

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI

**HAVA ARACI MOTOR SAĞLIĞI İZLENMESİ İÇİN VERİ
MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİ İLE EGT ve N1
PARAMETRESİ TAHMİNİ**

Hazırlayan
Mehtap TAŞCI

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mustagime Tülin YILDIRIM

Doktora Tezi

Eylül 2023
KAYSERİ

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SİVİL HAVACILIK ANABİLİM DALI**

**HAVA ARACI MOTOR SAĞLIĞI İZLENMESİ İÇİN VERİ
MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİ İLE EGT ve N1
PARAMETRESİ TAHMİNİ
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan
Mehtap TAŞCI**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mustagime Tülin YILDIRIM**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FDK-2020-9981 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Eylül 2023
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Mehtap TAŞCI

İmza

“Hava Aracı Motor Sağlığı İzlenmesi İçin Veri Madenciliği Yöntemleri ile EGT ve N1 Parametresi Tahmini” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Mehtap TAŞCI

İmza

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustagime Tülin YILDIRIM

İmza

Sivil Havacılık ABD Başkanı

Doç.Dr. Veysel ERTURUN

İmza

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, bilgi birikimini benimle paylaşan, bana kıymetli zamanını ayırarak büyük bir ilgi ve sabırla bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, hiçbir zaman güler yüzünü ve samimiyetini esirgemeyen ve bana sunmuş olduğu bilgi birikiminde gelecekteki mesleki hayatımda ışık olacağını düşündüğüm kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustagime Tülin YILDIRIM'a teşekkürü borç bilirim. Hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen her zaman desteklerini hissettiğim başta annem Saniye TAŞCI ve babam Kadir TAŞCI olmak üzere ailemin her bir üyesine ayrı ayrı teşekkürlerimi sunuyorum. Yine tez izleme komisyonumda bulunarak değerli görüşleri ile araştırmamın şekillenmesinde yardımcı olan Doç. Dr. Esra KAHYA ÖZYİRMİDOKUZ ve Dr. Öğr. Üyesi Selim TANGÖZ hocalarıma teşekkür ediyorum. Ayrıca desteklerini esirgemeyen mesai arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Mehtap TAŞCI

Eylül 2023, KAYSERİ

HAVA ARACI MOTOR SAĞLIĞI İZLENMESİ İÇİN VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİ İLE EGT ve N1 PARAMETRESİ TAHMİNİ

Mehtap TAŞCI

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Eylül 2023
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustagime Tülin YILDIRIM**

ÖZET

Uçaklar ulaşım sektöründe önemli ulaşım araçlarından. Oldukça yaygın kullanım alanına sahip olan uçakların emniyetli ve sağlıklı bir şekilde hizmet verebilmesi için bakımlarının zamanında ve eksiksiz yapılması gerekmektedir. Uçakların bakımları belirli prosedürler çerçevesinde düzenli şekilde yapılmaktadır. Düzenli yapılan bakımların yanı sıra, aniden ortaya çıkabilen durumlarda düzensiz bakımlar yapılmaktadır. Yıldırım çarpması, kuş çarpması, sert iniş düzensiz bakım gerektiren durumlardır. Düzensiz bakımlar düzenli bakımlara göre daha yüksek maliyete sahiptir. İşletmeler için düzensiz bakımlar istenmeyen bir durumdur. Uçakların bakım programında motor arızaları ve motor bakımı hem maliyet hem de emniyetli uçuş için büyük öneme sahiptir. Motor bakım maliyetini minimum seviyede tutmak için çeşitli araştırmalar ve çalışmalar yapılmaktadır. Uçuş sırasında kaydedilen veriler kullanılarak motorların sağlık durumu izlenmekte ve gerekli bakım işlemleri yerine getirilmektedir. Uçuş sırasında kaydedilen parametrelerden, egzoz gaz sıcaklığı (EGT) ve gaz türbinli motorun shaft hızı (N1) parametreleri uçak motorunun sağlık durumunun izlenmesi için önemli parametrelerdendir. Bu araştırmanın amacı, uçak motorlarının bakım gereksinimlerinin önceden tahmin edilip sağlıklı kalmasını sağlamak amacıyla faydalı bilgiler ve modeller keşfetmektir. Bu tez çalışmasında gerçek bir uçuştan elde edilen uçuş verileri veri seti olarak kullanılmıştır. Elde edilen uçuş verileri ile veri madenciliği algoritmaları kullanılarak bu parametrelerin tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında EGT ve N1 bağımlı değişkenleri ile diğer bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu inceleme sonucu yeni alt kümeler elde edilmiştir. Elde edilen alt kümeler üzerinde veri madenciliği yöntemleri kullanılarak EGT ve N1 parametrelerinin tahmini gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tahmin sonuçları performans yönünden

kıyaslanmış ve en iyi tahmini yapan algoritmalar belirlenmiştir. Elde edilen tahmin sonuçları ile motorların sağlık durumu izlenebilecek, motor arızaları önceden tespit edilebilecek, buna bağlı olarak ta önleyici bakım yöntemleri uygulanabilecektir. Önleyici bakım yöntemlerinin uygulanması uçak motorlarının sağlıklı kalmasını, işletmecinin bakım maliyetinde önemli ölçüde düşüşü, uçuş emniyetini, sağlıklı kalan motordan atmosfere yayılan düşük seviyede emisyon gazlarına bağlı olarak ta çevresel korumayı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Veri Madenciliği, Arıza Tahmini, Egzoz Gaz Sıcaklığı, Gaz Türbinli Motor Şaft Hızı, Motor Sağlık İzleme



EGT and N1 PARAMETER ESTIMATION WITH DATA MINING METHODS FOR AIRCRAFT ENGINE HEALTH MONITORING

Mehtap TAŞCI

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

PhD Thesis, September 2023

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mustagime Tülin YILDIRIM

ABSTRACT

Airplanes are one of the most important vehicles in the transportation sector. For airplanes, which are widely used, to provide service safely and reliably, it's crucial that their maintenance is carried out both timely and thoroughly. Aircraft maintenance is carried out regularly within certain procedures. In addition to regular maintenance, irregular maintenance is performed in situations that may arise suddenly. Lightning strikes, bird strikes, and hard landings require irregular maintenance. Irregular maintenance has a higher cost compared to regular maintenance. For businesses, irregular maintenance is an undesirable situation. Engine failures and engine maintenance are of great importance both in terms of cost and safe flight in the aircraft's maintenance program. Various research and studies are being conducted to keep engine maintenance costs at a minimum level. The health status of the engines is monitored using the data recorded during the flight, and the necessary maintenance operations are performed. Among the parameters recorded during the flight, exhaust gas temperature (EGT) and gas turbine engine shaft speed (N1) are important parameters for monitoring the health status of the aircraft engine. The purpose of this research is to discover useful information and models in order to predict the maintenance requirements of aircraft engines and ensure that they remain healthy. Predictive analysis of these parameters was conducted using data mining algorithms applied to real flight data. Using the data recorded during the flight, the health status of the engines is monitored, and necessary maintenance operations are carried out. In this study, the relationships between EGT and N1 dependent variables and other independent variables were examined, and new subsets were obtained that show the relationship between EGT and N1 dependent variables and the independent variables thought to affect these variables. Predictions for EGT and N1 parameters were made using

data mining methods on new data sets. The obtained prediction results were compared in terms of performance, and the algorithms that made the best predictions were determined.

With the estimation results obtained, the health status of the engines can be monitored, engine failures can be detected in advance, and preventive maintenance methods can be applied accordingly. The implementation of preventive maintenance methods will ensure that aircraft engines remain in good condition. This will significantly reduce maintenance costs for the operator and improve flight safety. Additionally, lower emission levels from well-maintained engines contribute to environmental protection.

Keywords: Data Mining, Fault Estimation, Exhaust Gas Temperature, Gas Turbine Engine Shaft Speed, Engine Health Monitoring

İÇİNDEKİLER

HAVA ARACI MOTOR SAĞLIĞI İZLENMESİ İÇİN VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİ İLE EGT ve N1 PARAMETRESİ TAHMİNİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	x
KISALTMALAR.....	xiv
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xxviii
GİRİŞ.....	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Havacılıkta Kullanılan Genel Motor Tipleri	9
1.1.1. Pistonlu Motorlar	9
1.1.2. Gaz Türbinli Motorlar	9
1.1.3. Turbojet Motorlar	9
1.1.4. Turboprop Motorlar	10
1.1.5. Turbofan Motorlar	11
1.1.5.1. Turbofan Motorların Bölümleri	12
1.1.5.1.1. Fan/Alçak Basınç Kompresörü (LPC)	13
1.1.5.1.2. Yüksek Basınç Kompresörü (HPC)	14

1.1.5.1.3. Yanma Sistemi	15
1.1.5.1.4. Yüksek Basınç Türbini (HPT)	15
1.1.5.1.5. Alçak Basınç Türbini (LPT)	16
1.1.5.1.6. Aksesuar Dişli Kutusu.....	16
1.2. Motor Operasyon Sıcaklık Değerleri	17
1.3. Motor Sağlığı İzlemek İçin Kullanılan Parametreler ve Önemi.....	18
1.4. Uçak Bakımı.....	22
1.4.1. Planlı Bakımlar.....	23
1.4.2. Plansız Bakımlar.....	24
1.5. Motor Bakım Planlama Konseptleri	25
1.5.1. Motor Atölyesi Bakım Unsurları:	27
1.6. Motor durum izleme	28
1.7. Motor Bakım Programının Planlanması	28
1.8. Bir Motorun Çalışma Kapsamı Planlama Kılavuzu	28
1.9. Veri Madenciliği	30
1.9.1. Veri Ambarları.....	32
1.9.2. Veri Madenciliğinin Kullanım Alanları	33
1.9.3. Veri Madenciliğinin Tarihçesi.....	34
1.9.4. Veri Madenciliği Metodolojileri	35
1.9.4.1. SEMMA Metodu	35
1.9.4.2. CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) Metodu	36
1.9.4.3. KDD (Knowledge and Discovery Database) Metodu	37
1.9.5. Veri Ön İşleme Aşamaları	38
1.9.5.1. Veri Temizleme.....	38
1.9.5.2. Eksik Verilerin Doldurulması.....	38
1.9.5.3. Gürültülü Verilerin Temizlenmesi	39
1.9.5.4. Verilerin Yeniden Yapılandırılması	40
1.9.6. Veri Madenciliği Modelleri	41

1.9.6.1. Sınıflandırma ve Tahmin	41
1.9.6.2. Kümeleme	41
1.10. Kaba Küme Teorisi	41
1.11. Tez Çalışmasında Kullanılan Programlar Yöntemler ve Algoritmalar	43
1.11.1. Kullanılan Paket Programlar	43
1.11.1.1. RapidMiner Programı	43
1.11.1.2. SPSS Programı (<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>).....	43
1.11.1.3. Rosetta Programı.....	43

2. BÖLÜM

YÖNTEM

2.1. EGT Verisinin Veri Madenciliği ile Tahmin Edilmesi.....	46
2.1.1. Kaba Küme Yöntemi ile Uçuş Verilerinin İndirgenmesi.....	46
2.1.2. Aykırı Verilerin Temizlenmesi	48
2.1.3. Modelleme.....	50
2.2. N1 Parametresinin Veri Madenciliği ile Tahmin Edilmesi.....	53
2.2.1. Regresyon Analizi Yöntemi ile Veri İndirgeme.....	54
2.2.1.1. Regresyon Analizi Sonucu Elde Edilen Veri Kümesi ile N1 Değişkeninin Veri Madenciliği Kullanılarak Tahmin Edilmesi.....	60
2.2.2. N1 Parametresinin Tahmin İşlemi İçin Veri Setinin Kaba Küme Yöntemi Kullanılarak İndirgenmesi.....	61
2.2.3. Kaba Küme Yöntemi ile Elde Edilen Veri Kümesi ile N1 Değişkeninin Veri Madenciliği ile Tahmin Edilmesi	65

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. EGT Parametresinin Tahmin İşlemi Sonucu Elde Edilen Bulgular	66
3.2. N1 Parametresinin Tahmin İşlemi Sonucu Elde Edilen Bulgular	73

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

ÖZGEÇMİŞ.....	90
---------------	----

YAYINLAR.....	91
----------------------	-----------



KISALTMALAR

IATA	Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği
EGT	Egzoz Gaz Sıcaklığı
RBF	Radyal Temel Fonksiyonları
ANN	Yapay Sinir Ağları
EDMS	Motor Tehlike İzleme Sistemi
IDMS	Yutulmuş Kalıntı İzleme Sistemi
N1	Motor Fan Hızı
N2	Motor Çekirdek Hızı
TAT	Toplam Hava Sıcaklığı
AOA	Hücum Açısı
KDD	Veri Tabanında Bilgi Keşfi
KNN	K-En Yakın Komşu
SEMMA	Örnekleme, Keşfetme, Değiştirme, Modelleme, Değerlendirme
CRISP-DM	Çapraz Endüstri Veri Madenciliği Standart Süreci
APU	Yardımcı Güç Ünitesi
FF	Yakıt Akışı
LPT	Alçak Basınç Türbini
RUL	Kalan Faydalı Ömür
SMV	Destek Vektör Makine
TOW	Kanatta Kalma Süresi
EASA	Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı
LPC	Alçak Basınç Kompresörü
HPC	Yüksek Basınç Kompresörü
HPT	Yüksek Basınç Türbini
IPC	Ara Basınç Kompresörü
IPT	Ara Basınç Türbini
LLP	Ömrü Sınırlı Parça
ADs	Uçuşa Elverişlilik Direktifi
SHGM	Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü

MPD	Bakım Planlama Dokümanı
MP	Bakım Programı
EPR	Motor Basınç Oranı
FDR	Uçuş Verisi Kaydedicisi
RMSE	Ortalama Hata Kareleri Toplamı Kökü
MSE	Ortalama Karesel Hata
VIF	Varyans Genişlik Faktörü



TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. CFM 56 Gaz türbinli motor EGT limit değerleri	7
Tablo 2 N1 ve N2 şaftların maksimum hız limitleri	19
Tablo 3 Buzlanma durumunda N1 şaftın minimum dönme hızı.....	19
Tablo 4. Uçak arızası ve sebepleri matris tablosu	24
Tablo 5. Korelasyon analiz değerleri	56
Tablo 6. Katsayılar tablosu	57
Tablo 7. Eliminasyon sonucu elde edilen korelasyon değeri.....	58
Tablo 8. Modelin R^2 değer tablosu	58
Tablo 9. ANOVA testi sonuç tablosu	58
Tablo 10. Eliminasyon sonucu elde edilen katsayılar tablosu	59
Tablo 11. Korelasyon tablosu	62
Tablo 12. Model R^2 değeri tablosu.....	63
Tablo 13. ANOVA Tablosu	63
Tablo 14. Katsayılar tablosu	63
Tablo 15. Model R^2 değeri tablosu	64
Tablo 16. 13. küme için R^2 değeri tablosu.....	64
Tablo 17. 21. küme için R^2 değeri tablosu.....	65
Tablo 18. 1. kümeye uygulanan algoritmaların RMSE ve R^2 değerleri tablosu.....	67
Tablo 19. 2. kümeye uygulanan algoritmaların RMSE ve R^2 Değerleri tablosu.....	67
Tablo 20. 3. kümeye ait olan RMSE ve R^2 değerleri tablosu	68
Tablo 21. 4. kümeye ait olan RMSE ve R^2 değerlerinin tablosu.....	68
Tablo 22. 5. kümeye ait olan RMSE ve R^2 değerlerinin tablosu.	68
Tablo 23. 6. kümeye ait olan RMSE ve R^2 değerlerinin tablosu	69
Tablo 24. 7. kümeye ait olan RMSE ve R^2 değerlerinin tablosu	69

Tablo 25. EGT değerinin tahmin edilmesinde kullanılan 7 kümenin RMSE değerleri tablosu.	70
Tablo 26. Regresyon analizi ile elde edilen veri kümesinin sonuçları.....	73
Tablo 27. Kaba küme analizi ile elde edilen veri kümesinin sonuçları	74



ŞEKİLLER LİSTESİ

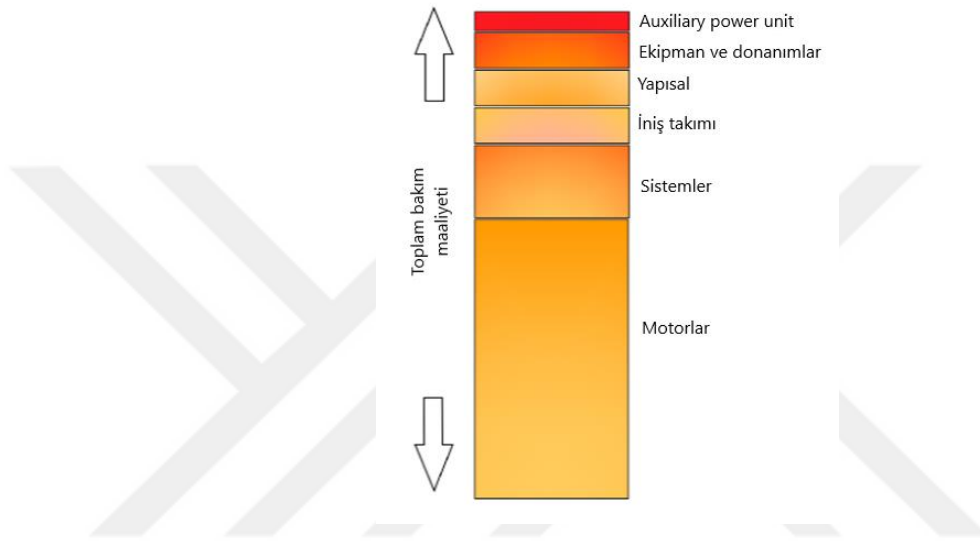
Şekil 1. Toplam uçak bakım maaliyetleri	2
Şekil 2. Oliver Wyman araştırma şirketine göre bakım onarım gider tahmin grafiği	3
Şekil 3. Thy Teknik A.Ş.'nin 2021 faaliyet raporu bakım gider grafiği	3
Şekil 4. Planlı ve plansız bakım oranları	4
Şekil 5. Turbojet motor	10
Şekil 6. Turboprop motor	11
Şekil 7. Modern turbofan motor	12
Şekil 8. Turbofan motor hava akış şeması	12
Şekil 9. İki şaftlı ve üç şaftlı turbofan motor tasarımları	13
Şekil 10. İki şaftlı turbofan motorun bölümleri	13
Şekil 11. Fan/Alçak basınç kompresörü	14
Şekil 12. Yüksek basınç kompresörü	14
Şekil 13. Yanma sistemi	15
Şekil 14. Yüksek basınç türbini	16
Şekil 15. Alçak basınç türbini	16
Şekil 16. Aksesuar dişli kutusu	17
Şekil 17. Gaz türbinli motorlarda gaz yolu hava sıcaklık değişim grafiği	18
Şekil 18. Gaz Türbinli motorlar için anahtar parametreler	18
Şekil 19. EGT Marjı	20
Şekil 20. EGT Marjı sebepleri	21
Şekil 21. Uçak bakım giderlerinin dağılım grafiği	25
Şekil 22. Motor atölye ziyareti aşamaları ve bakım giderleri	26
Şekil 23. Veri, enformasyon ve bilgi ilişkisi.....	31
Şekil 24. Veri ambarı mimarisi	33

Şekil 25. SEMMA metodunun adımları.....	36
Şekil 26. CRISP-DM aşamaları	37
Şekil 27. KDD-Metodunun aşamaları.....	38
Şekil 28. Kaba Küme Yaklaşımları.....	42
Şekil 29. İşlem modellemede en başarılı olan 7. küme aykırı veri analiz grafiği	49
Şekil 30. İşlem modellemede en başarısız olan 3. küme aykırı veri analiz grafiği.....	49
Şekil 31. Rastgele Ağaç algoritmasının modelleme aşamasının mimari yapısı.....	51
Şekil 32. Cross validation operatörünün iç mimarisi	52
Şekil 33. N1 indirgeme yöntemleri.	54
Şekil 34. Tahmin modelleme işleminin girdi ve çıktıları.....	60
Şekil 35. Tahmin modelleme işleminin girdi ve çıktıları.....	65
Şekil 36. 7. küme Rastgele Orman algoritması ile yapılan EGT parametresinin tahmin işlemi grafiği	71
Şekil 37. 3. küme Derin Öğrenme ile yapılan EGT parametresinin tahmin işlemi grafiği	72
Şekil 38. 1. veri kümesinin Gradyan Arttırılmış Ağaç algoritması ile N1 parametresinin tahmin işleminin grafiği.	75
Şekil 39. 1. veri kümesinin Polinom Regresyon algoritması ile N1 parametresinin tahmin işleminin grafiği	76
Şekil 40. 2. veri kümesinin Gradyan Arttırılmış Ağaç algoritması ile N1 parametresinin tahmin işleminin grafiği	77
Şekil 41. 2. veri kümesinin Polinom Regresyon algoritması ile N1 parametresinin tahmin işleminin grafiği	78

GİRİŞ

Havacılık sektörü bir ülkenin gelişmişliğinin en önemli göstergelerinden birisidir. Havacılık sektörünün kullanım alanı oldukça geniştir. Taşımacılık, askeri kuvvetler, sağlık, nakliye, orman yangınları, zirai ilaçlama, trafik denetleme havacılık sektörünün kullanıldığı alanlardan birkaçıdır. Uçaklar ise bu sektörde kullanılan araçlar arasında en büyük paya sahiptir. Uçaklar ilk icat edilmelerinden günümüze kadar teknolojik olarak sürekli gelişim göstermişler ve halen de gelişmeye devam etmektedirler. Gelişmelere paralel olarak, ilk uçaklarda kullanılan pistonlu motorlar yerini günümüzde yaygın kullanılan gaz türbinli motorlara bırakmıştır. Pistonlu motorlar halen küçük uçaklarda kullanılmaktadır ancak ticari alanda faaliyet gösteren uçaklarda yüksek performansından dolayı gaz türbinli motorlar kullanılmaktadır [1]. Zaman içerisinde uçakların bakımı da gelişim göstermiştir. Uçakların kullanılmaya başlandığı ilk yıllarda, uçak yapıları daha basit olduğu için, uçak bakımları da oldukça basit şekilde ilerlemekteydi. Bakımlar genellikle uçuştan sonra kısa bir zaman diliminde gerçekleşmekteydi. Revizyon ve onarımların planlanma işlemi ise manuel olarak yapılmaktaydı. Günümüzde ise uçakların daha karmaşık hale gelmesi ve bakım maliyetlerinin artması bu uygulamayı kullanılamaz hale getirmiştir. Bunun sonucunda hem maliyetin düşürülmesi hem de verimliliğin artması için bakım sistemlerinin ortaya çıkması kaçınılmaz bir hal almıştır [2]. Bakım faaliyetlerinin düzgün yapılması uçakların kullanım ömrünü uzatmakta, sağlıklı motorlarla uçuş gerçekleştirileceğinden emniyetli uçuş elde edilmekte ve atmosfere yayılan emisyon gazları azalacağından çevresel koruma sağlanmaktadır. Ek olarak sağlıklı kalan uçağın yerde kalma süresi azalmakta, uçağın değeri korunarak bir başka açıdan daha ekonomik katkı sağlanmaktadır. Anlatılan yararların tamamı göz önünde bulundurulduğunda günümüz rekabet ortamında şirketler için düzgün bir şekilde yapılmış bakım oldukça önemlidir. Bakım işlemlerinin düzgün yapılması için standartlaşmış çeşitli kurallar geliştirilmiştir. Bu kurallar, üretici firmalar, havacılık işletmeleri ve ülkelerin kendi sivil havacılık otoriteleri tarafından belirlenmektedir. Uçakların bakım faaliyetleri

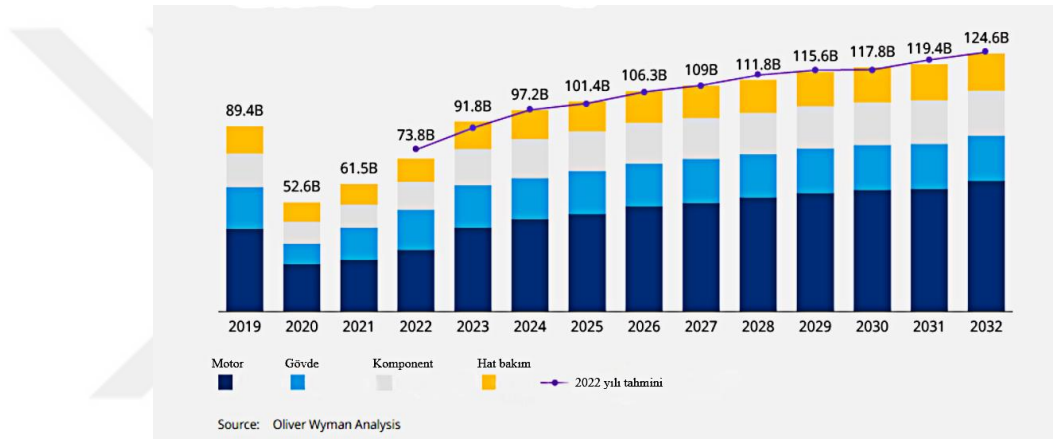
işletme maliyetleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Boeing firmasının verilerine göre dünyada havayolu şirketleri her yıl uçak bakımı için 40 milyar \$'dan fazla harcama yapmaktadır. Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA) bakım maliyetlerini alt bölümlere ayırmıştır. Bu alt bölümler içerisinde uçak motorlarının bakımı oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Şekil 1'de bakım maliyetlerinin oranlarının şematik gösterimi verilmiştir [3].



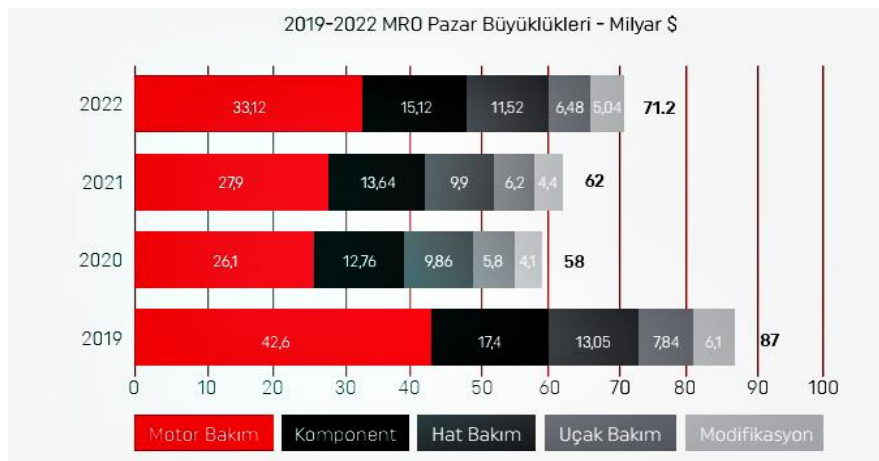
Şekil 1. Toplam uçak bakım maliyetleri [3]

Literatürde bakım maliyetleri hakkında yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Demirci ve arkadaşları çalışmalarında büyük ticari jet uçaklarında plansız bakımların uçak başına her yıl 1 milyon pound aralığında olduğunu ifade etmişlerdir. Uçak motor bakımlarının toplam uçak bakımlarının %29'unu oluşturduğunu, ayrıca işletme maliyetlerinin ancak bakım maliyetleri düştüğü zaman düşeceğini söylemişlerdir. Yine aynı makalede uçağın hizmet vermesi yerine yerde uçağa bakım yapılmasından kaynaklı olan kayıp günde 50.000\$ olduğu vurgulanmıştır [4]. Zaidan ve arkadaşları uçak motorlarının destek, bakım ve lojistiği için büyük meblağların harcandığını ifade etmişlerdir. Çalışmalarında bir motor üreticisi olan Rolls Royce'un 500'den fazla işletmede 14 000'den fazla motora sahip olduğunu, servis ve yedek parça tedarikinin, bu şirketin gelirinin yaklaşık %55'ini oluşturduğunu ifade etmişlerdir[5]. Volponi çalışmasında dünya çapında ticari havacılık bakım faaliyetleri için yılda 50 milyar \$ harcandığını ve zamanla bu harcamanın artacağını belirtmiştir [6]. Amozeghar ve Khorasani arıza teşhisinin uçaktaki bakım maliyetini önemli ölçüde düşüreceğini ifade

etmişlerdir [7]. Zhou ve arkadaşları çalışmalarında gaz türbinlerinin enerji alanında uygulanmasında yüksek bakım maliyetinin bir engel oluşturduğunu ve doğalgaz kompresörü istasyonu işletme maliyetinin yaklaşık %70'ini bakım maliyetinin oluşturduğunu belirtmişlerdir [8]. Oliver Wyman şirketi bakım maliyetlerinin 2019-2032 tarihleri arasındaki beklenen tahmini gösteren çalışmalar yapmışlar, söz konusu bakım maliyetlerini Şekil-2'de verilen grafik ile göstermişlerdir[9]. Yine Türk Hava Yolları'na ait olan Thy Teknik A.Ş. 2021 yılında yayınladığı faaliyet raporunda da motor bakımına ait maliyet değerini ifade etmiştir [10]. Faaliyet raporundaki bakım gider grafiği Şekil 3'te verilmiştir.

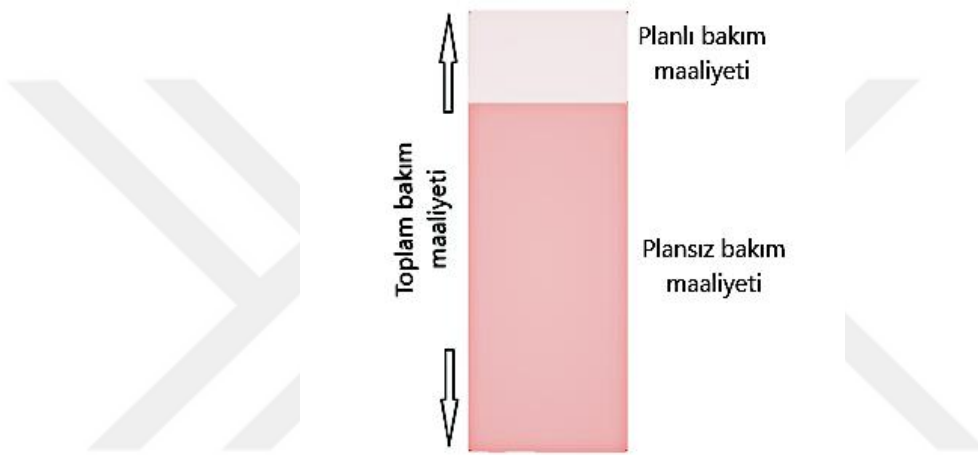


Şekil 2. Oliver Wyman Araştırma şirketine göre bakım onarım gider tahmin grafiği [9]



Şekil 3. Thy Teknik A.Ş'nin 2021 yılı faaliyet raporu bakım gider grafiği [10]

Bakım faaliyetleri kendi arasında planlı ve plansız bakım olarak alt dallara ayrılmaktadır. Planlı bakımlar uçakların sürekli olarak uçuşa elverişli olmasını sağlamaktadır. Planlı bakımlardan ayrı olarak sert iniş, kuş çarpması, yıldırım çarpması, yabancı madde hasarı, motor titreşimi ve fazla yağ tüketimi gibi aniden ortaya çıkan veya plansız gelişen durumlar plansız bakım gerektirmekte, ek bakım maliyeti getirmektedir. Şekil 4'te gösterildiği gibi plansız bakımlar, planlı bakımlara oranla daha yüksek maliyete sahiptir [3].



