

**PİSTON VE TURBOPROP MOTORLU UÇAKLARIN
PARTİKÜL MADDE (PM) EMİSYONLARI**

Soner Özenç İLHAN

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Eftade Emine GAGA

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Aralık 2021

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından kabul edilen 115Y611 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

ÖZET
PİSTON VE TURBOPROP MOTORLU UÇAKLARIN
PARTİKÜL MADDE (PM) EMİSYONLARI

Soner Özenç İLHAN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Aralık, 2021

Danışman: Prof. Dr. Eftade Emine GAGA

Bu tez çalışması kapsamında, 2018 ve 2019 yılları arasında piston motorlu uçakların partikül madde emisyonları örneklenmiştir. Çalışma Eskişehir Teknik Üniversitesi kampüsünde bulunan Hasan Polatkan Havaalanında gerçekleştirilmiştir. Örneklemeler, uçak yer koşullarında ve park pozisyonundayken gerçekleştirilmiştir. Örneklemeler, altı farklı motor güç devri ve üç farklı yakıt karışımı koşullarında gerçekleştirilmiştir. Örnekleme sürecinde motor ile ilgili bazı parametrelerde kayıt altına alınmıştır. Toplanan partikül madde örneklerinde iz element analizleri, elektron mikroskobu analizleri gerçekleştirilmiştir. Kütle emisyonları ve iz element sonuçları için emisyon faktörü hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

Partikül madde kütle emisyon sonuçlarına bakıldığında, düşük ve yüksek motor güç seviyelerinde kütle emisyonlarının ortalama motor güç seviyesinden daha yüksek olduğu görülmüştür. İz element analiz sonuçlarında ise bu tür bir sonuç gözlenememiştir. Pb, Na, Al, S, Ca, In ve Sn elementlerinin iz elementi analizlerinde ön plana çıktığı görülmüştür. Aynı zamanda örneklemeye yapılan uçakların gerçek uçuş verileri ile havaalanı ve çevresindeki partikül madde ve iz element emisyon değerleri incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Piston motorlu uçaklar, Partikül madde, İz elementler, Kurşun (Pb), Emisyon faktörü.

ABSTRACT
THE PARTICULATE MATTER (PM) EMISSIONS
OF PISTON AND TURBOPROP ENGINE AIRCRAFT

Soner Özenç İLHAN

Department of Environmental Engineering
Programme in Environmental Sciences
Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, December, 2021

Supervisor: Prof. Dr. Eftade Emine GAGA

Within the scope of this thesis, particulate matter emissions of piston engine aircraft between 2018 and 2019 were sampled. The study was carried out at Hasan Polatkan Airport located on the campus of Eskişehir Technical University. Sampling was carried out with the aircraft in ground conditions and in the park position. Sampling was carried out under six different engine power cycles and three different fuel mixture conditions. During the sampling process, some parameters related to the engine were recorded. Trace element analyzes and electron microscopy analyzes were performed on the collected particulate matter samples. Emission factor calculations were performed for mass emissions and trace element results.

When the particulate matter mass emission results are examined, it is seen that the mass emissions are higher than the average engine power level at low and high engine power levels. Such a result was not observed in the trace element analysis results. It has been observed that Pb, Na, Al, S, Ca, In and Sn elements come to the fore in trace element analyzes. At the same time, the actual flight data of the sampled aircraft and the particulate matter and trace element emission values in and around the airport were examined.

Keywords: Piston engine aircraft, Particulate matter, Trace elements, Lead (Pb), Emission factor.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, lisans döneminden itibaren akademik çalışmalar konusunda beni teşvik eden, araştırma grubuna dahil eden, lisansüstü eğitim sürecimde ve projelerde beni destekleyen, tanıştığım günden bugüne hayatımda izi olan, bilgi ve deneyimleriyle her zaman bana yol gösteren danışman hocam Sn. Prof. Dr. Eftade Emine GAGA'ya,

Lisansüstü eğitim sürecinde tanıştığım ve süreç içerisinde desteğini esirgemeyen tez ve proje çalışmalarında bana yol gösteren, proje yürütücüsü hocam Sn. Prof. Dr. Enis Turhan TURGUT'a,

Proje çalışmasında ve tez sürecinde düşünce ve önerileriyle destek olan ve tez savunma jürimde yer alan hocalarım, Sn. Prof. Dr. Mustafa ODABAŞI ve Sn. Prof. Dr. Önder ALTUNTAŞ'a,

Proje kapsamında gerçekleştirilen saha çalışmalarında piston motorlu uçaklar ile ilgili bilgilerini paylaşan ve saha çalışmalarının gerçekleşmesini sağlayan Sn. Dr. Öğr. Gör. Gürkan AÇIKEL ve Sn. Duran ÇALIŞIR hocama,

Projede birlikte çalıştığım, her konudaki bilgi, birikimini paylaşan, çalışma dışında sohbet etmekten keyif aldığım Emre CAN'a, proje kapsamındaki saha çalışmalarında birlikte çalıştığım Gülzade ARTUN'a, laboratuvar çalışmalarında birlikte çalıştığımız ve birbirimize destek olduğumuz Fatma Nur ERASLAN'a ve Mansoor AHMAD'a,

Hava Kalitesi Araştırma Grubu ile tanışmamı sağlayan ve gerçekleştirdiği çalışmalar ile bana yol gösteren, proje çalışması kapsamında da iz element analizlerini gerçekleştiren Sn. Doç. Dr. Akif ARI hocama ve analizlere olan desteğinden dolayı Sn. Araş Gör. Pelin ERTÜRK ARI'ya,

Yağ ve yakıt analizlerini gerçekleştiren Sn. Doç. Dr. Melik KARA'ya,

Hava Kalitesi Araştırma Grubu hocalarım, Sn. Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÖZDEN ÜZMEZ, Sn. Dr. Hicran ALTUĞ ve tüm araştırma grubunda çalışan arkadaşlarıma,

Akademik faaliyetler içerisinde örnek aldığım hocam Sn. Dr. Ozan Devrim YAY'a,

Çevre Mühendisliği ve etik davranışlar hakkında bilgi ve birikimini benimle paylaşan meslek büyüğüm ve hocam Sn. Ethem TORUNOĞLU'na,

Aldığım tüm kararlarda yanımda olan, yaşamımın her noktasında izi olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen halam Öznur İLHAN HASOY'a,

Bu yaşıma kadar her daim bana inanan ve destek olan annem Jale İLHAN, babam Tamer İLHAN, tüm ailem ve yaşımdan büyük olgun davranışlarıyla bana destek olan sevgili kardeşim Bora Taylan İLHAN'a,

Son olarak, lisans ve lisansüstü eğitim sürecimde her zaman bana inanan ve destek olan, hayatımı renklendiren sevgili hayat arkadaşım Duygu AKSUY İLHAN'a

Ayrıca, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK 115Y611 nolu proje) tarafından desteklenmiş ve tarafıma burs desteği sağlanmıştır. Proje çalışmalarını destekledikleri ve sağladıkları burs desteğinden dolayı TÜBİTAK'a

Teşekkür ederim.

Gelecekteki bilimsel çalışmalara katkı sağlaması dileğiyle..

Soner Özenç İLHAN



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Soner Özenç İLHAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
TABLOLAR DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER DİZİNİ.....	xv
KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Genel Havacılık.....	6
2.2. Piston Motorlu Uçaklar ve Egzoz Emisyonları.....	6
2.3. Partikül Madde, İz Elementler ve Sağlık Etkileri	9
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	12
4. MATERYAL VE METOD	17
4.1. Projede Kullanılan Uçaklar ve Motor Parametreleri	18
4.2. Partikül Madde Örnekleme Sistemi ve Örnek Alma Prosedürü	19
4.3. Metal Analizleri.....	22
4.4. Elektron Mikroskop Analizleri	22
4.5. Yağ ve Yakıt Analizleri	23
4.6. Emisyon Faktörü/İndisi Hesaplamaları	23

5. BULGULAR	26
5.1. Motor Parametreleri.....	26
5.2. Partikül Madde Kütle Konsantrasyonu	34
5.3. Partikül Madde İz Element Emisyonları.....	40
5.4. Partikül Madde Elektron Mikroskop Analiz Sonuçları.....	52
5.5. Yağ ve Yakıt Sonuçları.....	55
5.6. Emisyon Faktörü/İndisi Sonuçları	56
5.7. Yer Koşulları (Taxi-in ve Taxi-out) Gerçek Uçuş Emisyon Verileri	72
6. SONUÇLAR.....	77
7. KAYNAKÇA	80
ÖZGEÇMİŞ	87

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 4.1. Saha çalışma takvimi (RFM: Rich Fuel Mixture, BP: Best Power, BE: Best Economy).....	17
Tablo 5.1. 11.07.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları	41
Tablo 5.2. 24.07.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları	42
Tablo 5.3. 24.07.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları	43
Tablo 5.4. 27.07.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları	44
Tablo 5.5. 27.07.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları	45
Tablo 5.6. 11-12.09.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları	46
Tablo 5.7. 11-12.09.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları	47
Tablo 5.8. 11-12.09.2018 tarihli BE yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları	48
Tablo 5.9. 03-04.01.2019 tarihli FR yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları	49
Tablo 5.10. 03-04.01.2019 tarihli BP yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları	50
Tablo 5.11. 03-04.01.2019 tarihli BE yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları	51
Tablo 5.12. Yağ ve yakıt analiz sonuçları.....	55
Tablo 5.13. 11.07.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları	59
Tablo 5.14. 24.07.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları	60
Tablo 5.15. 11.07.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları	61
Tablo 5.16. 27.07.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları	62
Tablo 5.17. 27.07.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları	63
Tablo 5.18. 11-12.09.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları	64
Tablo 5.19. 11-12.09.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları	65
Tablo 5.20. 11-12.09.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları	66
Tablo 5.21. 03-04.01.2019 tarihli FR yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları	67
Tablo 5.22. 03-04.01.2019 tarihli BP yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları	68
Tablo 5.23. 03-04.01.2019 tarihli BE yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları	69
Tablo 5.24. Tecrübe uçuşu - 1 uçak içi verileri.....	74
Tablo 5.25. Tecrübe uçuşu - 2 uçak içi verileri.....	75

Tablo 5.26. Tecrübe uçuşu PM ve iz element kütle emisyonları	76
---	----



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1..ICAO'nun LTO Döngüsüne ait görsel (http-1).....	2
Şekil 1.2. Çalışma Alanı.....	3
Şekil 2.1. Ses Altı Hava Araçlarında Kullanılan Motorlar (Altuntaş vd., 2018).....	5
Şekil 2.2. Piston motor çalışma şeması (http-2).....	7
Şekil 2.3. Uçak motoru emisyonları (Masiol vd., 2014)	8
Şekil 2.4. PM boyutlandırması (http-3).....	10
Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan piston motorlu uçak (Soner Özenç İLHAN, 2018)	18
Şekil 4.2. Uçak içi göstergeleri (Soner Özenç İLHAN, 2018).....	19
Şekil 4.3. Örneklemme akış şeması.....	20
Şekil 4.4. Örnek alma sistemine ait görsel	21
Şekil 4.5. Yağ ve yakıt numune alma görseli (Soner Özenç İLHAN, 2018)	23
Şekil 5.1. Yakıt tüketim grafiği	27
Şekil 5.2: Tüm örneklemelere ait yakıt tüketim grafikleri	28
Şekil 5.3. Manifold basınç grafiği	29
Şekil 5.4:Tüm örneklemelere ait manifold basınç grafikleri.....	30
Şekil 5.5. Silindir baş sıcaklık grafiği	31
Şekil 5.6. Tüm örneklemelere ait silindir baş sıcaklık grafikleri.....	32
Şekil 5.7. Egzoz gaz sıcaklık grafiği	33
Şekil 5.8. Tüm örneklemelere ait egzoz gaz sıcaklık grafikleri	34
Şekil 5.9. Partikül Madde kütle emisyonu.....	35
Şekil 5.10. Tüm örneklemelere ait PM kütle emisyon grafikleri	36
Şekil 5.11. Partikül Madde kütle konsantrasyonu	37
Şekil 5.12. Tüm örneklemelere ait PM konsantrasyon grafikleri.....	38
Şekil 5.13. FR yakıt karışımı altında örneklenen filtreleere ait görsel.....	39
Şekil 5.14. BP yakıt karışımı altında örneklenen filtreleere ait görsel.....	40
Şekil 5.15. BE yakıt karışımı altında örneklenen filtreleere ait görsel.....	40
Şekil 5.16. SEM analiz sonuçlarına ait görsel (Turgut vd., 2019)	54
Şekil 5.17. Ortalama kütle emisyon faktörü değerleri.....	56
Şekil 5.18. Ortalama Pb emisyon faktörü değerleri.....	57
Şekil 5.19. FR yakıt karışımı altında İz element emisyon faktörü	70
Şekil 5.20. BP yakıt karışımı altında İz element emisyon faktörü	71

