uçuşların Kalkış Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları

Kalkışlarla ilgili son inceleme, tüm uçuş verilerinin standart sapmalarının tek bir nokta grafiği ve tek bir histogram grafiği üzerinden incelenmesi olarak yapılmış, elde edilen sonuçlar kutu grafiği ile karşılaştırılmıştır. Burada, varış hedefleri farklı olsa da kalkış evresindeki uçakların, genel olarak benzer dikey hızlarla hareket ettiği ve birbiri ile tutarlı bir süreç sergiledikleri görülmektedir. Bu tutarlılık dışındaki verilerin, uçuşta yaşanılan anomaliler olduğu söylenebilir.



(a) Nokta Dağılım Grafiği (b) Histogram Dağılım Grafiği

Şekil 18: İncelenen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların Kalkış Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları



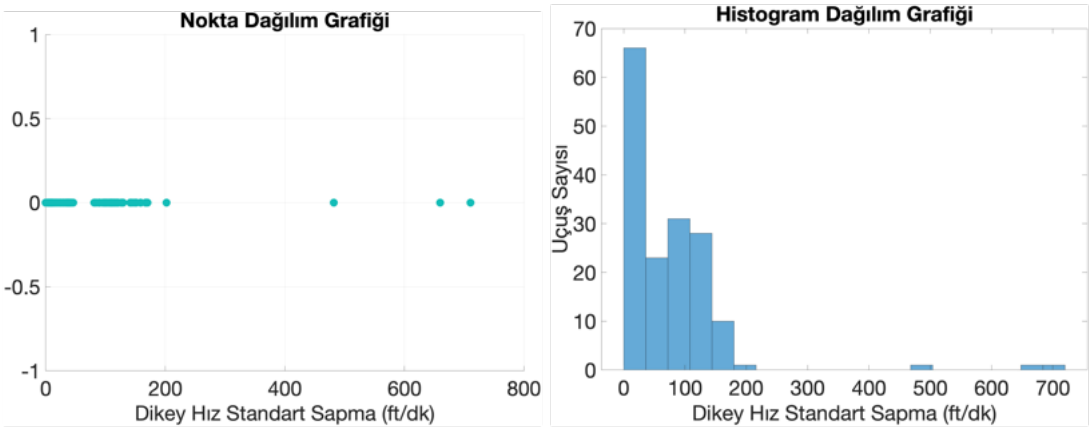
Şekil 19: İncelenen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların Kalkış Evresi Dikey Hız Kutu Grafiği

Bu değerleri kontrol etmek için, Şekil 19'da verilerin kutu grafiği ile gösterimi sonucunda, 600 ft/dk değerine yakın bir ortanca değer olduğu, genel dağılımın 500-700 fit/dk aralığında olduğu görülmektedir. 900 fit/dk değerinin üstünde ve 300 fit/dk değerinin altındaki değerler anomali olarak belirlenebilmektedir. Bu anomalilerin kök neden analizi ile incelenmesiyle, sebeplere ulaşılarak, oluşabilecek

muhtemel aksaklıkların önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Şekil 18a ve Şekil 18b'de bu sonuçlar grafik olarak görülebilir. EGLL ve EGKK arasındaki karşılaştırmaya benzer şekilde, LTFM kalkışlı tüm uçuşların incelenmesi sonucunda, kalkış verilerinin birbiri ile tutarlı olduğu, elde edilen uç verilerin anomali olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Anomali değerlerinin uçuş riski oluşturup oluşturmadığı ise, ilgili uçuşun özel olarak incelenmesi sonucu, sebeplere ulaşılmasıyla belirlenebilir.