Şekil 4. Planlı ve plansız bakım oranları [3]

Operatörler ve üreticiler hem güvenilirlik hem de uçağın yerde kalma süresinden dolayı plansız bakımları azaltmak için çaba göstermektedirler [3]. İstenmeyen bir durum olan plansız bakımları engellemek için kestirimci bakım yöntemleri geliştirilmiştir. 1990'lı yıllarda ortaya çıkan kestirimci bakım yöntemleri, uçak çalışırken kaydedilen verilerin yorumlanması prensibine dayanmaktadır. Kestirimci bakımda, herhangi bir arıza meydana gelmeden ve yapılan tahminlerle tespit edilen problem büyümeden bakım yapılması hedeflenmiştir. Literatürde arıza tahmin ve motor sağlığı izleme üzerine yapılmış çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Gunetti ve arkadaşları [11] gaz türbinli motor kontrolü ve motor sağlığı izleme üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Matlab programı vasıtasıyla çeşitli algoritmalar kullanmışlar ve bir simülatör geliştirmişlerdir. Cui ve arkadaşları [12] uçak yapısal bileşenlerinin sağlık durumunu izlemek için çalışma yapmışlardır. Akustik emisyon teknolojisini kullandıkları çalışmalarında K-En Yakın Komşu (KNN) algoritmasından faydalanmışlardır. Babbar ve arkadaşları [13] çalışmalarında bir uçağın iki motoruna ait uçuş kayıtlarını kullanmışlardır. Her bir uçuş

için iki motorun da Egzoz gaz sıcaklığı (EGT) değeri üzerinde gradyan bir yaklaşımda bulunmuşlardır. Bu yaklaşım ile arızaları teşhis etmek amacıyla EGT parametresi için uçuş fazlarındaki güven aralığı sınırlarını belirlemişlerdir. Brotherton ve Johnson [14] çalışmalarında anormal durum tespiti için yapay sinir ağı yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmalarında hidrolik sistem arızası ve Yardımcı Güç Ünitesi (APU) verileri kullanılarak anomalileri tespit etmişlerdir. Tolani ve arkadaşları [15] uçak gaz türbin motorlarının sağlık yönetimi için uçuş verilerinden faydalanmışlardır. Çalışmalarında En yakın Komşu, Radyal Temel Fonksiyonları (RBF) Yapay Sinir Ağları (ANN), Temel Bileşen Analizi ve Dalgacık Uzayı Bölümleme (Wavelet Space Partitioning) yöntemlerini kullanarak arıza tahmini gerçekleştirmişler ve çalışmalarındaki yöntemleri kıyaslamışlardır. Feng ve Jin-Quan [16], yaptıkları çalışmada aero-motor için kullanılan motor sağlık yönetimi sisteminde sağlık parametresinin tahmin doğruluğunu göz önüne alarak, yeni bir kompanzasyon mekanizması önermişlerdir. Rong ve arkadaşları [17] yaptıkları çalışmada sivil hava motorunun çalışması ve bakımının niteliğine göre, sivil hava motoru sağlık yönetimi kavramını tanıtmışlardır. Çalışmalarının amacı olarak uçak bakım maliyetinin alt seviyelerde tutulmasını hedeflemişlerdir. Bu amaçla 45 uçuştan elde edilen motor verilerini kullanarak önleyici ya da düzeltici bakım yapılması yönünde karar vermeye yarayan bir Weibull Orantılı Yoğunluk modelini ortaya koymuşlardır. Powrie ve Fisher [18], Joint Strike Fighter uçakları için prognostik sağlık yönetimi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında üç farklı sistem kullanmışlardır. Motor Tehlike İzleme Sistemi (EDMS) ile egzoz gaz emisyonunu inceleyerek gaz yolu komponentlerinin sağlık durumu hakkında bilgi alınacağına vurgu yapmışlardır. Motor içine yutulan toz kum gibi maddeleri tespit etmek için Yutulan Kalıntı İzleme Sistemi'nden (IDMS) faydalanmışlardır. Son olarak Elektrostatik yağ izleme sistemiyle yağ sistemine ait sağlık durumunu izlemişlerdir. Babbar ve arkadaşları [19] çalışmalarında uçak motorlarının mevcut ve gelecekteki sağlıkları hakkında egzoz gazı sıcaklığı (EGT), yakıt akışı (FF), motor fan hızı (N1 ve N2), toplam hava sıcaklığı (TAT) gibi verilerle kararlar alınabileceğini ifade etmişlerdir. Fuzzy C means yöntemini kullanarak arıza olup olmadığını teşhis etmeye çalışmışlar ve arıza varlığında uçağın bakım kayıtlarından kök nedenine ulaşılacağını ifade etmişlerdir. Yıldırım ve Kurt, uçağın sağlık durumunu izlemek amacıyla, uçak verileri kullanarak EGT parametresi [20] ve Alçak Basınç Türbini Titreşimi (LPT) [21] parametresi tahmini yapmışlardır. Mgaya ve arkadaşları [22] türbin motorlarında arıza teşhisi ve sağlık yönetiminde Bulanık

Mantık ve Yapay Sinir Ağlarını kullanmışlardır. Suarez ve arkadaşları [23] yeni bir ömür tahmin sistemi üzerinde çalışmışlardır. Lv ve arkadaşları [24] öncelikle, motor arızalarının türlerini analiz ettikten sonra, motor arızası tahmini ve kalan faydalı ömür (RUL) tahmininin nasıl uygulanacağı üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında motor yağında bulunan demir elementi ile aşınmanın tahminini Destek Vektör Makine (SMV) yöntemi ile yapmışlardır. Yaşar ve arkadaşları [25] piezoelektrik sensörler kullanarak uçak motoru bileşenlerinin gerçek zamanlı sağlık kontrolü için donanımsal çalışma yapmışlardır. Yukarıda bahsi geçen çalışmalar uçak bakımı ve arıza tespiti üzerine yapılan çalışmalardır. Bu alanda ayrıca tez çalışmasında söz konusu olan veri madenciliği ile uçak arızalarının tahmin edilmesi çalışması da bulunmaktadır. Veri madenciliği kullanılarak havacılık üzerinde yapılan bazı çalışmalar literatürde şu şekilde yer almaktadır. Pagels [26] havacılık üzerine yapılan veri madenciliği çalışmalarını ele almış ve çeşitli veri madenciliği algoritmaları ile çalışmalar yaparak veri kümeleri üzerinde hangi algoritmanın daha iyi sonuç verdiğini irdelemiştir. Iverson [27] hem uzay mekiği hem de uluslararası uzay istasyonlarının görev operasyonlarının sağlık durumunu veri madenciliğindeki en yakın komşu algoritması ile ele almıştır. Lian ve Liouy [28], uçak kanat kesitinin optimizasyonu ve kriyojenik bir roket motorunun turbo pompasının tasarımı problemlerinde veri madenciliğini kullanmışlardır. Letourneau ve arkadaşları [29] uçaklardan elde edilen sayısal ve sembolik verileri kullanarak uçak komponentlerinde bulunan çeşitli hataları tahmin etmek için çalışma yapmışlardır. Haigh ve arkadaşları [30] uzay mekiğinde meydana gelecek anormal durumların tespiti için veri madenciliğini kullanmışlardır. Seichepine ve arkadaşları [31] uçuş verilerini kullanarak veri madenciliği ile anormallik tespiti yapmışlardır. Skormin ve arkadaşları [32] aviyonik sistemler için çevrenin etkisini veri madenciliği yöntemleri ile incelemişlerdir. Ancak bu çalışmalar gaz türbinli motor arızasını tahmin etmek için yapılan çalışmaları kapsamamaktadır ve çalışmalardan da görüldüğü üzere uçak motoru arızası tahmini üzerine veri madenciliği yöntemi ile yapılan herhangi bir çalışma görebildiğimiz kadarıyla bulunmamaktadır. Bu alandaki boşluğu doldurmak amacıyla veri madenciliği yöntemleri kullanılarak uçak motoru arızası tahminine yönelik tez çalışması gerçekleştirilmiştir.

Literatürde motor sağlık durumunu izlemek için en çok kullanılan parametrelerden birisi EGT parametresidir. EGT, bir motordaki en önemli operasyonel parametrelerden

birisidir, motorun türbin ünitesini terk eden gazın sıcaklığını göstermektedir. Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı (European Aviation Safety Agency-EASA), EGT sıcaklığı için uçak motoruna limit (redline) koyarak onay vermektedir[33]. EASA'nın CFM 56 motor tipleri için belirlediği limit değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu tabloya göre tez çalışmasında kullanılan veri setindeki gaz türbinli motorun EGT limit değeri 930 °C'dir.

Bu tablodaki sınır değerler ile uçak kalkış esnasındaki maksimum sıcaklığın farkı EGT Marjını (EGTM) oluşturmaktadır. EGTM değeri motor sağlığını izlemek için önemli bir değerdir. Motor sağlığına karar vermek ve Time On Wing (TOW) yani hizmet verebilme durumunu değerlendirmek için kullanılmaktadır.

Tablo 1. CFM 56 Gaz türbinli motor EGT limit değerleri [33]

	Kalkış değeri °C	Geçici Kalkış değeri (20 saniye) °C	Sürekli maksimum uçuş °C
CFM56-2, CFM56-2B	905	N/A	870
CFM56-2A	930	N/A	895
CFM56-3, CFM56-3B, CFM56-3C	930	940	895

EGTM değeri, EGT Redline değeri ile EGT uçak kalkış değeri arasındaki farka eşittir ve Eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır [34].

$$\text{EGT Margin } ^\circ\text{C} = \text{EGT Redline} - \text{EGT Uçak kalkış} \quad (1)$$

Bu tez çalışmasında uçaklarda bulunan ve kara kutu olarak adlandırılan, FDR uçuş veri kayıt cihazının, uçuş esnasında kaydettiği sağlıklı uçak parametreleri kullanılmıştır. Veriler sürekli olarak ifade edilen sayısal verilerdir. Bu veriler ile, veri işlemede oldukça popüler hale gelmiş olan Veri Tabanında Bilgi Keşfi (KDD) veri madenciliği yöntemi kullanılarak EGT ve N1 parametrelerinin tahmin işlemi yapılmıştır. Uçak motorlarının sağlıklı ya da bozulmuş olup olmadığının anlaşılmasında birincil motor parametreleri olan EGT ve N1 verileri dikkate alınmaktadır. Yapılan tahminler ile motorun sağlık durumunun izlenmesine katkıda bulunulacak, oluşabilme ihtimali olan arızalar tespit edilebilecektir. Mevcut arıza olduğu zaman, arızalar büyümeden önleyici bakım yöntemleri uygulanabilecektir. Büyük bir maliyete sahip olan motor bakımları, daha az

maliyetli koruma bakımı ile yer deşiştireceğinden şişletmecinin bakım kaleminde dūřmeye sebep olacağı dūřünölmektedir. Bōylece sağlıklı motorlar ile uęuř yapılacaağından emniyetli uęuř sağlanacak, atmosfere yayılan emisyon gazları azalacak ve çevresel koruma sağlanacaktır. Bakım maliyetinin yani uğaağın yerde kalma süresi de şişletmeler için önemli bir maddi kayıptır. Sadece bakım maliyeti değil aynı zamanda uğaağın efektif kullanılması da ekonomik anlamda oldukça önemlidir. Tez çalışmasında 1. Bölümde uğaklarda kullanılan motor tipleri, uęak motorlarının sağlık durumunun izlenmesi amacıyla kullanılan parametreler ve önemleri, uęak bakımları, veri madenciliği, kaba küme teorisi ve tez çalışmasında kullanılan programlar hakkında bilgiler verilmiştir. 2. Bölümde EGT ve N1 parametresinin tahmininde kullanılan yöntemler anlatılmıştır. 3. Bölümde EGT ve N1 parametre tahmini sonucunda elde edilen bulgulara ait grafik ve tablolar verilmiştir. 4. Bölüm elde edilen sonuçlar hakkında tartışma sonuç ve öneriler kısmı olarak düzenlenmiştir.

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1 Havacılıkta Kullanılan Genel Motor Tipleri

1.1.1. Pistonlu Motorlar

Pistonlu motorlar havacılık alanında kullanılan ilk motor çeşididir. Pistonlu motor, pistonlar vasıtasıyla basınç hareketini mekanik harekete dönüştürme prensibi ile çalışmaktadır. İçten yanmalı motor, buhar motoru ve stirling motoru olmak üzere üç türde bulunmaktadır. Gaz türbinli motorlara göre tasarımları daha basittir. Yakıt tüketimi dikkate alındığı zaman gaz türbinli motorlara göre daha verimlidirler. Bu avantajlarına rağmen bazı dezavantajları da vardır. Bunlardan birincisi daha fazla güç istendiği zaman boyutunun artması, buna bağlı olarak istenmeyen bir özellik olan ağırlığının artması, ikincisi ise yüksek irtifalarda veriminin düşük olmasıdır.

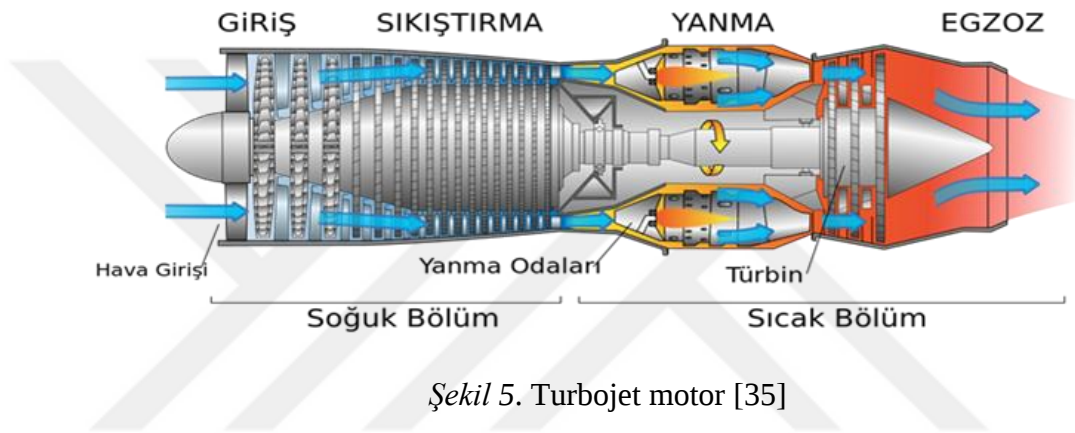
1.1.2. Gaz Türbinli Motorlar

Gaz türbinli motorlar yüksek irtifalarda çalışmaya uygun motorlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bütün gaz türbinli motorların çalışma prensibi hava alığından alınan havanın sıkıştırılıp daha sonra ısı enerjisi verilerek elde edilen itki kuvvetinin kullanılması üzerinedir. Tarihsel gelişimle beraber farklı türlere ayrılmıştır. Gaz türbinli motorların en yaygın şekilde kullanılanları turbojet motorlar, turbofan motorlar, turboprop motorlar ve APU olarak sıralanabilir. Bunlar dışında çeşitli gaz türbinli motorları da mevcuttur.

1.1.3. Turbojet Motorlar

İlk gaz türbinli motor olarak turbojet motorlar kullanılmıştır. Turbojet motorlarda diğer gaz türbinli motorlardan farklı olarak fan ve pervane bulunmamaktadır. Turbofan motorlar ile kıyaslandığında, hava alığından alınan daha az miktardaki hava egzozdan daha yüksek hızda atılarak tepki kuvveti elde edilir. Elde edilen bu tepki kuvvetinin

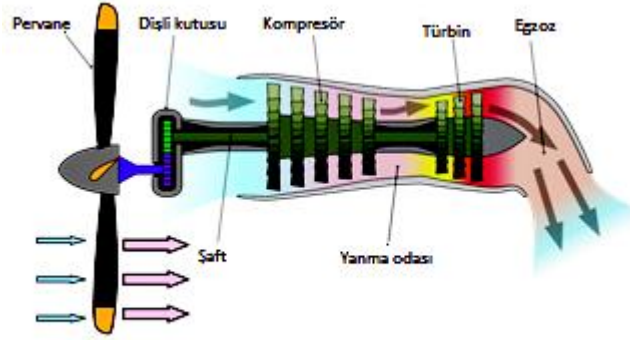
tamamı egzozdan çıkan gazlardan oluşmaktadır. Turbojet motorlarda türbine girecek olan havanın sıcaklığının maksimum olması önemlidir. Motor içerisindeki hava-yakıt oranı iyi ayarlanmış olmalıdır. Turbojet motorlarda yakıt tüketimi diğer motor tiplerinde aynı hız/itki ile kıyaslandığında daha fazladır. Yakıt tüketiminin fazla olmasının sebebi hava akışı diğer gaz türbinli motor tiplerine göre düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Gürültü yönünden diğer gaz türbinli motor tipleri ile kıyaslandığında turbojet tipi motorlar daha gürültülüdürler. Şekil 5'te turbojet motorlarının yapısı verilmiştir.



Şekil 5. Turbojet motor [35]

1.1.4. Turboprop Motorlar

Turboprop Motorlar gaz türbinli motorlar sınıfında yer alan bir diğer motor tipidir. Bu tip motorların yapısı pervane, gaz türbini ve devir düşürücü dişlilerden meydana gelmektedir. Turboprop motor yapısı Şekil 6'da verilmiştir. Turboprop motorların hızı diğer tip gaz türbinli motorlara göre daha düşüktür. Ekonomik açıdan bakıldığında ise diğer gaz türbinli motor tiplerine göre daha ekonomiktirler. 430-720 km/h hız aralığında verimli olarak çalışır. Diğer gaz türbinli tip motorlar dikkate alındığından bu motorların özgül yakıt tüketimi daha iyidir. Turboprop motorların güç üretim kısımları diğer türbinli motorlar ile benzerken türbin bölümünde farklılık vardır. Örneğin bir turbojet motorda sıcak gazlardan elde edilen enerji ile kompresör ve dişliler enerjilenirken bu tip motorlarda sıcak gazlardan elde edilen gücün %75-80 kadarlık kısmı pervanenin hareketi için kullanılmaktadır.



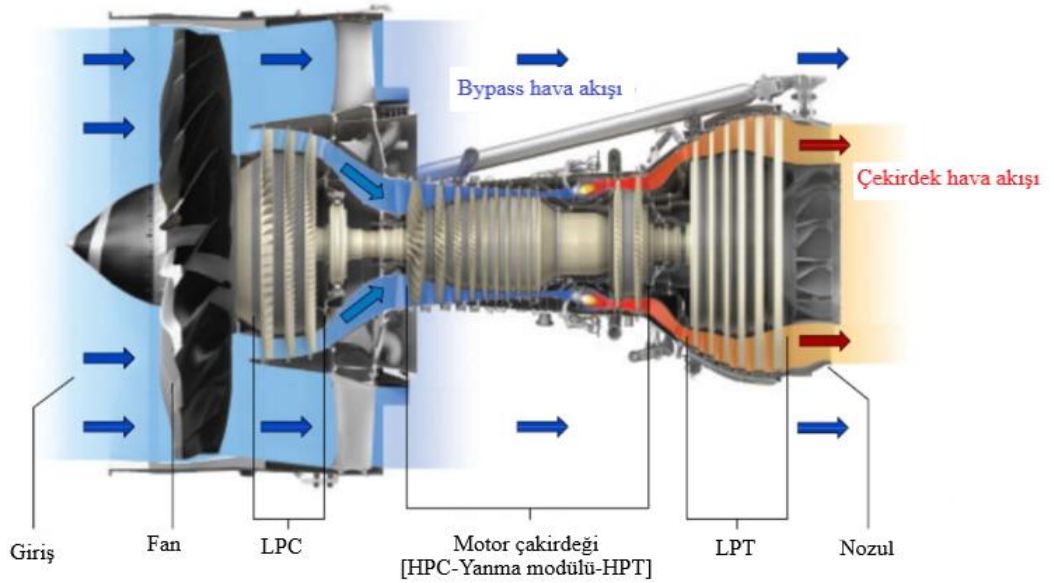
Şekil 6. Turboprop motor [36]

1.1.5. Turbofan Motorlar

Günümüzde ticari uçaklarda kullanılan jet motorlarının tamamı turbofan motorlardır. Turbofan motorlarının yakıt açısından oldukça verimli olmasının yanı sıra operasyonlarda nispeten daha sessiz olması tercih edilme nedenidir. Turbojet motorlar ile kıyaslandığında elde edilen tepki kuvveti çok daha fazladır. Sessiz olması, daha verimli olması ve tepki kuvvetinin fazla olmasından dolayı turbojet motorların yerini almıştır. Turbofan tipi motorların tasarımı turbojet motorların önüne bir ya da daha fazla kademedeki fan aksamı ilave edilerek ortaya çıkmıştır. Turbofan motorlarda hava akışı birincil (çekirdek) hava akışı ve ikincil (bypass) hava akışı olarak ele alınır. Eğer motora alınan hava fan kısmından geçtikten sonra motorun iç kısmına doğru ilerliyor ve burada sıkıştırma, yanma ve genleşme işlemlerinden geçiyorsa bu hava akışı birincil hava akışı olarak isimlendirilir. Fan aksamından geçtikten sonra motorun iç kısmından geçmeyen hava akımı ise ikincil hava akışıdır ve elde edilen tepki kuvvetinin %70-75'i bu hava akışından elde edilir. Birincil hava akışı ile ikincil hava akışı egzoz kısmında karışır ve dışarı verilerek tepki kuvveti sağlanır. İkincil hava akışı ile motorun belli bölgelerinin soğutulması da sağlanmaktadır. Şekil 7'de günümüzde kullanılan modern turbofan motorun yapısı verilmiştir. Şekil 8'de ise motorun içindeki hava akışı gösterilmiştir.



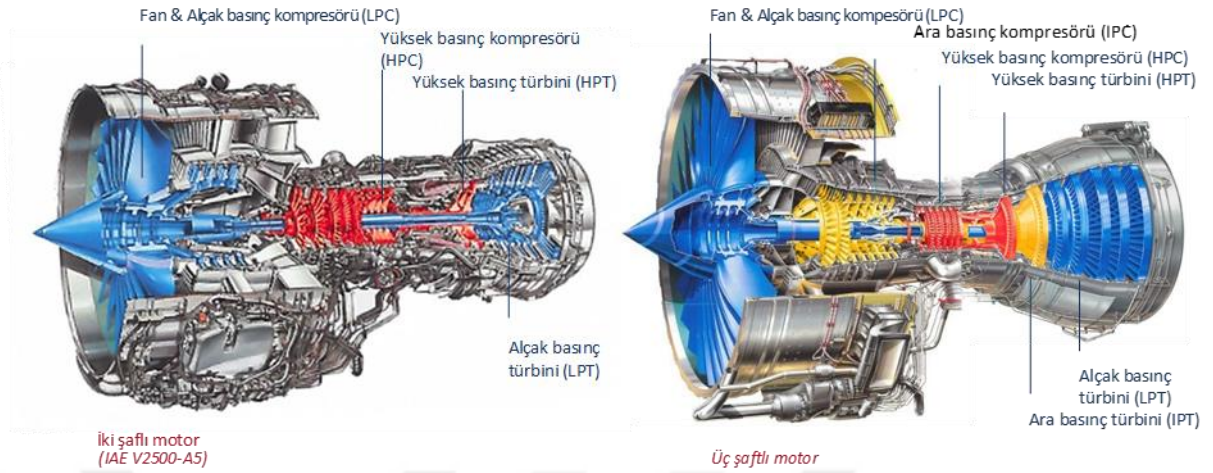
Şekil 7. Modern turbofan motor [37]



Şekil 8. Turbofan motor hava akış şeması [38]

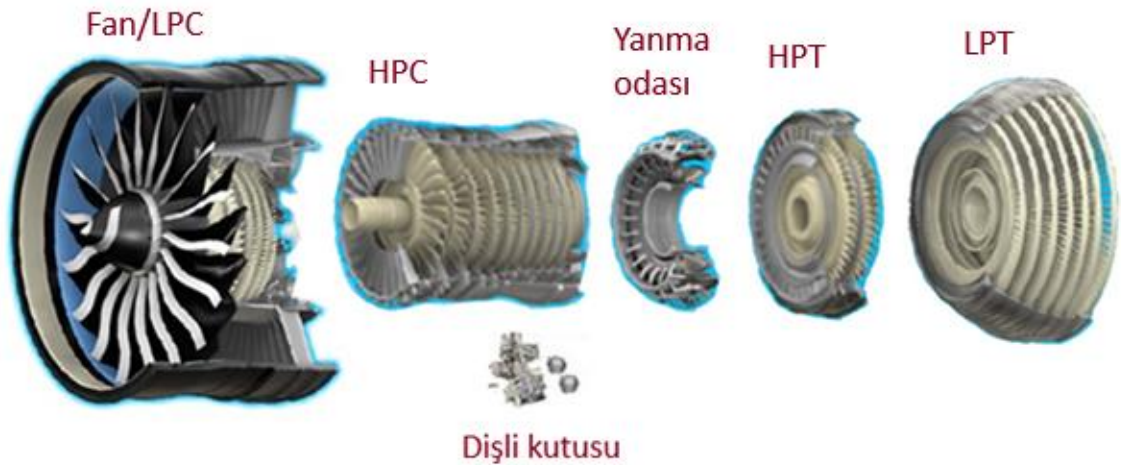
1.1.5.1. Turbofan Motorların Bölümleri

Günümüzde turbofan motorların tasarımı, iki şaftlı veya üç şaftlı olacak şekilde gerçekleştirilmektedir. Şekil 9’da iki şaftlı ve üç şaftlı tasarımlar verilmiştir. Çift şaftlı bir konfigürasyonda Fan ve Alçak Basınç Kompresörü, Alçak Basınç Türbini tarafından tahrik edilir. Yüksek Basınç Kompresörü (HPC) ise Yüksek Basınç Türbini (HPT) tarafından tahrik edilir. Üç şaftlı bir turbofan motor, ilave bir Ara Basınçlı Kompresörü (IPC) ve türbin (IPT) bölümü içerir.



Şekil 9. İki şaftlı ve üç şaftlı turbofan motor tasarımları [38]

İki şaftlı turbofan motorun bölümleri Şekil 10’da gösterilmiştir. Şekilde de gösterildiği gibi, motorlar montaj kolaylığı ve sonraki bakım için bir dizi modül olarak tasarlanmıştır. Her modülün kendine özgü kimliği, hizmet geçmişi ve belirlenmiş çalışma seviyeleri vardır. Bir motorun Çekirdek Modülleri (Sıcak Bölüm) HPC, Yanma odası ve HPT’den oluşur ve genellikle her bakımda yenilenir/restore edilir.

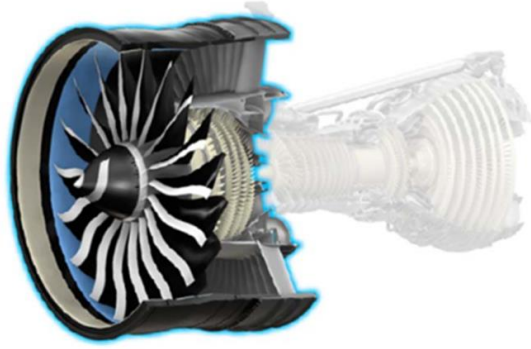


Şekil 10. İki şaftlı turbofan motorun bölümleri [38]

1.1.5.1.1. Fan/Alçak Basınç Kompresörü (LPC)

Fan, basit bir şekilde özel bir kompresör tipidir ve genellikle bir kademe içerir. Fan, tipik bir turbofanın itme kuvvetinin çoğunu üretmekten sorumludur. Motora hava girişini

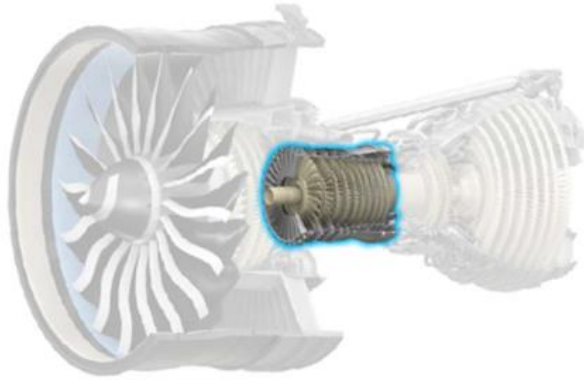
sağlayarak itme gücünün oluşmasında önemli rol oynar. Alçak basınç kompresörü, fandan gelen havayı alır ve almış olduğu bu hava kütesini rotor kanatları ve stator kanatları arasında değişen aşamalarla sıkıştırma işlemini gerçekleştirir. Şekil 11’de fan ve alçak basınç kompresörüne ait görsel verilmiştir.