Şekil 5.21. BE yakıt karışımı altında İz element emisyon faktörü 72



SİMGELER DİZİNİ

Li	: Lityum
Be	: Berilyum
B	: Bor
Na	: Sodyum
Mg	: Magnezyum
Al	: Alüminyum
K	: Potasyum
Ti	: Titanyum
S	: Kükürt
Ca	: Kalsiyum
V	: Vanadyum
Cr	: Krom
Mn	: Manganez
Fe	: Demir
Co	: Kobalt
Ni	: Nikel
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
Ga	: Galyum
Ge	: Germanyum
As	: Arsenik
Se	: Selenyum
Rb	: Rubidyum
Sr	: Stronsiyum
Zr	: Zirkonyum
Nb	: Niyobyum
Mo	: Molibden
Ag	: Gümüş
Cd	: Kadmiyum
In	: İndiyum
Sn	: Kalay

Sb	: Antimon
Te	: Tellür
Cs	: Sezyum
Ba	: Baryum
La	: Lantan
Sm	: Samaryum
Eu	: Evropiyum
Ho	: Holmiyum
Yb	: İterbiyum
Hf	: Hafniyum
Ta	: Tantal
W	: Tungsten
Pb	: Kurşun
Bi	: Bizmut
Th	: Toryum
U	: Uranyum
P	: Fosfor
N	: Azot
HC	: Hidrokarbon
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
NO _x	: Azotoksit
NO	: Azotmonoksit
NO ₂	: Azotdioksit
SO _x	: Kükürtoksit
SO ₂	: Kükürtdioksit
H ₂ O	: Su
UOB	: Uçucu Organik Bileşikler
HNO ₃	: Nitrikasit
H ₂ SO ₄	: Sülfürikasit
Pb(C ₂ H ₅) ₄	: Tetraetilkurşun
NH ₃	: Amonyak
HCl	: Hidroklorikasit

H ₂ O ₂	: Hidrojenperoksit
°C	: Santigrad derece
L	: Litre
mL	: Mililitre
mg	: Miligram
µg	: Mikrogram
kg	: Kilogram
inHg	: İnç civa
sa	: Saat
dk	: Dakika
PM _{2,5}	: Aerodinamik yarıçapı 2,5µm'nin altında olan partikül maddeler
PM ₁₀	: Aerodinamik yarıçapı 10µm'nin altında olan partikül maddeler
SN	: Soot Number

KISALTMALAR DİZİNİ

ICAO	: International Civil Aviation Organization
BM	: Birleşmiş Milletler
LTO	: Landing and Take-off Cycle
PM	: Partikül Madde
KOAH	: Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı
COVID – 19	: Koronavirüs Hastalığı
EC	: Elementel Karbon
OC	: Organik Karbon
PTFE	: Teflon (Polytetrafluoroethylene)
PP	: Polipropilen
EPA	: Environmental Protection Agency
SEM	: Scanning Electron Microscope
MAP	: Manifold Air Pressure
CHT	: Cylinder Head Temperature
EGT	: Exhaust Gas Temperature
FF	: Fuel Flow
FR	: Full Rich
BP	: Best Power
BE	: Best Economy
ESTÜ	: Eskişehir Teknik Üniversitesi
TIM	: Time in mode

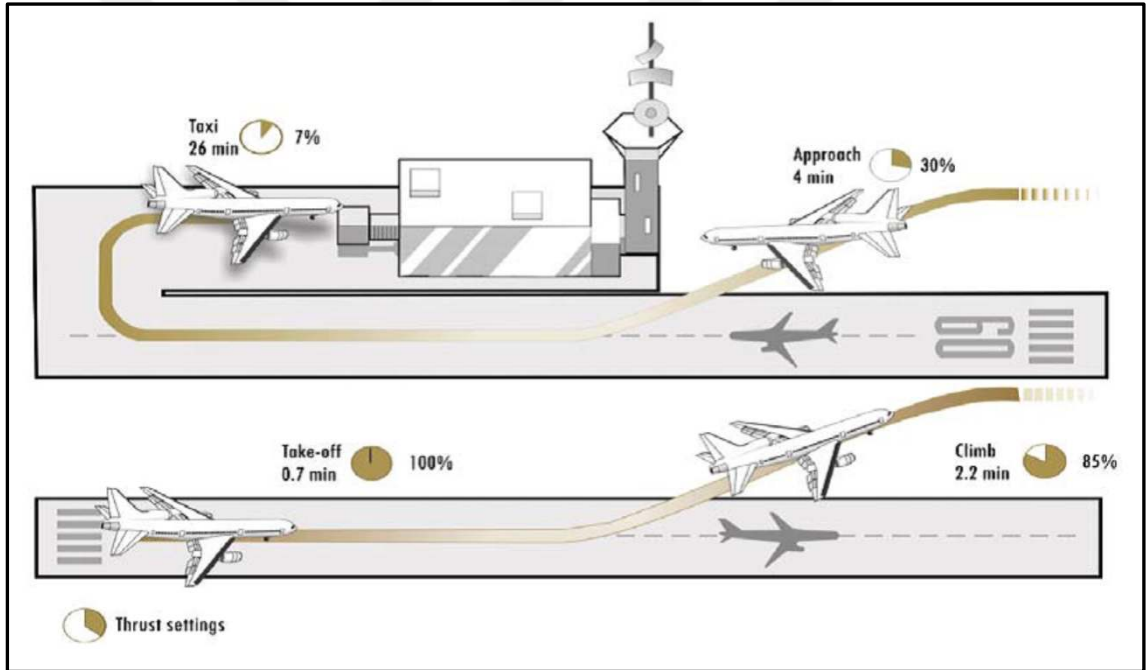
1. GİRİŞ VE AMAÇ

Dünyamız 4,5 milyar yıldan daha uzun zamandır var olduğu çeşitli bilimsel çalışmalar ile ortaya koyulmuştur. Bu süre zarfında Dünyamızın pek çok kırılma noktası olduğu söylenebilir. Ancak son üç yüz yılın en büyük kırılma noktası olan sanayi devrimi, insanlığın yaşamını, alışkanlıklarını ve Dünyamızı yeniden şekillendirmiştir. Sanayi devrimi ile makineleşme ve seri üretim artmış, artan üretim ile tüketim alışkanlıkları değişmiştir. Değişen alışkanlıklar tüketim odaklı bir yaşam inşa etmiştir. 2000'lere gelindiğinde teknolojik gelişmeler ile birlikte insanlık farklı bir noktaya yönelmeye başlamıştır. Gelişen teknoloji ile ulaşım, nakliye, iletişim gibi kavramlar insanlığın yaşamının merkezine oturmuştur. Bu gelişmeler insan yaşamını kolaylaştırmış, yeni teknolojilerinde önünü açmıştır. Ancak tüketim ve insan odaklı bu gelişmeler Dünyamızın doğal dengesinin bozulmasına ve çevresel felaketlerin yaşanmasına neden olmuştur. 1952 yılı Londra Episodu gibi lokal felaketlerin yanında küresel ısınma gibi büyük çevre felaketleri insanlığın yaşamında yerini almıştır. 1972 yılında Stockholm'de düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre Konferansı, çevre politikaları açısından bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir. Böylelikle çevre felaketleri ile ilgili uluslararası alanda bir farkındalık oluşturulduğu söylenebilir. Ancak 1972 Stockholm'de İnsan ve Çevre Konferansı Bildirgesi yayınlanırken, 2012 Rio'da Sürdürülebilir Kalkınma Konferansının bildirgesi yayınlanmıştır. Yıllar içerisinde başlangıçtaki temel hedeflerden uzaklaşmış, süreç içerisinde ülkeler ya da büyük üreticiler verdikleri çevresel hedeflerin uzağında kalmışlardır. Tüm bu gelişmelere karşın bilim insanları çevreye ve insanlığa faydalı teknolojiler üzerine çalışmalarına devam etmişlerdir. Motorlu araçlarda kullanılan çevreci alternatif yakıtların geliştirilmesi, enerji kaynaklarında alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi, ambalaj atıklarının ayrıştırılarak geri kazanılması, karbon emisyonunun azaltılması için üzerinde çalışılan teknolojiler 21. Yüzyılda umut vadeden gelişmeler olmuştur.

Teknolojinin gelişmesi ile günümüzde insan ve yük taşımacılığı önem kazanmıştır. Tasarlanan yeni araçlar ile ulaşım ve taşımacılık daha kolay hale gelmiştir. Ancak bu araçlarda kullanılan fosil yakıtlar çevreye zarar veren kirletici emisyonların oluşmasına neden olmaktadır. Hava taşımacılığına bakacak olursak, sivil havacılık kabaca her yıl %5 büyümektedir. Bu büyüme hava trafiğinin ve dolayısı ile kirletici emisyonlarında aynı

oranda artmasına neden olacaktır. Aslında gelişen teknoloji ile kirletici emisyonların azaltılmasına yönelik, yeni yakıt ve uçak motorları üzerine çalışmalar yürütülmektedir.

Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (International Civil Aviation Organization – ICAO) sivil havacılık faaliyetleri ile ilgili uluslararası otorite kuruluşudur. ICAO 1947 yılında kurulmuştur ve Birleşmiş Milletler (BM) yasal havacılık organı olarak kabul edilmektedir. ICAO sürdürülebilir havacılık yakıtı ve karbon emisyonu azaltılması gibi çevresel konular üzerine çalışmalar sürdürmektedir. Ayrıca, ICAO LTO döngüsü (Landing and take-off cycle) ile, içerisinde belirli uçak motorlarına ait Hidrokarbon (HC), Karbonmonoksit (CO), Azotoksitler (NO_x) ve is miktarı (Soot Number – SN) parametrelerini emisyon veri tabanında açıklamaktadır. Böylece farklı uçak motorlarının motor emisyonları incelenebilmekte ve yenilenen motorlardaki emisyon değişimleri gözlenebilmektedir.

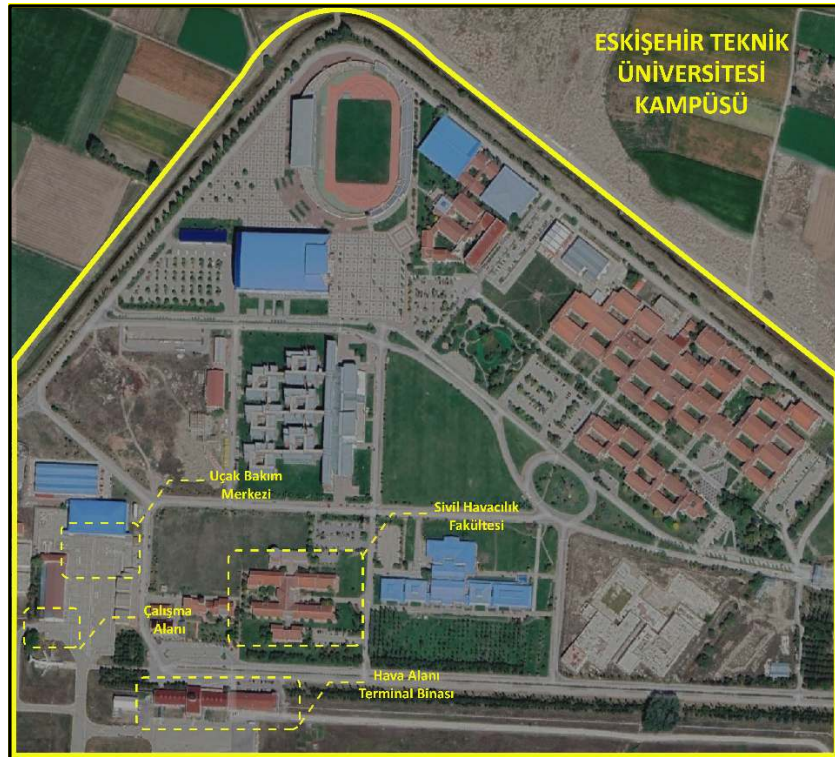


Şekil 1.1..ICAO'nun LTO Döngüsüne ait görsel (<http-1>)

LTO döngüsü uçakların havaalanı içerisinde ve kalkış sırasında karışım yüksekliğine kadar olan sürecini kapsamaktadır. Bu yükseklik 3000ft (914 m) ve altında kalan mesafeyi kapsamaktadır. Böylelikle uçak motorlarının park pozisyonunda çalıştırılması, aprondan kalkış yapacağı pist başına kadar gerçekleştirdiği taksi işlemi ya da iniş sonrası aprona dönüş işlemi ve kalkış ile iniş sırasındaki emisyonlarının belirlenmesini ve bu emisyonlardan kaynaklanan bölgesel ve küresel hava kirliliğinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. ICAO emisyon veri tabanı 26,7 kN'dan daha fazla itiş gücüne sahip uçak motorlarını kapsamaktadır. Yukarıda belirtilen HC, CO, NO_x ve SN parametreleri

dört ayrı motor gücü seviyesi için incelenmektedir. Bu motor güç seviyeleri %7, %30, %85 ve %100 şeklinde belirlenmiştir. %7'lik motor güç seviyesi uçakların pist üzerindeki ilerleyişini yani Taksi sürecini, %30'luk motor güç seviyesi uçakların iniş sırasındaki yaklaşma olarak adlandırılan sürecini, %85'lik motor güç seviyesi uçağın havalandıktan sonraki tırmanış olarak adlandırılan sürecini, %100'lük motor gücü uçağın pistten havalanmasına kadar olan kalkış sürecini temsil etmektedir. Uçak motorları ile ilgili yürütülen çalışmalarda LTO döngüsünde belirtilen motor güç seviyeleri ya da üzerinde değişiklik yapılan yeni motor güç seviyeleri ile örneklemeler gerçekleştirilmiştir. Masiol vd. 2014 yılında yayınladıkları makale ile yapılan çalışmaları derlemişlerdir.