4.2.2 Düz Uçuş Evresinin İstatistiksel Yöntemlerle İncelenmesi

Kalkış incelemelerinin ardından, düz uçuş evrelerindeki dikey hız değişimleri nokta ve histogram grafiği olarak incelenmiştir. Düz uçuş verileri nokta grafiği üzerinde incelendiğinde, kalkış verilerine kıyasla daha sık bir kümelenme gösterdiği için, küme dışındaki noktaların anomali olduğu sonucuna daha kolay ulaşılabilir. Düz uçuşların dikey hız grafiklerinde de, benzer şekilde, büyük değişiklik olmadan devam eden uçuşlar görülmüştür. Bu veriler sonucunda, düz uçuşların kendi içerisinde daha tutarlı olduğu, anomalilerin ise daha net bir şekilde gözlemlenebildiği sonucuna varılmıştır. Şekil 20a'da görülen ve 200'ün üzerinde olan değerlerin tamamı anomali olarak değerlendirilmektedir ve sebeplerinin araştırılması ile bir daha yaşanmaması amacıyla alınacak önlemle, uçuş güvenliğine katkı sağlayacaktır.

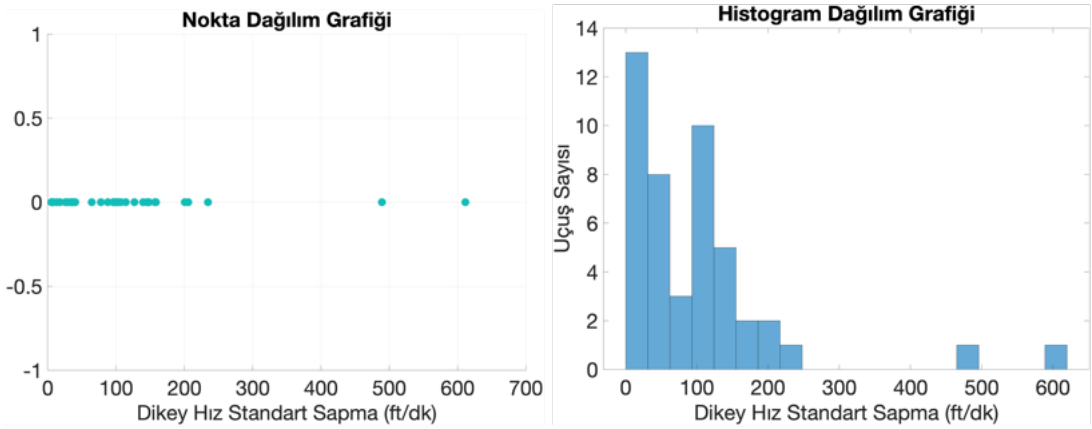


(a) Nokta Dağılım Grafiği (b) Histogram Dağılım Grafiği

Şekil 20: LTFM'den EGLL'ye Giden Uçuşların Düz Uçuş Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları

LTFM'den, EGCC konumuna gerçekleştirilen uçuşların, düz uçuş evresinde dikey hızları incelendiğinde, Şekil 21a'da gösterilen nokta dağılım grafiğine göre, dikey hız dağılımının genel olarak 200 fit/dakikadan küçük olduğu, 0 değeri çevresinde yoğunlaştığı görülmektedir. Düz uçuş sürecinde, alçalma veya yükselme hedefi nadir olduğunda, nokta grafiğinde görülen değerler beklenenle uyumludur.

Aynı rotaya ait, Şekil 21b'de gösterilen histogram grafiği incelendiğinde, hız değişimlerinin çoğunluğunun, 0 çevresinde gerçekleştiği, bir bölümünün ise, düşük