Şekil 11. Fan/Alçak basınç kompresörü [38]

1.1.5.1.2. Yüksek Basınç Kompresörü (HPC)

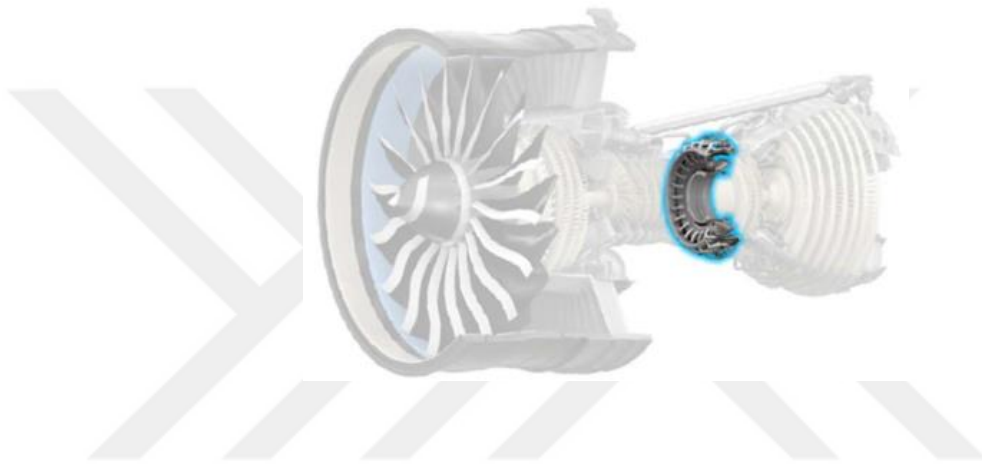
Yüksek basınç kompresör modülü, ana işlevi yanma odasına iletilen havanın basıncını yükseltmektir. Bir dizi rotor ve stator düzeneğinden meydana gelmiştir. Yüksek basınç kompresörünün son kademelerinde hava önemli ölçüde sıkıştırılır. Yani hava yüksek basınçlı ve oldukça sıcak hale gelir. Bu sıcaklığa dayanması için kanatçıklar nikel ve titanyum alaşımından yapılmaktadır. Şekil 12’de yüksek basınç kompresörünün yapısı verilmiştir.



Şekil 12. Yüksek basınç kompresörü [38]

1.1.5.1.3. Yanma Sistemi

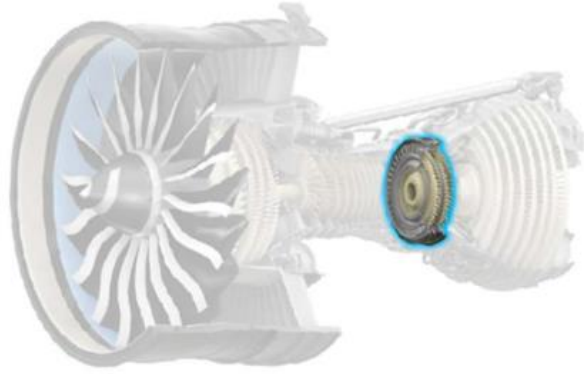
Yanma sisteminde, kompresör modüllerinden alınan basınçlandırılmış hava ile yakıt karıştırılarak yakılır. Yanma işleminden elde edilen sıcak gazlar akış yönünde yüksek basınç türbinine gönderilir. Yakıcıda bulunan yanma odası, bir yakıt enjektörü, bir ateşleyici ve nozul kılavuz kanatlarından meydana gelir. Günümüzün modern turbofan motorlarının çoğu, dairesel bir yanma sistemi kullanmaktadır. Yanma sistemine ait olan görsel Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. Yanma sistemi [38]

1.1.5.1.4. Yüksek Basınç Türbini (HPT)

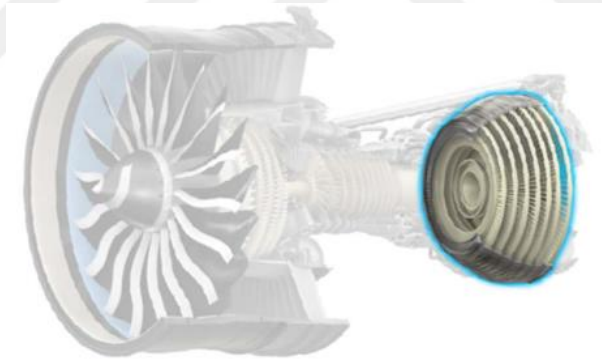
Yüksek basınç türbini (HPT) modülü, yüksek basınç türbin rotoru ve nozul kılavuz kanat düzeneklerinden meydana gelmiştir. Yüksek basınç türbini modülü yüksek basınç kompresörü ve aksesuar dişli kutusunu çalıştırmak için yanmış gazlardan elde edilen termal enerjiyi ortaya çıkarmak üzere hareket eder. Hem yanma odası hem de yüksek basınç türbini, motorda meydana gelen maksimum sıcaklıklara maruz kalır. Yüksek basınç türbinine ait görsel Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. Yüksek basınç türbini [38]

1.1.5.1.5. Alçak Basınç Türbini (LPT)

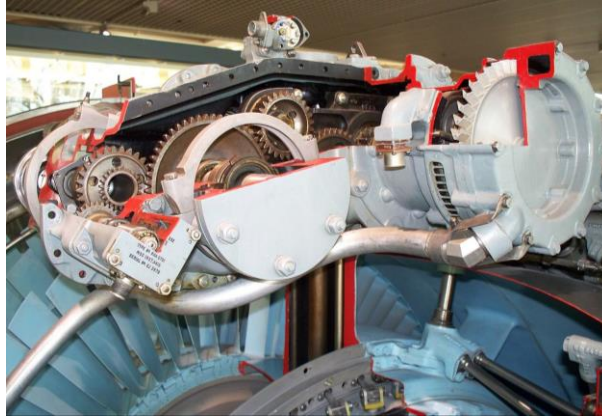
Alçak basınç türbini, alçak basınç miline, nozul kılavuz kanatlarına ve bir şasiye bağlı kanatlı türbin disklerinden oluşan bir modüldür. Alçak basınç türbini fan ve alçak basınç kompresörünün rotor tertibatını çalıştırmak için kalan yanma termal enerjisini çeker. Şekil 15'te LPT modülüne ait olan görsel verilmiştir.



Şekil 15. Alçak basınç türbini [38]

1.1.5.1.6. Aksesuar Dişli Kutusu

Aksesuar dişli kutusu bölümü genellikle motor göbeğine veya fan kasasına takılır. Aksesuar dişli kutusu, aksesuar dişli kutusuna monte edilmiş olan temel motor ve uçak aksesuarlarını (örneğin jeneratörler, yağ pompası, hidrolik pompalar) tahrik etmek için motordan mekanik enerjiyi aktarır. Dişli kutusuna ait görsel Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. Aksesuar dişli kutusu [39]

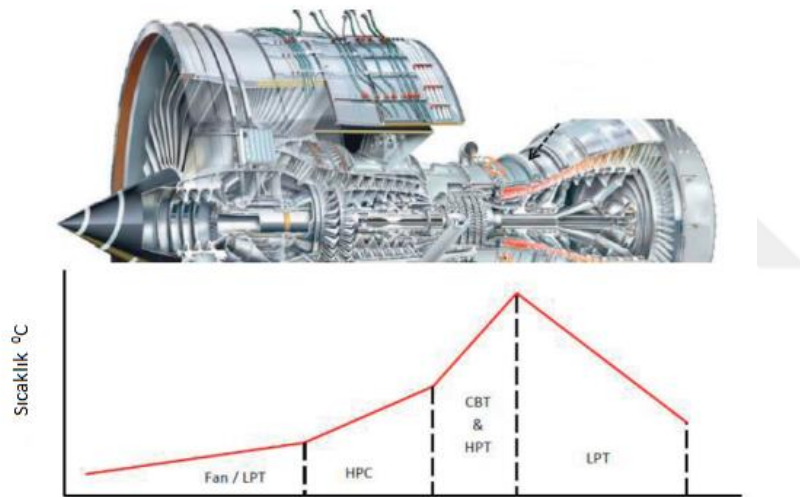
1.2 Motor Operasyon Sıcaklık Değerleri

Gaz türbinli motorlar günümüzde faaliyet gösteren ticari uçuşların çoğuna güç sağlamaktadır. 30.000’den fazla bileşenden oluşan bu motorlar, uçakları yukarı ve ileriye doğru itmektedir [40]. Bu motorlarda kullanılan teknoloji karmaşıktır çünkü motorun farklı bölümlerinde sıcaklık ve basıncın önemli ölçüde değiştiği son derece zorlu ortamlarda güvenilir bir şekilde çalışmak zorundadırlar. Günümüz motorları 1.500°C’yi aşan türbin giriş sıcaklıklarına maruz kalabilmektedir. Şekil 17’de motor gaz akış yolu boyunca sıcaklık artışını göstermektedir. Motorun bileşenleri farklı ortamlara maruz kalır, bu nedenle her birinin güvenilir bir şekilde çalışması için farklı özelliklere sahip olması gerekir [38]. Yanma odasına yakın olan modüller (Yüksek Basınç Türbini ve Yüksek Basınç Kompresörü), basıncın 40 Atm’ye ve sıcaklığın 1.500 °C’ye kadar çıkabildiği en zorlu ortama maruz kalan modüllerdir [41]. Yüksek termal verimlilik meydana gelmesi için türbin giriş sıcaklığının yüksek olması gereklidir. Türbin yapımında kullanılan malzemeler yüksek türbin giriş sıcaklıklarını sınırlandırır. Türbinlerde verimlilik için genellikle giriş sıcaklığı yükseltilir ve yakıt tüketim oranında küçük bir artış meydana getirilir. Böylece motorların spesifik itme kuvveti arttırılır. Daha yüksek bir toplam basınç oranı ve türbin giriş sıcaklığının kombinasyonu da termal verimliliği artırır. Bu durum daha düşük bir özgül itme kuvveti ile, daha düşük bir özgül yakıt tüketimine yol açar.

1.3 Motor Sağlığı İzlemek İçin Kullanılan Parametreler ve Önemi

Uçak üzerinden alınan motor parametreleri, önemi ve doğrudan uçuş güvenliğine etki etmesi dikkate alınarak 2 gruba ayrılmıştır. Bu gruplar birincil ve ikincil motor parametreleri olarak isimlendirilmiştir.

Birincil motor çalışma parametreleri Şekil 18’de gösterilmiştir. Fan hızı, itme göstergesi için yaygın olarak kullanılırken, EGT yaygın bir durum (veya sağlık) izleme parametresidir. Bazı motor modellerinde itme kuvveti izleme için Motor Basıncı Oranı (EPR) ve N2/N3 devri de kullanılır. Aşağıda, bu performans parametreleri ile ilgili açıklayıcı bilgiler verilmiştir. Şekil 18’de bu parametrelerin elde edildiği noktalar gösterilmektedir [38].



Şekil 17. Gaz türbinli motorlarda gaz yolu hava sıcaklık değişim grafiği [41]



Şekil 18. Gaz Türbinli motorlar için anahtar parametreler [38]

Birincil motor parametreleri;

N1 Hızı: Fan veya motor tipine bağlı olarak düşük basınçlı kompresörün, dönüş hızıdır. Tipik olarak tasarım RPM değerinin yüzdesi olarak ifade edilir. Hızla dalgalanan N1 veya EPR, bir motor durmasının işareti olabilirken, düşük EPR veya N1 hızı bir alev patlamasının işareti olabilmektedir. N1 hızı aynı zamanda itme kuvvetini ölçmek için kullanılan birincil parametredir. Fanın dönüş hızı N1 olarak ifade edilmektedir [38]. Turbofan tip motorda itme kuvveti birbirine dolaylı olarak bağlı iki şaft sistemi vasıtasıyla elde edilir. N1 şaftı ve N2 şaftı olarak adlandırılan sistemlerden N1 şaftı itme için motora girecek gerekli havayı emerek asıl itmeyi gerçekleştirir. Turbofan motorlarda itme kuvvetinin yaklaşık %75-80'i ikincil hava denilen bypass havasından elde edilmektedir. Bu nedenden dolayı N1 parametresi itme kuvvetinin modellenmesinde kullanılan en önemli parametredir [42] N2 şaftı ise yanma miktarını ayarlamak suretiyle N1 şaft sisteminin dönüş hızını ve dolaylı olarak itme kuvvetini düzenler. Bu motor hızı kontrolü ve itme kuvvetinin yönetimi sırasında birçok karmaşık sistemin bir arada çalışmasından dolayı bu grupta meydana gelecek olan arızalar uçuş güvenliğini en üst seviyede tehdit eden arızalar grubundadır [38] N1 ve N2 parametreleri için EASA yayınladığı CFM motorlarına ait tip sertifikasında limit değerler vermiştir. Bu limit değerler aşağıda Tablo 2'de ve Tablo 3'te verilmiştir [33].

Tablo 2. N1 ve N2 şaftların maksimum hız limitleri [33]

Models	Low pressure rotor (N1)	High pressure rotor (N2)
CFM56-2, CFM56-2A, CFM56-2B	5280 RPM (% 102)	15183 RPM (% 105)
CFM56-3, CFM56-3B, CFM56-3C	5490 RPM (% 106)	15183 RPM (% 105)

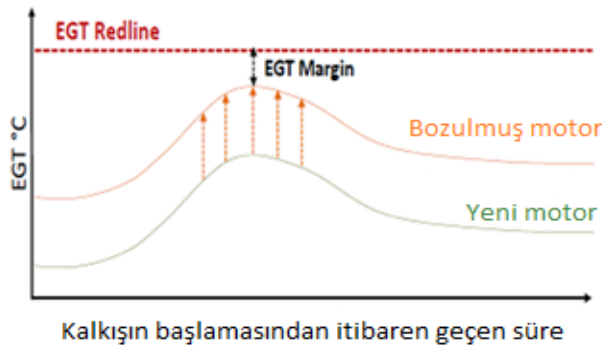
Tablo 3. Buzlanma durumunda N1 şaftın minimum dönme hızı [33]

Models	Low pressure rotor (N1)
CFM56-2, CFM56-2A, CFM56-2B	% 37
CFM56-2 modified per CFM56-2 S/B 73-047	% 29
CFM56-3, CFM56-3B, CFM56-3C	% 21.8

N2/N3 Hızı: Yüksek veya orta basınç kompresörünün dönüşüdür ve ayrıca tasarım RPM değerinin yüzdesi olarak ifade edilir. Hızla dalgalanan N2/N3 devri, motorun durduğunun bir işareti olabilir [38].

Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGT): Santigrat derece olarak ifade edilir. Egzozdaki sıcaklık bir motorun tasarım seviyesi itme kuvvetini elde etme verimliliğinin bir ölçüsüdür. EGT ne kadar yüksek olursa, aşınma ve bozulma, motoru o kadar fazla etkiler. Yüksek EGT, düşük motor performansının bir göstergesi olabilmektedir. EGT limitlerinin aşılması, motor parçalarının anında hasar görmesine ve/veya motor parçalarının ömrünün kısılmasına neden olabilir. Bundan dolayı EGT değerini mümkün olduğunca, uzun süre boyunca, düşük değerlerde tutmak önemlidir [38].

EGT Marjı: Normal şartlarda EGT değeri kalkış sırasında veya kalkıştan hemen sonra en yüksek değere ulaşır. İzin verilen maksimum EGT limit değeri (redline) ile kalkış sırasındaki en yüksek EGT değeri arasındaki farka EGT Marjı denir. Genel olarak, EGT marjları, motorlar yeni olduğunda veya yenileme işleminin hemen ardından en yüksek seviyelerdedir. EGT Marjı, bir motorun ne kadar bozulduğuna işaret eden bir göstergedir.

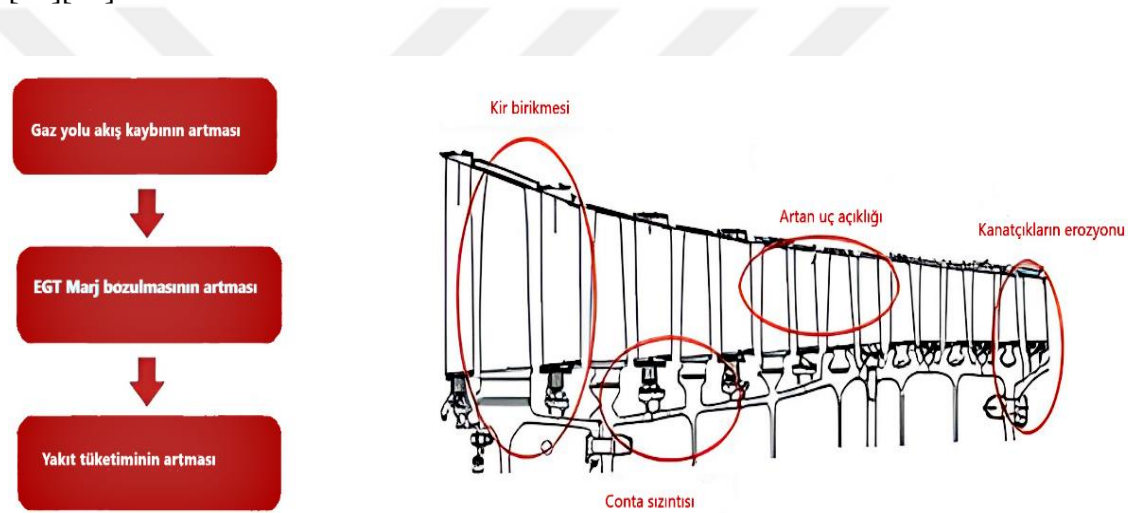


Şekil 19. EGT Marjı [38]

Şekil 19’da görüleceği üzere EGT Marjı motor bozulduğu zaman azalmaktadır. Teorik olarak bir motor, EGT marjı sıfıra düşene kadar çalışmaya devam edebilir.

EGT marjı, Dış Hava Sıcaklıklarındaki değişikliklere karşı da hassastır. Dış hava sıcaklığı arttıkça, belirli bir itme ayarı için EGT değeri de artar. Bunun nedeni, çoğu motor gücü yönetim sisteminin, yükselen dış hava sıcaklığı ile kalkış itişinin sürekliliğini korumak için tasarlanmış olmasıdır. Dış hava sıcaklığından farklı olarak kirlenme de motorun performansını etkiler. Zamanla gaz türbinli motorun kompresör aksamının kirlenmesi

sonucu motorda bozulmalar meydana gelir ve motorun verimi düşer. Bu durum kompresörü çalıştıran türbinin daha fazla çalışmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla motorun EGT sıcaklığı daha yüksek olur ve EGT Marjı düşer [43]. EGT marjının ve motor verimliliğinin bozulmasında, türbin kanat uçları ile bunları çevreleyen statik contalar veya kaplamalar arasındaki açıklığın kademeli olarak artması da önemli bir faktördür. Şekil 20’de EGT Marjının düşmesinin başlıca nedenleri gösterilmektedir. Uç açıklıklarının bozulması hem türbin hem de kompresör kademelerinin kanat uçları ile çevreleyen örtü arasındaki akış kayıplarının ve çalışma sıvısı sızıntısının miktarını artırır. Bu tür sızıntılar genel motor verimliliğini düşürerek toplam özgül yakıt tüketimini artırır [43][44].



Şekil 20. EGT Marjı sebepleri [38]

EGT Marjında meydana gelen bozulma, özellikle kısa mesafeli görevlerde çalışan motorlar için motor sökme işlemlerinin birincil nedenidir. EGT Marj bozulması, yani uçuşta EGT değerinin yüksek olması; uçağın havada tutunma kaybının, egzoz borusu yangının, motor yangını ve motor yaşlanması durumlarının göstergesi olabilmektedir. Bu yüzden önemlidir. Eğer gaz türbinli motorun EGT değeri olması gereken değerden yüksek olursa, bu durum motorun daha fazla aşınmasına da yol açar. Dolayısıyla motorun performansı olumsuz etkilenir. EGT değeri EGT limit değerine yakın değerde ise türbin kanatçıkları hasar görür ve motorun sökülmesi gerekir [45] [46].

Motor sökülmelerinin nedenleri önemli ölçüde bir motorun faaliyet türüne bağlıdır. Kısa mesafeli seferlerde çalışan motorlarda EGT marjının bozulması ve Ömrü Sınırlı Parçalar (LLP)'ın ömrünün sona ermesi nedeni ile motorun sökülme oranı daha fazladır. Buna

karşılık, orta-uzun mesafeli seferlerde çalışan motorlar, donanım bozulması ve EGT marjı bozulması nedeniyle daha yüksek oranda sökülme eğilimindedir. Ayrıca, sıcak ve tozlu ortamlarda çalışan motorlar, serin ve ılıman ortamlarda çalışanlara göre daha fazla EGT marjı azalması yaşar.

Yakıt Akışı (FF): Bir saatte her bir motorun harcayacağı yakıt miktarını gösteren parametredir.

Motor Basınç Oranı (EPR): Motor genelinde toplam basınç oranı olarak tanımlanır ve egzozdaki veya türbin çıkışındaki, toplam basıncın fanın/kompresörün önündeki toplam basınca oranı alınarak hesaplanır. Bu değer, bazı motor üreticileri tarafından motor itişini ölçmek için kullanılır.

Yukarda bahsi geçen birincil parametreler her uçuş esnasında kontrol edilmelidir. Uçağın arıza yönetim sisteminden bu parametreler konusunda herhangi bir uyarı gelirse, kontrol ve tamir/onarım işlemlerinin uçuş sonrasındaki ilk iniş esnasında uygulanması gereklidir.

İkincil motor parametreleri ise aşağıda verilmiştir:

FUSED: Bir uçuşta motorun çalışmaya başladığı andan itibaren ne kadar yakıt tükettiğini gösteren parametredir.

OIL: Her bir motorun sahip olduğu hidrolik sisteminde dolaşmakta olan yağ miktarı hakkında bilgi veren parametredir.

PSI: Hidrolik yağının basıncını gösteren parametredir.

°C: Hidrolik sistemde kullanılan yağın sıcaklığını gösteren parametredir.

VIB: Alçak ve yüksek basınç sistemlerinde ortaya çıkan titreşim miktarını gösterir.

NAC: Motorun sıcak parçaları ile kaportasının arasından geçen havanın motoru terk ederken ki sıcaklığı gösteren parametredir.

İkincil motor parametreleri de birincil motor parametreleri gibi uçuş süresince kontrol edilmelidir. Arıza bildirimleri meydana geldiği zaman mutlaka üretici firmanın bakım el kitaplarının talimatlarına göre işlem yapılmalıdır [47]

1.4 Uçak Bakımı

Gaz türbinli uçakların yaygın olarak kullanılmasından dolayı bu uçakların bakımı da gün geçtikçe önem kazanmıştır. Uçakların emniyetli bir şekilde hizmet vermeleri için bakımlarının düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Bakım, sistemin kullanım ömrü

boyunca daha önceden belirlenen standartlar çerçevesinde tutmak ya da bu seviyeye ulaştırmak için yapılan işlerin bütünü olarak tanımlanmaktadır [48]. Bakımın bir diğer amacı da uçuş emniyetinin sağlanmasıdır. Havacılıkta en önemli ve öncelikli hedef uçuş emniyetidir. Uçuş emniyetinin devamlılığının sağlanması, uçakların ekonomik ömrünün sürdürülmesi ve büyük arızaların önüne geçilmesi için uçaklarda çeşitli bakımlar yapılmaktadır.

Bakımların ne şekilde yapılması gerektiği belirli kurallar çerçevesinde belirlenmiştir. Bu kurallar ülkelerin havacılık otoriteleri tarafından oluşturulur ve uygulanmaları kontrol altında tutulur. Ülkemizdeki havacılık otoritesi Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'na bağlı bir kuruluş olan Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM)'dür. SHGM, yönetmelik ve talimatları oluştururken Avrupa Birliği ülkelerinin bir araya gelerek kurdukları Avrupa Havacılık Emniyet Ajansı'nın yayımlamış olduğu kurallar ve talimatlar çerçevesinde, ülkemiz havacılık sektörüne uygun hale getirerek, çeşitli yönetmelik ve talimatları uygulamaya sunmaktadır.

Bakımlar yapıldıkları yere göre, yapıldıkları süreye göre ve yapılış amacına göre gruplara ayrılmaktadır. Yapıldıkları yere göre; uçuş hattında, bakım tesislerinde, uçak üzerinde yapılan ve uçak üzerinde yapılmayan bakımlar olarak gruplandırılır. Yapıldıkları süreye göre bakımlar; küçük bakım, orta bakım ve büyük bakım olarak sınıflandırılırlar. Küçük bakımlar maksimum 24 saat sürmektedir. Orta bakımlar 1-7 gün arasında süren bakım faaliyetleridir. Büyük bakımlar ise 7 günden fazla süren bakım faaliyetleridir. Yapılış amacına göre bakımlar; önleyici bakım (planlı bakım) ve düzeltici bakım (plansız bakım) olarak ayrılmaktadır.

1.4.1 Planlı Bakımlar

Planlı bakımlar çeşitli prosedürlere bağlı olarak yapılması zorunlu bakımlardır. En temel olarak Bakım Planlama Dokümanı (MPD) hazırlanılır. MPD'ler uçak üreticileri tarafından uçakların periyodik bakımları ile alakalı prosedürleri içeren ve bağlı olduğu ülkenin sivil havacılık otoritesinin onayladığı bir dokümandır. MPD'ler periyodik bakımların ne olduğu, uçağın kullanım şartlarına bağlı olarak hangi işlemlerin nasıl yapılacağı hakkında işletmecilere kılavuzluk ederler. Bir başka planlı bakıma ait olan dokümanlar ise Bakım Programı (MP)'lerdir. Havayolu işletmeleri sahip oldukları uçaklar için MP oluştururlar ve bunu sivil havacılık otoritesine sunarlar. MP'ler

oluşturulurken MPD'ye bağlı kalınmalıdır. Sivil havacılık otoritesi tarafından onaylanan Bakım Programı MPD dışında işletmecinin deneyimlerine göre ekstra bakımlar içerebilirler. Onaylanan MP işletme için bağlayıcı olur, onay alındıktan sonra bakım talimat ve sürelerinde MP'lere uyulması gerekir. MPD ve MP dokümanlarının dışında planlı bakım için pilotlar tarafından doldurulması gereken Technic Log ve Official Flight Log'lar adında kayıt defterleri vardır. Bu kayıt defterleri yapılan her sefer için doldurulur. İşletmelerin bakım mühendisliği/planlama bölümü bu kayıt defterlerini günlük olarak izler ve kayıtlarını tutar [49]. Yukarıda bahsedilen dokümanlar aracılığı ile uçaklar üzerinde yapılması gereken bakımlar planlı bakımlar olarak sınıflandırılırlar.

1.4.2 Plansız Bakımlar

Periyodik bakımların dışında ortaya çıkan arıza ya da hasarların giderilmesi için yapılan bakım çalışmalarıdır. Yıldırım çarpması, kuş çarpması, sert iniş gibi istenmeyen durumlarda ortaya çıkan bakımlar plansız bakıma örnek olarak verilebilir.

Uçaklarda motorda meydana gelen arızaların muhtemel sebepleri ile bir matris tablosu oluşturulmuştur. Bu uçak motor arızaları ve sebeplerine ait matris tablosu [50] aşağıda Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Uçak arızası ve sebepleri matris tablosu [50]

	Motorda boşluk	Ciddi hasar	Dalgalanma	Yabancı madde hasarı	Durma veya zor dönme	Egzoz yangını	Yakıt kontrol sorunu	Yangın	Kuyruk yangını	Hızlı çalıştırma	Buzlanma	Hatalı tersleyici	Yakıt sızıntısı
Patlama	O	X	X	O	O						O		
Yangın uyarısı	O	O		O				X					
Görünür alev	O	O	O	O				O	X	O			
Titreşim		X	O	X	O						X	X	
Yalpalamak	O	O	O	O	O	O	O					X	
Yüksek EGT		X	X	O	O		X		O	X	O		
N1 değişimi	X	X	O	O	X	X	X						X
N2 değişimi	X	X	O	O	X	X	X						X
Yakıt akış değişimi	X	O	O		O	X	O	O					X
Yağ gösterge değişimi	X	O	O		O	X		O					

Tablo 4. Devamı

Motor kapağı hasar	X	X						O				X	
Kabin içindeki duman		O		O	O								
EPR değişimi	X	X	X	O	X	X	X						X

X= Belirtisi yüksek

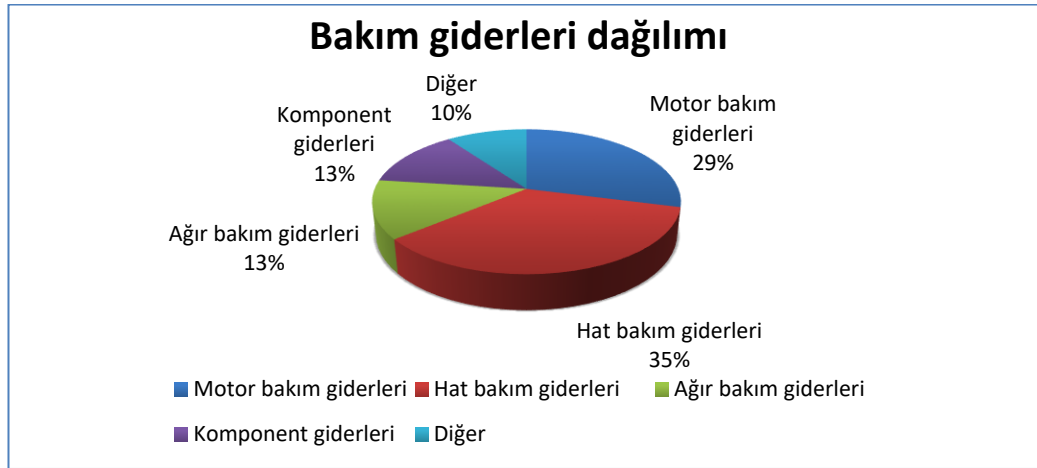
O=Belirtisi muhtemel

Not: Boş alanlar olası belirtisi bilinmiyor.

1.5 Motor Bakım Planlama Konseptleri

Motor Bakımı; motorun emniyetli, güvenilir ve uygun maliyetli çalışmasının sağlanması için motorun kullanım ömrü boyunca yapılması gereken çalışmaların bütünüdür. Uçak bakım maliyetleri; bir havayolunun işletme giderleri, uçağın modeli, uçakta kullanılan motor ve uçağın kullanım niteliğine bağlı olarak toplam giderin yaklaşık %10 - %15'ini oluşturmaktadır.

Toplam uçak bakım maliyeti hat bakımı, ağır bakım, komponent bakımı ve motor bakımı olarak daha da ayrıştırılabilir. Maliyetlerin bu merkezler arasındaki dağılımı yine bir dizi faktöre bağlı olarak değişir. Ancak motorla ilgili maliyetler toplam uçak bakım maliyetinin üçte birine kadar çıkabilir. Bakım giderlerine ait grafik Şekil 21’de verilmiştir [51].