Bu çalışma kapsamında, 26,7KN'dan daha az itiş gücüne sahip Genel Havacılık alanında faaliyet gösteren piston motorlu ve turboprop motorlu uçakların emisyonlarının belirlenmesi, emisyon indislerinin hesaplanması ve gerçek uçuş verileri ile kıyaslanması amaçlanmıştır. Çalışma, Eskişehir Teknik Üniversitesi kampüsü içerisinde bulunan Hasan Polatkan Havaalanı hangarlar bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan piston motorlu TB-20, piston motorlu Tiger-AA5 ve turboprop motorlu Beechcraft C90 tipi uçaklar üniversite envanterine kayıtlı gayrifaal durumdaki eğitim uçaklarıdır. 2018 ve 2019 yılları içerisinde gerçekleştirilen saha çalışmaları toplamda 12 günde gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanına ait görsel Şekil 1.2'de verilmiştir.

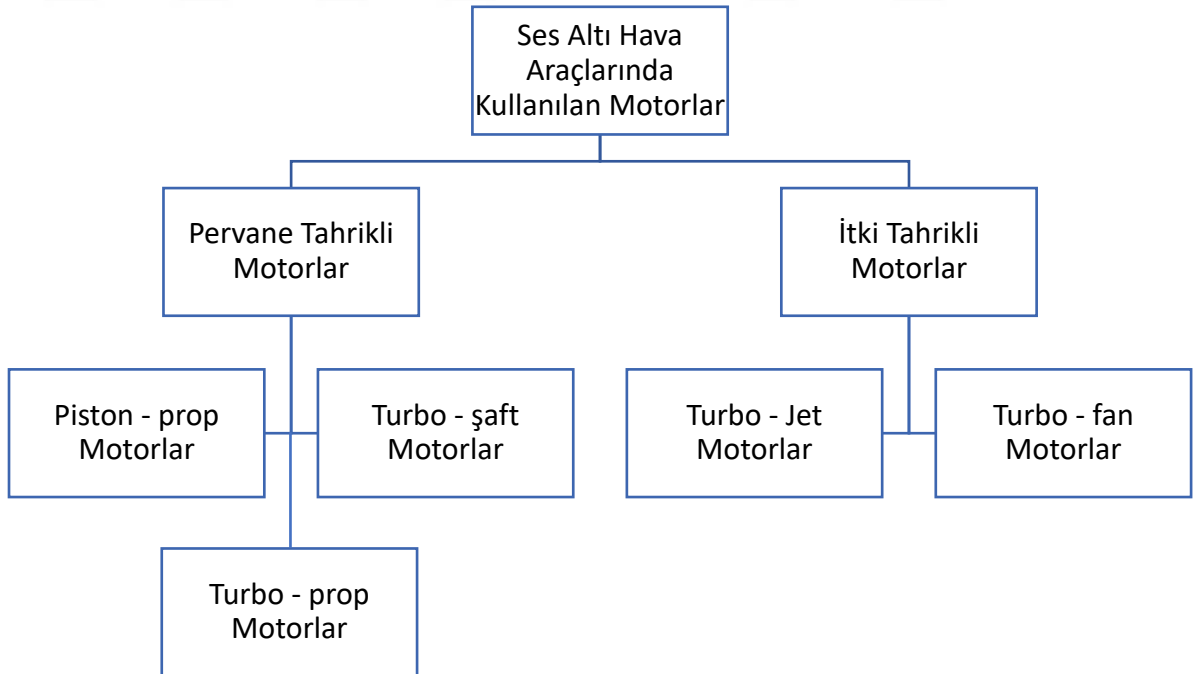


Şekil 1.2. Çalışma Alanı

ICAO'nun LTO döngüsünde belirttiği motor itiş gücünden farklı olarak piston motorlu uçaklarda rölanti (idle), 1000 RPM, 1250 RPM, 1500 RPM, 1750 RPM ve 2000 RPM motor devri; turboprop motorlu uçakta ise rölanti motor devrinde örneklemeler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca piston motorlu uçaklarda yakıt karışımı ayarlanabilmektedir. Bu nedenle çalışmanın belli bölümlerinde üç farklı yakıt karışımında farklı motor devirlerinde emisyon örnekleme gerçekleştirilmiştir. Yapılan örneklemelerin sonucunda elde edilen partikül madde örneklerinin öncelikle kütle emisyonlarının belirlenmesi ardından gerçekleştirilecek ağır metal analizleri ile partikül madde içerisindeki özellikle kurşun ve diğer ağır metallerin emisyonlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca Hasan Polatkan Havaalanı ve envanterde bulunan eğitim uçakları aktif olarak kullanılmaktadır. Aktif uçuşlarda kayıt altına alınan veriler ile çalışma esnasında örneklenen sonuçların kıyaslanması da çalışmaya farklı bir yaklaşım katmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

İlkel çağlarda tehlikelerle dolu bir Dünyada savunmasız kalan insanlar, bu olumsuzluktan kurtulmanın yolu olarak uçmayı hedeflemişlerdir (Çekderi, 2019). Bir makine yardımı olmadan uçmayı başaramayan ilk insanlar çözüm olarak yüksek yerlere çıkmış ya da çeşitli savunma yöntemleri geliştirmiştir. Ancak uçma isteği artarak devam etmiştir. Rönesans döneminde Leonardo Da Vinci'nin çizimleri ya da 17. YY'da Evliya Çelebinin Seyahatnamesinde bahsettiği Hazerfen Ahmet Çelebinin uçuş denemesi bunun en net kanıtı olarak düşünülebilir. İnsanlığın uçma isteği 1903 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Wright kardeşler tarafından gerçekleşmiştir. Wright Flyer'ın (İlk insanlı uçuşu gerçekleştiren Wright kardeşlerin uçaklarına verilen isim) ilk insanlı uçuşundan günümüze havacılık ve hava araçları büyük gelişim göstermiştir. Günümüzde kullanılan hava araçları kabaca pervane tahrikli motorlar ve itki tahrikli motorlar olmak üzere iki ana başlıkta sınıflandırılmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan uçaklar pervane tahrikli motorlar grubunda bulunan piston motorlu uçaklar ve turbo-prop motorlu uçaklardır. Ses altı araçlarında kullanılan motorlara ilişkin sınıflandırma Şekil 2.1'de verilmiştir.



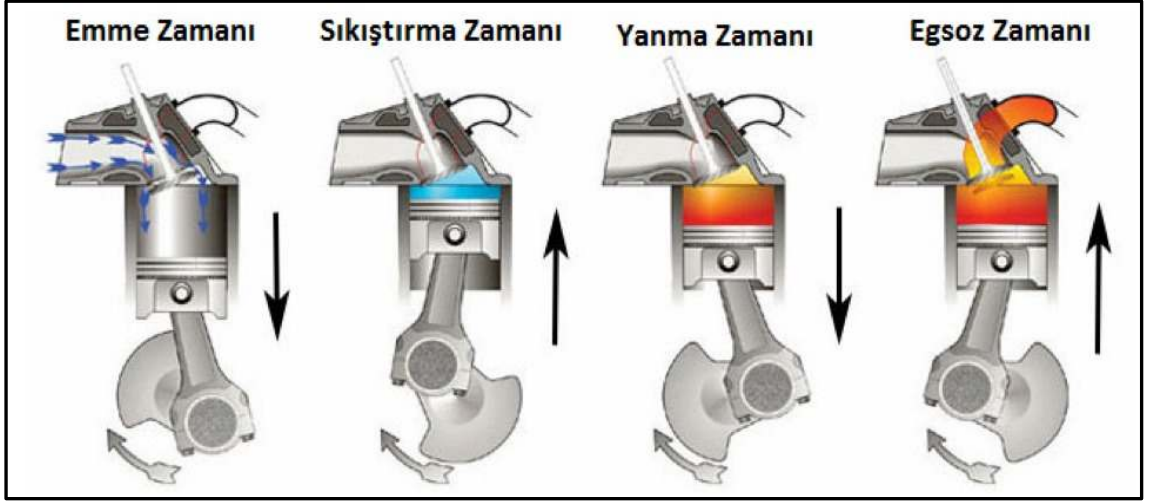
Şekil 2.1. Ses Altı Hava Araçlarında Kullanılan Motorlar (Altuntaş vd., 2018)

2.1.Genel Havacılık

Genel havacılık, temel olarak askeri ve tarifeli uçuşların dışında kalan tüm havacılık faaliyetleri olarak tanımlanmaktadır (GAMA, 2018). Genel havacılıkta kullanılan hava araçları tarımsal alanda kullanılan uçaklardan, helikopterlere, özel eğitim uçaklarından, iş jetlerine ya da tarifesiz uçuş gerçekleştiren uçaklara kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Turboprop, turbofan, piston motorlu ya da jet motorlu uçaklar genel havacılık alanında kullanılan uçak motorlarındandır. Ancak bunlar arasında genel havacılıkta en yaygın kullanılan motor tipi piston motorlardır (Yu vd, 2017). Özel pilot lisansı ile kullanılacak en ekonomik uçak tipi olan piston motorlu uçaklar Dünya üzerinde bulunan toplam uçak sayısının dörtte üçünü oluşturmaktadır (Altuntaş vd., 2018).

2.2.Piston Motorlu Uçaklar ve Egzoz Emisyonları

Motor, yakıtın yanması sonucu oluşan ısı enerjisini mekanik enerjiye çeviren makineler olarak tanımlanmaktadır. Kara araçlarında kullanılmaya başlanan piston motorlar yaklaşık 200 yıl sonra hava araçlarında da kullanılmaya başlanmıştır (Altuntaş vd., 2018). Bu sürecin başlangıcı Wright kardeşler ile olmasına karşın süreç içerisinde gelişme göstermiştir. Piston motorların çalışma sistemine kabaca bakılırsa, temelde kapalı bir silindir sistemi içerisinde hava ve yakıt karışımının basınç altında ateşleyici yardımıyla yanması ve oluşan ısı enerjisinin hareket enerjisine dönüştürülmesi olarak açıklanabilir. Yanma sonucunda oluşan gazlar piston içerisinde bulunan egzoz kısmından tahliye edilmektedir. Hava yakıt karışımı emme subabının açılması ile piston içerisine alınır. Ateşleme işlemi buji yardımı ile olmaktadır. Yanmanın gerçekleşmesi ile piston krank mili yardımıyla hareketine başlar ve tersi yönde hareketini gerçekleştirdiğinde egzoz subabı açılır ve yanma sonucu oluşan gazlar bu noktadan tahliye edilir. Piston motoruna ait çalışma görsel Şekil 2.2’de verilmiştir.

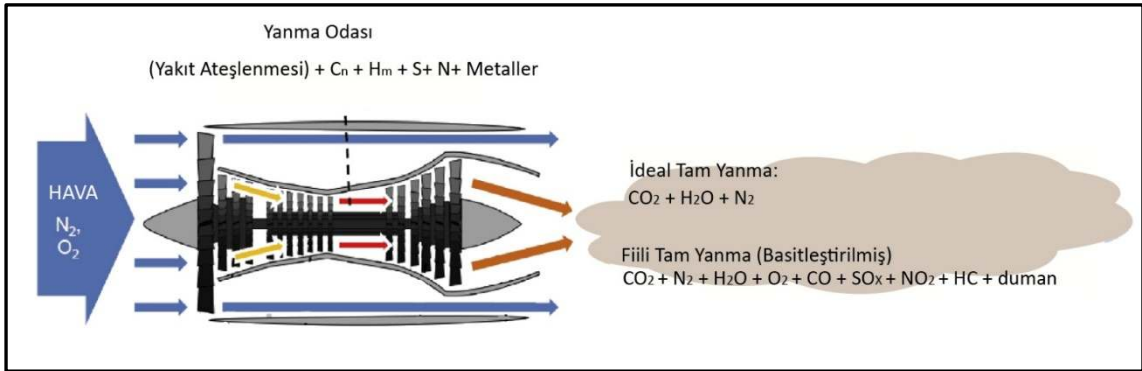


Şekil 2.2. Piston motor çalışma şeması (http-2)

Piston motorlu uçaklar yapı itibari ile gaz türbinli motorlardan farklıdır. Çalışma süreci içerisinde de diğer uçak motorlarının kullandığı yakıttan farklı bir uçak yakıtı kullanılmaktadır. Piston motorlu araçlarda genel olarak benzin kullanılmaktadır. Ancak havacılıkta kullanılan yakıt, kara taşıtlarında kullanılan benzin gibi ham petrolün damıtılması ile elde edilen bir yakıt olsa da yapı itibari ile bu yakıtlar birbirinden farklıdır. Havacılıkta kullanılan benzin katkı olarak kara taşıtlarından daha farklıdır. Süreç içerisinde piston motorlu araçlarda aşırı sıcaklık ve basınç kaynaklı vuruntu problemi ile karşılaşmıştır. Bu durumun önüne geçmek için 1921 yılında piston motorlu araçların yakıtına toksik etkileri olan tetraetil kurşun ($Pb(C_2H_5)_4$) eklenmiştir (Altuntaş vd., 2018). Yakıtın içerisindeki kurşun, yanmanın sonucunda diğer emisyonlar ile birlikte atmosfere yayılmaktadır. Kurşun bir ağır metaldir ve insan vücudunda birikim özelliği gösteren toksik bir kirleticidir. Kurşun maruziyeti sonucunda çocuk, genç ve hamilelerde sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Bu nedenle 2000’li yıllara gelindiğinde kara taşıtlarında kullanılan benzindeki tetraetil kurşunun kaldırılmıştır. Piston motorlu uçaklarda kullanılan yakıtta bulunan kurşun içeriği ise yakıt içerisinde azaltılmış ancak sıfırlanamamıştır. Kara taşıtlarında tetraetil kurşunun kullanılmaması ile büyük bir kurşun emisyon kaynağı ortadan kaldırılmıştır. Ancak piston motorlu hava taşıtı yakıtlarında kullanılan tetraetil kurşunun günümüzde bir kurşun emisyon kaynağı olarak güncelliğini korumaktadır.