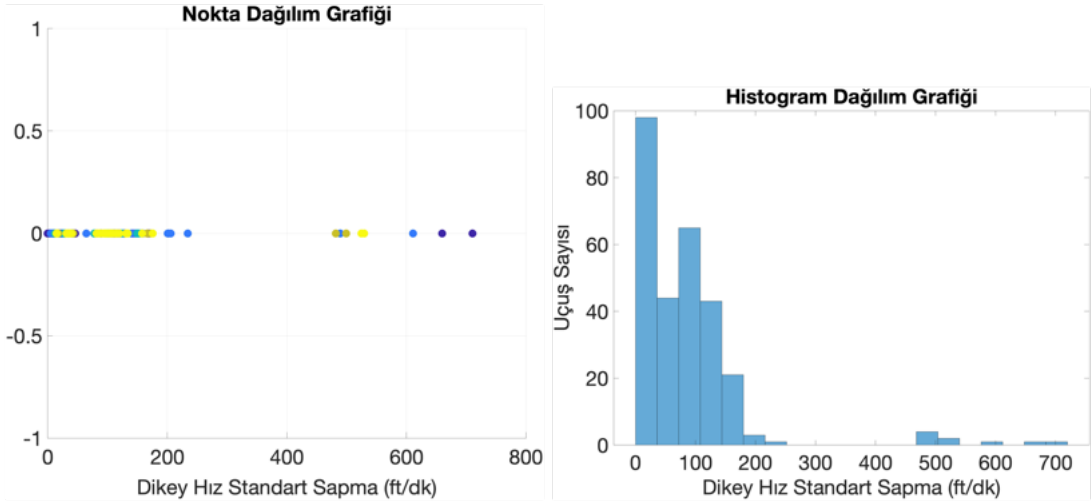


(a) Nokta Dağılım Grafiği (b) Histogram Dağılım Grafiği

Şekil 21: LTFM'den EGCC'ye Giden Uçuşların Düz Uçuş Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları

sayılabilecek 100 fit/dakika büyüklüğünde olduğu görülmektedir. Bu değerler normal kabul edilmekle birlikte, 200 fit/dakika üzerindeki değerler nadiren görülen anomalilerdir. Anomalilerin hangi uçuşlarda ve ne zaman gerçekleştiği, uçuşların tek tek incelenmesiyle bulunarak, sebepleri araştırılabilir, coğrafi olaylara göre rota planlamaları güncellenebilecek veya insan etkilerine karşı önlem alınması sağlanabilecektir.

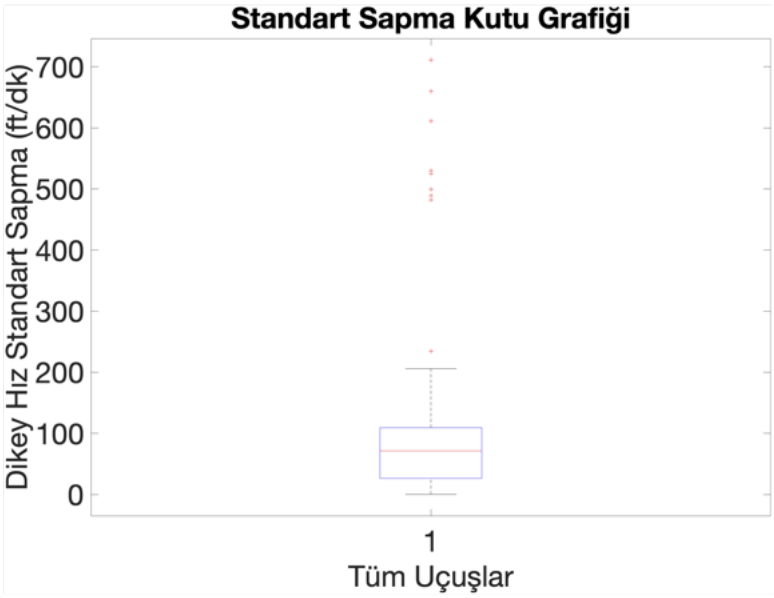
Tek bir rotada incelemenin, istatistiksel olarak yeterli bir gösterge olmaması ihtimaline karşı, EGLL havalimanına yapılan uçuşların düz uçuş evrelerindeki dikey hız değişim grafikleri de incelenmiştir. Şekil 20a'da görülen nokta dağılım grafiği incelendiğinde, önceki incelemelerle tutarlı şekilde, değerlerin 0 ile 200 fit/dakika aralığında dağıldığı görülmektedir. Histogram grafiğinde de aynı şekilde, 0 çevresinde yüksek miktarda örnek fark edilmektedir.