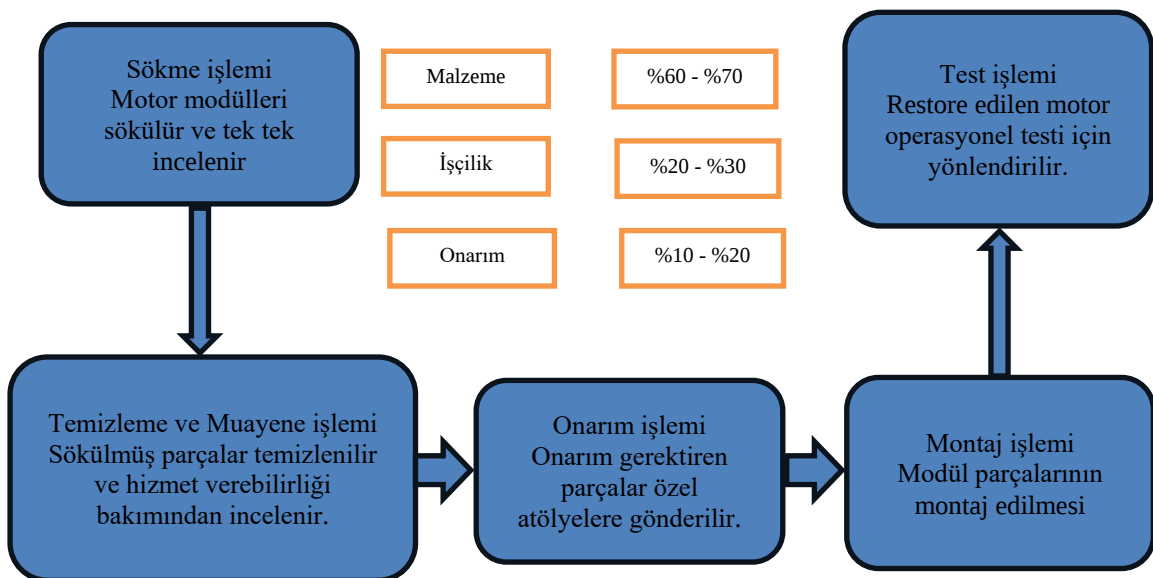
Şekil 21. Uçak bakım giderlerinin dağılım grafiği [51]

Bir motor sökülüp yenilenmek üzere bir atölyeye girdiği zaman, atölye ziyareti maliyetlerinin yaklaşık dörtte biri parça onarımına atfedilebilir ve nispeten küçük bir kısmı demontaj ve montajda yer alan işçilik maliyetinden oluşur. Atölye ziyaretinin

birincil maliyet faktörü malzeme maliyetidir. Atölye işlemlerindeki maliyetinin yaklaşık üçte ikisi, malzemenin değiştirilmesinden kaynaklanmaktadır. LLP'lerin değiştirilmesi gerekli olduğu durumlarda maliyet daha da artmaktadır. Türbin modülündeki tek tek pervane segmentleri 10.000 \$'a kadar mâl olabilirken, türbin bıçaklarının her biri 8.000 \$'a kadar mâl olabilir. Yüksek basınç türbini bıçaklarından oluşan tam bir set 60 ila 80 bıçaktan oluşabilir ve maliyeti 400.000 ila 700.000 \$ arasındadır. Yüksek basınçlı kompresör bıçaklarından oluşan tam bir takım ise 150.000- 300.000 \$'a mâl olabilir. Ayrıca parça onarım maliyeti LLP'de olduğu gibi, en büyük kısmı da kanatçıklarla ilişkilidir. Parça onarım maliyetinin en büyük kısmı yine kanat profilleriyle ilişkilidir, çünkü bu parçaları yeniden hizmete alınabilir duruma getirmek için gençleştirme veya ayrı kanat onarımları gibi yüksek teknoloji onarımlar gerektirmektedir [38].

Orta Avrupa'daki operatörler için yüksek basınçlı kompresör kanat profillerini değiştirme maliyeti düşük olabileceken, Orta Doğu'da faaliyet gösteren havayolları daha fazla maliyetlerle karşılaşabilmektedir. Bu maliyet değişkenliğinin nedeni uçakların çalışma ortamının farklı olmasıdır. Kumlu ve/veya aşındırıcı bir ortamda çalıştırılan motorlar, yüksek basınç kompresörünün hurda oranları %100'e yaklaşır.

Yukarıda ifade edildiği gibi motor bakımlarında malzeme değişimi, en önemli kalemi meydana getirmektedir. Malzeme değişim giderleri motorun bakım maliyetinin %60 ila



Şekil 22. Motor atölye ziyareti aşamaları ve bakım giderleri [38]

%70'ini oluşturabilmektedir. Bunun nedeni, parçaların yıpranması ve değiştirilmesi veya onarılması gerekmesindendir.

Bir motorun atölye ziyareti maliyetlerinin ve bakım sürecinin dağılımı Şekil 22'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Motorlarda üç sebepten dolayı bakım gereksinimi vardır. Bunlar:

Düzenli çalışmasının devamlılığı: Gelir elde etmek için motoru hizmet edebilir ve emniyetli bir durumda tutmak için gerçekleştirilen bakımlardır.

Değerini Koruma: Motorun çalışma ömrü boyunca fiziksel bozulmasının minimum olmasını sağlayarak, mevcut ve gelecekteki değerini korumak amacıyla bakımları düzenli şekilde yapılan bakımlardır.

Düzenleyici Gereklikler: Düzenleyici otoriteler tarafından istenen asgari denetim ve bakım standartlarını karşılamak için yapılan bakımlardır.

1.5.1 Motor Atölyesi Bakım Unsurları:

Motor atölyesi bakımı performans restorasyonu ve ömrü sınırlı parça değişimleri olmak üzere iki ana unsurdan meydana gelmektedir:

Performans Restorasyonu: Isı, erozyon ve yorgunluk nedeniyle parçalar hasar gördüğü zaman çekirdek motor bozulur. Bir motor çalıştırıldıkça EGT artar, bu da kanatçıkların daha hızlı aşınmasına ve çatlamasına neden olur ve bu da performansı daha da düşürür. Motor malzemelerine ve özelliklerine bağlı olarak, Orijinal ürün üreticisi tarafından kritik bir EGT oluşturulur ve bunun elde edilmesi için bir performans restorasyon atölyesi ziyareti gerekmektedir. Bir performans restorasyonu sırasında, çekirdek modül geleneksel olarak sökülür ve kanatçıkları (rotorlar ve statorlar) incelenir, dengelenir ve gerektiğinde onarılır veya değiştirilir. Hizmet Bültenleri ve Uçuşa Elverişlilik Direktifleri genellikle bu tür ziyaretler sırasında gerçekleştirilir.

Ömrü Sınırlı Parça Değişimleri: Motor içindeki dönen kompresör ve türbin göbekleri, saftları veya diskleri özel olarak tanımlanmış bir çalışma ömrüne sahiptir ve bu sürenin sonunda parçalar değiştirilmeli ve bir daha kullanılmamalıdır.

1.6 Motor durum izleme

Geçmişte, motorlar sabit bir zaman aralığından sonra sökülme ve revizyondan geçirilmekteydi, bu duruma *sabit zaman aralığı* denilmektedir. Bu sürecin başlıca dezavantajı, güvenli ve tatmin edici bir şekilde çalışan motorların zamanından önce sökülme zorunda kalmasıdır. Günümüzde motorların durum izleme esasına göre bakımının yapılması yönünde eğilim vardır. Motorlar yalnızca dahili bir bileşen kendi kullanım ömrü sınırına ulaştığında veya performans izleme motorun üreticinin önerdiği parametrelerin dışında çalıştığını gösterdiğinde sökülür.

Bir motorun performansını izlemek için motorun çalışma hızı, sıcaklığı, basıncı, yakıt akışı ve titreşim seviyeleri hakkında düzenli olarak ayrıntılı ölçümler yapılmaktadır. Ölçümlerin sonucunda bozulan trendleri tespit etmek amacıyla yazılımlar kullanılmaktadır. Bu trendleri yakından izleyerek motordaki potansiyel bir sorunu tespit etmek ve sorunu daha büyük bir problem haline gelmeden önce düzeltmek mümkün olabilmektedir. Motor iç parçalarının fiziksel durumunu izlemenin bir yolu da boroskop kullanmaktır. Boroskoplar, ulaşılması zor alanları görüntüleyen, büyüten ve aydınlatan, kullanımı kolay optik teşhis cihazlarıdır. Motorun iç parçalarını çatlaklar, gerilim kırıkları ve korozyon gibi kusurlar açısından incelemek için kullanılırlar.

1.7 Motor Bakım Programının Planlanması

Bakım programının birincil amacı, motorun performansını yenilemek ve motoru uzun vadeli motor bakım maliyetini veya uçuş saati başına maliyeti minimuma indirmektir. Ancak bu süreç, parçaların ve modüllerin farklı bozulma oranlarına sahip olması nedeniyle oldukça zorlayıcıdır. Genellikle bir motor bakıma alındığı zaman ömrü sınırlı parçaların kalan ömrü de değerlendirilir. Gerekli olan bakım planlamaları bir motor bakıma alındığında bu ömürlü parçaların kalan ömrü değerlendirilerek zaman sınırlı bileşenlerin değişimi sonraki atölye ziyaretlerine denk gelecek şekilde düzenlemektedir.

1.8 Bir Motorun Çalışma Kapsamı Planlama Kılavuzu

Her bir motor üreticisi tarafından yayınlanan ve her bir modül için önerilen gerekli bakım seviyesinin yanı sıra önerilen Servis Bültenlerinin bir listesini de içeren bir bakım planlama kılavuzudur. Motor üreticileri genellikle aşağıdakilerden oluşan üç çalışma kapsamı seviyesi belirler:

- 1.) Minimum Seviye,
- 2.) Performans Seviyesi
- 3.) Tam Bakım Seviyesi.

Minimum Seviye Atölye Çalışması: Tipik olarak bir modülün son revizyonundan itibaren belirli bir sürenin geçtiği durumlarda uygulanır. Bu atölye seviyesinde gerçekleştirilen temel görevler harici incelemeler ve bir dereceye kadar küçük onarımlardan oluşur. Bu seviyedeki atölye çalışmasında modülün sökülmesi gerekli değildir.

Performans Seviyesi Atölye Çalışması: Normalde rotor düzeneğini ortaya çıkarmak için bir modülün sökülmesini gerektirir. Bu Seviyede, kanatçıklar, kılavuz kanatlar, contalar ve kapaklar incelenir ve modülün performansını eski haline getirmek için gerektiği şekilde onarılır veya değiştirilir. Düşük maliyetli performans iyileştirmesinde, hem egzoz gazı sıcaklığı (EGT) hem de Özgül Yakıt Tüketimi (SFC) marjını yeniden iyileştirilmesi için en büyük potansiyele sahip öğelerin belirlenmesi gereklidir.

Tam Revizyon Atölye Çalışma: Zaman/çevrim durumu önerilen eşliğini aşıyorsa veya donanımın durumu tam revizyonu gerekli kılıyorsa bir modüle tam revizyon uygulanır. Tam revizyon aşamasında, modül parçalarına ayrılır ve modüldeki her parça tam bir hizmet verebilirlik incelemesine tabi tutulur ve gerekirse yeni veya onarılmış donanım ile değiştirilir.

Bir motor üzerinde yapılması gereken atölye çalışmasının seviyesi motor modüllerinin kullanım süresine ve gözlemlenen donanım durumuna bağlıdır. Çalışma kapsamı girdilerini etkileyen temel faktörler, operatöre göre değişmekle birlikte, genel olarak şunlardan etkilenecek şekilde kategorize edilebilir;

- 1.) Kanat üzerinde geçirilen süre
- 2.) İşletme ilgili hususlar.

Kanatta Kalma (Uçuşta Kalma) Süresine İlişkin Hususlar

Bir motorun kanatta kalma süresi hem atölye ziyareti giderlerinde hem de atölye doğrudan bakım giderlerinde önemli bir faktördür. Her atölye ziyaretinde yapılan iş miktarı kanatta kalma süresine göre değişir, ancak genellikle kanatta kalma süresi arttıkça artar. Daha yüksek kanatta kalma süresi ile çoğu modül, parça onarımı ve değişimini ele

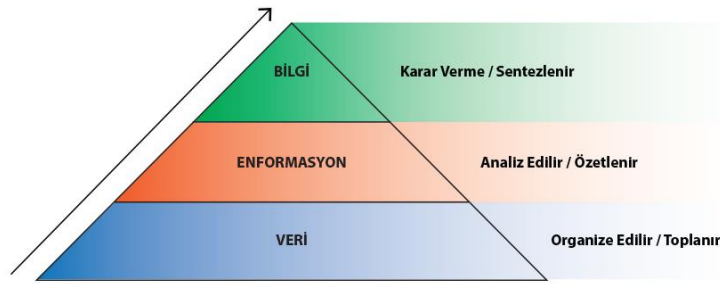
almak için daha yüksek bakım seviyeleri gerektirir. Kanat üzerinde kalma süresi ile ilgili hususlar, motorun operasyonel profili ve LLP yönetimi ile ilgili hususlar başta olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenir. Kısa mesafeli ağlarda çalışan motorlar daha yüksek uçuş döngüleri elde etme eğilimindedir. Bu nedenle motor LLP'leri sık aralıklarla değiştirilir ve toplam motor bakım maliyetlerinin daha yüksek bir oranını temsil eder. Daha yaşlı motorlar için yaygın atölye ziyareti uygulaması, performans potansiyeli LLP ömür sınırlarıyla eşleşecek şekilde yapım standartları oluşturmaktır. Orta ve uzun mesafeli ağlardaki motorlar daha yüksek düzeyde aşınma ve bozulmaya maruz kalmaktadır. Bu da daha fazla parçanın değiştirilmesine ve/veya onarılmasına ve özellikle çekirdek modüllerde olmak üzere daha fazla modülün yeniden işlenmesine yol açar. Motor LLP'sinin değiştirilmesi genellikle yalnızca belirli aralıklarla yapılan atölye ziyaretlerinde gereklidir ve aşırı durumlarda tüm LLP setinin hizmet ömrü boyunca bir kez değiştirilmesi gerekebilir.

İşletme ile İlgili Hususlar

Bir işletmecinin mali durumu genellikle motor atölyesi ziyaret bakımına yönelik yatırımlara ilişkin politikalarını belirler. Finansal durumu kısıtlı olan operatörler, optimize edilmiş bir atölye bakımının maliyetinin yüksek olduğunu düşünebilir ve bunun yerine motorun üretim standardını düşürerek yükümlülüklerini en aza indirmeyi tercih edebilirler.

1.9 Veri Madenciliği

Veri, ham (işlenmemiş) gerçek enformasyon parçacığının tanımlamasıdır. Veriler ölçerek, sayarak, deney yaparak, gözlemleyerek ya da araştırma yaparak elde edilmektedir. Veriler nitel veri ve nicel veri olarak iki gruba ayrılır. Nicel veriler ölçüm veya sayım yolu ile elde edilirler ve sayısal bir değer bildirirler. Nitel veriler ise herhangi bir sayısal değer almazlar. Bir veri tek başına anlamsızdır ve herhangi bir işlevi yoktur. Elde edilen veriler gruplara ayrılarak, sıralanarak ve özeti oluşturularak ve daha sonra ise işlenerek enformasyon haline gelir. Enformasyona dönüşmüş olan veriler anlam kazanırlar ve ait oldukları bağlamı açıklayabilirler. Veriler işlenerek problem çözmek ya da karar vermek gibi bir amaca hizmet edebilecek hale dönüşürler. Veri, enformasyon ve bilgi ilişkisine ait gösterim Şekil 23'de verilmiştir.



Şekil 23. Veri, enformasyon ve bilgi ilişkisi [52]

Teknolojinin ilerlemesiyle beraber veri elde edilmesi, elde edilen verilerin bir kaynaktan toplanması işlemi artmış ve önem kazanmıştır. Market alışverişlerinde müşterilerden elde edilen verilerin toplanmasını bu duruma örnek olarak verebiliriz. Market müşterileri günlük ihtiyaçlarını karşılarken birer veri kaynağına dönüşebilmektedirler. Müşterilerden elde edilen verilerle şirketler müşterileri davranışları hakkında tahminler yapmakta ve ona göre politika geliştirmektedir. Toplanan veri eğer üzerinde herhangi bir işlem yapılmazsa anlamsız bir veri yığınından başka bir şey değildir. Bu veri yığınlarından daha önce bilinmeyen ve tahmin edilmeyen bir bilgi elde edilirse bu veri yığınları anlamlı ve kullanışlı bir hale gelmiş olur. Söz konusu toplanmış verileri, bilgisayarlarda çeşitli yazılımlar ile işleyerek ortaya **nitelikli bilgi** çıkarılması işlemine veri madenciliği denir. Veri madenciliğinin birçok tanımı vardır. Genel bir tanım yapacak olursak: Büyük veri tabanları içerisinde daha önceden bilinmeyen, nitelikli bilgilerin, **İstatistik, Makine Öğrenmesi, Yapay Zekâ, Veri Tabanı Yönetimi ve Görselleştirme** [53] gibi disiplinler kullanarak elde edilmesi işlemine veri madenciliği denilmektedir [54][55]. Nitelikli bilgi, örüntü ve birliktelik kuralları olarak ortaya çıkmaktadır.

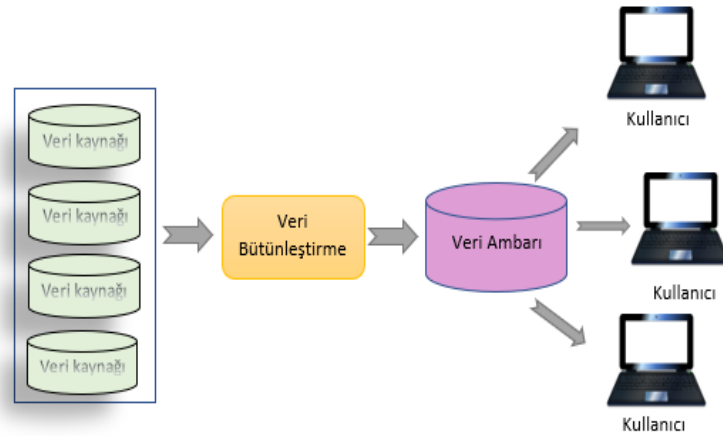
Veri madenciliği çeşitli disiplinler arasında olan bir çalışmadır. Bu disiplinlerden İstatistik kavramı en önemli ve en eskiye dayanan disiplindir. Klasik istatistik incelenen verilerin regresyon analizi, standart sapması, dağılımı, diskrimant analizi, güven aralıkları gibi veriler arasındaki ilişkiyi inceler ve aynı zamanda ileri düzey istatistiğin temelini oluşturur. İstatistikten farklı olarak yapay zekâ da veri madenciliği için oldukça önemlidir. Bulgusal ve sezgisel yaklaşımları ile yapay zekâ insan benzeri düşünebilme prensibiyle istatistiksel problemlere istatistik biliminden farklı metotlar ile yaklaşır. Yapay zekâ yaklaşımının uygulanabilirliği 1980’li yıllarda bilgisayar sistemlerinin ve kapasitelerinin güçlenmesiyle beraber pratik uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır.

Veri madenciliğinin temelini oluşturan önemli bir diğer kol ise makine öğrenmesidir. Makine öğrenmesi esasında ileri istatistik yöntemleri ile yapay zekâ yaklaşımlarının harmanlanmasının evrimleşmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Makine öğrenmesi bilgisayar sistemlerinde istatistik ve yapay zekâ algoritmaları ile veriyi değerlendirerek bir sonuca ulaşmaya ve çıkan sonuç dâhilinde karar almaya olanak sağlar [56].

1.9.1 Veri Ambarları

Veri madenciliği işlemi için kullanılacak olan veriler *veri ambarı* denilen yapılardan elde edilir. Veri ambarlarındaki verilerin toplanması için birden fazla veri tabanı kullanılır. Veri ambarlarında bulunan veriler üzerinde analiz yapması kolay olacak şekilde saklanırlar [57]. Veri ambarları birbirleri ile bütünleşik olmayan çeşitli uygulamaların bütünleştirilmesini sağlar. Veri ambarları bir zaman boyutu içinde analitik işlemlerin gerçekleştirilmesi için gerekli bilgi temelini oluşturur. Veri ambarları; konuya yönelik, bütünleşik, zaman boyutu olan, sadece okunabilen veri topluluğudur [58]. Bu tanıma dayanarak, bir veri ambarı, stratejik karar vermeyi desteklemek için kurulmuş bir organizasyonun veri deposu olarak görülebilir. Veri ambarının işlevi, bir kuruluşun geçmiş verilerini, kuruluşun ve işin çeşitli yönlerini yansıtan entegre bir şekilde depolamaktır. Bir ambardaki veriler asla güncellenmez, yalnızca genellikle karar verici olan son kullanıcılardan gelen sorgulara yanıt vermek için kullanılır. Tipik olarak, veri ambarları çok büyüktür ve milyarlarca kayıt depolar.

Bir veri ambarının varlığı veri madenciliği için bir ön koşul değildir. Pratik hayatta, özellikle bazı büyük şirketler için veri madenciliği uygulaması, bir veri ambarına vasıtasıyla daha kolay hale getirilmektedir. Bir veri ambarının birincil amacı, bir karar sürecinin anlaşılabilirliğini ve bu sürece dahil olan kişilerin bilgisini artırmaktır. Örneğin, ürün pazarlama yöneticilerinin bir ürünün satış performansının birden çok boyutuna (bölgeye, satış türüne göre, müşteri demografisine göre) bakabilmesi, daha iyi promosyon çabalarına, artan üretime veya ürün envanteri ve dağıtımı hakkında geliştirici yönde yeni kararlar alınmasını sağlayabilir [59].



Şekil 24. Veri ambarı mimarisi [58]

1.9.2 Veri Madenciliğinin Kullanım Alanları

Veri madenciliğinin kullanım alanı oldukça geniştir. Yaygın olarak; müşteri ilişkileri yönetiminde, bankacılık ya da finans sektöründe, lojistik ve taşımada, üretim ve bakımda, sigortacılıkta, bilgisayar yazılım ve donanımlarında, mühendislik ve fen bilimlerinde, savunma sanayiinde, ulaşım sektöründe ve sağlık alanında kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarına ait detaylar aşağıda verilmiştir.

Müşteri ilişkileri yönetimi alanında veri madenciliği müşterilerden elde edilen veriler kullanılarak müşteriler hakkında çıkarımlarda bulunularak; pazarlama kampanyalarının getirisini en yüksek düzeye çıkarma, müşteri bağlılığının artırılması, yeni müşteri kazanılması, müşteri değerinin artırılması, satış tahmini ve platinum müşteri tespiti gibi pazarlamaya yönelik kullanılmaktadır.

Bankacılık ya da finans sektöründe; sahtekarlıkların ve kredi kartı dolandırıcılarının tespit edilmesi, kredi başvurusu sürecinin değerlendirilmesi, müşteri değerinin ele alınması, nakit rezervinin optimize edilmesi ve farklı finansal veriler arasındaki gizli ilişkilerin ortaya çıkarılması gibi konular üzerinde veri madenciliği çalışmaları kullanılmaktadır.

Lojistik ve taşımacılık sektöründe; farklı bölgelerdeki envanterin seviyelerinin optimize edilmesi, satış kampanyaları ve mağaza görünümünün daha iyi hale getirilmesi, sezona bağlı değişimler dikkate alınarak lojistik optimizasyonu ve son tüketim tarihi nedeniyle ürün zayıfatının minimize edilmesi amacıyla veri madenciliği kullanılmaktadır.

Üretim ve bakım alanında; makinelerde meydana gelmesi muhtemel arızaların erken tespit edilmesi, ürün kalitesini daha iyi hale getirmek amaçlı patenlerin keşfi için veri madenciliği ile çalışmalar yapılmaktadır.

Sigortacılık alanında ise sigorta meblağlarının daha iyi tahmin edilmesi, sigorta taksitlerinin optimal seviyede oluşturulması, belirli müşteriler için spesifik pazarlama gerçekleştirilmesi, sahtekârlık ihtimali olan sigorta işlerinin tespit edilmesi amacı ile veri madenciliği çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

Veri madenciliği, bu sektörlerin dışında; bilgisayar yazılım ve donanımlar, mühendislik ve fen bilimleri, savunma sanayi, ulaşım sektörü ve sağlık gibi oldukça geniş kullanım alanı vardır [58], [60].

1.9.3 Veri Madenciliğinin Tarihçesi

Veri biliminin amacı çeşitli kaynaklardan elde edilen, depolanan veri yığınları içinden bilgiye ulaşmaktır. Son yıllarda oldukça popüler olmaya başladığı düşünülse de aslında veri biliminin tarihi oldukça eskiye dayanmaktadır.

Veri madenciliğinin kavramsal gelişimi 1960'lı yıllarda, bilgisayarların veri analiz problemlerini çözmek için kullanılmaya başlaması ile ortaya çıkmıştır. Bilgisayar vasıtasıyla, uzun bir tarama yapılarak arzu edilen verilere ulaşmanın mümkün olduğu görülmüştür. O dönemlerde bu işlemlere veri taraması (data dredging), veri yakalanması (data fishing) gibi çeşitli isimler verilmiştir.

Veri madenciliği ismi 1990'lı yıllarda bilgisayar mühendisleri tarafından ortaya çıkarılmıştır. Bilgisayar mühendisleri, klasik istatistiksel yöntemlerin yerine, veri analizinin bilgisayarlardaki çeşitli algoritmalar ile değerlendirmesine dikkat çekmişlerdir. Daha sonra veri bilimcileri veri madenciliğine çeşitli yaklaşımlar getirmişlerdir. Bu yaklaşımların kökenini istatistik, veri tabanları, makine öğrenmesi, araştırma, pazarlama, otomasyon gibi farklı disiplinler ve kavramlar oluşturmaktadır. İstatistik, verilerin değerlendirilmesi ve analiz edilmesi için hizmet eden yöntemlerdir. Bilgisayarların veri analizinde kullanılması ile beraber istatistiksel çalışmalar ivme kazandı ve bilgisayarlar önceden yapılması çok olası olmayan istatistiksel araştırmalara imkân sağladı. 1990'lı yıllardan sonra istatistik, veri madenciliği ile ortak bir platformda yer aldı. Bilginin, veri yığınları arasından elde edilmesi ve analizi yapılarak kullanıma sunulması adımı

istatistik ile veri madenciliği yakın bir çalışma birlikteliği içinde oldular. Ayrıca veri madenciliği, veri tabanları ve makine öğrenimi disiplinleri ile de birlikte ilerlediler. Günümüzdeki yapay zekâ çalışmalarının temeli makine öğrenimine dayanmaktadır. Makine öğrenimi, bilgisayarların bazı işlemlerden çıkarsamalar yaparak yeni işlemler ortaya koymasısıdır. Başlarda makinelerin insan öğrenimine benzer bir yapıda geliştirilmesi amaçlanmıştı. 1980'lerden sonra bu yaklaşım yerini makinelerin daha özgün konularda kestirim algoritmaları oluşturması yönünde ilerledi. Bu durum sonucunda uygulamalı istatistik ve makine öğrenim kavramları, veri madenciliğinin çatısı altında bir araya getirdi.

1.9.4 Veri Madenciliği Metodolojileri

Literatürde veri biliminde birçok süreç olmasına rağmen en çok tercih edilen ve standartlaşmış hale gelen 3 veri madenciliği süreci vardır. Bu süreçler literatürde SEMMA (Sample – Explore – Modify – Model – Assess), CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) ve KDD (Knowledge Discovery Database) olarak isimlendirilmiştir.

1.9.4.1 SEMMA Metodu

Sample – Explore – Modify – Model – Assess kelimelerinin baş harflerinden bir araya gelmesiyle isimlendirilen bu yöntemdir. Bu kelimelerin her biri veri madenciliği adımlarını ifade etmektedir. Şekil 25'de SEMMA metodu gösterilmiştir.

SEMMA metoduna ait adımlarda yapılan işlemler aşağıda verilmiştir.

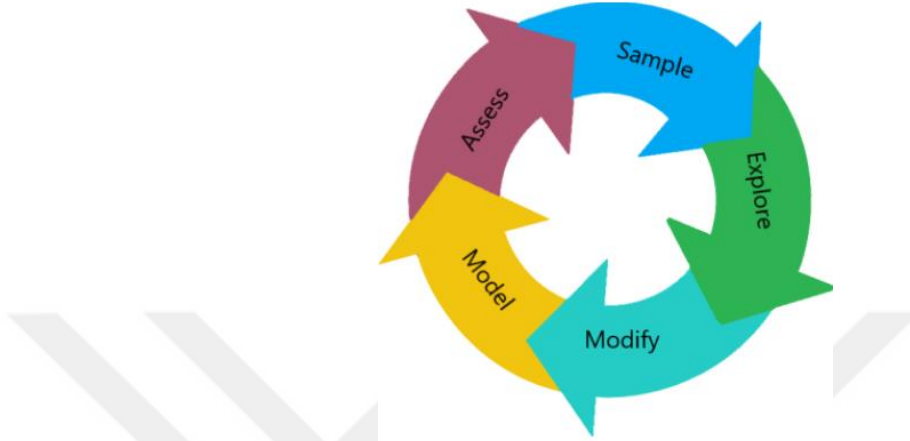
Sample: Bu aşamada veri madenciliği ile ele alınması düşünülen problem için uygun olan veriler bir veri kaynağından alınır.

Explore: Bu adımın amacı veri kaynağından alınan veri kümesindeki değişkenleri incelemektir. Veriler arasında ilişkiler ve anormallikler ele alınarak verilerin anlaşılması amaçlanmıştır.

Modify: Bu aşamada modelleme yapılabilmesi için verilerin temizlenmesi ve dönüştürülmesi yapılır.

Model: SEMMA metodunun bu aşamasında ise modelleme yapılmaya uygun hale gelen veri için probleme göre seçilmiş olan modelin uygulanması gerçekleştirilir.