Kurşun, piston motorlu uçak emisyonlarını diğer hava araçlarından kaynaklanan emisyonlardan ayıran temel kirleticidir. Ancak genel olarak bakılacak olursa tüm motor sistemleri kullanılan yakıt ve motora giren hava doğrultusunda yanma işlemini gerçekleştirir ve yanmanın sonucu olarak kirletici emisyonuna neden olur. Bu kirleticiler;

Karbondiyoksit (CO_2), karbonmonoksit (CO), su buharı (H_2O), NO_x , kükürtoksitler (SO_x), uçucu organik bileşikler (VOC), Partikül Madde (PM) ve diğer eser elementler şeklindedir. Uçak motorlarından kaynaklanan kirlenici emisyonlarının yaklaşık olarak; %70'ini CO_2 , %30'undan biraz azını H_2O ve %1 ve daha azını NO_x , CO , SO_2 , VOC, PM ve diğer eser elementler oluşturmaktadır (Masiol vd., 2014). Uçak motorlarından kaynaklanan kirlenici emisyonlarına ait görsel Şekil 2.3'de yer almaktadır. Şekil 2.3' fan motorlu bir uçağa ait görsel yer almaktadır. Ancak genel anlamda uçak motorlarından kaynaklanan kirlenici emisyonlarını şematize etmesi adına tez içerisinde yer almaktadır.



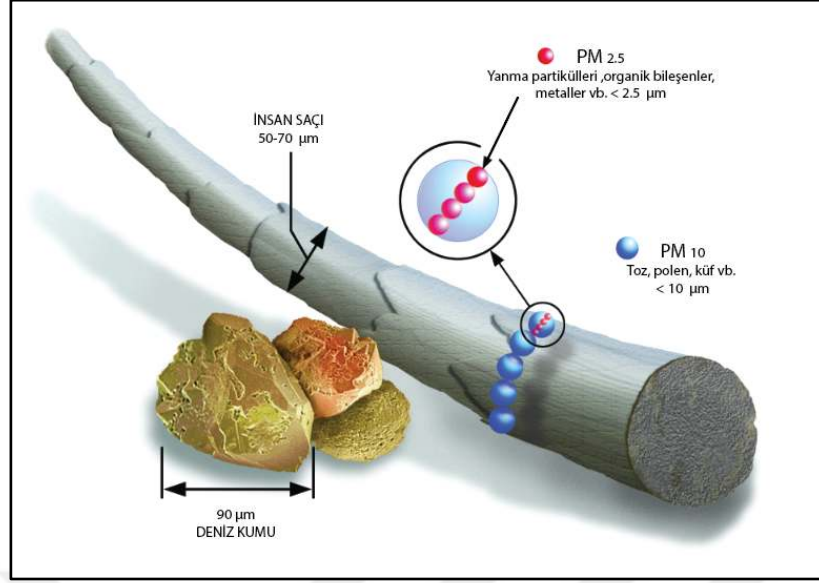
Şekil 2.3. Uçak motoru emisyonları (Masiol vd., 2014)

CO emisyonları; yakıtta bulunan karbonun eksik yanmasından kaynaklanmaktadır. Genellikle motorun verimsiz çalıştığı durumlar olan düşük devirlerde ve rölanti devrinde daha yüksek miktarda oluşmaktadır. Yüksek konsantrasyonda karbonmonoksit solunması kan dolaşımının, beyin ve kalp gibi kritik organların çalışma rutin ve hızının yavaşlamasına neden olacaktır. Yüksek konsantrasyonda maruziyet baş dönmesi, bilinç kaybı ve ölüme neden olabilir (http-4). CO_2 emisyonları; motorda yakıtın tam ve verimli yanması ayrıca kömür, doğalgaz gibi fosil yakıtların verimli yanması sonucunda oluşmaktadır. Motorların yüksek devir altında çalıştığı durumlarda CO_2 emisyonları artmaktadır (http-5). NO_x emisyonları; yüksek sıcaklık ve basınç altında yanma sonucunda oluşmaktadır. Havada bulunan azot ve oksijen motorun yanma süreci içerisinde NO_x 'e dönüşmektedir. NO ve NO_2 , NO_x olarak tanımlanmaktadır. Diğer azotlu bileşikler bu grup altında yer almamaktadır. Azot oksit emisyonları, karbondiyoksit gibi motorun verimli devirlerinde artmaktadır. Yüksek konsantrasyonda maruz kalınan bu emisyonlar insan vücudunda solunum yolu rahatsızlıklarına neden olabilir. Su buharı ya da akciğerlerdeki nemli ortamda tepkimeye girerek nitrik asit'e (HNO_3) dönüşebilir ve kansere neden olabilir, solunum sistemi tahriş edilebilir (http-6). SO_2 emisyonları; yakıt içerisindeki kükürt'ün oksijenle tepkimesi

sonucu oluşmaktadır. Azotoksitlerde olduğu gibi su buharı ya da akciğerlerdeki nemli ortamda tepkimeye girerek sülfürik asit'e (H_2SO_4) dönüşebilir. SO_2 'ye kısa süreli maruziyet diğer kirletici emisyonlarında olduğu gibi solunum yolu rahatsızlıklarına neden olabilir. Atmosferde diğer parçacıklarla reaksiyona girerek küçük parçacıklar oluşturabilir, bu durumda partikül madde kirliliğine katkıda bulunabilmektedir (http-7). VOC emisyonları; katı veya sıvılardan gaz halinde yayılırlar. Motorlarda kullanılan yakıtların içerisindeki katkı maddelerinden kaynaklanmaktadır. VOC'ler uzun süreli maruziyetlerde ciddi sağlık etkilerine neden olabilmektedir. Genellikle, göz, burun ve boğazın tahriş olması, baş ağrısı, karaciğer, böbrek ve merkezi sinir sistemi rahatsızlıklarına neden olmaktadır. VOC kaynakları; boyalar, boya çözücüler, ahşap koruyucular, yüzey temizleyiciler olarak sıralanabilmektedir (http-8). H_2O emisyonları, yüksek irtifada düşük dış ortam sıcaklığı kaynaklı uçak motorunda gözlenmektedir. Genel olarak bakıldığında su buharı temel yanma sonucu oluşmaktadır. Atmosferdeki su buharı yer yüzünden yansıyan güneş ışınlarını tutarak yer kürenin ısısının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle Dünya'nın sera etkisine en büyük katkıyı su buharının yaptığını söylemek doğru olacaktır. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa su buharının toplam sera etkisinin yaklaşık olarak %60'ına neden olduğu söylenebilir (http-9).

2.3.Partikül Madde, İz Elementler ve Sağlık Etkileri

Partikül Madde, katı partiküller ve sıvı damlacıkların karışımı olarak nitelendirilen ve uzun süre havada asılı kalabilen ve uzun mesafelerde taşınabilen, aerodinamik çapı 0,001 – 100 μm arasında olan parçacıklar bütünü olarak tanımlamaktadır (Prinz vd., 2022). Partikül maddeleri belli bir boyutta tanımlamak doğru olmayacaktır. Farklı boyutlara ve çeşitli kimyasal bileşime sahip bir aerosol karışımıdır (Ramirez vd., 2020). Toz, kum, saç teli, duman gözle görülebilecek boyutlardadır. Ancak gözle görülemeyecek boyutlarda da partikül maddeler mevcuttur. Bu partikül maddeler ancak elektron mikroskobu ile görüntülenebilmektedir. Genellikle literatürde partikül madde boyutları; aerodinamik çapı 10 μm ve daha küçük olan partikül (PM_{10}), aerodinamik çapı 2,5 μm ve daha küçük ($PM_{2,5}$) olmak üzere ayrılmaktadır (Prinz vd., 2022). PM_{10} ve $PM_{2,5}$ solunabilir boyutlardadır. Tek bir insan saç teli 70 mikrometre çapındadır ve $PM_{2,5}$ 'ten yaklaşık olarak 28 kat daha büyüktür. PM boyutlandırmasına ait görsel Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. PM boyutlandırması (<http-3>)

Partikül maddeleri oluşum mekanizmalarına göre birincil (primary) ve ikincil (secondary) olmak üzere iki ana başlık altında inceleyebiliriz. Birincil partiküller kaynağından doğrudan atmosfere salınırlar. İkincil partiküller ise kirletici gaz emisyonları ile atmosferde girdikleri kimyasal tepkime sonucunda oluşmaktadırlar. Yapısı itibarı ile partikül maddenin birçok kaynağı olabilir. Bu kaynakları doğal kaynaklar ve antropojenik kaynaklar olmak üzere iki ana başlığa ayırabiliriz.

Doğal kaynaklar toprak erozyonu, deniz tuzu, volkanik faaliyetler gibi doğrudan doğal oluşum kaynağından yayılan PM emisyonlarının sınıflandırıldığı kaynaklardır. Antropojenik kaynaklar endüstriyel faaliyetler, trafik kaynaklı emisyonlar, konut ısınması gibi insan kaynaklı faaliyetler sonucunda yayılan PM emisyonlarının sınıflandırıldığı kaynaklardır (Can, 2016).

Partikül madde farklı boyutlarda olmasına rağmen belli bir aerodinamik çapın altındaki partikül maddeler insan sağlığı için risk oluşturmaktadır. PM₁₀ ve özellikle ince partikül madde olarak nitelendirilen PM_{2,5} üst solunum yolu rahatsızlıklarına neden olmakta, solunum sisteminin en önemli parçası olan akciğerlerde dokulara zarar vermektedir (Prinz vd., 2022; Nie vd., 2018; Ramirez vd., 2020; Przybysz vd., 2014; Cong vd., 2011). Özellikle; bronşit, astım, KOAH, kardiyovasküler rahatsızlıklar doğrudan PM emisyonları maruziyeti ile ilişkilendirilmektedir (Nie vd., 2018). Ayrıca, son dönemde yaşamımızın bir parçası haline gelen COVID-19 pandemisi ile ilgili gerçekleştirilen araştırmalarda PM emisyonlarına maruz kalmanın koronavirüs'ün etkilerini arttırdığı düşünülmektedir (Prinz vd., 2022). PM emisyonları parçacık özelliğinin yanında atmosferde diğer hava kirleticilerinin oksidasyonu ile oluşur ya da

kaynağı itibari ile yapısında iz elementler bulundurabilir (Nie vd., 2018; Ramirez vd., 2020; Cong vd., 2011). İz elementlerin varlığı önem arz etmektedir. Özellikle PM emisyonlarında kanser yapıcı özellikteki Cd, As, Pb, Mn, V gibi iz elementlere rastlanılmaktadır (Nie vd., 2018). İz elementler üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda endüstriyel süreçler, konut faaliyetleri ve özellikle ulaşım kaynaklı faaliyetlerden PM emisyonlarında Cu, Pb, Zn, Cd, Ni gibi iz elementlere rastlanılmıştır (Cong vd., 2011). İz elementlere maruziyet diğer hava kirleticilerinde olduğu gibi çeşitli sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Özellikle tez konusu kapsamında incelenen Pb elementine maruz kalınması sonucunda, nörolojik sorunlar, akciğer sorunları, böbrek fonksiyonlarında bozulma, kan basıncında düşme, hamilelerde düşük riski ve zihinsel gelişiminde sorun yaşanmış çocuk doğumları gibi rahatsızlıklara neden olmaktadır (Ramirez vd., 2020; Przybysz vd., 2014). Pb'a maruz kalım özellikle çocuklarda ciddi sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Kanda 5 µg/dL ve hatta altındaki kurşun miktarı bile özellikle çocuklarda zihinsel gerilik, hiperaktivite ve dikkat eksikliği, nörolojik davranış bozuklukları gibi sağlık sorunlarının görülmesine neden olmaktadır (Hernanz vd., 2020). PM emisyonlarının sağlık etkilerinin yanında küresel iklim değişikliği ve bölgesel hava kalitesinde azalma gibi diğer çevresel sorunlar üzerindeki etkileri bilinmektedir (Nie vd., 2018; Cong vd., 2011).