(a) Nokta Dağılım Grafiği (b) Histogram Dağılım Grafiği

Şekil 22: İncelenen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların Düz Uçuş Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları

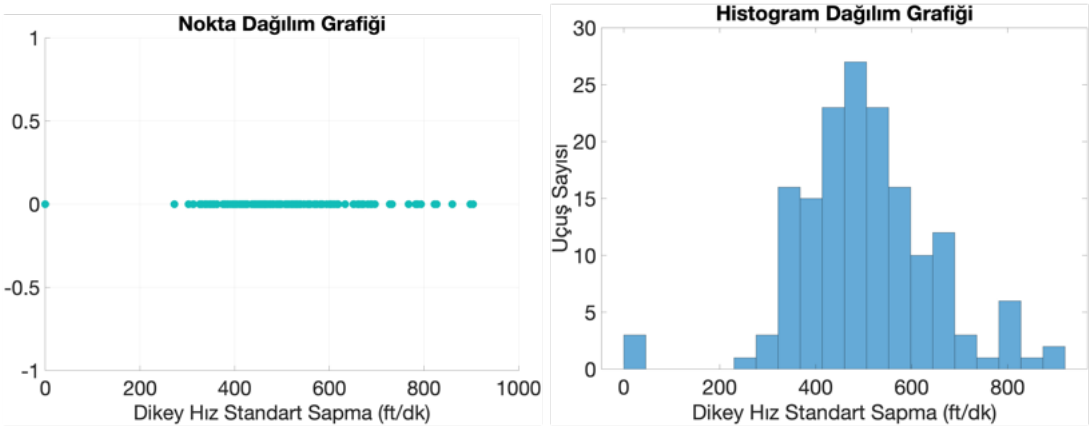
Farklı rotalardaki incelemelerin ardından, düz uçuş evresi ile ilgili son inceleme, tüm uçuşların tek grafik üzerinde incelenmesi şeklinde yapılmıştır. Şekil 22a'da görülen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların Düz Uçuş Evresi Dikey Hız Nokta Dağılım Grafiği ile Şekil 22b'de görülen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların Düz Uçuş Evresi Dikey Hız Histogram Dağılım Grafiği, çalışmanın bu evresine kadar yapılan incelemelerle tutarlı olup, düz uçuş evresinde, uçakların kalkış ve inişe göre daha düşük büyüklükte dikey hız etkisinde kaldığını göstermekte, hız büyüklüklerinin istisnalar dışında birbiriyle tutarlı bir görünüm sergilediğini teyit etmektedir. Az sayıda görülen yüksek hız değerleri de, muhtelif beklenmedik hava olaylarının yaşandığı evreler olarak değerlendirilebilir. Genel dağılıma bakıldığında, düz uçuş evresinde, uçakların dikey hızların 200 fit/dakikadan az olduğu görülmüş, bu değerden anomali olarak tespit edilmiştir. Şekil 22a'da farklı renklerle farklı uçuşların gösterildiği grafikte, öncelikle anomalilerin belirli bir rotadan, diğerlerine göre sayıca farkı incelenerek, hedef havalimanına göre risk analizi yapılabilecek, ardından, uçuş bazlı incelemelerle hangi uçuşta, ne zaman, nerede beklenmedik olay yaşandığı bulunarak, sebeplerine göre gerekli geliştirmeler yapılabilecektir. Şekil 23 incelenerek, histogram ve nokta dağılım grafiği sonuçları kontrol edilebilir. Kutu grafiğinde görülmektedir ki, düz uçuş evresinde, dikey hızların standart sapma değerleri 50-150 ft/dk aralığında değişmekte olup, yaklaşık 200 ft/dk değerinin üzeri, anomali olarak tespit edilmektedir.