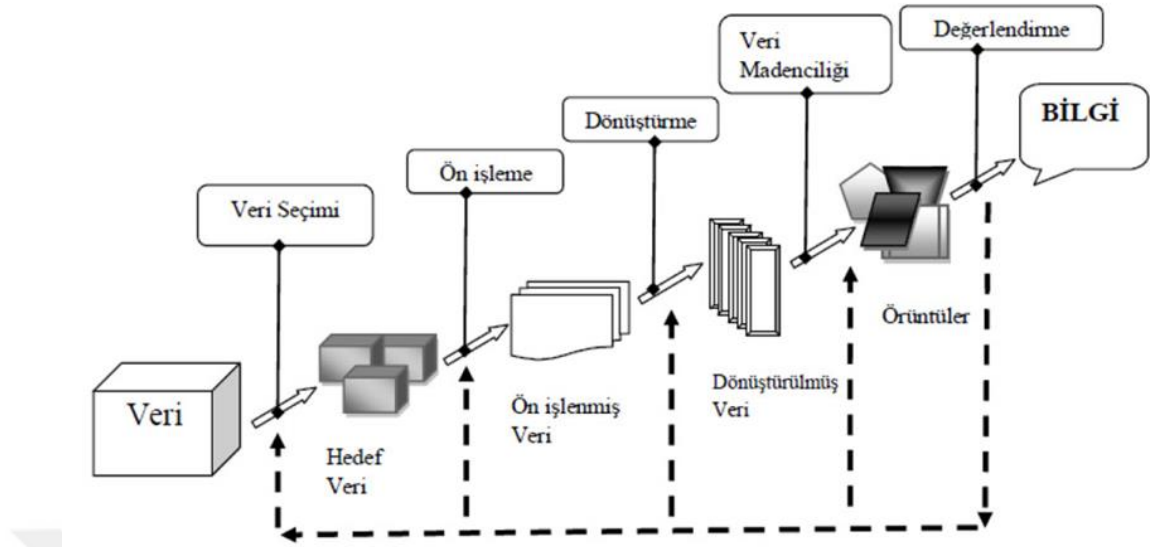
Assess: Bu aşamada ise uygulanan modelin beklenen sonuca uygunluğu değerlendirilir.



Şekil 25. SEMMA metodunun adımları

1.9.4.2 CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) Metodu

Bu sürecin aşamalarından, **iş'i anlamak** aşamasında çözülmesi düşünülen problemin tanınması amaçlanır. **Veriyi anlamak** adımıyla probleme uygun verinin veri kaynağından elde edilmesi hedeflenir. Veri kaynağından probleme yönelik elde edilen veriler modelleme işlemine uygun hale gelmesi için veri ön işleme tabi tutulurlar. Bu veri ön işleme aşamasında eksik veriler, kirli veriler, aykırı veriler tespit edilirler. Ayrıca farklı kaynaklardan veriler elde edilmiş ise bu veriler bütünleştirilirler. Veriler üzerine yapılan bu işlemler CRISP-DM metodunda **veri hazırlığı** aşamasında gerçekleştirilir. **Modelleme** kısmında ise probleme yönelik algoritmalar vasıtasıyla veriler üzerine model oluşturulur ve algoritmalar yardımıyla problem çözülmeye çalışılır. Daha sonra **değerlendirilme** aşamasına geçilir ve problem çözümü için uygun değerlerin elde edilip edilmediğine bakılır. Eğer uygun değerler elde edilirse bu veri madenciliği metodunun son aşaması olan **uygulama** aşamasına geçilir. Şemadaki okların yönünden de anlaşılacağı üzere işlemler uygun hale gelene kadar geri dönüşümlü olarak tekrar edilebilmektedir. Bu veri madenciliği metodu SEMMA metoduna göre daha popülerdir. Veri madenciliğinde kullanılan bir diğer metot olan CRIPS-DM Metodu ile ilgili adımların gösterimi aşağıda Şekil 26'da verilmiştir.



Şekil 27. KDD-Metodunun aşamaları [61]

1.9.5 Veri Ön İşleme Aşamaları

Veri madenciliği metotları aslında birbirlerine paralel aşamalardan oluşmaktadır. Veri elde edilir, veri ön işleme aşamasından geçer, modellenir ve amacına göre değerlendirilir. Veri ön işleme aşaması SEMMA metodunda explore ve modify aşamalarında, CIRSP-DM metodunda veriyi anlamak ve veri hazırlığı aşamalarında, KDD metodunda ise veri temizleme, bütünleştirme ve dönüştürme kısımlarında gerçekleştirilir. Veri kümeleri üzerinde yapılan modellemelerin düzgün sonuç vermesi amacıyla veri ön işleme işlemleri önemlidir.

1.9.5.1 Veri Temizleme

Veri madenciliğinde modelleme yapılacak olan veride, bazen veri kaynağından alındığı şekli istenilen özellikte olmayabilir. Verilerde eksik veriler, gürültü olarak isimlendirilen yanlış veya tutarsız veriler, uç değerler olabilir. Veri kümesindeki eksik veriler çeşitli metotlar ile tamamlanır.

1.9.5.2 Eksik Verilerin Doldurulması

Eksik verilerin doldurulması için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler aşağıda verilmiştir.

- i) Veri kümesi içerisindeki eksik değer içeren kayıtlar veri kümesinden silinmesi ile eksik veriler temizlenir.
- ii) Eksik değerler yerine genel bir sabit değer yazılması şeklinde eksik veriler tamamlanabilir.
- iii) Sayısal değişkenlerde tüm verilerin ortalaması alınarak eksik veriler için bu ortalama değer kullanılabilir.
- iv) Değişkenin tüm verileri dışında belirlenen bir sınıfa ait örneklerin ortalaması dikkate alınarak eksik değere verilmesi yöntemi ile gerçekleştirilir.
- v) Diğer değişkenler yardımı ile kayıp veriler tahmin edilebilir. Eksik olmayan verilerin yardımıyla regresyon denklemi ve regresyon katsayıları kullanılarak eksik değerler tahmin edilebilir. Regresyon analizinden farklı olarak başka yöntemler de tahmin işlemi için kullanılmaktadır. Bunlar; bayesyan sınıflandırma, zaman serileri analizi, karar ağaçları, maksimum beklenti ve jackknife gibi algoritmalar kullanılarak eksik verilerin tahmin işlemi gerçekleştirilebilir [58], [60].

1.9.5.3 Gürültülü Verilerin Temizlenmesi

Veri kümelerinde istenmeyen veriler olabilir. Bu istenmeyen olarak tanımlanan veriler yanlış girilmiş, yanlış ölçülmüş ya da diğer verilerden oldukça uç değerde olan aykırı veriler olabilir. Bu tip veriler, veri biliminde **gürültü** olarak nitelendirilirler. Veri madenciliği işleminde kurulan modelin daha sağlıklı sonuç vermesi için bu gürültülü verilerin veri kümesinden temizlenmesi gerekmektedir. Gürültülü verilerin temizlenmesi için farklı metotlar uygulanmaktadır. Bu metotlar;

i) Kutulama Yöntemi ile Gürültünün Ortadan Kaldırılması: Bu yöntemde veriler öncelikle değerine göre sıraya dizilirler. Daha sonra bu sıralı veriler gruplandırılarak grubun aritmetik ortalaması alınır. Gruptaki bütün değerlere aritmetik ortalama değer verilerek yeni veri kümesi elde edilir.

ii) Sınırlar Yardımıyla Düzenleştirme Yapılması ve Gürültünün Temizlenmesi: Bu yöntemi anlatmak için yine yukarıdaki veri kümesi ele alınmıştır. Veri kümesi önceki örnekte verildiği şekilde alt kümelere ayrılır. Alt kümelerin içerisindeki en küçük ve en büyük değer sınır değer olarak kabul edilir. Küme içerisindeki değer hangi değere yakın ise o değer ile değiştirilir.

iii) Kümeleme Yöntemi ile Gürültünün Temizlenmesi: Gürültülü verilerin temizlenmesinde kullanılan bir diğer yöntem ise kümeleme yöntemi ile gürültülü verilerin tespit edilip silinmesi ya da yeni değer atanması şeklinde gerçekleştirilen yöntemdir. Kümeleme yönteminde veri kümesindeki veriler birbirlerine olan mesafeleri dikkate alınarak kümeler ayrılırlar. Gürültülü veriler elde edilen kümelerin dışında kalırlar. Bu aykırı değerler ya yakın olduğu kümenin ortalama değerini ya da yakın olan kümenin sınır değerlerini alarak gürültü temizlenmiş olur.

1.9.5.4 Verilerin Yeniden Yapılandırılması

Veri madenciliğinde kullanım amacına uygun olarak verilerin yeniden yapılandırılması işlemi gerçekleştirilir. Kullanılan teknik, model ve algoritmalar her türlü veriye uygun olmayabilir. Bazı algoritmalar sadece sayısal değer, bazı algoritmalar sadece kategorik veriler ile çalışırken bazı algoritmalar ise sadece 0 ve 1 değeri ile işlem gerçekleştirir. Veri kümesi eğer kullanılacak olan modele, algoritmaya uygun değil ise veriler dönüştürülerek uygun hale getirilirler. Dönüştürme işlemi için amaca uygun şekilde çeşitli yöntemler mevcuttur.

i) Normalizasyon: Veri kümesindeki verilerin arasında boyut farklılığı fazla ise veriler üzerinde normalizasyon işlemi yapılması daha sağlıklı sonuç verecektir. Normalizasyon için farklı yöntemler mevcuttur. Bunlar min-maks normalizasyonu, sıfır ortalama normalizasyonu (z-score normalizasyonu) ve ondalık normalizasyonu yöntemidir. Bunlarda kullanılan eşitlikler aşağıda sırasıyla Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'te verilmiştir.

$$s' = \frac{s - \min}{\max - \min} \quad (2)$$

s: orijinal değişken değerini,

maks: değişkenin olduğu gruptaki en büyük değeri

min: değişkenin olduğu gruptaki en küçük değeri

s': değişkenin normalize edilmiş yeni değerini ifade eder.

Sıfır-ortalama metodunda standart sapma değeri ile ortalama değer kullanılır.

$$s' = \frac{s - \text{ort}}{\sigma} \quad (3)$$

ort; ilgili alanın ortalaması

σ : ilgili alanın standart sapma değerini ifade eder.

Ondalık normalizasyon ise

$$s' = \frac{s}{10^j} \quad j: \max(|s'|) < 1 \text{ olacak şekilde değer alır.}$$

Örneğin 900 sayısı 0,9 olacak şekilde normalleştirilir.

ii) Veri Kümesinde Boyut İndirgeme İşlemleri: Veri yapılandırılmasındaki bir diğer konu da veri kümesinin boyutunun indirgenmesidir. Veri kümesinde gereksiz olan değişken/değişkenler kaldırılarak ya da birden çok değişken tek bir değişken ile ifade edilerek boyut indirgeme işlemi yapılabilir.

1.9.6 Veri Madenciliği Modelleri

1. Sınıflandırma
2. Kümeleme
3. Birliktelik Kuralı, olarak karşımıza çıkar

1.9.6.1 Sınıflandırma ve Tahmin

Sınıflandırma ve tahmin, önemli veri sınıflarını tanımlayan modelleri çıkarmak veya gelecekteki veri eğilimlerini tahmin etmek için kullanılabilen iki veri analizi biçimidir. Bu tür bir analiz, genel olarak verileri daha iyi anlaşılmasına yardımcı olabilir. Sınıflandırma kategorik (ayrık, sırasız) etiketleri tahmin ederken, tahmin sürekli değerli fonksiyonları modeller. [54]

1.9.6.2 Kümeleme

Verilerin kendi aralarındaki benzerliklerin göz önünde bulundurularak gruplara ayrılması işlemidir. Kümeleme yöntemlerinde veri arasındaki uzaklıkları kullanır.

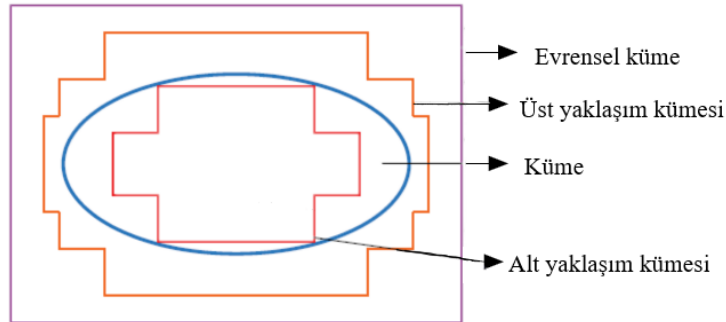
1.10 Kaba Küme Teorisi

Kaba küme teorisi 1980'li yıllarda Pawlak tarafından geliştirilen matematiksel bir yaklaşımdır. Kaba kümeler, bulanık kümelere benzer şekilde kesin sınırlamaları olmayan yapılardır. Kesin sınırlamaları olmayan bu yapılar eksik, yetersiz ve belirsiz olan verileri düzenlemeye yardım eder ve veri analizine uygun hale getirir. Kaba küme yaklaşımında evrensel kümenin elemanı olan bir alt küme tanımlanırken yaklaşımlar vasıtasıyla

tanımlanırlar. Bu yaklaşımlar alt yaklaşım kümesi ve üst yaklaşım kümeleridir. Bu yaklaşım kümeleri sıralı ikili kümelerdir. Alt yaklaşım yardımıyla kesin kurallar üst yaklaşım yardımı ile mümkün olabilecek olası kurallar elde edilir. Klasik kümeler sadece elemanlardan meydana gelirler, elemanlarının hakkında ayrıca detaylı bilgi vermezler. Kaba kümeler ise klasik kümelerden farklı olarak elemanları hakkında bazı bilgiler içermektedirler. Bu kaba küme yaklaşımında bilgi içeren elemanlara kümenin nesnesi denilmektedir. Eğer ki nesneler aynı bilgilere sahip ise bu nesneler ya aynı ya da ayırt edilemez olarak tanımlanırlar. Kaba küme teorisi bu ayırt edilmezlik ilişkisi üzerine kurulmuştur. Bu ayırt edilemez ya da aynı nesneler elemanter kümeyi meydana getirirler. Elemanter kümelerin birleşimine kesin küme adı verilir. Kesin kümenin olmadığı durumda ise küme kaba küme olarak nitelendirilir [62]. Kaba kümelerde sınır hattı elemanları bulunur. Bu sınır hattı elemanları kümenin kendisinin ya da tümleyeninin elemanları olarak sınıflandırılmayan elemanlardan oluşur. Kaba kümelerdeki muğlaklık durumu bir kesin kavramlar çifti ile tanımlanırlar. Bu kesin kavramlar çifti yukarıda kısaca tanımın yapıldığı alt ve üst yaklaşımlardır. Bu yaklaşım Şekil 28’de verilmiştir.

Kaba küme yaklaşımının avantajları aşağıdaki verilmiştir;

- Verilerdeki gizli kalıpları bulmak için verimli algoritmaların tanıtılması,
- Optimal veri setlerinin belirlenmesi (veri azaltma),
- Veri öneminin değerlendirilmesi,
- Verilerden karar kuralları kümelerinin oluşturulması,
- Anlaşılması kolay formülasyon sağlar,
- Elde edilen sonuçların basit bir şekilde yorumlanması,
- Pek çok algoritmanın paralel işleme için uygunluğu. [63].



Şekil 28. Kaba Küme Yaklaşımları

1.11 Tez Çalışmasında Kullanılan Programlar Yöntemler ve Algoritmalar

1.11.1 Kullanılan Paket Programlar

1.11.1.1 RapidMiner Programı

RapidMiner programı makine öğrenmesi, veri madenciliği, metin madenciliği, tahmin edici analiz ve iş analizi amaçlarına yönelik olarak geliştirilmiş bir yazılımdır. Bu yazılım geniş kullanım alanları vardır. Eğitim, ticari uygulamalar, hızlı prototipleme, araştırma ve uygulama geliştirme gibi geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Veri madenciliği amacıyla kullanıldığı zaman veri madenciliğinin bütün süreçleri yazılım tarafından desteklenmektedir. Bu sebepten dolayı veri hazırlama, doğrulama, optimizasyon ve sonuçları görselleştirmede RapidMiner kullanılabilir. Tez çalışmasında verilerin aykırı verilerden temizlenmesi ve EGT ve N1 verilerin tahmini aşamasında RapidMiner programı kullanılmıştır.

1.11.1.2 SPSS Programı (*Statistical Package for the Social Sciences*)

SPSS grafiksel bir kullanıcı arayüzüne sahip istatistiksel analiz için geliştirilmiş bir programdır. Bu program yaygın olarak "Sosyal Bilimler" dalında istatistiksel analiz amaçlı olarak kullanılır. Sosyal bilimler dışında; pazarlama için yapılan araştırmalarda, sağlık alanında yapılan araştırmalarda, anket işlerinde, eğitim alanındaki araştırmalarda, devletin çeşitli kurumlarında, pazarlama yapan kurumlarda ve veri madencileri tarafından da yaygın kullanılan yazılımdır. SPSS programı *istatistiksel analiz* dışında veri yönetimi ve veri dokümantasyonu işlemlerinin gerçekleştirilmesi de bu yazılımın önemli özelliklerindendir. Tez çalışmasında verilerin parametre sayısının indirgenmesi aşamasında bu program kullanılmıştır.

1.11.1.3 Rosetta Programı

Tez çalışmasında boyut indirgeme işlemi için ikinci yöntem olan kaba küme yöntemi Rosetta programı ile gerçekleştirilmiş ve indirgeme esnasında Genetik Algoritma kullanılmıştır. Norwegian University of Science and Technology ve Warsaw University tarafından geliştirilmiş bir yazılımdır. Rosetta, tablo verilerini kaba küme teorisi çerçevesinde analiz etmek için kullanılan bir araç takımıdır. Rosetta, genel veri madenciliği ve bilgi keşif sürecini desteklemek için tasarlanmıştır.

EGT değeri gaz türbinli motorlarda oldukça önemli bir değerdir ve uçuş sırasında izlenmesi, takip edilmesi gereklidir. Yüksek EGT, düşük motor performansının bir göstergesi olabilmektedir. EGT limitlerinin dışına çıkılması, motor parçalarının anında hasar görmesine ve/veya motor parçalarının ömrünün kısılmasına neden olabilir. EGT değerinin yüksek olması durumunda, aşınma ve bozulma olabilmekte, motor daha fazla etkilenmektedir. EGT değerini mümkün olduğunca, uzun süre düşük değerde tutmak önemlidir. Uçuшта EGT değerinin yüksek olması; uçağın havada tutunma kaybının, egzoz borusu yangınının, motor yangını ve motor yaşlanması durumlarının göstergesi olabilmektedir. Bahsi geçen gerekçelerden dolayı tez çalışmasında EGT değerinin yüksek doğrulukta tahmin edilmesi hedeflenmiştir.

Bir diğer önemli parametrede N1 parametresidir. Hızla dalgalanan N1 hızı bir motor durmasının işareti olabilirken, düşük N1 hızı bir alev patlamasının işareti olabilmektedir. N1 hızı ayrıca itme kuvvetini ölçmek için kullanılan birincil parametredir. N2 şaftı ise yanma miktarını ayarlamak suretiyle N1 şaft sisteminin dönüş hızını ve dolaylı olarak itme kuvvetini düzenler. Bu motor hızı kontrolü ve itme kuvvetinin yönetimi sırasında birçok karmaşık sistemin bir arada çalışmasından dolayı bu grupta meydana gelecek olan arızalar uçuş güvenliğini en üst seviyede tehdit eden arızalar grubundadır. Yukarıda ifade edilen sebeplerden dolayı N1 hızı bir gaz türbinli motor için oldukça önemlidir ve takip edilmesi gereklidir. N1 parametresinden kaynaklı arızaların takibinde kullanılması amacıyla tez çalışmasında N1 parametresi değerinin yüksek doğrulukta tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

2. BÖLÜM

YÖNTEM

Ticari bir uçağın uçuşu esnasında motordan elde edilen verilerden Fan şaftı hızı (N1), Çekirdek şaftı hızı (N2), İrtifa (Altitude), Hava hızı (Air Speed), Yer Hızı (Ground Speed), Yunuslama hareketi (Pitch), Hücum açısı (Angle of Attack), Yatış açısı (Roll), İstikamet (Heading), Dikey ivme (Vertical Acceleration), Enlem ivme (Latitude Acceleration), Boylam ivme (Longitude Acceleration), Hız freni (Speed Break), Toplam hava sıcaklığı (Total Air Temperature), Egsoz gaz sıcaklığı (Exhaust Gas Temperature (EGT)) verileri tez çalışmasında kullanılmıştır. Tez çalışmasında EGT verisi ve N1 verisi veri madenciliği ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Veri madenciliğinde veri ön işleme adımlarından birisi veri boyutu indirgeme işlemidir. Boyut indirgeme işleminde farklı metotlar vardır. EGT verisinin tahmin edilmesinde boyut indirgeme işlemi yapılırken kaba küme yöntemi kullanılmıştır. N1 verisinin tahmin işleminde ise boyut indirgeme adımında farklı iki yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerde en iyi sonucun hangi yöntem ile elde edilebileceği araştırılmıştır. İlk yöntemde regresyon analizi kullanılarak bağımsız değişkenler ile N1 parametresi arasındaki ilişki incelenmiştir. N1 verisini açıklayan değişkenler dikkate alınarak, bu değişkenler ile tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci yöntemde ise iki aşamalı bir boyut indirgeme gerçekleştirilmiştir. Kaba küme yöntemi ile alt kümeler elde edilmiş, bu kümeler üzerine tekrar regresyon işlemi gerçekleştirilmiştir. N1 değişkenini tahmin etmek üzere bağımsız değişkenlerden oluşan alt küme elde edilmiştir. Daha sonra veriler eğitim ve test verisi olarak ayrılarak modelleme gerçekleştirilmiştir. EGT ve N1 değişkenlerinin tahmin işlemlerine ait adımlar detaylı olarak aşağıda verilmiştir.

2.1 EGT Verisinin Veri Madenciliği ile Tahmin Edilmesi

Bir uçak motorunun sağlığının izlenmesinde EGT verisi oldukça önemlidir. Bu çalışmada EGT parametresi veri madenciliğinin KDD yöntemi ile tahmin edilmiştir. Tahmin işleminin veri madenciliğine ait aşamalar aşağıda verilmiştir.

2.1.1 Kaba Küme Yöntemi ile Uçuş Verilerinin İndirgenmesi

Uçuş esnasında elde edilen uçuş verileri kullanılarak arıza tahminin yapılması ile ilgili literatürde çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda EGT parametresindeki sapmalar dikkate alınmış ve bu sapmalardan uçakların sağlık durumları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Demirci'nin yaptığı tez çalışmasında uçuş verilerinden bir veri seti oluşturulmuş ve EGT değerini etkileyen parametreler; motor fan hızı, titreşim, yağ basıncı, yağ sıcaklığı olarak kullanılmıştır. Yapay sinir ağları ve bulanık mantık ile bu parametrelerden EGT tahmini yapılmıştır [46]. Kurt tez çalışmasında EGT niteliğinin tahmini üzerine çalışma yapmıştır. N1, N2, Yunuslama açısı, Hücum açısı, Yatış açısı, Dikey ivme, Toplam hava sıcaklığı, Yer/Hava verilerinin EGT üzerindeki etkisini çoklu regresyon analizi ile tespit etmiş ve çalışmasında bu parametreleri kullanarak yapay sinir ağları ile EGT'yi tahmin etmiştir [20].

Tez çalışmasında ticari bir uçağın uçuşundan elde edilen veri kümesi kullanılmıştır. Bu veri kümesi *N1, N2, İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Yunuslama Açısı, Hücum Açısı, Yatış Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Hız Freni, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT* parametrelerini (nitelikleri) içerir. Gerçek uçuşa ait olan veri kümesi 1435 satırdan oluşmaktadır. Veri kümesindeki parametre sayısı fazla olduğundan parametre boyutunun indirgenmesi için kaba küme yaklaşımı kullanılmıştır. Kaba küme yaklaşımında diğer veri indirgeme işlemlerinden farklı olarak, **birden fazla** alt küme elde edilir. Birden fazla küme ile işlem yaparak daha yüksek doğrulukta tahmin işlemi hedeflenmiştir. Elde edilen kümelerin her biri tahmin işlemi için modelleme aşamasında kullanılmıştır. Modellemede tahmin için kullanılan algoritmalar kümelere ayrı ayrı uygulanmıştır. Modelleme sonucunda en yüksek doğrulukta tahmin işleminin hangi küme ve hangi algoritma ile gerçekleşeceği araştırılmıştır. Boyut indirgeme işlemi için Rosetta paket programı kullanılmıştır. İndirgeme işleminde Genetik Algoritma ile işlem yapılmıştır. Boyut indirgeme işlemi sonucu elde edilen alt kümeler aşağıda verilmiştir:

1. küme: {İrtifa, Yer Hızı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}
2. küme: {İrtifa, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, EGT}
4. küme: {İrtifa, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT}
5. küme: {İrtifa, Hava Hızı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}
6. küme: {N1, İrtifa, Yatış Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme}
7. küme: {N1, İrtifa, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}
8. küme: {N1, İrtifa, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}
9. küme: {N1, N2, İrtifa, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}
10. küme: {N2, İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}
11. küme: {N1, N2, İrtifa, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}
12. küme: {N1, İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme}
13. küme: {N1, İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme}
14. küme: {N1, N2, İrtifa, Hava Hızı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}
15. küme: {N1, N2, İrtifa, Yer Hızı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}
16. küme: {N1, N2, İrtifa, Yer Hızı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}
17. küme: {N1, İrtifa, Yer Hızı, Yunuslama Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}
18. küme: {N1, N2, İrtifa, Hava Hızı, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme}
19. küme: {N2, İrtifa, Hava Hızı, Yatış Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}
20. küme: {N2, İrtifa, Hava Hızı, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}

Elde edilen kümeler 15 parametre yerine parametrelerin indirgenmiş olduğu alt kümeleri vermektedir. Bu kümeler ile klasik yaklaşımın dışına çıkarak farklı veri setleri ile analizler yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bundan sonraki aşamada bu kümelerle çalışılarak EGT tahmininde hangi kümenin daha başarılı olduğunun analizi gerçekleştirilmiştir.

Johnson's algoritması ile yapılan indirgemedede ise sadece bir küme elde edilmiştir. Elde edilen küme aşağıda verilmiştir.

Küme: {İrtifa, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, EGT}

EGT tahmini için içerisinde EGT niteliği bulunan kümeler dikkate alınmıştır. Bu kümeler aşağıda verilmiştir.

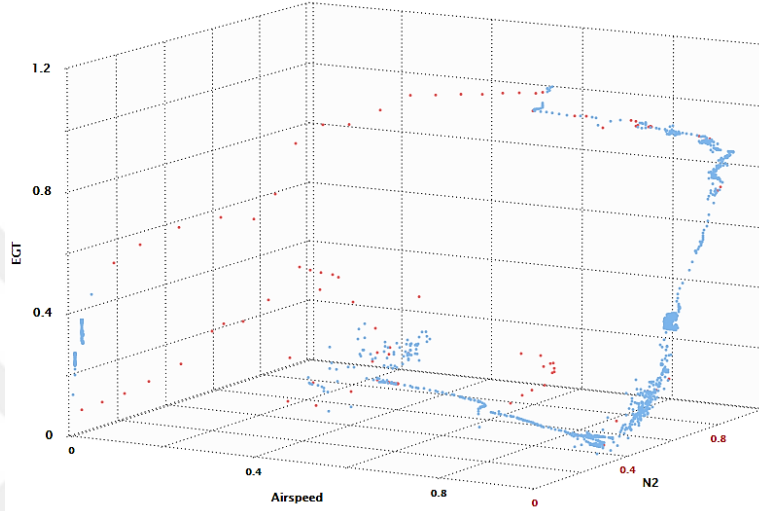
1. **Küme:**{İrtifa, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, TAT, EGT}
2. **Küme:**{İrtifa, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}
3. **Küme:**{İrtifa, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, TAT, EGT}
4. **Küme:**{İrtifa, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, EGT}
5. **Küme:**{İrtifa, Yer Hızı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}
6. **Küme:**{İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Yunuslama Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}
7. **Küme:**{N1, N2, İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}

2.1.2 Aykırı Verilerin Temizlenmesi

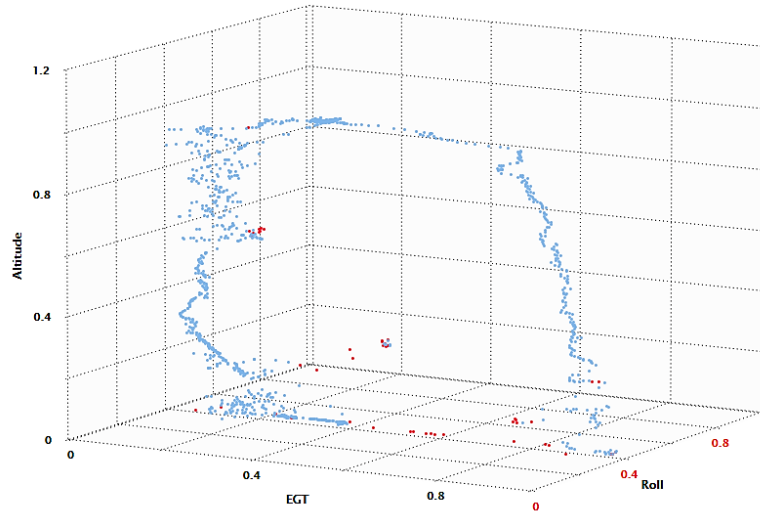
Veri madenciliğinde veri ön işleme aşamalarından birisi de aykırı verilerin temizlenmesi aşamasıdır. Modelleme aşamasında algoritmaların daha sağlıklı çalışabilmesi için aykırı verilerin veri kümelerinden temizlenmesi gereklidir. Veri indirgeme sonucu elde edilen kümelerin her biri RapidMiner programı kullanılarak aykırı verilerden temizlenmiştir. Aykırı veri temizleme işlemi gerçekleştirilirken En Yakın Komşu Algoritması kullanılmıştır. En Yakın Komşu Algoritması uygulamasında Eşitlik 4'te formülü verilen Öklid Uzaklığı kullanılmıştır.

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (X_{ik} - X_{jk})^2} \quad (4)$$

1. küme, 2. küme, 3. küme, 4. küme, 5. küme, 6. küme ve 7. küme için aykırı veri analizi yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarından işlem modellemede en başarılı olan yani EGT tahmininde en başarılı olan 7. küme ve en başarısız olan 3. kümenin aykırı veri grafiği sırasıyla Şekil 29 ve Şekil 30'da verilmiştir.



Şekil 29. İşlem modellemede en başarılı olan 7. küme aykırı veri analiz grafiği



Şekil 30. İşlem modellemede en başarısız olan 3. küme aykırı veri analiz grafiği

Şekiller üzerinde gözüken kırmızı noktalar bize aykırı verileri ifade etmektedirler.