3. LİTERATÜR TARAMASI

Uçak motorları emisyonları ve uçak motorlarından kaynaklanan bölgesel ve genel hava kirliliği konuları ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar ile ilgili literatür taraması yapıldığında ilk etapta turbofan motorlu uçakların gaz emisyonları ile ilgili yapılan çalışmalara rastlanmaktadır. Uçak motoru kaynaklı kirletici emisyonların belirlenmesi, standart testlerinin yapılması ve literatür oluşturulması 1970'li yıllara dayanmaktadır. 1970'lerin sonlarına doğru ICAO ilk kez 26,7 kN ve üzeri itiş gücüne sahip uçak motorlarının motor çıkış emisyonlarının LTO fazlarında belirleyerek bir veri bankası oluşturulmasına başlamıştır. Oluşturulan bu veri bankası üzerinden ya da ICAO'nun LTO fazı baz alınarak günümüze kadar pek çok araştırma yapılmıştır. Uçak motoru emisyonları ve hava kalitesine olan etkilerinin araştırılması ICAO ve LTO standartları ile sınırlı kalmamıştır. Uçak motorlarından kaynaklanan kirletici emisyonlar ile ilgili yapılan literatürdeki bazı çalışmalar bu başlık altında incelenmiştir.

Agraval vd. (2008), yaptıkları çalışmada iki adet CFM56-7 ve iki adet CFM56-3 tip motor emisyonları üzerine çalışmışlardır. ICAO'nun LTO fazını modifiye ederek; %4-%7, %30-%40, %65 ve %85 motor güç seviyelerinde örnekleme gerçekleştirmiştir. %100 motor güç seviyesini yer koşullarındaki örnekleme sorunlarından dolayı örnekleme setinden çıkartmışlardır. Çalışma kapsamında genel olarak PM kütlesi, elementel karbon EC ve organik karbon OC, iz elementler ve iyon emisyonlarına ait emisyon faktörü hesaplanmıştır. PM emisyonlarının kalkış ve iniş gibi yüksek motor gücü harcanan seviyelerde önemli seviyelere ulaşmıştır. PM emisyonlarının elementel karbon (EC) kısmının motor güç seviyesindeki artışla orantılı bir şekilde arttığı gözlenmiş, ancak iz element sonuçları ile motor güç seviyeleri arasında doğrudan bir ilişkiden bahsetmek mümkün değildir.

Delhaye vd. (2017), Snecma/NPO Saturn SaM146-1S17 turbofan uçak motoru üzerinde bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada LTO döngüsünde yer alan itiş güçleri %7, %30, %85 ve %100 motor güç seviyeleri ile birlikte seyir koşullarını da temsil etmesi açısından %70 motor güç seviyeleri üzerinde örnekleme gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada PM emisyonlarının sayı konsantrasyonu, kütle konsantrasyonu, PM boyut dağılımı, elementel karbon (EC), organik karbon (OC) ve yapısal morfolojisi incelenmiştir. Çalışma örnekleme yöntemi itibariyle diğer çalışmalardan farklıdır. Motor egzoz düzleminde robotik kol yardımı ile radyal ve açısal örnekleme

gerçekleştirilmiştir. Örneklemeler 4 açısız pozisyonda ve +130° açıda 9 nokta üzerinde radyal olarak gerçekleştirilmiştir. PM bileşim olarak incelendiğinde %3 oksijen, %0,1 kükürt, %97 karbon içeriğe sahip olduğu görülmüştür. Yağlama yağından kaynaklanan eser miktarda Ca, Ba ve P elementleri gözlenmiştir. PM organik karbon içeriğinin güç seviyesinin artışıyla azaldığı görülmüştür.

Yu vd. (2017), CF34-3A1 turbofan motor ve TPE331-6-252B turboprop motor üzerinde çalışma gerçekleştirmişlerdir. CF34-3A1 motoru için %16, %18, %35, %50 ve %100'lük motor güç seviyelerinde, TPE331-6-252B motoru için %26, %42, %51, %56, %89 ve %100'lük motor güç seviyelerinde örneklem işlemleri gerçekleştirilmiştir. TPE331-6-252B turboprop motorunun PM emisyon değerlerinin CF34-3A1 motoru turbofan motoruna ait PM emisyon değerlerinden daha fazla olduğu gözlenmiştir. Her iki motor için PM emisyonlarının en düşük değeri ortalama motor güç seviyesi olan %40-%60 motor güç seviyelerinde elde edilmiştir. Bu sonuç doğrultusunda artan motor güç seviyesi ile PM emisyonları arasındaki ilişkiyi gösteren grafikte U-Şekli ortaya çıkmıştır. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmada da gözlenmiştir.

Presto vd. (2011), yaptıkları çalışmada CFM56-2B1 motoru üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada %4, %7, %30 ve %85 motor gücü üzerinde örneklemeler gerçekleştirmişlerdir. Örneklem sırasında 3 prob girişi kullanılmıştır. ilk prob egzoz düzlemi üzerinde diğer iki prob ise egzoz düzleminin 7,6 cm altında ve üzerinde konumlandırılmıştır. Süreç içerisinde toplam PM kütlesi, OC ve EC sonuçlarına odaklanılmıştır. Toplam kütle emisyonlarının %4 ve %85 motor güç seviyesinde en yüksek seviyelere ulaştığı görülmüştür. Ayrıca düşük motor güç seviyelerinde OC sonuçlarının, yüksek motor güç seviyelerinde ise EC sonuçlarının hakim olduğu görülmüştür.

Lobo vd. (2015), yaptıkları çalışmada iki temel konu üzerine odaklanmışlardır. İlk olarak Hartsfield-Jackson Atlanta Uluslararası Havaalanında (ATL) faal haldeki bazı uçak motorların egzoz düzlemindeki PM örnekleme işlemleri gerçekleştirilmesi, ikinci olarak da havaalanı operasyonlarını hedefleyen ve operasyon alanından 100 – 350 m uzaklıkta gerçekleştirilen PM örnekleme işlemlerini içermektedir. Egzoz düzleminde gerçekleştirilen örneklem çalışmalarında JT8D-219, PW2037 ve CF6-80 motorları kullanılmıştır. ICAO'nun LTO döngüsüne karşılık gelen %7, %30, %85 ve %100'lük motor güç seviyeleri baz alınmış ancak motorlar üzerinde bazı modifikasyonlar gerçekleştirilmiştir. Örneklem sürecinde prob, egzoz düzleminin 1m uzaklıkta

konumlandırılmış, direk kaynak çıkışından örnekleme gerçekleştirilmemiştir. Birbirini takip eden üç gün içerisinde PM kütle emisyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. aynı güç seviyelerinde farklı motorlara ait örnekleme sonuçlarının farklılık gösterdiği gözlenmiş, bu durum kullanılan farklı motor teknolojilerine bağlanmıştır.

Vander Wal vd. (2016), NASA öncülüğünde gerçekleştirdikleri bu çalışmada, B737, Lear, ERJ ve A300 uçaklarının egzozlarından PM emisyonlarının X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ile analizi amaçlanmıştır. Çalışma sırasında prob, Lobo v.d., nin çalışmalarında uyguladığı gibi motor egzoz düzleminden uzakta konumlandırılmıştır. Çalışmada özellikle yakıt içeriğinde Na, Ba, Ca, Zn, P ve Sn elementlerinin bulunduğuna dikkat çekmişlerdir. PM örneklerinin içeriğinde özellikle N ve Na elementleri bulunmuş, bu elementlerden azotun oksijen ile birlikte yakıttan ziyade motor içerisindeki yanma sürecinde havadan kaynaklandığı belirtilmiştir. Yüksek N elementi içeriğinin egzozdaki yüksek sıcaklık altında NO_x oluşum eğiliminde olduğu not edilmiştir. Analiz sonuçlarında elementel olarak S elementine rastlanmamış, ancak oksit formlarına rastlanmıştır. Elementel analiz sonuçlarında gözlenen; Al, Ni ve Co elementlerinin türbin fan malzemelerinden, Cr elementinin ise paslanmaz çelik yapıların aşınmasından, Ca, Mg, Na ve Ba elementlerinin ise genellikle yağlama yağlarından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Pranis vd. (2017), Yunanistan'ın Midilli adasında bulunan havaalanında yapılan ölçümler ile uçakların iniş, taksi ve kalkış operasyonlarındaki PM emisyonlarının belirlenmesi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın önemini, havaalanlarından kaynaklı yerel hava kalitesi bozulmalarının son yıllarda sıkça konuşulan konular arasında olduğu ve özellikle ada gibi atmosferik koşulları çok bozulmamış noktalarda çok daha önem arz ettiği şeklinde açıklamışlardır. Bu bağlamda çalışma kapsamında havaalanı içinde ve 3km uzaklıktaki bir noktada PM örnekleme süreci gerçekleştirilmiş ve kütle konsantrasyonu, boyut dağılımı ve kimyasal bileşimleri sonuçları elde edilmiştir. Örnekleme tarihleri özellikle uçuşların yoğun olduğu zamanlar olarak seçilmiştir. Sonuçlarda havacılık faaliyetleri ile ilişkilendirilen S elementine ait sonuçların yüksek çıktığı gözlenmiştir. Genel olarak ultra ince PM emisyonlarının fazla olduğu, bu durumun havacılık faaliyetleri ile ilişkili olduğu ve insan sağlığı üzerinde potansiyel riskler oluşturacağı not edilmiştir.

Vander Wal vd. (2014), CFM-56-3 motorundan kaynaklanan PM emisyonlarının belirlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan uçak motorunda yakıt olarak JP-8 jet uçak yakıtı kullanılmıştır. Örneklemede %4-%7, %30, %45, %85 ve %100'lük motor güç seviyeleri üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Örneklemler motor egzoz düzlemi üzerinde egzoz çıkışından 1 m ve 30 m uzaklıkta gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara genel olarak bakıldığında rölanti motor güç seviyesi ve uçak kalkışı için kullanılan %100'lük motor güç seviyesi için elde edilen sonuçlarda PM emisyonlarının morfolojik yapısının insan sağlığı açısından olumsuz etkileri olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Egzoz düzleminde çıkış noktasından 30 m uzaklıkta gerçekleştirilen örneklerde ise PM emisyonlarında çekirdeklenme olmadığı gözlenmiştir.

Chen vd. (2017), incelenen diğer örnekleme süreçlerinden daha farklı bir çalışma üzerinde durmuşlardır. Çalışmada dört silindirli dizel bir motoru modifiye ederek tek silindirli bir motor üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada dizel, RP3 (Kerosen) ve FT (Kerosene alternatif yakıt) olmak üzere üç farklı yakıt kullanılmıştır. Motor güç devri her örnekleme için 1600 RPM'e ayarlanmış, ancak farklı motor iç basınçları altında örnekleme gerçekleştirilmiştir. Örneklemede baz alınan motor iç basınçları 2,4,6 ve 8 bar olarak kayıt altına alınmıştır. Çalışma sonucunda, yakıtta bulunan kükürt içeriğinin PM emisyon oluşumunu etkileyen faktörlerden biri olduğu not edilmiştir. Yakıtlara bakıldığında RP3 yakıtının kükürt içeriğinin % 0,026, dizel yakıtının kükürt içeriğinin %0,0048, FT yakıtının kükürt içeriğinin ise % 0 olduğu belirtilmiştir. RP3 ve FT yakıt kullanımı ile partikül madde emisyonlarında etkili bir azalma olduğu gözlenmiştir. RP3 düşük motor çalışma koşullarında, dizel yakıt ise yüksek motor çalışma koşullarında PM oluşumu gözlenmiştir. FT yakıt ise tüm test koşullarında en düşük PM emisyonu gözlenmiştir.

Rindlisbacher vd. (2007), St. Stephan Havaalanı'nda gerçekleştirdikleri çalışmada piston motorlu uçakların emisyonları üzerine yoğunlaşmışlardır. Çalışmanın çıkış temeli kurşunsuz AVGAS yakıtı üzerine çalışmalar gerçekleştirmektir. Yapılan planlamaya göre ilk olarak, zengin yakıt karışımı altında piston motorlu uçakta AVGAS 100LL (düşük kurşun içerikli) yakıtı kullanarak partikül örneklemeleri gerçekleştirmektir. İkinci olarak, zengin yakıt karışımı altında piston motorlu uçakta AVGAS 91/96UL (kurşunsuz) yakıt kullanılarak partikül madde örnekleme gerçekleştirilmektedir. Zengin yakıt karışımı altında AVGAS 100LL yakıtı kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada farklı

motor güç değerleri için PM parçacık çapı 49-108nm arasında değişmektedir. AVGAS 100LL yakıtının kullanıldığı örneklemelerde is (soot) ve PbBr₂ (kurşun bromür) parçacıklarına rastlanmıştır. Yakıt içerisindeki kurşun birikimini önlemek için AVGAS 100LL yakıtı içerisinde bromür katkısı bulunmaktadır bilgisi çalışma raporunda not edilmiştir. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa, AVGAS 91/96UL yakıtına ait sonuçlarda PM kütle ve sayı konsantrasyonlarının düştüğü not edilmiştir.