Şekil 23: İncelenen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların Düz Uçuş Evresi Dikey Hız Kutu Grafiği

4.2.3 İniş Evresinin İstatistiksel Yöntemlerle İncelenmesi

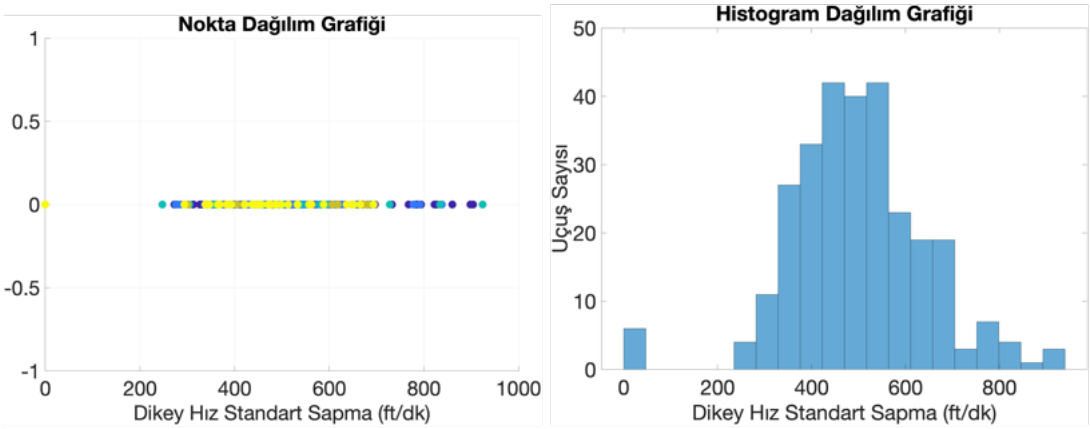
Uçuşun son evresi olan iniş evresi aynı yöntemlerle incelenmiştir. En çok veri noktası sahibi EGLL varışlı uçuşlar incelendiğinde, Şekil 24a'da nokta dağılım grafiğinde görüldüğü üzere, dikey hız dağılımının 500 fit/dakika çevresinde olduğu görülmektedir. Şekil 24b'de görülen histogram incelendiğinde yine, 500 fit/dakika değeri çevresinde bir piramit şeklinde tutarlı bir dağılım gözlemlenmektedir. Bu değerin kalkış sürecinde karşılaşılan değerlere yakınlığı dikkat çekmekle birlikte, süreç olarak kalkış ve iniş süreçleri, aynı hareketin dikeyde ters yönlü olarak gerçekleşmesi olarak değerlendirilmektedir. Ancak, genel dağılım 700 fit/dakika seviyesinde sonlanmaktadır, bu değerden daha büyük dikey hızlara maruz kalan uçakların, beklenenden farklı etkiler altında kaldığı, normal uçuş dışında anomaliler yaşadığı görülmektedir. İniş evresi, uçuşun en riskli evresi olması sebebiyle, bu değerlerin incelenmesi, sebeplerinin bulunması, ve gerekli önlemlerin alınması elzemdir.



(a) Nokta Dağılım Grafiği (b) Histogram Dağılım Grafiği

Şekil 24: LTFM'den EGLL'ye Giden Uçuşların İniş Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları