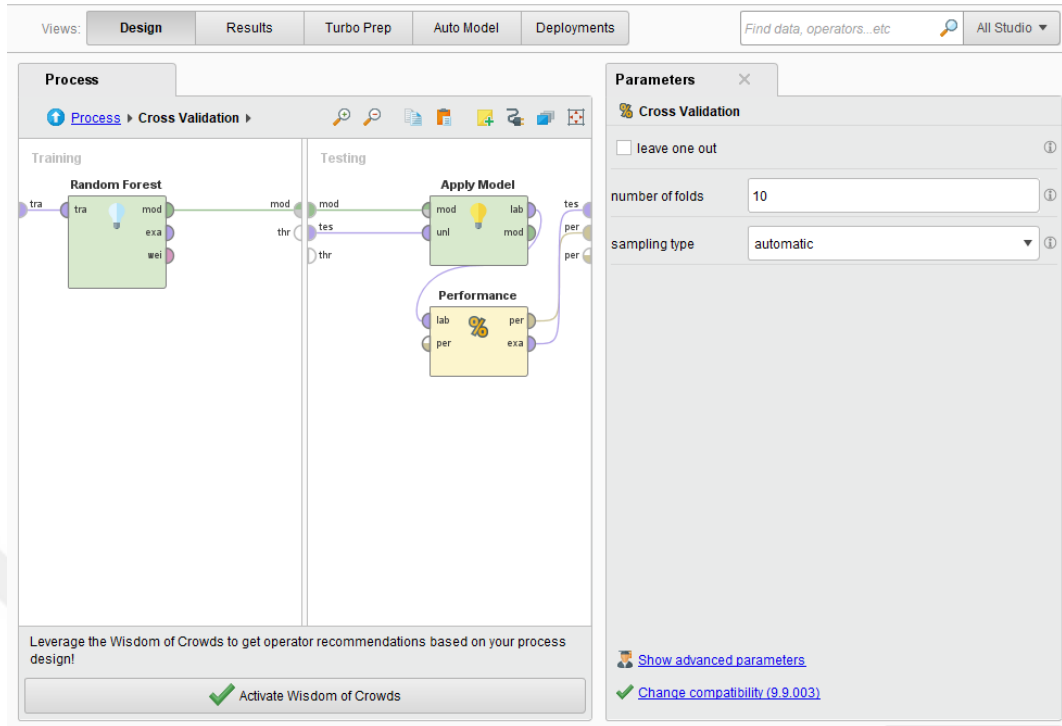
2.1.3 Modelleme

Veri ön işleme aşamalarından sonra veri kümeleri modelleme işlemi için hazır hale gelmiştir. Modelleme aşamasında algoritma seçimi büyük öneme sahiptir. Bu çalışma bir tahmin çalışması olduğu için kullanılan model tahmin algoritmaları üzerine geliştirilmiştir. Tahmin işlemi veri tipine göre yapılmaktadır. Kategorik veri tipinde sınıflandırma işlemi, sürekli veri tipinde ise regresyon analizi yapılması gerekmektedir. Tez çalışmasında kullanılan veri, sürekli veri tipinde olduğu için veri kümeleri üzerinde regresyon işlemi yapılmıştır. Regresyon işleminin aşamaları sırasıyla şu şekilde gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada veri ön işleme ile modellemeye hazır hale getirilen veri kümesi üzerinde normalizasyon işlemi yapılarak verilerin 0 ile +1 arasında değer alması sağlanmıştır. Veri boyutlarının farklı olması, aralarındaki farkların modelin doğru tahmin yapılmasını zorlaştırdığından dolayı normalizasyon işlemi yapılmıştır. Normalizasyon işlemi için Eşitlik 5'te verilen min-max normalizasyon denklemi kullanılmıştır.

$$x' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (5)$$

Burada x' = x değişkeni için yeni sayıyı
 x = x değişkeni için geçerli olan sayıyı
 x_{min} = parametre verisinin içindeki en küçük x değerini
 x_{max} = parametre verisinin içinde bulunan en büyük x değerini ifade etmektedir.

Normalizasyon işleminden sonra tahmin edilmesi hedeflenen EGT verisi *Set Role* operatörü ile tahmin edilmeye çalışılan değer, yani bağımlı değişken olarak atanmıştır. Bağımlı değişken haline getirilmesi, gözetimli öğrenmede tahmin edilmesi istenilen veri olması anlamına gelmektedir. Modelleme aşamasında kurulan modelin doğruluğunu test etmek üzere cross validation (çapraz doğrulama) operatörü kullanılmıştır. Çapraz doğrulama işleminde veri kümesi istenen küme sayısına bölünür, ardından bölünen bu her bir parça hem eğitimde hem de test işleminde kullanılır. Çapraz doğrulama ile verideki dağılımdan ve parçalanmadan kaynaklı olan sapmalar ve hatalar minimum düzeye indirilmiş olur. Tez çalışmasında veri seti çapraz doğrulama aşamasında 10 kümeye ayrılarak doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Doğrusal Regresyon, Gradyan Arttırılmış Ağaç, Rastgele Orman, Derin Öğrenme Algoritmaları için yapılan modelleme işlemi aynı mimari yapıda gerçekleştirilmiştir. Veriler eğitim ve test verisi olarak



Şekil 32. Cross validation operatörünün iç mimarisi

Yukarıda anlatılan aşamaların her birisi kaba küme yardımıyla elde edilen 7 adet veri kümesi üzerinde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. 7 adet veri kümesi üzerinde Doğrusal Regresyon, Gradyan Arttırılmış Ağaç, Rastgele Orman, Derin Öğrenme Algoritmaları ile EGT parametresinin tahmini yapılmış, tahmin işleminin sonucunda elde edilen RMSE (ortalama karesel hatanın karekökü) değerleri ve R^2 değeri her bir küme için sırasıyla; Tablo 18, Tablo 19, Tablo 20, Tablo 21, Tablo 22, Tablo 23 ve Tablo 24'te gösterilmektedir. RMSE değeri tahmin işleminin başarısının bir ölçüsüdür. Literatürde tahmin işleminin performansının değerlendirilmesi için R^2 , MSE (ortalama karesel hata), RMSE, MAE (ortalama yüzde hata) gibi çeşitli göstergeler bulunmaktadır. Bu göstergelerden R^2 değeri, modelin doğruluk karar verme katsayısı anlamına gelir ve bu değerin yüksek olması tahmin ilişkisinin iyi olduğu anlamına gelmektedir. Öte yandan RMSE, MSE, MAE değerleri hata ölçüsünü ifade ettiklerinden dolayı bu değerlerin doğru tahminde düşük olması beklenir. Tez çalışmasında performans değerlendirmesi ölçęi olarak RMSE ve R^2 dikkate alınmıştır. Eşitlik 6'da RMSE'nin formülü verilmiştir.

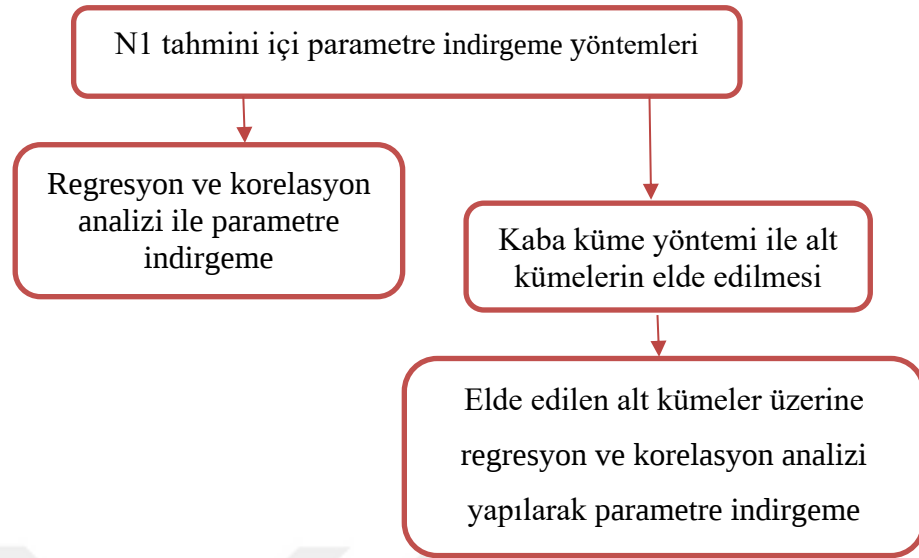
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n e_j^2}{n}} \quad (6)$$

2.2 N1 Parametresinin Veri Madenciliği ile Tahmin Edilmesi

N1 parametresinin tahmin işlemi için, EGT tahminin işleminde olduğu gibi, uçuş esnasında elde edilmiş olan veriler öncelikle düzenlenerek bir veri seti haline getirilmiştir. Bu veri seti; *N1 Şaft Hızı, N2 Şaft Hızı, İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Yunuslama Açısı, Hücüm Açısı, Yatış Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Hız Freni, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT* parametrelerinden oluşan 1435 satırlık verilerden oluşmuştur. Veri madenciliğinde verilerin modellenme aşamasından önce veriler üzerinde veri ön işleminin yapılması önemlidir. İlk adımda veri kümesi üzerinde aykırı veri olarak da adlandırılan uç veriler SPSS programı vasıtasıyla temizlenmiştir. Bu verilerin temizlenmesi modellememizin sonucu üzerinde etki edeceği için önemlidir. Uç noktalardan temizlenen verilerin sayısı 1435 adet veri sayısı 1339'a düşmüştür. Bu aykırı veri temizlemede Eşitlik 7'de verilen Mahalanobis uzaklığı yöntemi dikkate alınmıştır. Mahalanobis uzaklığı yöntemi çok değişkenli veri setlerinde en uygun aykırı veri bulma/temizleme yöntemi olduğu literatürde görülmektedir [64].

$$D_M(\vec{x}) = \sqrt{(\vec{x} - \vec{\mu})^T S^{-1} (\vec{x} - \vec{\mu})} \quad (7)$$

Uç değerler temizlendikten sonra veri setini temsil edecek olan alt kümelerin seçimi için parametrelerin indirgenmesi gerçekleştirilmiştir. İndirgenecek olan parametreler; *N1, N2, İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Yunuslama Açısı, Hücüm Açısı, Yatış Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Hız Freni, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT* parametreleridir. Parametre indirgeme işlemi için iki farklı yöntem kullanılarak veri indirgemedi bu yöntemlerin farklılığı araştırılmıştır. İlk yöntem olarak SPSS paket programında verilerin regresyon ve korelasyon analizleri dikkate alınarak veri indirgeme işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci yöntemde ise Rosetta programı kullanılarak kaba küme yöntemi ile altkümeler elde edilmiş, daha sonra bu kümeler üzerinde SPSS programı ile regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi sonunda boyut indirgeme işlemi gerçekleştirilmiştir. Boyut indirgeme işlemlerine ait şemalar aşağıda Şekil 33'te verilmiştir.



Şekil 33. N1 indirgeme yöntemleri.

Farklı yöntemler aynı veri seti üzerinde kullanılarak yöntemlerin kıyaslanması da gerçekleştirilmiştir.

2.2.1 Regresyon Analizi Yöntemi ile Veri İndirgeme

İstatistik biliminin literatüründe korelasyon aralık değerlerinin yorumu şu şekildedir;

$r < 0.2$ ise çok zayıf ilişki yada korelasyon yok

0.2-0.4 arasında ise zayıf korelasyon

0.4-0.6 arasında ise orta şiddette korelasyon

0.6-0.8 arasında ise yüksek korelasyon

$0.8 >$ ise çok yüksek korelasyon olduğu yorumu yapılır.

Korelasyon analiz değerleri Tablo 5’te verilmiştir. Bu tablodaki değerler dikkate alınarak N1 değeri tahmin edilirken hangi değerlerin anlamlı olduğuna bakılarak parametre seçimi yapılmıştır. Tablo 5’te bulunan değişkenler arası korelasyon değerleri ele alındığında **İrtifa, Yer Hızı, Yunuslama Açısı, Boylam İvme** ve **EGT** bağımsız değişkenleri ile **N1** bağımlı değişkeni arasında *pozitif yönlü yüksek düzeyde* istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu saptanmıştır. **Enlem İvme, Hava Hızı** bağımsız değişkenleri ile **N1** arasında *pozitif yönlü orta düzeyde* istatistik olarak anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. **İstikamet** bağımsız değişkeni ile **N1** bağımlı değişkeni arasında *pozitif yönde zayıf korelasyon* olduğu görülmektedir. Diğer bağımsız değişkenler olan **Yatış açısı, Hız freni** bağımsız değişkenleri ile **N1** bağımlı değişkeni arasında *negatif yönlü düşük düzeyde*

istatistik olarak anlamlı bir ilişki gözlemlenirken, **Hücum Açısı, Toplam Hava sıcaklığı** ile **N1** arasında **negatif yönlü yüksek düzeyde** istatistik olarak anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. **Dikey İvme** ile **N1** bağımlı değişkeni arasında **negatif yönlü çok zayıf** korelasyon vardır. **N1** bağımlı değişkeni ile **N2** bağımsız değişkeni arasında **pozitif yönlü çok yüksek korelasyon** olduğu görülmektedir. Model kurmakta çok yüksek korelasyon ve çok zayıf korelasyon modeli anlamsızlaştırabileceği için modelden bu değişkenlerin çıkarılması gerekmektedir. Ayrıca bağımsız değişkenlerin arasında birbirleri ile yüksek korelasyonun olması durumu, çoklu doğrusallık problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu değişkenlerin çoklu doğrusallık probleminin tespitinde kullanılan VIF (Varyans Enflasyon Faktörü) değerleri ele alınarak teker teker modelden çıkarılarak bu sorunun giderilmesi gerekir. Bu katsayı değerlerin olduğu tablo aşağıda Tablo 6'da verilmiştir. Bu tabloya göre VIF değerleri 10'dan yüksek olan bağımsız değişkenler tek tek elenerek regresyon işlemine devam edilmiştir. Teker teker eleme yöntemi ile ulaşılan sonuçlar Tablo 7, Tablo 8 Tablo 9 ve Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 5. Korelasyon analiz değerleri

	N1	N2	İrtifa	Hava Hızı	Yer Hızı	Yunuslama Açısı	Hücum Açısı	Yatış Açısı	İstikamet	Dikey İvme	Enlem İvme	Boylam İvme	Hız Freni	Toplam Hava	EGT
N1	1,000														
N2	,960	1,000													
İrtifa	,691	,614	1,000												
Hava Hızı	,585	,660	,759	1,000											
Yer Hızı	,695	,702	,927	,945	1,000										
Yunuslama Açısı	,708	,714	,042	,137	,123	1,000									
Hücum Açısı	-,566	-,542	-,818	-,854	-,886	-,051	1,000								
Yatış Açısı	-,232	-,258	-,172	-,188	-,196	-,139	,127	1,000							
İstikamet	,364	,559	,150	,467	,361	,264	-,228	-,189	1,000						
Dikey İvme	-,088	-,080	-,037	-,018	-,030	-,089	,112	-,122	-,008	1,000					
Enlem İvme	,408	,468	,319	,488	,442	,274	-,368	-,226	,473	-,031	1,000				
Boylam İvme	,720	,712	,045	,111	,110	,972	-,039	-,132	,217	-,108	,246	1,000			
Hız Freni	-,314	-,211	-,491	-,500	-,515	-,145	,492	,043	,372	,037	-,182	-,154	1,000		
Toplam Hava Sıcaklığı	-,683	-,616	-,986	-,712	-,896	-,021	,770	,169	-,206	,034	-,299	-,026	,380	1,000	
EGT	,719	,648	,095	,031	,086	,907	-,053	-,088	,082	-,116	,209	,922	-,164	-,065	1,000

Tablo 6. Katsayılar tablosu

Model	Unstandardized		Standardized	T	Sig.	95,0% Confidence		Correlations			Collinearity	
	B	Std.	Beta			Lower	Upper	Zero-	Partial	Part	Tole-	VIF
(Constant)	-105,467	2,624		-40,192	,000	-110,615	-100,319					
N2	1,767	,032	,728	55,076	,000	1,704	1,830	,960	,834	,113	,024	41,325
İrtifa	,001	,000	,314	9,482	,000	,001	,001	,691	,252	,019	,004	260,143
Hava Hızı	-,114	,009	-,337	-12,865	,000	-,131	-,096	,585	-,333	-,026	,006	162,803
Yer Hızı	,024	,008	,142	3,226	,001	,010	,039	,695	,088	,007	,002	461,278
Yunuslama Açısı	-,483	,067	-,069	-7,210	,000	-,614	-,351	,708	-,194	-,015	,046	21,528
Hücum Açısı	-1,372	,078	-,096	-17,682	,000	-1,525	-1,220	-,566	-,437	-,036	,145	6,917
Yatış Açısı	,002	,021	,000	,089	,929	-,039	,042	-,232	,002	,000	,852	1,173
İstikamet	,003	,003	,006	1,047	,295	-,003	,009	,364	,029	,002	,134	7,467
Dikey İvme	10,896	1,484	,016	7,344	,000	7,985	13,806	-,088	,198	,015	,913	1,095
Enlem İvme	-3,679	5,431	-,002	-,677	,498	-14,332	6,974	,408	-,019	-,001	,593	1,685
Boylam İvme	37,985	3,550	,120	10,699	,000	31,020	44,950	,720	,282	,022	,033	29,980
Hız freni	-1,013	,115	-,048	-8,788	,000	-1,239	-,787	-,314	-,235	-,018	,142	7,027
Toplam Hava Sıcaklığı	,098	,033	,067	2,963	,003	,033	,164	-,683	,081	,006	,008	119,456
EGT	,036	,002	,160	21,158	,000	,032	,039	,719	,503	,043	,074	13,551

a. Dependent Variable: N1

Tablo 10. Eliminasyon sonucu elde edilen katsayılar tablosu

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
(Constant)	-22,372	,785		-28,492	,000					
Hücum Açısı	-,461	,137	-,032	-3,363	,001	-,566	-,092	-,018	,313	3,198
Yatış Açısı	-,372	,052	-,040	-7,213	,000	-,232	-,194	-,039	,925	1,081
İstikamet	,121	,004	,225	28,403	,000	,364	,614	,152	,453	2,208
Enlem İvme	-66,744	13,911	-,033	-4,798	,000	,408	-,130	-,026	,611	1,638
Hız Freni	-1,512	,171	-,071	-8,837	,000	-,314	-,235	-,047	,436	2,293
Toplam Hava Sıcaklığı	-,806	,012	-,545	-64,671	,000	-,683	-,871	-,345	,401	2,491
EGT	,146	,001	,655	117,550	,000	,719	,955	,628	,917	1,090

a. Dependent Variable: N1

N1 üzerinde etkisi olduğu düşünülen *Hücum Açısı*, *Yatış Açısı*, *İstikamet*, *Enlem İvme*, *Hız Freni*, *Toplam Hava Sıcaklığı*, *EGT* gibi bağımsız değişkenler üzerinde yapılan çoklu regresyon analizi sonucunda N1 ve *Hücum Açısı*, *Yatış Açısı*, *İstikamet*, *Enlem İvme*, *Hız Freni*, *Toplam Hava Sıcaklığı*, *EGT* ile anlamlı bir ilişki ($R=0,981$, $R^2=0,962$) sergilemişlerdir ($F_{(7-1331)}=4819,512$, $p<0.01$). Söz konusu bağımsız değişkenler N1 parametresinin değişiminin %96.2 sini açıklamaktadır. N1 formülü aşağıda verilmiştir.

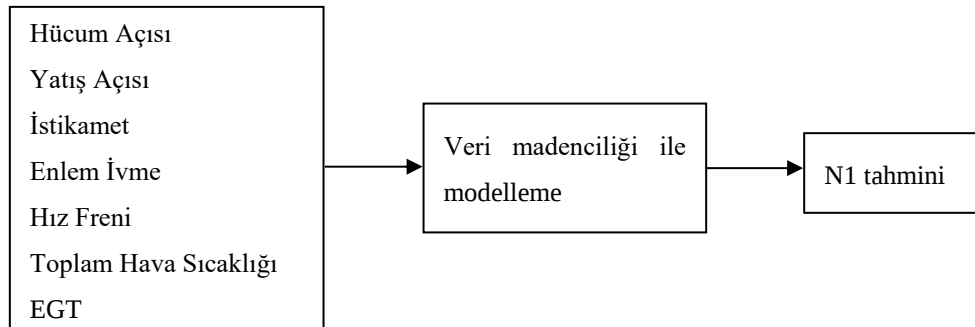
$$N1 = -22,72 - 0,461 * \text{Hücum Açısı} - 0,372 * \text{Yatış Açısı} + 0,121 * \text{İstikamet} - 66,744 * \text{Enlem İvme} - 1,512 * \text{Hız Freni} - 0,806 * \text{Toplam Hava Sıcaklığı} + 0,146 * \text{EGT}$$

Yukarda verilen formüle göre *Hücum Açısı*, *Yatış Açısı*, *İstikamet*, *Enlem İvme*, *Hız Freni*, *Toplam Hava Sıcaklığı*, *EGT* bağımsız değişkenleri ile N1 bağımlı değişkeni arasında anlamlı bir ilişki vardır. Bu formülден yola çıkılarak N1 bağımlı değişkeninin tahmin edilmesi işleminde bağımsız değişkenler olarak formüldeki değişkenler dikkate alınarak veri madenciliği ile tahmin işlemi yapılmıştır.

2.2.1.1 Regresyon Analizi Sonucu Elde Edilen Veri Kümesi ile N1 Değişkeninin Veri Madenciliği Kullanılarak Tahmin Edilmesi

Verilerin ön işleme aşamasından geçtikten sonra veri madenciliği algoritmaları ile tahmin işlemi için hazır hale gelmiştir. Veri madenciliğinde kullanılan algoritmalar yardımı ile N1 parametresinin tahmin işlemleri RapidMiner programında gerçekleştirilmiştir. Tahmin işlemi iki önemli adımdan meydana gelmektedir. Birincisi veri setinin tahmin işlemi için iyi hazırlanması, ikincisi ise tahmin edici modellerin kıyaslanmasıdır. Tez çalışmasında tahmin işleminden önce oluşturulan veri setleri için **Min-Max Normalizasyon** işlemi yapılmıştır. Normalizasyon işlemi ile bağımlı ve bağımsız tüm parametrelerin boyutları -1 ile +1 arasında değer alarak standart hale getirilmiş ve böylece daha sağlıklı sonuç elde edilmesi hedeflenmiştir.

Normalizasyon işlemi ile standart bir boyut kazanan veriler, RapidMiner programı vasıtasıyla veri madenciliği yapılması için hazır hale gelmiştir. Doğrulama işlemi için de EGT tahmin işleminde olduğu gibi Cross Validation (çapraz doğrulama) yöntemi kullanılmıştır. Modelleme aşaması için hazır olan veriler üzerinde veri madenciliği tahmin algoritmaları çalıştırılarak N1 parametresinin tahminleri yapılmıştır. Tahmin işleminde kullanılması hedeflenen algoritmalar ile ayrı ayrı tahmin işlemi yapılmıştır. Şekil 34’de bu modelleme mimarisi verilmiştir.



Şekil 34. Tahmin modelleme işleminin girdi ve çıktıları

N1 verisinin tahmin performansı için, kurulan modelde kullanılan tahmin algoritmalarının performansını ele alan RMSE ve R^2 değerleri Tablo 26’da bulgular kısmında verilmiştir.

2.2.2 N1 Parametresinin Tahmin İşlemi İçin Veri Setinin Kaba Küme Yöntemi Kullanılarak İndirgenmesi

Rosetta programı kullanılarak yapılan kaba küme yöntemi ile elde edilen alt kümelerin listesi aşağıda verilmiştir.

1. küme {İrtifa, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Toplam Hava Sıcaklığı EGT}
2. küme {İrtifa, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}
3. küme {N2, İrtifa, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT}
4. küme {N1, İrtifa, Yer Hızı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}
5. küme {N1, N2, İrtifa, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}
6. küme {İrtifa, Yatış Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT}
7. küme {N2, İrtifa, Yer Hızı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}
8. küme {İrtifa, Yer Hızı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT}
9. küme {N1, İrtifa, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}
10. küme {İrtifa, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT}
11. küme {N1, İrtifa, Yer Hızı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme}
12. küme {N1, İrtifa, Hava Hızı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}
13. küme {N1, İrtifa, Hava Hızı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT}
14. küme {İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Yunuslama Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}
15. küme {N2, İrtifa, Hava Hızı, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, EGT}
16. küme {N2, İrtifa, Hava Hızı, Yatış Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}
17. küme {N2, İrtifa, Hava Hızı, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme}

18. küme {N1, N2, İrtifa, Yatış Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme}

19. küme {N2, İrtifa, Hava Hızı, Yatış Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme}

20. küme {İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, EGT}

21. küme {N1, N2, İrtifa, Yer Hızı, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, EGT}

22. küme {N2, İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Toplam Hava Sıcaklığı}

Bu elde edilen 22 alt küme içerisinde N1 değişkeni içeren kümeler seçilmiş ve bu kümeler içerisinde en fazla parametre olan 12. küme (8 elemanlı), 13. küme (8 elemanlı) 18. küme (8 elemanlı) ve 21. küme (9 elemanlı) dikkate alınmıştır. Bu kümelerden 18. kümedeki N2 ve Dikey İvme parametreleri ile N1 verisinin yüksek korelasyon içerisinde olduğu dikkate alınarak 18. küme elenmiştir. Diğer kümeler üzerinde önce SPSS ile regresyon analizi yapılmıştır. Daha sonra modelleme için küme seçiminde R^2 değeri dikkate alınmıştır. İşlemlere örnek olarak 12. küme üzerinde yapılan işlem sonuçları aşağıda Tablo 11, Tablo 12, Tablo 13 ve Tablo 15’te verilmiştir.

Tablo 11. Korelasyon tablosu

	N1	İrtifa	Hava Hızı	Yatış Açısı	Dikey İvme	Enlem İvme	Boylam İvme	Toplam Hava Sıcaklığı
N1	1,000							
İrtifa	,691	1,000						
Hava Hızı	,585	,759	1,000					
Yatış Açısı	-,232	-,172	-,188	1,000				
Dikey İvme	-,088	-,037	-,018	-,122	1,000			
Enlem İvme	,408	,319	,488	-,226	-,031	1,000		
Boylam İvme	,720	,045	,111	-,132	-,108	,246	1,000	
Toplam Hava Sıcaklığı	-,683	-,986	-,712	,169	,034	-,299	-,026	1,000

Tablo 12. Model R² değeri tablosu

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,981 ^a	,963	,963	4,81166920164168	,963	4959,589	7	1331	,000
a. Predictors: (Constant), Toplam Hava Sıcaklığı, Boylam İvme, Dikey İvme, Yatış Açısı, Enlem İvme, Hava Hızı, İrtifa									

Tablo 13. ANOVA Tablosu

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	803776,456	7	114825,208	4959,589	,000 ^b
	Residual	30815,526	1331	23,152		
	Total	834591,981	1338			
a. Dependent Variable: N1						
b. Predictors: (Constant), Toplam Hava Sıcaklığı, Boylam İvme, Dikey İvme, Yatış Açısı, Enlem İvme, Hava Hızı, İrtifa						

Tablo 14'te görüldüğü üzere *İrtifa* bağımsız değişkeninin VIF değeri 46,261dir. VIF değeri en yüksek 10 olmalıdır. *İrtifa* değişkeni bu sebepten dolayı elenerek yeni regresyon işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonucu elde edilen düzeltilmiş R² değeri aşağıda Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 14. Katsayılar tablosu

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
(Constant)	49,865	3,823		13,042	,000					
İrtifa	2,613E-5	,000	,012	,334	,738	,691	,009	,002	,022	46,261
Hava Hızı	,018	,003	,054	5,793	,000	,585	,157	,031	,319	3,131

Tablo 14. devamı

Yatış Açısı	-,192	,051	-,021	-3,751	,000	-,232	-,102	-,020	,910	1,099
Dikey İvme	4,441	3,699	,006	1,201	,230	-,088	,033	,006	,965	1,036
Enlem İvme	45,489	12,785	,022	3,558	,000	,408	,097	,019	,703	1,422
Boylam İvme	217,789	1,741	,690	125,074	,000	,720	,960	,659	,911	1,098
Toplam Hava Sıcaklığı	-,895	,049	-,605	-18,210	,000	-,683	-,447	-,096	,025	39,745

a. Dependent Variable: N1

Tablo 15. Model R² değeri tablosu

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,981 ^a	,963	,963	4,810064	,963	5790,031	6	1332	,000

a. Predictors: (Constant), Toplam Hava Sıcaklığı, Boylam İvme, Dikey İvme, Yatış Açısı, Enlem İvme, Hava Hızı

Diğer kümeler üzerinde aynı işlem adımları uygulanmış ve Tablo 16 ve Tablo 17’de elde edilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 16. 13. küme için R² değeri tablosu

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,975 ^a	,950	,950	5,574718	,950	4253,868	6	1332	,000

a. Predictors: (Constant), EGT, Hava Hızı, Dikey İvme, Yatış Açısı, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı

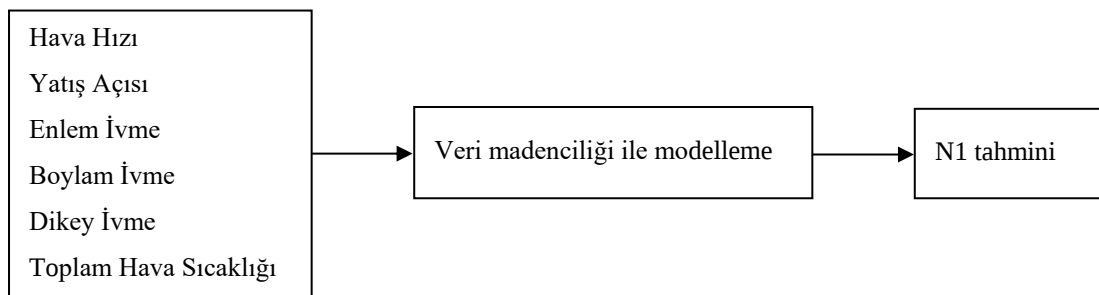
Tablo 17. 21. küme için R^2 değeri tablosu

Model Summary									
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,957 ^a	,917	,916	7,228030	,917	2928,352	5	1333	,000
A. Predictors: (Constant), EGT, Yatış Açısı, Dikey İvme, İrtifa, Enlem İvme									

Sonuç tablolarındaki düzeltilmiş R^2 değerine göre 12. küme N1 Bağımlı değişkeninin %96'sını açıklamaktadır. En yüksek R^2 değerine sahip bu küme ile veri madenciliğinin modelleme aşamasına devam edilmiştir. Veri madenciliğinde kullanılan parametreler; *Hava Hızı*, *Yatış Açısı*, *Enlem İvme*, *Boylam İvme*, *Dikey İvme* ve *Toplam Hava Sıcaklığı* parametreleridir ve bu bağımsız değişken olan parametreler dikkate alınarak RapidMiner programı ile modelleme işlemi yapılmıştır.