4. MATERİYAL VE METOD

Uçak motorları ve havacılık faaliyetlerinden kaynaklanan hava kirliliği ile ilgili literatürde pek çok çalışma vardır. Ancak bu çalışmaların büyük bir kısmı jet motorları üzerine yapılmıştır. 115Y611 nolu “Pistonlu ve Turboprop Motorlu Uçakların Emisyonlarının Ölçümü, Analizi ve Emisyon Envanteri Oluşturulması” başlıklı TUBİTAK projesi ile günümüzde yangın söndürme, tarımsal ilaçlama, uçuş eğitimi ve tarifesiz yolcu taşımacılığında yaygın bir şekilde kullanılan turboprop ve piston motorlu uçakların gaz ve partikül madde emisyonlarının belirlenmesi, ayrıca emisyon indislerinin hesaplanması ve gerçek uçuş verileri ile kıyaslanması hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi envanterine kayıtlı piston motorlu TB-20 ve turboprop motorlu C90 uçaklarından örneklem gerçekleştirilmiştir. Örneklem işlemi Eskişehir Teknik Üniversitesi içerisinde bulunan Hasan Polatkan Havaalanı bakım apronu bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Örneklemeler yer koşullarında ve uçaklar park pozisyonundayken gerçekleştirilmiştir.

Örneklem çalışmalarında kullanılan pistonlu ve turboprop uçaklar uçuş eğitiminde kullanılmamakta olup örneklemenin yapıldığı tarihlerde ve günümüzde Üniversitenin Uçak Gövde ve Motor Bakımı ve Havacılık Elektrik ve Elektronik bölümlerinin uygulamalı derslerinde yerde kullanılmaktadır. Örneklem süreci ile ilgili saha çalışma takvimi Tablo 4.1’de yer almaktadır.

Tablo 4.1. Saha çalışma takvimi (RFM: Rich Fuel Mixture, BP: Best Power, BE: Best Economy)

SIRA	TARİH	UÇAK	YAKIT KARIŞIMI
1	11.07.2018	TB-20	RFM
2	24.07.2018	TB-20	RFM + LFM
3	27.07.2018	TB-20	RFM + LFM
4	11.09.2018	TB-20	RFM + BP + BE
5	12.09.2018	TB-20	RFM + BP + BE
6	20.09.2018	C90	NA
7	03.01.2019	TB-20	RFM + BP + BE
8	04.01.2019	TB-20	RFM + BP + BE

Örneklem süreci, Hasan Polatkan Havaalanı eski hangar bölgesinde, uçak park pozisyonunda ve yer trafiğini etkilemeyecek şekilde konumlandırılarak

gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında kullanılacak olan eksik malzemelerin alım sürecinin tamamlanması ile Haziran 2018’de saha çalışması için planlama yapılmıştır. Yapılan planlama doğrultusunda 04.06.2018 tarihinde ilk saha çalışması yapılmıştır. Tüm çalışma boyunca 2018 yılı haziran, temmuz ve eylül aylarında, 2019 yılı ocak, şubat ve mart aylarında çeşitli örnekleme süreçleri gerçekleştirilmiştir. 2018 ve 2019 yılları içerisinde gerçekleştirilen bu saha çalışmaları toplamda 12 günde gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmalarında Zambelli marka Isoplus model tam otomatik izokinetik toz örnekleme pompası kullanılmıştır.

4.1.Projede Kullanılan Uçaklar ve Motor Parametreleri

Proje kapsamında piston motorlu ve turboprop motorlu uçakların egzoz emisyonlarından kaynaklanan partikül madde emisyonlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi envanterine kayıtlı ve aynı fakültenin Uçak Gövde ve Motor Bakımı ile Havacılık Elektrik Elektronik bölümlerinin uygulamalı derslerinde kullanılan uçaklar çalışma kapsamında kullanılmak üzere belirlenmiştir. Seçilen bu uçaklar, Pilotaj Bölü tarafından aktif olarak kullanılmayan, ancak yer koşullarında gerçekleştirilen eğitimlerde kullanılan uçaklardır. Çalışmada kullanılan piston motorlu uçağa ait görsel Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan piston motorlu uçak (Soner Özenç İLHAN, 2018)

Çalışma kapsamında kullanılan uçaklardan ilki, 1990 model TB – 20 Socata uçağıdır. Maksimum operasyon hızı 163 knot, maksimum irtifası 20,000 ft olarak

verilmiştir. Uçakta Lycoming marka IO-540-C4D5D tip motor, altı silindir ve yaklaşık 8849 cc silindir hacmine sahiptir. Motor deniz seviyesinde 2575 RPM motor devrinde 250 HP güç üretmektedir. Motorda uçak üreticisinin tavsiye ettiği AVGAS 100LL tip yakıt kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan diğer uçak C90 uçağıdır. Turboprop motorlu bu uçak 1972 modeldir. Maksimum operasyon hızı 226 knot, maksimum irtifası 30,000 ft olarak verilmiştir. Uçakta iki adet Pratt & Whitney PT6A-20A motoru bulunmakta ve her biri 550 SHP güç üretmektedir. Motorda JET-A1 tip yakıt kullanılmaktadır (Turgut, vd., 2019.). Uçak içerisindeki motor parametrelerinin takip edildiği göstergeler Şekil 4.2’de yer almaktadır.

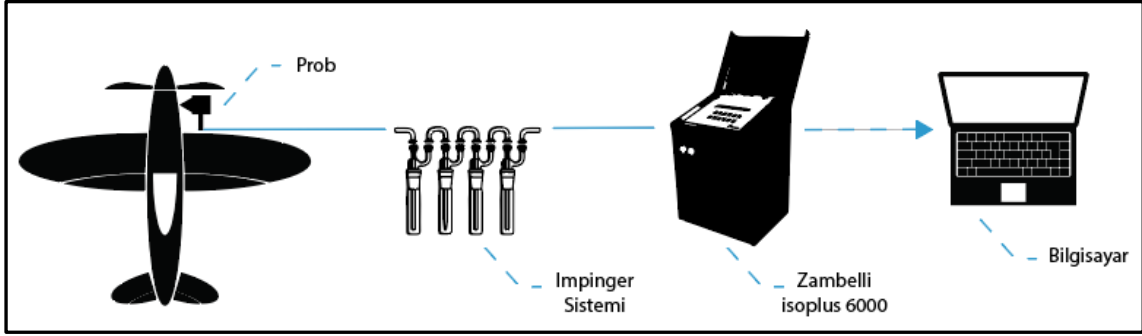


Şekil 4.2. Uçak içi göstergeleri (Soner Özenç İLHAN, 2018)

4.2.Partikül Madde Örneklemesi Sistemi ve Örnek Alma Prosedürü

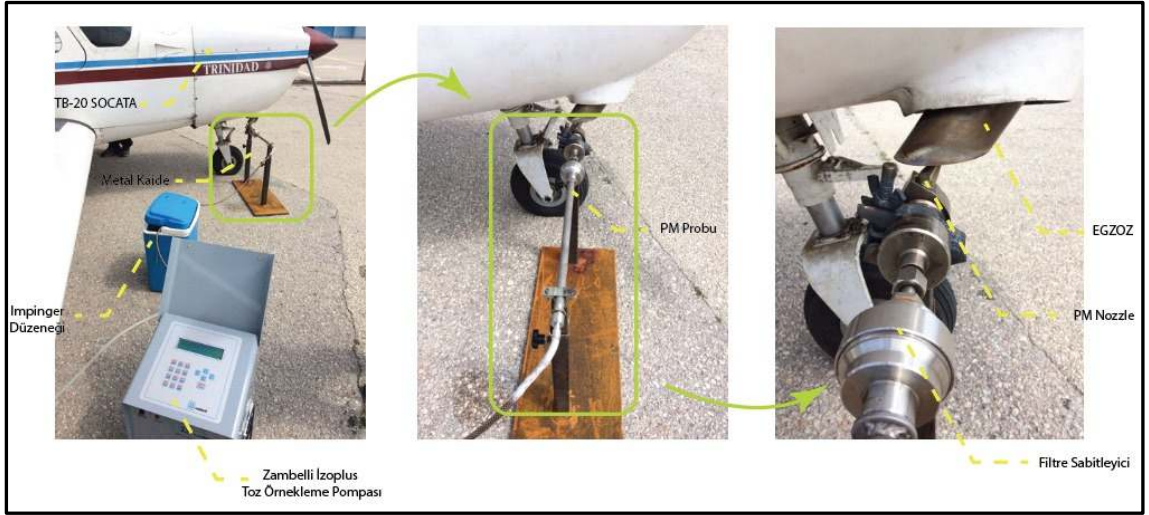
Örneklemesi sistemi; metal örnek alma probu, dörtlü impinger sistemi ve toz örneklemesi pompasından oluşmaktadır. Metal örnek alma probunun içerisinde örnek toplayıcı yüzey olarak ringsiz (filtre çevresinde sabit yüzük bulunmayan) 47mm Whatman PTFE filtre ve ringli (filtre çevresinde PP sabit yüzük bulunan) 46,2mm Whatman PTFE filtreler kullanılmıştır. Ringsiz filtreler genellikle kör örneklemelerde tercih edilmiştir. Uçak egzozunda gerçekleştirilen partikül madde örneklemelerinde ise aktif örneklemesi koşullarına karşı daha dayanıklı olması sebebi ile ringli filtreler tercih edilmiştir. Partikül madde örneklemesi işleminde Zambelli marka Isoplus model tam otomatik izokinetik toz örneklemesi pompası kullanılmıştır. Toz örneklemesi pompası ile metal örnek alma probu arasında, toz örneklemesi pompasını yoğunlaşma suyu ve neme karşı koruması için birbirine bağlı dört şişeli impinger sistemi kullanılmıştır. Son impinger şişesinin içerisine nem tutucu olarak silika jel yerleştirilmiştir. Partikül madde örneklemesi sürecinde Çevre Koruma Ajansı (EPA) partikül madde örneklemesi prosedürleri, EPA Method 5 (Açılımı), EPA Method 17 (Açılımı) ve EPA Method 201 (Açılımı)

doğrultusunda örnekleme süreci yürütülmüştür. Örnekleme süreci akış şeması Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Örnekleme akış şeması

Saha çalışmalarının planlanmasında genellikle meteorolojik koşulların uygunluğu gözetilmiştir. Planlamaya göre, saha çalışmasında kullanılacak filtreler öncelikle paketlerinden çıkartılarak 24 saat desikatör içerisinde nemsiz ortamda bekletilmiştir. Desikatörden çıkartılan filtreler hassas tartıda tartılarak ağırlıkları ilk tartım olarak kayıt altına alınmaktadır. İlk tartımı tamamlanan filtreler tartım sırasına göre numaralandırılmaktadır. Tüm bu işlemlerin ardından sızdırmazlığı sağlanan petri kutularına aktarılan filtreler saha çalışması için hazır bekletilir. Partikül madde örneklemesinde kullanılan Zambelli marka toz örnekleme pompası saha çalışmalarından önce laboratuvarında kontrol edilir. Ayrıca örnek alma sürecinde kullanılan örnek alma probu, impinger sistemi, metal cımbızlar ve plastik hortumlar laboratuvarında hazırlanan yıkama çözeltisi (%5'lik NH_3 çözeltisi) ile yıkanarak temizlenir. Filtrelerin proba yerleştirilmesi ve tartım işlemlerinde kullanılan metal cımbızlar teflon bant ile sarılarak kullanılmaktadır. Saha çalışmasının yapılacağı gün hazırlanan tüm ekipmanlar saha çalışmasının yapılacağı alana taşınmaktadır. Örneklemenin yapılacağı uçaklar jet-porter yardımı ile çalışma alanına taşınarak konumlandırılmıştır. Projenin örnekleme süreci için tasarlanan metal sehpa uçak egzozuna yakın bir bölgeye konumlandırılmış, ardından içerisine ilk tartımı kayıt altına alınmış olan 47mm Whatman PTFE ringli filtre yerleştirilmiş olan metal prob yerleştirilmiştir. Zambelli toz örnekleme pompası ile örnek alma probu arasına yoğunlaşmadan kaynaklanan nemin toz örnekleme pompasına iletilmesinin önüne geçmek için impinger sistemi kullanılmıştır. Örnek alma probu, impinger sistemin ve Zambelli toz örnekleme pompası arasındaki akışı serum hortumları ile sağlanmaktadır. Tüm örnekleme sistemi EPA Method 5, EPA Method 17 doğrultusunda kurulmuş ve örnekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmadaki örnek alma sistemine ait görsel Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Örnek alma sistemine ait görsel

Örnekleme sisteminin hazırlanmasının ardından, örneklemenin yapılacağı uçak çalıştırılır ve ısınması için 10dk rölanti motor devrinde ardından kısa süreliğine 1000 RPM devirde çalıştırılır. Motorun ve örnekleme düzeneğinin hazır olması ile birlikte belirlenen motor devrinde 5dk boyunca 20L/dk'lık akış ile örnekleme süreci gerçekleştirilmiştir. Örnekleme sürecinin tamamlanması ile motor durdurulup örnekleme probu içerisindeki filtre çıkartılarak petri kutusuna aktarılmıştır. Örnekleme probu her örnekleme işleminin ardından aseton ile yıkanmıştır. Aseton uçucu olması nedeni ile saha koşullarındaki temizleme işlemlerinde tercih edilmiştir. Temizleme işleminin ardından yeni filtre prop içerisine yerleştirilerek bir sonraki motor devrindeki örnekleme geçilmiştir. Bir günlük saha çalışmasında yaklaşık olarak 6 farklı motor devri için örnekleme gerçekleştirilmiştir. Farklı motor devirlerindeki örneklemlerin ardından prob içerisinde yeni bir filtre yerleştirilerek ve egzoz düzleminden uzaklaştırılarak toz örnekleme pompası ile 5dk boyunca 20L/dk'lık akış ile kör örnek alınmıştır. Kör örnek hesaplamalar ve analizler sırasında temel olarak alınmıştır. Tüm örnekleme sürecinin tamamlanmasından sonra laboratuvara getirilen filtreler 24 saat desikatörde bekletilmiş ve ardından hassas terazide ağırlıkları tartılarak kayıt altına alınmıştır. Filtrelerin ilk tartım ile son tartım arasındaki fark örnekleme partikül madde kütlesi olarak kayıt altına alınmıştır. Tüm örnekler sızdırmazlıkları sağlanarak laboratuvar koşullarında saklanmıştır. Örnek alma sürecinde kullanılan örnek alma probu, impinger sistemi, metal cımbızlar ve plastik hortumlar laboratuvarda hazırlanan yıkama çözeltisi (%5'lik NH_3 çözeltisi) ile yıkanarak temizlenmiş ve bir sonraki saha çalışmasına hazırlanmıştır.