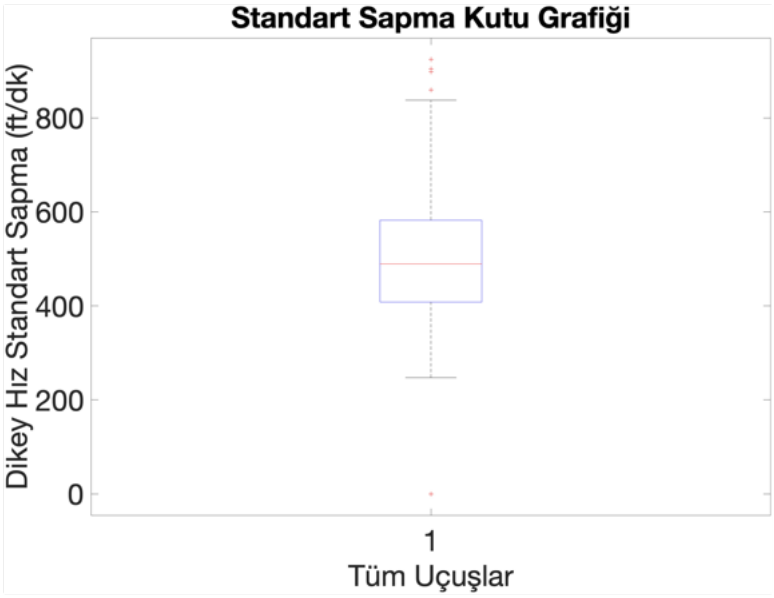
İniş sürecinin genel grafikleri incelendiğinde Şekil 25a'da görülen nokta dağılım grafiği ve Şekil 25b'de görülen histogram sonuçları da, tek bir rotada yapılan incelemeyle benzerdir. Bu bağlamda, iniş sürecinde, rotadan bağımsız olarak uçakların benzer dikey hız büyüklüklerine maruz kaldığı sonucuna ulaşılmaktadır. Ayrıca, nokta dağılım grafiğinde olduğu gibi, histogram grafiğinde de, 700 fit/dakika değerinin üstünde veriler gözlemlenmektedir. Bu değerler genel durumun dışında yaşanan anomalilerdir.



(a) Nokta Dağılım Grafiği (b) Histogram Dağılım Grafiği

Şekil 25: İncelenen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların İniş Evresi Dikey Hız Standart Sapma Dağılımları

Şekil 26'da bulunan kutu grafiğine bakıldığında, ortalama dikey hız standart sapma değerinin 500 ft/dk olduğu, değerlerin genel olarak 400-600 ft/dk aralığında dağıldığı görülmektedir. Şekle göre 800 ft/dk değerinin üstünde karşılaşılan değerler anomalilerdir. Bu hızlarla karşılaşılma sıklığı da dikkate alındığında, sebeplerin tespit edilerek, bir daha benzer farklılıklarla karşılaşılmaması için önlem alınması, uçuşların güvenliğini arttıracaktır.



Şekil 26: İncelenen Tüm LTFM Kalkışlı Uçuşların İniş Evresi Dikey Hız Kutu Grafiği

5 SONUÇ VE TARTIŞMA

Hava ulaşımı, teknoloji ilerledikçe popülerliği artan bir taşıma yöntemidir. Artan talep, uçuş sayısındaki artışa neden olur ve bu durum hava trafiğinde yoğunluğu artırır. Bu, hava taşımacılığının güvenliğini daha da önemli hale getirir. Otomatik Bağımlı Gözlem - Yayın (ADS-B) verileri, hava araçlarının anlık konum, hız, irtifa ve kimlik bilgilerini sağlayan bir kaynaktır ve uçuş güvenliği çalışmaları için önemli bir veri kaynağıdır.

Bu çalışma, uçuşlardaki anormallikleri matematiksel yöntemlerle tespit etmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, ADS-B verilerinden alınan uçuş özellikleri bir boyutlu bir sinyal olarak ele alınmış, ardından ortanca filtre ve konvolüsyon yöntemleri kullanılarak işlenmiş ve uçuş evrelerine ayrılmıştır. Elde edilen veriler, sinyal grafiği üzerinde incelenmiş ve bu incelemeler sırasında gözlemlenen anormallikler, nokta dağılım grafiği ve histogram grafiği kullanılarak doğrulanmıştır.