2.2.3 Kaba Küme Yöntemi ile Elde Edilen Veri Kümesi ile N1 Değişkeninin Veri Madenciliği ile Tahmin Edilmesi

Kaba küme yöntemi ile elde edilen kümelere istatistiksel işlemler olan korelasyon ve regresyon işlemleri uygulanmıştır. Bu istatistiksel işlemler sonucu elde edilen R^2 değerleri dikkate alınmış, R^2 değerine göre belirlenen veri kümesi modellemede kullanılmıştır. N1 parametresinin tahmin işlemi veri madenciliğinin modelleme aşamasında farklı tahmin algoritmaları ile gerçekleştirilmiştir. Modellemeye ait olan mimari Şekil 35'te verilmiştir. Bu yöntem ile tahmin edilen N1 verisi tahmin edilmiştir. Modellemede kullanılan algoritmaların performansını gösteren RMSE ve R^2 değerlerine ait olan Tablo 27'de bulgular bölümünde verilmiştir.



Şekil 35. Tahmin modelleme işleminin girdi ve çıktıları

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1 EGT Parametresinin Tahmin İşlemi Sonucu Elde Edilen Bulgular

EGT değeri gaz türbinli motorun sağlığının izlenmesinde önemli bir parametredir. Gaz türbinli motor üzerindeki çeşitli arızalara işaret edebilmektedir. Ayrıca EGT değerinin yüksek olması durumunda da motorda aşınmalar ve bozulmalar meydana geleceği için EGT değerinin yüksek olması istenmeyen bir durumdur. Tez çalışmasında gerçek uçuş esnasında kaydedilmiş, sürekli veri tipinde olan veriler üzerinde veri madenciliği yöntemleri uygulanarak EGT parametresi tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. EGT parametresi tahmin edilirken, veri madenciliği uygulamasında veriler öncelikle veri indirgeme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra aykırı veri temizleme işlemi yapılarak ön işleme süreci tamamlanmıştır. Veriler modelleme aşaması için hazır hale getirilmiştir. Veri indirgeme aşamasında, veri indirgeme yöntemlerinden birisi olan kaba küme yöntemi kullanılmıştır. Kaba küme yöntemi ile 20 adet alt küme elde edilmiştir. Tez çalışmasında amaçlardan birisi EGT parametresini tahmin etmek olduğu için bu alt kümelerden içerisinde EGT parametresi bulunan 7 adet veri kümesi modelleme işlemi için dikkate alınmıştır. Sonraki adımlarda bu 7 küme kullanılmıştır. Bu kümeler aşağıda verilmiştir.

1. **küme:**{İrtifa, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT}
2. **küme:**{İrtifa, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}
3. **küme:**{İrtifa, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT}
4. **küme:**{İrtifa, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, EGT}
5. **küme:**{İrtifa, Yer Hızı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}
6. **küme:**{İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Yunuslama Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}

7. küme:{N1, N2, İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT}

Elde edilen yeni kümelerin içerisinde bulunan aykırı verileri tespit etmek için her bir küme üzerine En Yakın Komşu algoritması uygulanmıştır. En Yakın Komşu algoritması vasıtasıyla aykırı veriler temizlenmiştir. Modelleme adımı için uygun hale gelen kümeler üzerine veri madenciliğinde kullanılan algoritmalar uygulanarak EGT parametresinin tahmini gerçekleştirilmiştir. Doğrusal Regresyon Algoritması, Rastgele Orman Algoritması, Gradyan Arttırılmış Ağaç Algoritması ve Derin Öğrenme Algoritmaları 7 küme üzerinde ayrı ayrı çalıştırılmış ve EGT değeri tahmin edilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesinde RMSE ve R^2 değeri dikkate alınmıştır. EGT tahmininde kullanılan kümelere ait RMSE ve R^2 değerlerinin verildiği tablolar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

İrtifa, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT parametrelerinden meydana gelmiş olan 1. kümeye uygulanan algoritmaların RMSE ve R^2 değerlerine ait olan tablo aşağıda Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18. 1. kümeye uygulanan algoritmaların RMSE ve R^2 değerleri tablosu.

	RMSE	R^2
Doğrusal Regresyon	0.085	0,901
Rastgele Orman	0.019	0,994
Gradyan Arttırılmış Ağaç	0.021	0,990
Derin Öğrenme	0.025	0,998

İrtifa, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT parametrelerinden oluşan 2. kümeye uygulanan algoritmaların RMSE ve R^2 değerlerine ait olan tablo aşağıda Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. 2. kümeye uygulanan algoritmaların RMSE ve R^2 Değerleri tablosu

	RMSE	R^2
Doğrusal Regresyon	0.086	0,898
Rastgele Orman	0.023	0,991
Gradyan Arttırılmış Ağaç	0.023	0,989
Derin Öğrenme	0.027	0,990

İrtifa, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT parametrelerinin oluşturduğu 3. küme üzerine uygulanan algoritmaların RMSE ve R^2 değerlerine ait tablo aşağıda Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. 3. kümeye ait olan RMSE ve R^2 değerleri tablosu

	RMSE	R^2
Doğrusal Regresyon	0.244	0,163
Rastgele Orman	0.194	0,481
Gradyan Arttırılmış Ağaç	0.159	0,643
Derin Öğrenme	0.322	0,103

İrtifa, Yunuslama Açısı, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, EGT parametreleri 4. kümeyi oluşturmaktadır. Bu parametrelerden oluşan kümeye ait olan RMSE ve R^2 değerlerine ait olan tablo aşağıda Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21. 4. kümeye ait olan RMSE ve R^2 değerlerinin tablosu.

	RMSE	R^2
Doğrusal Regresyon	0.090	0,885
Rastgele Orman	0.026	0,990
Gradyan Arttırılmış Ağaç	0.022	0,993
Derin Öğrenme	0.037	0,981

İrtifa, Yer Hızı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT parametrelerinden meydana gelen 5. küme ye ait olan RMSE ve R^2 değerlerine ait olan tablo aşağıda Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. 5. kümeye ait olan RMSE ve R^2 değerlerinin tablosu.

	RMSE	R^2
Doğrusal Regresyon	0.078	0,914
Rastgele Orman	0.017	0,996
Gradyan Arttırılmış Ağaç	0.024	0,989
Derin Öğrenme	0.023	0,993

İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Yunuslama Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT parametreleri 6. kümeyi oluşturmaktadır. Bu kümeye ait olan RMSE ve R² değerlerinin tablosu aşağıda Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 23. 6. kümeye ait olan RMSE ve R² değerlerinin tablosu

	RMSE	R ²
Doğrusal Regresyon	0.082	0,904
Rastgele Orman	0.018	0,995
Gradyan Arttırılmış Ağaç	0.020	0,992
Derin Öğrenme	0.022	0,993

N1, N2, İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT parametrelerinden oluşan 7. kümeye ait olan RMSE ve R² değerlerine ait tablo aşağıda Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 24. 7. kümeye ait olan RMSE ve R² değerlerinin tablosu

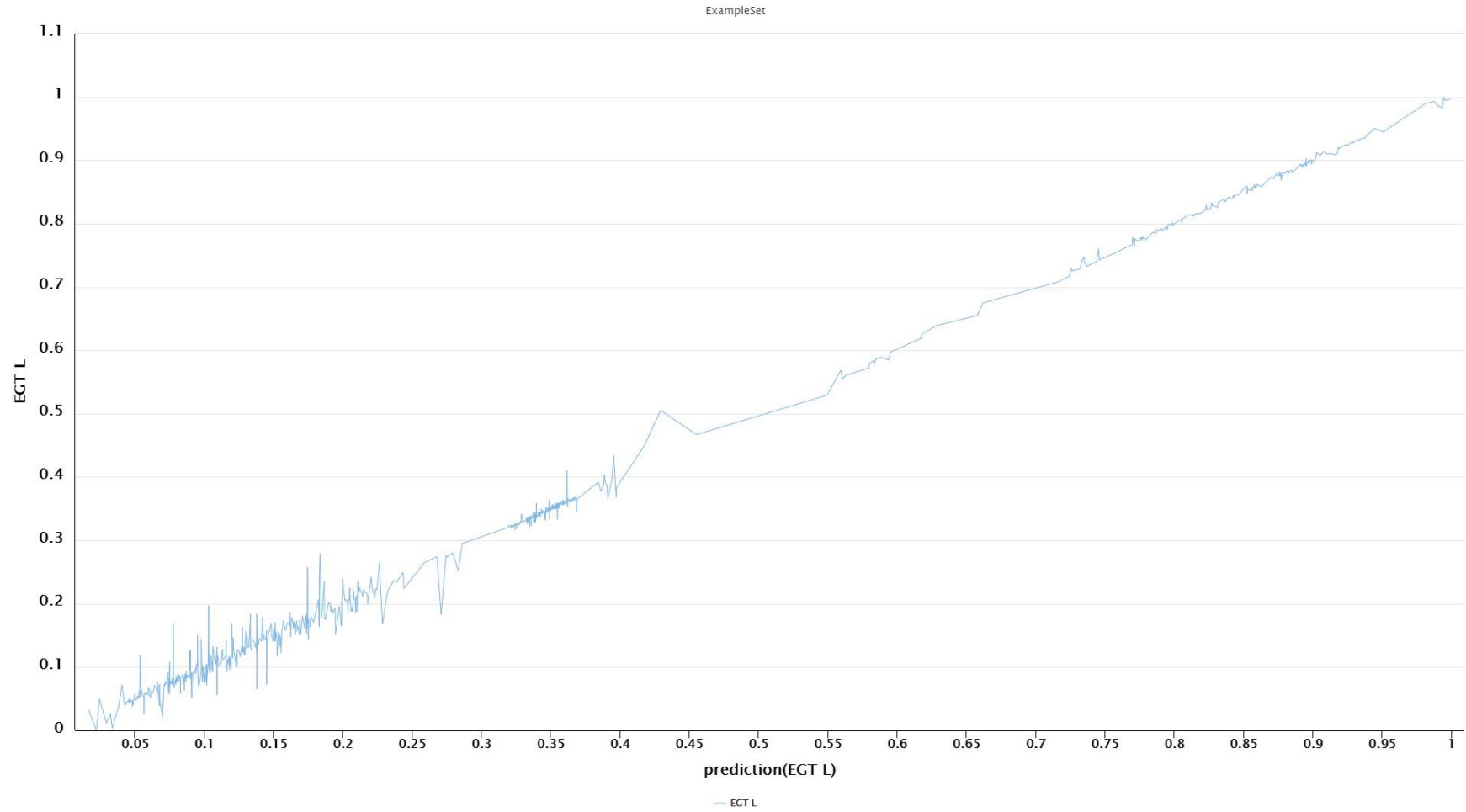
	RMSE	R ²
Doğrusal Regresyon	0.064	0,944
Rastgele Orman	0.018	0,999
Gradyan Arttırılmış Ağaç	0.012	0,998
Derin Öğrenme	0.019	0,995

Elde edilen sonuçları kümelerin ve algoritmaların EGT değerini tahmin etmekteki başarısı olarak ayrı ayrı değerlendirebiliriz. Kümeler dikkate alınarak değerlendirildiğinde 7. kümede, Gradyan Arttırılmış Ağaç Algoritması, 0.012 değeri ile gerçekleştirmiştir. En zayıf tahmin işlemi ise 3. kümede Derin Öğrenme Algoritması ile gerçekleştirmiştir. En güçlü ve en zayıf tahmine ait olan grafikler aşağıda Şekil 36 ve Şekil 37'de verilmiştir. 3. kümede Derin Öğrenme Algoritmasının RMSE değerini 0.322 olarak tahmin ettiği görülmektedir. Bu değer elde edilen en uzak tahmin değeridir.

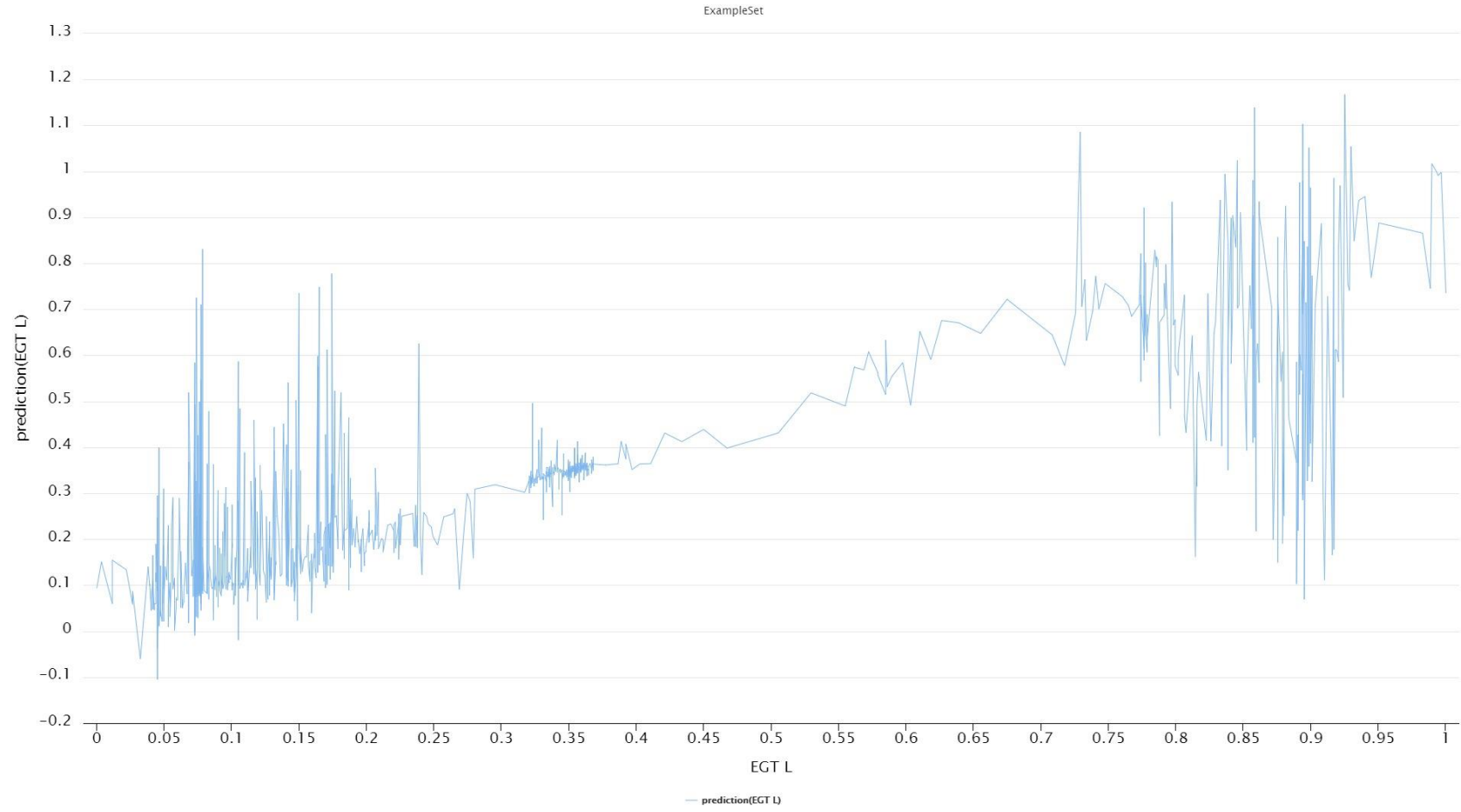
EGT değerinin tahmin edilmesinde kullanılan 7 kümenin RMSE değerlerinin verildiği tablo aşağıda Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 25. EGT değerinin tahmin edilmesinde kullanılan 7 kümenin RMSE değeri tablosu.

	1. küme	2. küme	3. küme	4. küme	5. küme	6. küme	7. küme
Doğrusal Regresyon	0.085	0.086	0.244	0.090	0.078	0.082	0.064
Rastgele Orman	0.019	0.023	0.194	0.026	0.017	0.018	0.018
Gradyan Arttırılmış Ağaç	0.021	0.023	0.159	0.022	0.024	0.020	0.012
Derin Öğrenme	0.025	0.027	0.322	0.037	0.023	0.022	0.019



Şekil 36. 7. küme Rastgele Orman algoritması ile yapılan EGT parametresinin tahmin işlemi grafiği



Şekil 37. 3. küme Derin Öğrenme ile yapılan EGT parametresinin tahmin işlemi grafiği

3.2 N1 Parametresinin Tahmin İşlemi Sonucu Elde Edilen Bulgular

Uçakların sağlık durumunun izlenmesinde N1 parametresi önemli bir parametredir. N1 parametresi uçakta uçuş güvenliğini etkileyen bir parametredir. Ayrıca N1 parametresi itki kuvvetinin modellenmesinde de kullanılan bir parametredir. Tez çalışmasında N1 parametresi veri madenciliği yöntemi ile tahmin edilmiştir. N1 parametresinin tahmin işlemleri EGT parametresinin tahmin yönteminden farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Farklılık veri ön işleme aşamasında ortaya çıkmaktadır. Veri ön işleme aşamasında verilerin parametre sayısı indirgemedi iki farklı yöntem kullanılmıştır. Birinci yöntemde SPSS paket programı ile veriler arasında regresyon analizi yapılarak N1 verisini açıklayan bir alt küme elde edilmiştir. Bu alt küme, N1 bağımlı değişkeni ile bu parametre üzerinde etkisi olan; *Hücum Açısı, Yatış Açısı, İstikamet, Enlem İvme, Hız Freni, Toplam Hava Sıcaklığı, EGT* parametrelerinden oluşmaktadır. Bu alt küme ile veri madenciliğinin diğer aşamaları gerçekleştirilmiştir. Modelleme aşamasında tahmin işlemi için Tablo 26'da verilen algoritmalar kullanılarak en yakın tahmin işlemi gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Kullanılan algoritmalar ile N1 parametresinin tahmin işleminin sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 26. Regresyon analizi ile elde edilen veri kümesinin sonuçları

Kullanılan algoritma	RMSE	R ²
Doğrusal Regresyon	0,129	0,962
Gradyan Arttırılmış Ağaç	0,067	0,989
Polinom Regresyon	0,129	0,962
Gauss Süreci	0,091	0,981
Karar Ağaçları	0,093	0,977
Derin Öğrenme	0,077	0,986
K_En Yakın Komşu	0,080	0,985
Lokal Polinom	0,092	0,980
Uygunluk Vektörü	0,113	0,971

Tabloda verildiği üzere veri kümesinde N1 tahminini Gradyan Arttırılmış Ağaç Algoritması, en yakın tahmin değerini 0.067 RMSE değeri ile tahmin etmiştir. Doğrusal regresyon ve polinom regresyon algoritmaları ise en uzak tahmini gerçekleştirmişlerdir.

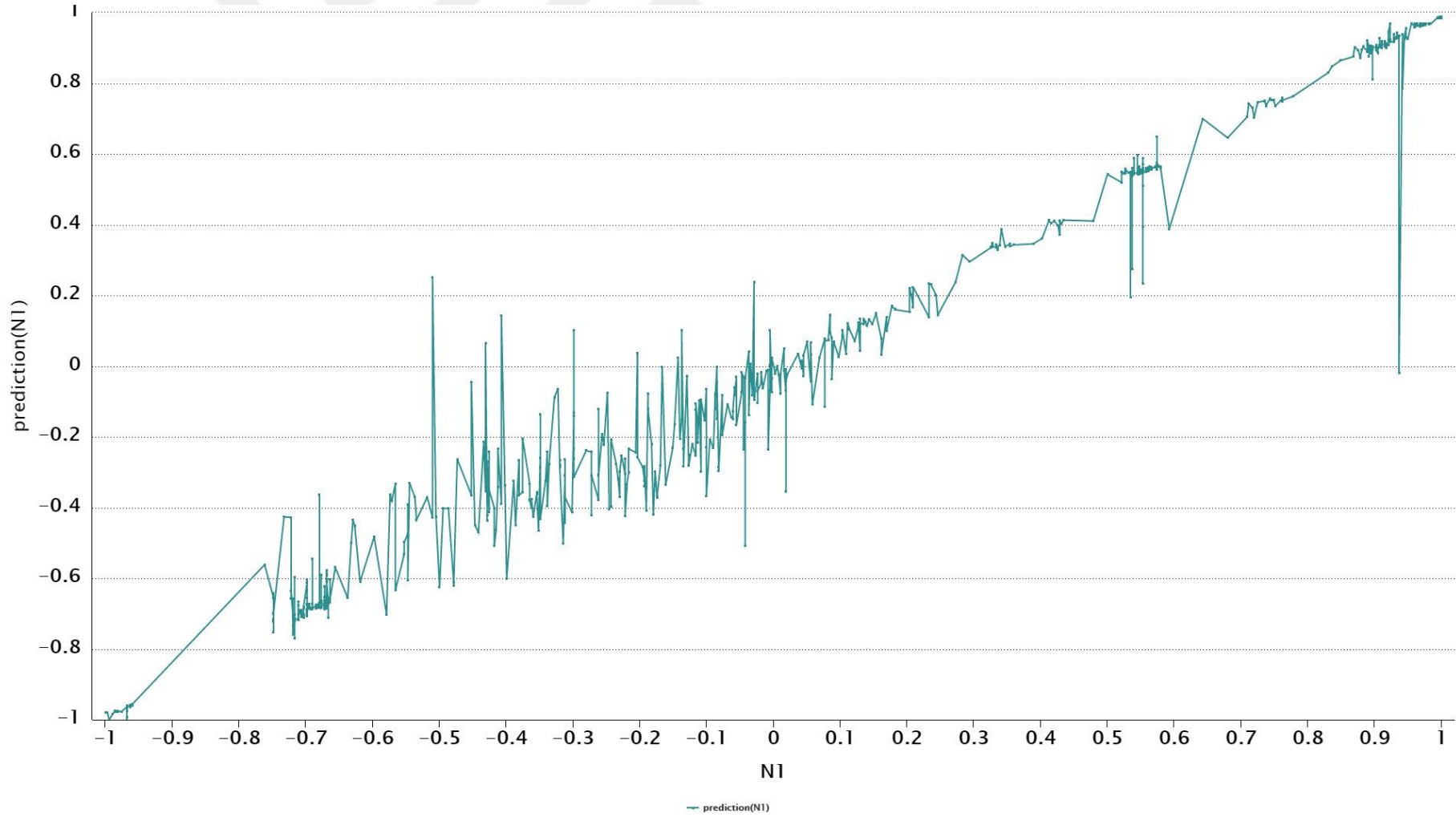
Regresyon analizi ile elde edilen veri setinin tahmin işleminde en güçlü ve en zayıf tahmin işlemine ait grafikler aşağıda Şekil 38 ve Şekil 39’da verilmiştir.

İkinci yöntemde ise veri indirgeme aşaması farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. İlk başta kaba küme yöntemi kullanılarak veri kümesinden alt kümeler elde edilmiştir. Bu kümelerin içinden N1 içeren kümeler tahmin işlemi için dikkate alınmıştır. İkinci aşamada ise SPSS programı kullanılarak bu kümelere regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda N1 verisini en yüksek R^2 ifade eden küme belirlenerek veri madenciliğinin diğer aşamalarına bu küme ile devam edilmiştir. Bu yöntem ile elde edilen küme; *Hava Hızı, Yatış Açısı, Enlem İvme, Boylam İvme, Dikey İvme ve Toplam Hava Sıcaklığı* parametrelerinden meydana gelmektedir. Bu veri kümesi üzerine de birinci kümeye uygulanan algoritmalar ayrı ayrı uygulanmıştır. Elde edilen sonuç değerleri aşağıda Tablo 27’de verilmiştir.

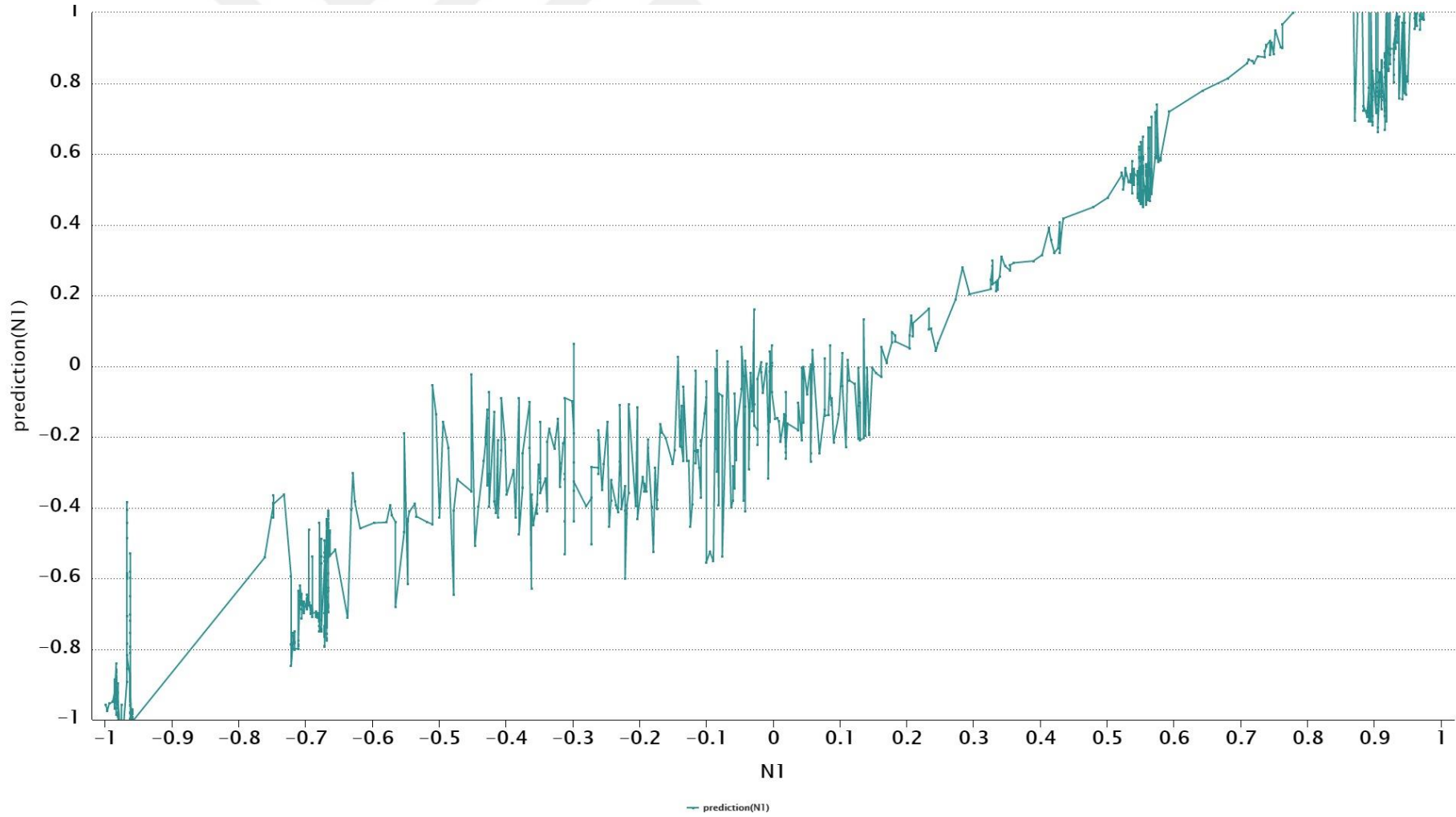
Tablo 27. Kaba küme analizi ile elde edilen veri kümesinin sonuçları

Kullanılan algoritma	RMSE	R^2
Doğrusal Regresyon	0,127	0,963
Gradyan Arttırılmış Ağaç	0,039	0,997
Polinom Regresyon	0,127	0,963
Gauss Süreci	0,077	0,987
Karar Ağaçları	0,048	0,994
Derin Öğrenme	0,053	0,996
K_En Yakın Komşu	0,076	0,987
Lokal Polinom	0,082	0,985
Uygunluk Vektörü	0,081	0,985

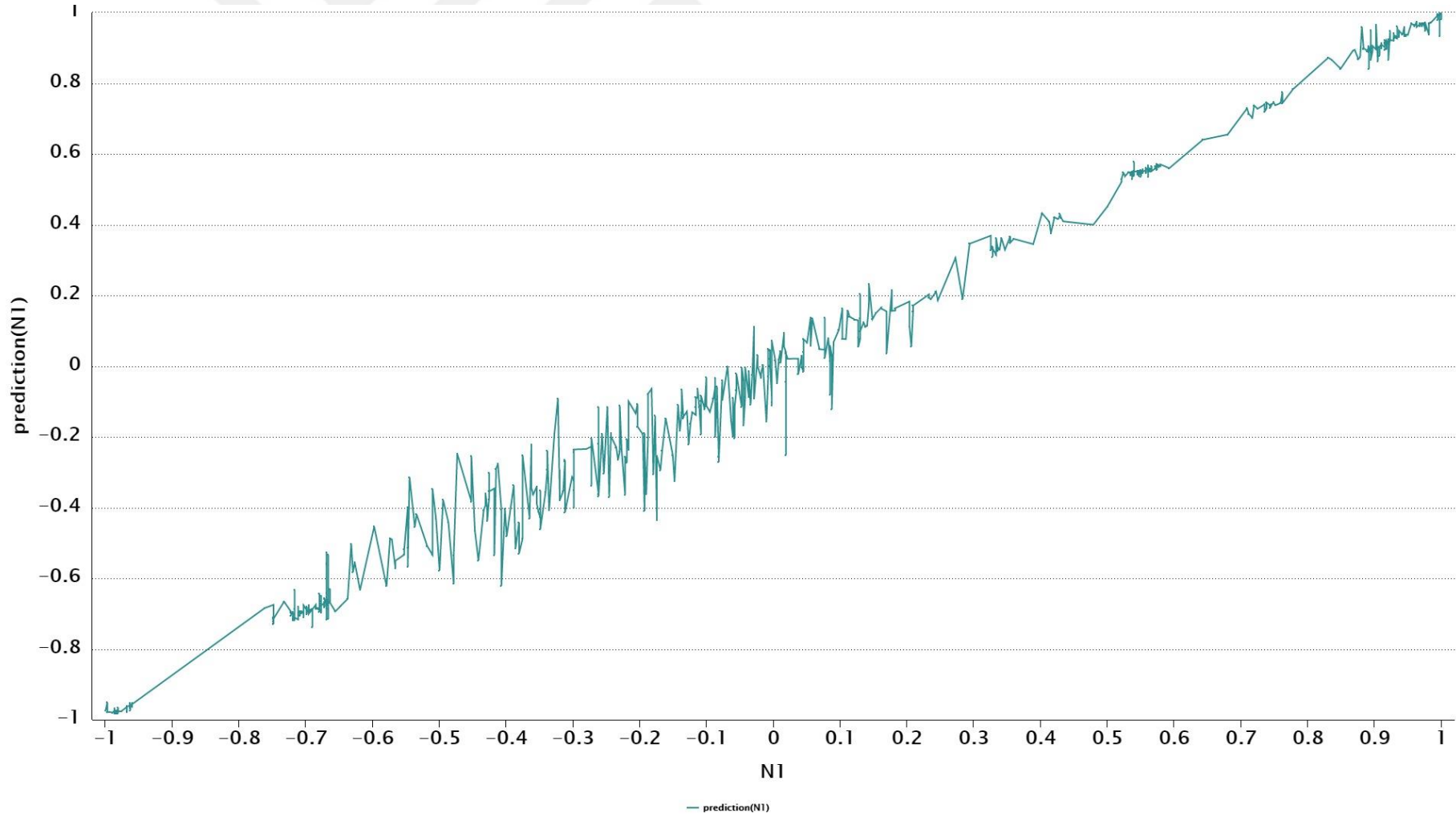
Yukarıda verilen Tablo 27’deki RMSE değerlerine göre 0,039 değeri ile Gradyan Arttırılmış Ağaç algoritması en güçlü tahmin işlemini gerçekleştirmiştir. Yine bu küme üzerinde yapılan tahmin işleminde Doğrusal Regresyon ve Polinom Regresyon algoritmaları en uzak tahmini gerçekleştirmişlerdir. Tahmin işleminin en güçlü ve en zayıf tahmin işlemine ait grafikler Şekil 40 ve Şekil 41’de verilmiştir. Her iki yöntem dikkate alındığında ikinci yöntem ile elde edilen veri kümesi daha başarılı tahmin gerçekleştirmiştir.