4.3. Metal Analizleri

Projenin en önemli aşamalarından biri toplanan örneklerin metal analizlerinin yapılmasıdır. Saha çalışmalarının ardından laboratuvar ortamında sızdırmazlığı sağlanarak petri kutularında saklanan filtreler teflon makas yardımı ile tam ortadan iki eşit parçaya ayrılmıştır. Her kesme işleminden sonra teflon makas yıkama çözeltisi (%5'lik NH_3) ile yıkanarak temizlenmiştir. Tüm filtrelerin ilk yarısı metal analizlerinde kullanılmak için ayrılmış, filtrelerin ikinci yarısı diğer analizlerde kullanılmak üzere sızdırmazlığı sağlanarak laboratuvar koşullarında saklanmıştır. Metal analizleri için hazırlanan yarım filtreler öncelikle hassas terazide tartılıp ağırlıkları not edilmiştir.

Metal analizleri, Eskişehir Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde bulunan Agilent 8800 ICP – QQQ marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan yarım filtreler teflon kaplara alınarak üzerlerine yüksek saflıkta 7mL nitrik asit (HNO_3 , Merck Suprapur, %65 saflıkta), 1mL hidroklorik asit (HCl , Merck Suprapure, %37 saflıkta) ve 1mL hidrojenperoksit (H_2O_2 , Merck Suprapure, %30 saflıkta) kullanılarak mikrodalga fırında çözündürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Düşük derişimli metal örnekleri ile çalışıldığı için kullanılan asitlerden analiz esnasında girişim olmaması adına çözündürme sürecinde kullanılan asitler saflaştırma işlemine tabi tutulmuştur. HCl ve HNO_3 analiz sürecinden önce kızılötesi distilatörde (Berghof Distillacid BSB 939 IR) safsızlaştırılarak girişimin önüne geçilmiştir. Analizlerde Li, Be, B, Na, Mg, Al, K, Ti, S, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Sm, Eu, Ho, Yb, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th, U olmak üzere yaklaşık 48 elementi içeren standartlar kullanılmıştır (Can, 2016).

4.4. Elektron Mikroskop Analizleri

Çalışma kapsamında piston motorlu uçakların egzoz emisyonlarından kaynaklı PM emisyonlarının kütle emisyonlarının belirlenmesi ve PM emisyonlarına ait iz element analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu analizlere ek olarak PM emisyonlarının toplandığı PTFE filtrelerin elektron mikroskop analizlerinin (SEM – Scanning Electron Microscope gerçekleştirilmesi de hedeflenmiştir. Bu bağlamda Eskişehir Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde bulunan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile analizler gerçekleştirilmiştir.

4.5. Yağ ve Yakıt Analizleri

Çalışma içerisinde, kullanılan ve hangarda bulunan bazı uçaklardan kullanılmış yağ örneği alınarak analiz edilmiştir. Ayrıca, kullanılmamış yağ örneği ve uçak yakıtından alınan örneklerde analiz edilmiştir. Örnekler saha çalışması öncesinde 50ml PP kapaklı örnek alma kaplarına alınmış, çalışma sonrasında laboratuvar koşullarında saklanmış ve analiz için Dokuz Eylül Üniversitesine gönderilmiştir. Yağ ve yakıt analizleri Gas Chromatography (GC) cihazında gerçekleştirilmiştir. Yağ ve yakıt numunelerinin uçaktan alınması anına ait görseller Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Yağ ve yakıt numune alma görseli (Soner Özenç İLHAN, 2018)

4.6. Emisyon Faktörü/İndisi Hesaplamaları

Çalışma kapsamında Eskişehir Teknik Üniversitesi Hasan Polatkan Havaalanı hangarlar bölgesinde yer koşullarında gerçekleştirilen örnekleme ve sonrasında gerçekleştirilen metal analizi sonuçlarından elde edilen veriler hava kalitesine olan etkilerinin incelenmesi amacı ile emisyon faktörü ya da havacılık kaynaklarında geçen adıyla emisyon indisi hesaplanmıştır. Hesaplamalar sırasında saha çalışmalarında uçak içerisinden kayıt altına alınan motor parametreleri ile örnekleme ve analiz sonuçlarında elde edilen veriler kullanılmıştır. Emisyon indisi partikül madde konsantrasyonu ve metal analiz sonuçları için hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda harcanan birim kg yakıt başına salınan mg cinsinden kirletici miktarı elde edilmiştir. Hesaplamalarda manifold basıncı (MAP), silindir sıkıştırma oranı, egzoz gaz sıcaklığı (EGT), atmosfer sıcaklığı, toplam motor hacmi ve motor devri gibi parametreler kullanılmıştır. Hesaplamalar aşağıda verilen denklere göre yapılmıştır.

- MAP: Silindir girişindeki basınç, uçak içi gösterge verisi
- Silindir Sıkıştırma Oranı: Sabit değer 15:1
- EGT: Silindir çıkışındaki sıcaklık değeri, uçak içi gösterge verisi
- Silindir Girişindeki Sıcaklık: Atmosfer sıcaklığı, uçak içi gösterge verisi
- Toplam Motor Hacmi: 8849 cc = 0,008849 m³, Sabit değer
- Devir: Rölanti – 2000RPM arasında değişen değerlerde, uçak içi gösterge verisi

$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{m}_2 \times R \times T_2}{15 \times P_2} \quad (4.1)$$

- P₁ = Silindir giriş basıncı (MAP, inHg) 1inHg=3386,39 Pa
- V₁ = Toplam silindir hacmi = 0,008849 m³
- R = Mükemmel gaz denkliği, gaz sabiti = 287J/kgK
- T₁ = Atmosfer sıcaklığı

Denklik 4.1’de belirtilen ideal gaz denkliği ile silindir içerisine alınan hava kütlesi (m₁, kg) bulunacaktır. Motorlara bir saniyede alınan hava kütlesi ($\dot{m}_1$) veya egzozdan bir saniyede dışarıya atılan hava kütlesinin ($\dot{m}_2 = \dot{m}_1 + FF$) bulunabilmesi için motor devirleri önemlidir. Çalışmada kullanılan motor dört zamanlıdır. Her bir motor döngüsü iki devire eşittir. 1000 RPM motor devri bir saniyede 16,67 devire gelmektedir. Her bir motor döngüsü iki devire eşit olduğu için silindirlerde bir saniyede 8,33 sefer egzoz gaz çıkışı olduğu anlamına gelmektedir. Egzozdan atılan toplam hava kütlesi; tüm silindirler için bulunan hava kütlesi ile yakıt akış debisi toplamının bir saniyede egzoz gaz çıkış miktarı (8,33) ile çarpılması ile bulunacaktır.

$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{m}_2 \times R \times T_2}{15 \times P_2} \quad (4.2)$$

Denklik 4.2 ile bir saniyede egzozdan atılan gazın hacimsel debisi hesaplanabilmektedir. Denklkte belirtilen T₂ egzoz gaz sıcaklığını (EGT) temsil etmektedir. P₂ ise silindir giriş basıncı ile silindir sıkıştırma oranı (15) değerlerinin çarpılması ile bulunacaktır. Çalışmada PM emisyonları ve metal emisyonlarının hesaplanabilmesi için kütle ve hacimsel debilerin hesaplanması önem arz etmektedir. Örneklem süresince Zambelli toz örneklem pompası her set için 100 L örnek toplaması temelinde çalıştırılmıştır. Ancak saha çalışma koşulları gerçekte çekilen miktar tam 100L

olamamaktadır. Bu nedenle hesaplamalarda çekilen hava miktarı Zambelli cihazının örnekleme sonunda kaydedilen değer hesaba katılmıştır. Gerçek çekilen örnek miktarı V_d şeklinde formülde yer almaktadır.

$$ER_i = \frac{(\dot{V}_2 \times PM_m)_i}{V_d} \quad (4.3)$$

$$ER_{x,i} = \frac{(\dot{V}_2 \times PM_{m,x})_i}{V_d} \quad (4.4)$$

Denklik 4.3 ve 4.4 ile belirli bir X elementinin uçuşun belirli bir fazını temsil eden i fazı için kütleli debisi bulunabilmektedir. Uçağın belirlenen fazda geçirdiği süre TIM (time – in – mode) olarak tanımlanmıştır. Belirli i fazındaki PM ve X elementinin toplam emisyonu denklik 4.5 ve 4.6 ile bulunabilmektedir.

$$E_i = (TIM \times ER)_i \quad (4.5)$$

$$E_{x,i} = (TIM \times ER_x)_i \quad (4.6)$$

Denklikler ile hesaplanan kütleli debiler ve çalışmalar esnasında kayıt altına anlık yakıt akışı (FF) verisi denklik 4.7 ve 4.8’de kullanılarak belirli motor fazları için emisyon faktörü değeri hesaplanabilmektedir (Turgut vd., 2019).

$$ER_{x,i} = \left(\frac{ER_x}{FF} \right)_i \quad (4.7)$$

$$ER_i = \left(\frac{ER}{FF} \right)_i \quad (4.8)$$

5. BULGULAR

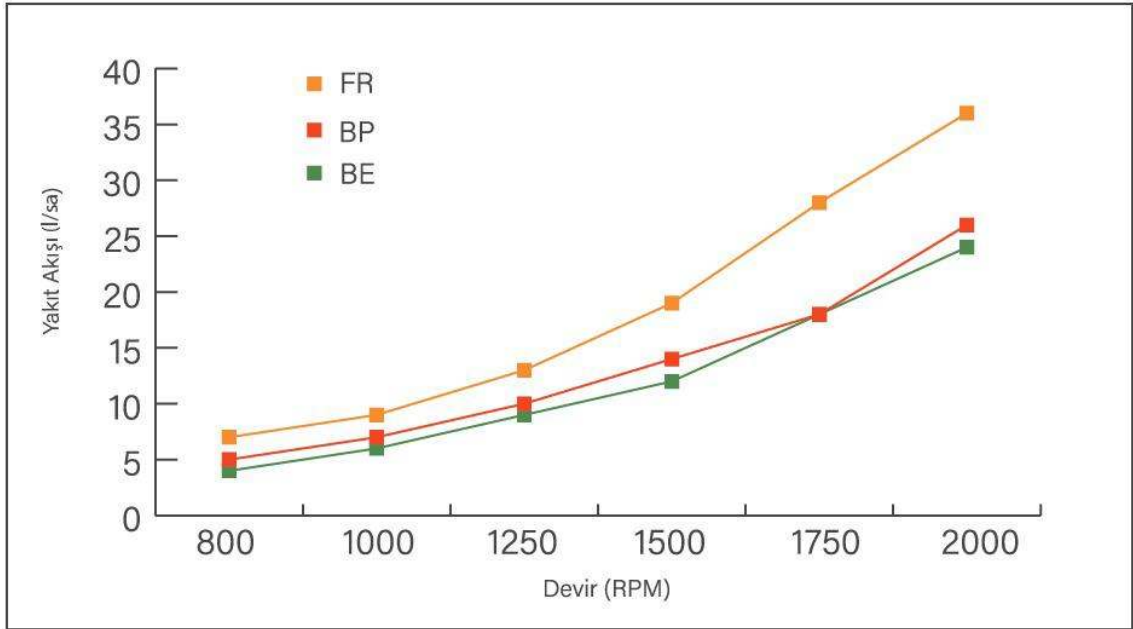
Bu çalışmada 2018, 2019 yılları arasında gerçekleştirilen 12 saha çalışmasında toplamda 85 adet PTFE filtre kullanılmıştır. Örnekleme çalışmalarında kullanılan bu filtrelerin tamamında metal analizi gerçekleştirilmiş, 17 adet filtre üzerinde elektron mikroskopları ile analiz gerçekleştirilmiştir. 14 adet filtre üzerinde Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope – SEM) ile, 3 adet filtre üzerinde ise Geçirimli Elektron Mikroskobu (Transmission Electron Microscope – TEM) ile analiz gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tüm analizler Eskişehir Teknik Üniversitesi araştırma laboratuvarlarında bulunan ekipmanlar ile gerçekleştirilmiştir. Örnekleme sürecinde kayıt altına alınan motor parametreleri ile çalışma sonrasında gerçekleştirilen analizlere ait sonuçlar bu kısımda incelenmiştir.