Çalışmanın sonuçlarına göre, uçuş özelliklerinin bir boyutlu bir sinyal olarak değerlendirilebileceği ve işlenmiş sinyalin istatistiksel olarak incelenerek anormalliklerin tespit edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma, gelecekte uçuş güvenliğini artırmak amacıyla yapılacak çalışmalarda istatistiksel yöntemlerin kullanılabilirliğini göstererek, uçuş verilerinde görülen anormalliklerin nedenlerinin araştırılmasına ve önleyici tedbirlerin alınmasına katkı sağlayabilir. Çalışma geliştirilerek ve anlık verilerin kullanılması ile, uçuş sırasında yaşanan aksaklıkların anında tespit edilerek havalimanına bildirilmesi sonucu, gerekli acil durum hazırlıkları ve güvenlik önlemleri alınabilir. Bu sayede küresel hava taşımacılığının güvenliği artırılabilir.

6 KAYNAKÇA

Automatic dependent surveillance - broadcast (ads-b). (2023, February 10). Federal Aviation Administration. Retrieved September 17, 2023, from https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/afx/afs/afs400/afs410/ads-b

Dhief, I., Feroskhan, M., Alam, S., Lilith, N., & Delahaye, D. (2023). Meta-heuristics approach for arrival sequencing and delay absorption through automated vectoring. *IEEE 2023 Congress on Evolutionary Computation*. https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10254077

Figuet, B., Monstein, R., Waltert, M., & Morio, J. (2023). Data-driven mid-air collision risk modelling using extreme-value theory. *Aerospace Science and Technology*. https://www.researchgate.net/publication/374083590_Data-driven_mid-air_collision_risk_modelling_using_extreme-value_theory

Hermansson, L. (2023, July). *Processing world scale air traffic data to find near mid-air collisions* [Master's thesis, KTH, School of Engineering Sciences (SCI)]. https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1781251/FULLTEXT01.pdf

Hui, K. Y., Nguyen, C. H., Lui, G. N., & Liem, R. P. (2023). Airtrafficsim: An open-source web-based air traffic simulation platform. *Journal of Open Source Software*, *8*(86), 4916. https://doi.org/10.21105/joss.04916

Joerger, A., Fan, C., & Jada, S. (2023). The unsolved mystery of the 2022 texas interference. *Inside GNSS*. https://insidegnss.com/the-unsolved-mystery-of-the-2022-texas-interference/

Khaledian, H., Saez, R., Vila-Valls, J., & Prats, X. (2023). Interacting multiple model filtering for aircraft guidance modes identification from surveillance data. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, *0*(0), 1–16. https://doi.org/10.2514/1.G007139

Olive, X. (2019). Traffic, a toolbox for processing and analysing air traffic data. *Journal of Open Source Software*, *4*, 1518. https://doi.org/10.21105/joss.01518

Schäfer, M., Strohmeier, M., Lenders, V., Martinovic, I., & Wilhelm, M. (2014). Bringing up opensky: A large-scale ads-b sensor network for research. *IPSN-14 Proceedings of the 13th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*, 83–94. https://doi.org/10.1109/IPSN.2014.6846743

Shravan, M., Rakshit, R., Sanjana, P., Priya, B. K., & Kumar, N. (2020). Rtl sdr ads-b data analysis for predicting airports and ats routes. *2020 International Conference for Emerging Technology (INCET)*, 1–7. https://doi.org/10.1109/INCET49848.2020.9154059

Sun, J. (2021). *The 1090 megahertz riddle: A guide to decoding mode s and ads-b signals* (2nd ed.). TU Delft OPEN Publishing. https://doi.org/10.34641/mg.11

Wu, Z., Shang, T., Yue, M., & Liu, L. (2023). Ads-bchain: A blockchain-based trusted service scheme for automatic dependent surveillance-broadcast. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*. https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10224357

Zhang, Z., Guo, D., Zhou, S., Zhang, J., & Lin, Y. (2023). Flight trajectory prediction enabled by time-frequency wavelet transform. *Nature Communications*, *14*(1), 5258. https://www.nature.com/articles/s41467-023-40903-9