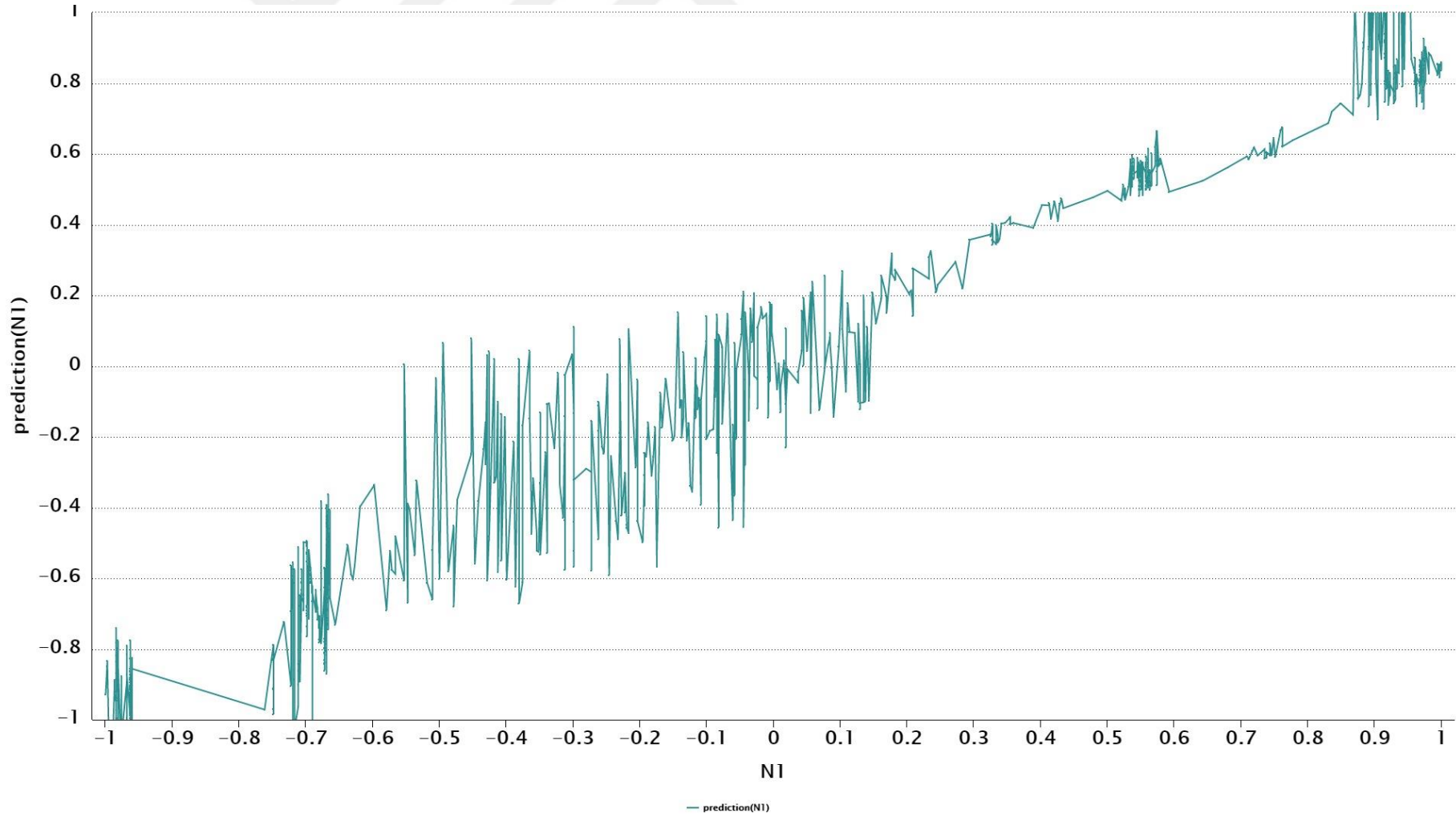
Şekil 38. 1. veri kümesinin Gradyan Arttırılmış Ağaç algoritması ile N1 parametresinin tahmin işleminin grafiği.



Şekil 39. 1. veri kümesinin Polinom Regresyon algoritması ile N1 parametresinin tahmin işleminin grafiği



Şekil 40. 2. veri kümesinin Gradyan Arttırılmış Ağaç algoritması ile N1 parametresinin tahmin işleminin grafiği



Şekil 41. 2. veri kümesinin Polinom Regresyon algoritması ile N1 parametresinin tahmin işleminin grafiği

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

Uçakların motorlarının sağlıklı olması, hem uçakların emniyetli bir şekilde hizmet verebilmelerini hem de ekonomik açıdan büyük bakım maliyetlerinde düşüş sağlamaktadır. Bu durumun kontrol edilebilmesi ve uçakların sağlıklı ve güvenli bir şekilde hizmet verebilmesi amacıyla çeşitli bakım metotları geliştirilmiştir. Uçakların bakımları, uçak üreticileri, işletmecileri ve yerel otoriteler tarafından konulan kurallar çerçevesinde planlanmaktadır. Uçaklar üzerine yapılan her işlem kayıt altına alınmaktadır. Planlanmış bakımların haricinde uçakların durumu izlenerek takip edilmektedir. Böylelikle muhtemel olan arızalar önceden tespit edilerek uçakların muhtemel arızalarının önlenmesi amaçlanmaktadır. Uçak motorlarının arızasının izlenmesinde EGT ve N1 parametreleri önemli iki parametredir. Egzoz gazının sıcaklığının yüksek olması; *uçanın havada tutunma kaybı, egzoz borusu yangını, motor yangını, motorda oluşan ciddi hasar, dalgalanma, yabancı madde hasarı, durma veya zorla dönme, yakıt kontrol sorunu, hızlı çalıştırma, buzlanma ve motor yaşlanması* durumlarının göstergesi olabilir. EGT değerinin yüksek olması uçaklarda istenmeyen bir durumdur. Motora ciddi boyutta kalıcı hasara sebebiyet verebilir. EGT'nin kritik değerden yüksek olması ile motor parçalarında aşınma ve çatlaklar meydana gelebilir ve motorun performansı olumsuz etkilenir. Hem bir arızanın işareti olabilen hem de kendisi bir arıza sebebi olan yüksek EGT değerinin tahmin edilmesi bu sebeplerden dolayı önemlidir. Bu tez çalışmasında uçak sağlık durumunun izlenmesi amacıyla EGT parametresinin tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. Veri setindeki parametreler üzerine kaba küme yöntemi uygulanarak alt kümeler elde edilmiştir. Çalışmada farklı parametrelerden meydana gelen alt kümeler üzerine farklı algoritmalar uygulanmıştır. Algoritmaların uygulanmasından elde edilen sonuçlara göre EGT parametresi en yüksek doğrulukla 7. kümede Gradyan Arttırılmış Ağaç algoritması ile 0,012 RMSE/0,998 R² değeri ile tahmin edilmiştir. Gerçekleştirilen tahmin işlemi sonucunda 1. 2. 5. 6. 7.

kümelerde birbirlerine yakın değerler elde edilmiştir. Bu kümelerin ortak elemanları; *Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme ve İrtifa* parametreleridir. EGT tahmininde bu parametrelerin güçlü etkisi olabileceği düşünülebilir. En başarılı olan 7. küme *N1, N2, İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, EGT* parametrelerinden oluşmaktadır. Diğer kümelerden farklı olarak N1 ve N2 parametreleri bu kümede bulunmaktadır. Bu iki parametrenin EGT değerinin üzerinde önemli etkisi olabileceği ifade edilebilir.

İrtifa, Yatış Açısı, Dikey İvme, Enlem İvme, Toplam Hava Sıcaklığı ve EGT parametrelerinden meydana gelen 3. küme, 0.159-0.322 arasında RMSE değeri almış ve EGT tahmininde başarısı en zayıf olan kümeyi meydana getirmiştir. Bu zayıf kümede Yatış açısı ve Toplam Hava Sıcaklığı parametrelerinin tahmin işlemi üzerinde olumsuz etkisi olabileceği düşünülmektedir.

Algoritmalar dikkate alındığında Rastgele Orman Algoritması 1. kümede, 5. kümede, 6. kümede en başarılı tahminleri gerçekleştirmiştir. Gradyan Artırılmış Ağaç Algoritması ise 3. küme, 4. küme ve 7. kümede en başarılı sonuçları vermiştir. 2. kümede ise her iki algoritma da aynı sonucu elde etmişlerdir. Her iki algoritma da tahmin işleminde başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Ancak en başarılı tahmin işlemi Gradyan Artırılmış Ağaç algoritması ile *N1, N2, İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme* parametrelerinden meydana gelen 7. küme ile gerçekleştirilmiştir.

Bu tahmin işleminin motorların sağlığının izlenmesinde bir başarı sağlayacağı öngörülmektedir. 7. kümedeki parametrelerden elde edilen EGT değeri ile sensörlerden alınan EGT değerinin karşılaştırılacağı bir arayüz oluşturulduğu takdirde bir olumsuzluk olup olmadığı gözlemlenebilir. Eğer iki değer arasında fark var ise sensör hatası olabileceği düşünülebilir. Bir diğer durum olarak iki değer de olması gereken değer üzerinde çıkarsa bir arıza ihtimalinden söz edilebilir.

Literatürde EGT tahmin işlemini Kurt tez çalışmasında iki farklı yöntem ile gerçekleştirmiştir. İlk yöntem olarak çoklu regresyon analizi ile EGT değerini tahmin etmiştir. Çalışmasında EGT parametresi bağımlı değişken, *N1 Hızı, N2 Hızı, Yunuslama, Hücum Açısı, Yuvarlanma, Dikey İvme, Toplam Hava Sıcaklığı ve Yer/Havada bağımsız* değişkenler olarak kullanılmıştır. Bu yöntemde $R^2=0,939$ değeri ile başarılı tahmin gerçekleştirmiştir. İkinci yöntemde ise YSA yöntemini kullanmıştır. İkinci yöntemde

birinci yöntemde olduğu gibi *EGT parametresi bağımlı değişken*, *N1 Hızı*, *N2 Hızı*, *Yunuslama*, *Hücum Açısı*, *Yuvarlanma*, *Dikey İvme*, *Toplam Hava Sıcaklığı* ve *Yer/Havada* bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Levenberg-Marquardt backpropagation algoritması ile en yüksek doğrulukta tahmin işlemi gerçekleştirmiştir. $0,99435716 R^2 / 0,002224188 \text{ MAPE} / 0,2224188 \% \text{ MAPE} / 8,639823 \text{ RMSE}$ değerine ulaşmıştır.

Yine Kurt'un tez çalışmasında N1, N2 ve *Dikey ivme* parametresi ortak parametrelerdir. İki çalışma da dikkate alındığında bu parametreler EGT parametresi üzerinde etkisi yüksek olabilecek parametreler olarak değerlendirilebilir.

N1 parametresi uçakta *motor durması*, *zorla dönme*, *motor dengesizliği*, *kompresör bıçak kaybı*, *buzlanma ya da yabancı madde hasarından kaynaklı motor titreşimi*, *egzoz yangını*, *yakıt kontrol sorunu ve yakıt sızıntısı* arızalarına işaret eder. Tez çalışmasında N1 parametresini en az hata ile tahmin etmek amacıyla 2 farklı yöntem veri seti üzerinde uygulanmıştır. Farklı indirgeme yöntemleri kullanılarak elde edilen indirgenmiş veri setimizle N1 tahmini gerçekleştirilmiştir. Birinci veri setimiz; *N1 Hücum Açısı*, *Yatış Açısı*, *İstikamet*, *Enlem İvme*, *Hız Freni*, *Toplam Hava Sıcaklığı*, EGT parametrelerinden oluşmaktadır. Bu veri seti ile yapılan çalışmada Gradyan Arttırılmış Ağaç algoritması $0,067 \text{ RMSE} / 0,989 R^2$ değeri ile başarılı bir şekilde tahmin işlemi gerçekleştirmiştir. İkinci veri setimiz; *Hava Hızı*, *Yatış Açısı*, *Enlem İvme*, *Boylam İvme*, *Dikey İvme* ve *Toplam Hava Sıcaklığı* parametrelerinden meydana gelmektedir. Bu parametrelerden oluşan veri seti ile yapılan çalışmada Gradyan Arttırılmış Ağaç algoritması $0.039 \text{ RMSE} / 0.997 R^2$ değeri ile başarılı bir tahmin gerçekleştirmiştir. 2. veri setindeki parametrelerden elde edilen N1 değeri ile sensörlerden alınan N1 değerinin karşılaştırılacağı bir arayüz oluşturulduğu takdirde motor sağlığında bir olumsuzluk olup olmadığı gözlemlenebilir. Eğer iki değer arasında fark var ise sensör hatası olabileceği, eğer iki değer de olması gereken değer üzerinde çıkarsa motorlarda bir arıza olabileceği değerlendirilebilir.

Bu tez çalışmasında yapılan tahminler ile arızalar önceden tespit edilebileceğinden, önleyici bakım yöntemleri uygulanabilecek, uçak motorları sağlıklı kalacak, işletmecinin bakım maliyetinde önemli düşüş sağlanacak, ayrıca uçuş emniyeti ve çevresel koruma sağlanabilecektir.

Gaz türbinli motorlarda çeşitli arızalara işaret eden EGT ve N1 parametresinin tahmin edilmesi önemlidir. Tez çalışmasında uçuş esnasında elde edilen FDR verileri kullanılarak EGT ve N1 parametresi tahmin edilmiştir. Yapılan uygulamalar sonucunda *İrtifa, Hava Hızı, Yer Hızı, Yunuslama Hareketi, Hücüm Açısı, Yatış Açısı, İstikamet, Dikey İvme, Enlem İvme, Boylam İvme, Hız Freni, Toplam Hava Sıcaklığı* parametreleri ile EGT parametresi ve N1 parametresi arasında ilişkiler olduğu görülmüştür. Yüksek doğrulukta bir tahmin işlemi gerçekleştirilmiş olması bu ilişkinin varlığını doğrulamaktadır. Bu tez çalışması ile yüksek doğrulukta tahmin işlemi gerçekleştirilerek tezin amacına ulaşılmıştır.

Tez çalışmasının gelecekte yapılacak motor sağlığı izleme çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda, sensör arızası veya EGT ve N1 parametrelerinin değerinin limit değerlerinin dışında olduğu durumları göstermek üzere bir uyarı sistemi tasarlanması planlanmaktadır. Uyarı sisteminin karşılaştırılması muhtemel olumsuz durumları önceden haber vermesi ile arızaların erken teşhisi mümkün olabilecektir.

KAYNAKÇA

1. Active u.s. air carrier and general aviation fleet by type of aircraft bureau of transportation statistics. <https://www.bts.dot.gov/content/active-us-air-carrier-and-general-aviation-fleet-type-aircraft> (Erişim tarihi Eylül 2020)
2. Bergh, J. V., Bruecker, P., Beliën, J., Peeters. J.,(2013). Aircraft maintenance operations: state of the art, **HUB Research**, vol. 9, p. 34
3. R. Heisey, R., (2002). **Aero boeing**, No:19, pp. 21–21
4. Demirci S., Hacıyev C., Schwenke A., Fuzzy logic-based automated engine health monitoring for commercial aircraft, **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, vol. 80, no. 5, pp. 516–525, 2008, doi: 10.1108/00022660810899883.
5. Zaidan, M. A., Mills, A. R., Harrison, R.F., Fleming, P. J., (2016). Gas turbine engine prognostics using Bayesian hierarchical models: A variational approach, **Mech Syst Signal Process**, vol. 70–71, pp. 120–140, doi:10.1016/j.ymssp.2015.09.014.s
6. Volponi, A. J. , Gas Turbine Engine Health Management Past , Present and Future Trends, *Proceedings of ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition, San Antonio, Texas, USA*, pp. 1–25.
7. Amozegar, M., Khorasani, K., (2016). An ensemble of dynamic neural network identifiers for fault detection and isolation of gas turbine engines, **Neural Networks**, vol. 76, pp. 106–121, doi: 10.1016/j.neunet.2016.01.003.
8. Zhou D., Zhang, H., Weng, S., (2015). A new gas path fault diagnostic method of gas turbine based on support vector machine. **J Eng Gas Turbine Power**, vol. 137, no. 10, pp. 1–6, doi: 10.1115/1.4030277.
9. Oliver Wyman Analysis, “Oliver Wyman Analysis <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2022/oct/global-fleet-and-mro-market-forecast-update-2022.html> (Erişim tarihi: Ocak 2023)

10. Turkish Technic,(2021). Turkish Technic Faaliyet Raporu 2021, **turkishtechnic.com/tr/kurumsal/faaliyet-raporlari**. (Erişim Tarihi:Ocak 2023)
11. Gunetti, P., Mills, A., Thompson, H., 2008. A Distributed intelligent agent architecture for gas-turbine engine health management, 883, *46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit 7- 10 January 2008*, Reno, Nevada, doi: 10.2514/6.2008-883.
12. Cui, J., Wang, Y., Li, Z., Liu, L., Xu, G., 2010. A health diagnosis method for aeroplane structural component based on fault inference engine, pp. 3928–3931. *2010 Chinese Control and Decision Conference*, doi: 10.1109/CCDC.2010.5498448.
13. Babbar, A., Ortiz, E. M., Syrmos V. L., Arita, M. M., 2009. Advanced diagnostics and prognostics for engine health monitoring, pp. 1–10 in *2009 IEEE Aerospace conference*, doi: 10.1109/AERO.2009.4839657.
14. Brotherton T., Johnson, T., 2001. Anomaly detection for advanced military aircraft using neural networks, vol. 6, pp. 3113–3123, *2001 IEEE Aerospace Conference Proceedings*,2001, doi: 10.1109/aero.2001.931329.
15. Tolani, D., Yasar, M., Chin,S., Ray, A., 2005, Anomaly detection for health management of aircraft gas turbine engines, pp. 459–464.,” in *Proceedings of the 2005, American Control Conference. IEEE*, 2005, doi: 10.1109/acc.2005.1469978.
16. Feng L, Jin-Quan, H., 2008. Application of intelligent compensation to Engine Health Management system, *Proceedings* pp. 485–489.- *ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, CCCM 2008*, doi: 10.1109/CCCM.2008.72.
17. Rong, X., Zuo, H., Chen, Z., 2010. Civil aero-engine health management integrating with life prediction and maintenance decision-making, vol. 803, no. 29, *2010 Prognostics and System Health Management Conference, PHM '10*, doi: 10.1109/PHM.2010.5414570.

18. Powrie, H. E. G., Fisher, C. E., 1999. Engine health monitoring: Towards total prognostics, vol. 3, pp. 11–20, 1999 *IEEE Aerospace Conference.*, doi: 10.1109/aero.1999.789759.
19. Babbar, A., Ortiz, E. M., Syrmos, V. L., Fuzzy clustering based fault diagnosis for aircraft engine health management, 2009. pp. 199–204, *17th Mediterranean Conference on Control & Automation*, doi: 10.1109/med.2009.5164539.
20. Yildirim M. T., Kurt, B., 2018. Aircraft gas turbine engine health monitoring system by real flight data, **International Journal of Aerospace Engineering**, vol. 2018, no. i, 2018, doi: 10.1155/2018/9570873.
21. Yildirim M. T., Kurt, B , Confidence interval prediction of ANN estimated LPT parameters, 2019. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, vol. ahead-of-p, no. ahead-of-print, 2019, doi: 10.1108/aeat-10-2018-0266.
22. Mgaya R. H., McCurry C. D., Zein-Sabatto, S., 2009. Intelligent methodology for turbine engine diagnosis and health management, pp. 410–415, *IEEE Southeastcon 2009*, doi: 10.1109/SECON.2009.5174115.
23. E. L. Suarez, M. J. Duffy, R. N. Gamache, R. Morris, and A. J. Hess, “Jet engine life prediction systems integrated with prognostics health management,” *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, vol. 6, pp. 3596–3601, 2004, doi: 10.1109/AERO.2004.1368177.
24. Lv, Z., Wang, J., Zhang, G., Jiayang, H., 2015. Prognostics health management of condition-based maintenance for aircraft engine systems, pp. 1–6, *2015 IEEE Conference on Prognostics and Health Management: Enhancing Safety, Efficiency, Availability, and Effectiveness of Systems Through PHAf Technology and Application, PHM 2015*, doi: 10.1109/ICPHM.2015.7245055.
25. Yasar, M., Purekar, A., D. Sheth, D., 2010. Real-time hardware implementation of symbolic health monitoring for aircraft engine components, pp 2224–2229. *2010 American Control Conference*, doi: 10.1109/acc.2010.5531250.

26. Pagels, D. A., 2015. Aviation Data Mining, **Scholarly Horizons: University of Minnesota, Morris Undergraduate Journal**, vol. 2, no. 1, p. 3
27. Iverson, D., 2008. Data Mining Applications for Space Mission Operations System Health Monitoring, **in Space ops 2008**, p. 3212. doi: 10.2514/6.2008-3212.
28. Lian Y., Liou, M. S., 2004. Data Mining for Evolutionary Design Optimization, p. 2143, *34th AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit*, 2004,
29. Letourneau, S., Famili, F., Matwin, S., 1999. Data Mining For Prediction of Aircraft Component Replacement, **IEEE Intelligent Systems and their Applications**, vol. 14(6), pp. 59–66,
30. Foslien, W., Guralnik, V., Haigh, K. Z., 2004. Data Mining For Space Applications, p. E8, *Eighth International Conference on Space Operations.*, doi: 10.2514/6.2004-255-106.
31. Seichepine, N., Ricordeau, J., Lacaille J., Ravaud, R. R., 2011. Data mining of flight measurements, *Infotech@ Aerospace 2011*, p. 1530. doi: 10.2514/6.2011-1530.
32. Skormin, V. A., Gorodetski, V. I., Popyack, L. J., 2002. Data Mining Technology for Failure Prognostic of Avionics, **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, vol. 38, no. 2, pp. 388–403, 2002.
33. European Union Aviation Safety Agency, “Issue: 02 CFM International CFM56-2 & CFM56-3 series engines TYPE-CERTIFICATE DATA SHEET,” 2023.
34. Technical Drivers of Aircraft Engine Off-Wing Maintenance Sofema Aviation Services, <https://sassofia.com/blog/technical-drivers-of-aircraft-engine-off-wing-maintenance> (Erişim Tarihi: Eylül 2020).
35. U.S. Department Of Transportation Federal Aviation Administration Flight Standards Service, Airplane Flying Handbook 2004, <http://www.faa.gov/atpubs>. (Erişim Tarihi: Eylül 2020).

36. “Turboprop motor.” Accessed: Sep. 19, 2022. [Online]. Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Turboprop>
37. Shannon, M., Ackert, P., 2010. Basics of Aircraft Maintenance Programs for Financiers Evaluation & Insights of Commercial Aircraft Maintenance Programs, Boeing, p: 26
38. Macqarie S., Ackert, A., 2011. Engine Maintenance Concepts for Financiers, Aircraft Monitor, no. 2, p. 30, 2011.
39. “Accessory drive.”: [https://en.wikipedia.org/wiki/Accessory_drive#CITEREFRolls-Royce, Jet Engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Accessory_drive#CITEREFRolls-Royce,_Jet_Engine), (Erişim tsrihi:Eylül 2022)
40. Spittle, P., 2003. Gas turbine technology, **Phys Educ**, vol. 38, no. 6, pp. 504–511, doi: 10.1088/0031-9120/38/6/002.
41. Centrich, X. T., Shehab, E., Sydor, P., Mackley, T., John P., Harrison A., 2014. An aerospace requirements setting model to improve system design, **Procedia CIRP**, vol. 22, no. 1, pp. 287–292, 2014, doi: 10.1016/j.procir.2014.07.127.
42. Garg, S., Schadow, K., Horn, W., Pfoertner, H., Stiharu, I., 2010. Sensor and actuator needs for more intelligent gaz turbine engines, pp. 1–13., *Proceedings of ASME Turbo Expo 2010: Power for Land, Sea and Air GT2010*,
43. Kurz R., Brun, K., 2000. Degradation in gas turbine systems, *Proceedings of the ASME Turbo Expo*, American Society of Mechanical Engineers (ASME), doi: 10.1115/2000-GT-0345.
44. Meher-Homji, C. B., Chaker M., Motiwala, H. M., 2001. Gaz turbine performance deterioration, pp: 139-175, *Proceedings of the 30th turbomachinery syposium, 2001*
45. Yilmaz, İ., 2009. Evaluation of the relationship between exhaust gas temperature and operational parameters in CFM56-7B engines, **Proc Inst Mech Eng G J Aerosp Eng**, vol. 223, no. 4, pp. 433–440, doi: 10.1243/09544100JAERO474.

46. Demirci, Ş., 2009. Improving Aircraft Engine Maintenance Effectiveness and Reliability Using Intelligent Based Health Monitoring, Istanbul Technical University, Doktora tezi, İstanbul, ss: 113
47. Çolak, M. B., Işık, Ö., Demirtaş, H., Urgun, S., S. Ulufer, S., 2016. Turbofan uçak motorlarının uçuşa elverişli tutulması için yeni bir motor bakım sisteminin tasarımı ve optimizasyonu, **Istanbul Aydın Üniversitesi Dergisi**, vol. 8, no. 29, pp. 37–49, doi: 10.17932/iau.iaud.m.13091352.2016.8/29.37-49.
48. “Uçak Bakım ve Onarımı.” <https://slonder.tripod.com/bakim.html>, (Erişim tarihi: Şubat 2021)
49. İnan, S. Uçak bakım periyotları, kuralları ve bakımlarda yapılan işlemler. <https://www.airlinehaber.com/ucak-bakim-periyotlari-kurallari-ve-bakimlarda-yapilan-islemler/> (Erişim tarihi: Şubat 2021)
50. Federal Aviation Administration, “Airplane turbofan engine operation and malfunctions basic familiarization for flight.” https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/engine_prop/media/engine_malf_famil.pdf (Erişim tarihi: Şubat 2021)
51. “Engine Yearbooks,” *Aviation Week*, p. 20, 2005.
52. Veri, Enformasyon ve Bilgi | ceaksan - E-ticaret & Kullanıcı Davranışı Analitiği. <https://ceaksan.com/tr/veri-enformasyon-ve-bilgi> (Erişim tarihi: temmuz 2022)
53. Uslu M., Veri Madenciliği <http://kod5.org/veri-madenciligi/> (Erişim tarihi: temmuz 2018)
54. Han J., Kamber, M., 2006. Data Mining: Concepts and Techniques. Morgan Kaufmann Publishers San Francisco USA, ss: 744
55. Prabhu,N., Venkatesan, S., 2006. Data Mining and Warehousing. New Age International Publishers, New Delhi, ss: 144
56. Coşkun, C., 2010. Veri Madenciliği Algoritmaları Karşılaştırılması, Dicle Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır, ss: 109

57. Çelik, U., Akçetin, E., Gök, M., 2017. Rapidminer ile Uygulamalı Veri Madenciliği. Pusula, İstanbul
58. Özkan, Y., 2008. Veri Madenciliği Yöntemleri, Papatya Yayıncılık, İstanbul .
59. Kantardzic, M., 2011. Data Mining: Concepts, Models, and Algorithms, Wiley, ss:552
60. Silahtaroglu, G.,2013. Veri Madenciliği Kavram ve algoritmaları, Papatya Yayıncılık, İstanbul, ss: 333
61. Savaş, S., Veri Madenciliği Süreci. Büyük veri tabanlarında ilginç ve... Veri Madenciliği, <https://medium.com/veri-madenciliği/veri-madenciliği-süreci-11243e7966fc> (Erişim tarihi: Şubat 2023)
62. Aydoğan Kızılkaya, E., Gencer, C., 2007. Kaba küme yaklaşımı kullanılarak veri madenciliği problemlerinde sınıflandırma amaçlı yapılmış olan çalışmalar, **Savunma Bilimleri Dergisi**, vol. 6, pp. 17–32,
63. Pawlak, Z., Słowiński, R., 1994. Decision analysis using rough sets,” **International Transactions in Operational Research**, vol. 1, no. 1, pp. 107–114, doi: 10.1016/0969-6016(94)90050-7.
64. Hodge V: J., Austin, J., 2004. Survey Of Outlier Detection Methodologies, in Artificial Intelligence Review 22, **Netherlands: Kluwer Academic Publishers**, pp. 85–126.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Mehtap TAŞCI

Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği	2013
Lisans	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği	2008
Lise	Fevzi Çakmak Lisesi, Kayseri	1994

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2005-Halen	Erciyes Üniversitesi HUBF	18 yıl
2000-2002	İpek Mobilya	2 yıl

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

Taşcı, M. and Yıldırım, M. T.(2020), Flight Data Reduction via Rough Set, *Ejona J.*, vol. 4, no. 15, pp. 625–637, Sep. 2020.

Yıldırım, M. T., & Taşcı, M. (2021). Aircraft Exhaust Gas Temperature Value Mining with Rough Set Method. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 8(4). DOI:<https://doi.org/10.15394/ijaaa.2021.1660>