5.1. Motor Parametreleri

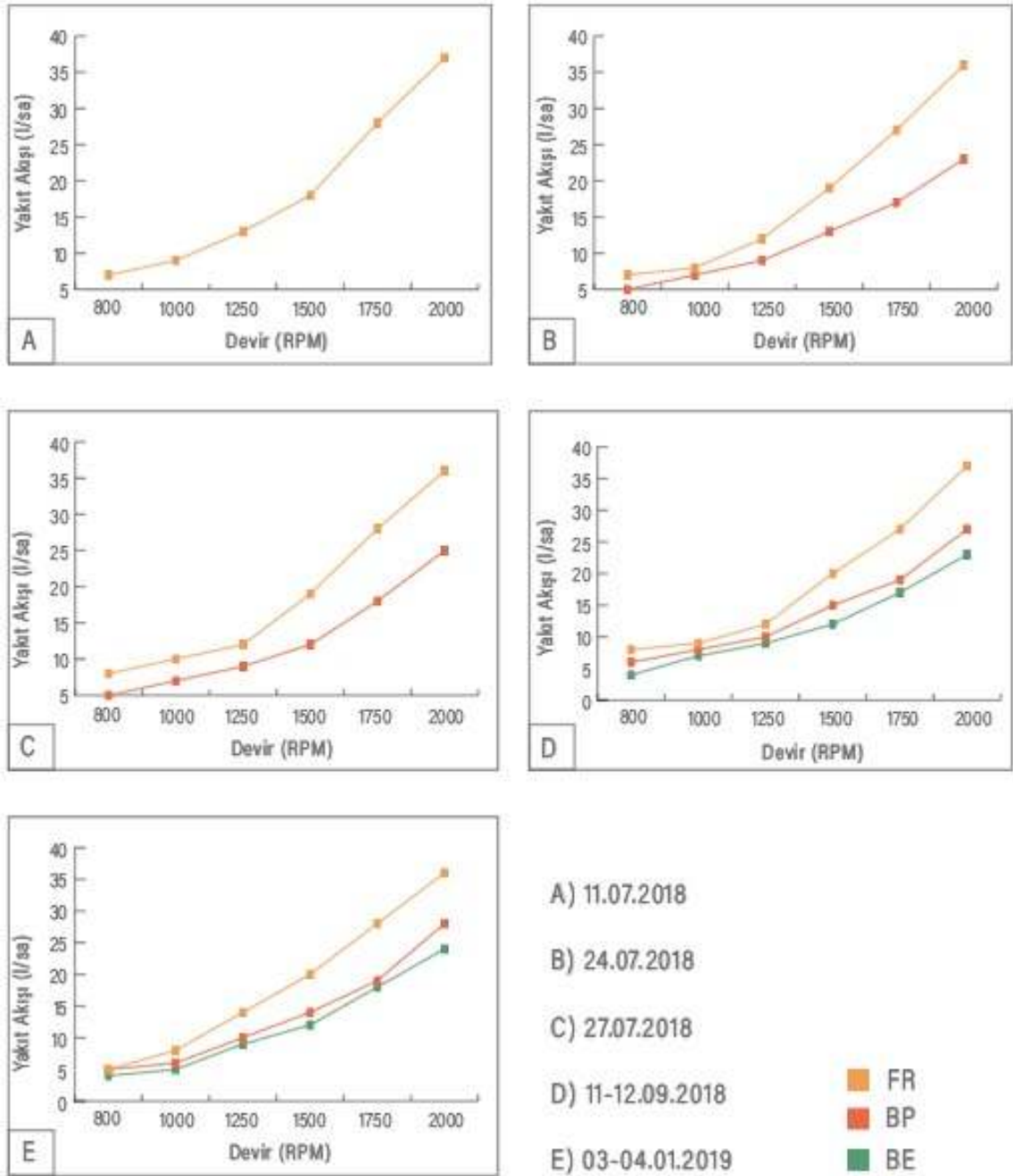
Çalışma kapsamında gerçekleştirilen örnekleme süreçlerinde uçak için motor verileri kayıt altına alınmıştır. Piston motorlu uçaklarda güç kolu ile yapılan ayarları devir saatinden takip etmek mümkündür. Bu nedenle çalışma kapsamında rölanti (idle), 1000RPM, 1250RPM, 1500RPM, 1750RPM ve 2000RPM motor devrinde örnekleme yapılması planlanmış ve çalışmalar belirlenen motor devirlerinde gerçekleştirilmiştir. Belirlenen motor devirlerinde gerçekleştirilen örneklemelerde yakıt akışı (Fuel Flow – FF) (l/sa), manifold basıncı (Manifold Absolute Pressure – MAP) (inHg), silindir sıcaklığı (Cylinder Heat Temperature – CHT) ve egzoz gaz sıcaklığı (Exhaust Gas Temperature – EGT) parametreleri uçak içerisinde kayıt altına alınmıştır.

Yakıt akışı (l/sa), motorun çalışması ile birlikte saatlik olarak birim zamanda motorun tükettiği yakıtı temsil etmektedir. Yakıt akışı verisi, motor devrine ve yakıt karışımına göre değişim göstermektedir. Çalışma sırasında kayıt altına alınan veriler incelendiğinde yakıt akışının artan motor devri ile birlikte arttığı gözlenmiştir. Yanma işleminin gerçekleşebilmesi için temel ihtiyaç yanmayı sağlayacak oksijendir. Bu ihtiyacı motor havadan karşılamaktadır. Piston motorlu uçaklarda, motor gücünün yanında motoru besleyen yakıt miktarı da ayarlanabilmektedir. Bu özellik ile motorun hava yakıt oranı belirlenebilir, böylelikle zengin yakıt karışımı ya da fakir yakıt karışımı olarak tarif edilebilen farklı hava yakıt oranları ile uçak performansı ya da egzoz emisyonları hakkında yorum yapılabilir. Tüm motor devirleri ve yakıt karışımları altında gerçekleştirilen örneklemeler incelendiğinde artan motor devri ile yakıt tüketimi arasında doğru orantılı bir değişimin olduğu gözlenmiştir. Rölanti motor devri ile 1250 RPM

motor devri arasındaki yakıt tüketimleri üç yakıt karışımı için yakın sonuçlar ortaya koymuştur. Ancak 1250 RPM motor devri ile 2000 RPM motor devri arasındaki yakıt tüketimleri incelendiğinde zengin yakıt karışımı olan FR yakıt karışımında elde edilen sonuçlar ile fakir yakıt karışımları olarak nitelendirilen BP ve BE yakıt karışımlarında elde edilen yakıt tüketimi sonuçları arasındaki farkın açıldığı gözlenmiştir. BP ve BE yakıt karışımında elde edilen yakıt tüketimi sonuçları arasında ciddi bir fark olmadığı gözlenmiştir. Gerçekleştirilen beş testin ortalama yakıt tüketimine ait veriler Şekil 5.1’de verilmiştir. Tüm örnekleme çalışmalarına ait yakıt tüketimine ait veriler incelendiğinde yakıt tüketimi ortalama verilerine ait sonuçlara benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Tüm örnekleme çalışmalarına ait yakıt tüketimine ait veriler Şekil 5.2’de verilmiştir.



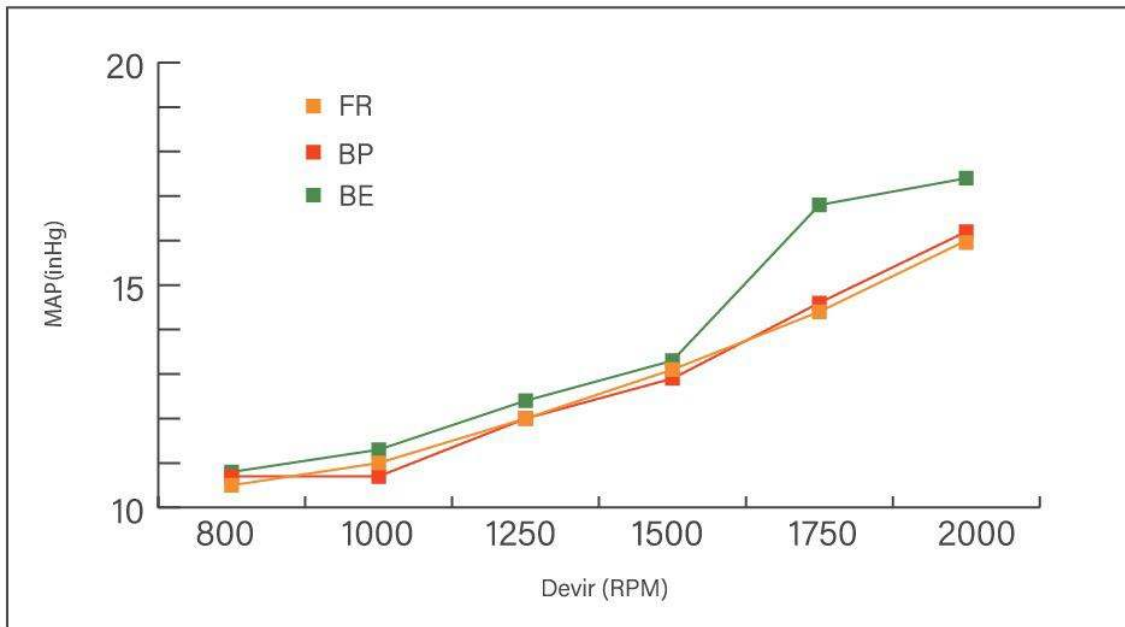
Şekil 5.1. Yakıt tüketim grafiği



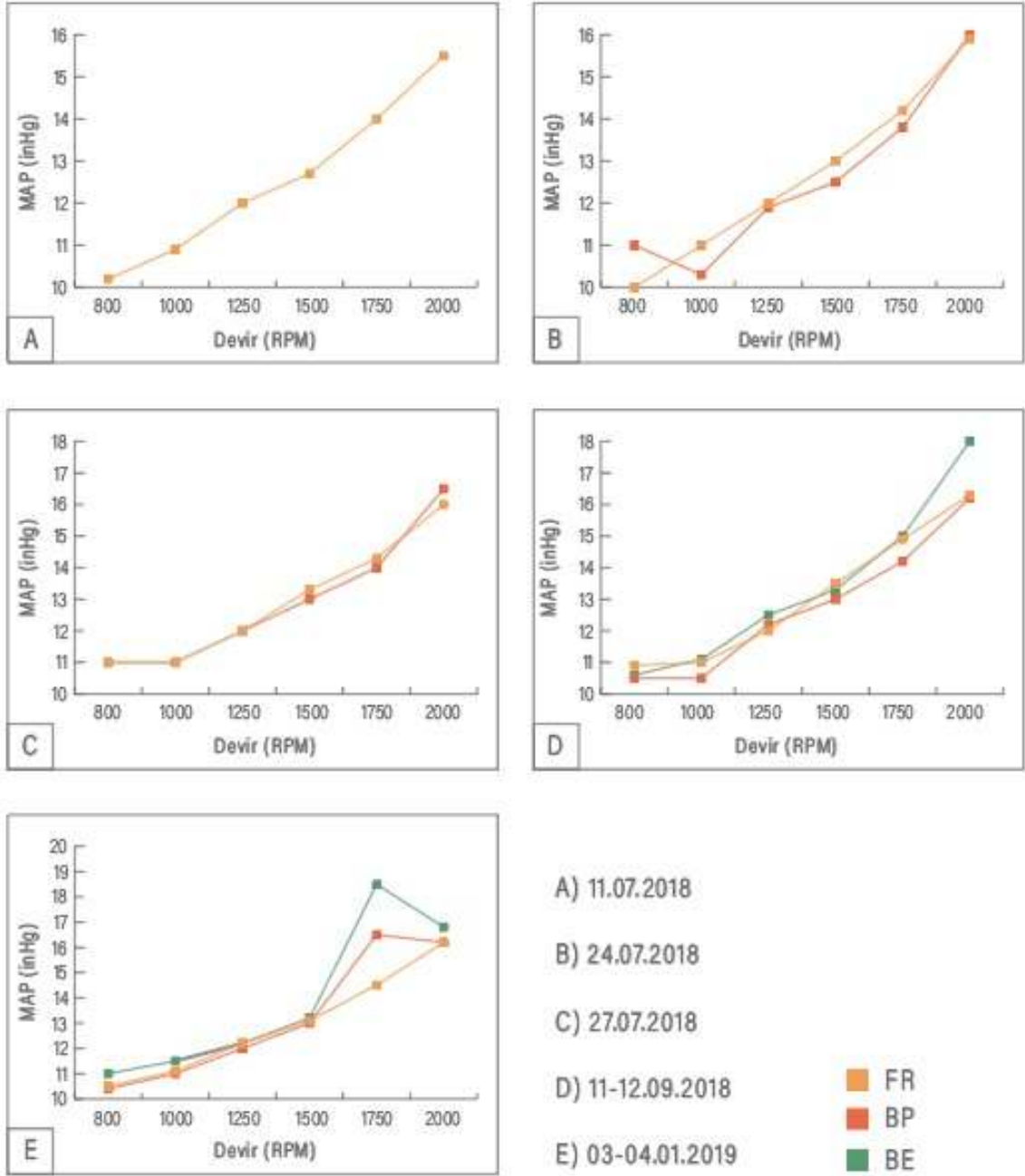
Şekil 5.2: Tüm örneklemelere ait yakıt tüketim grafikleri

Manifold basıncı (MAP), hava yakıt oranının silindir giden basıncını temsil etmektedir (http10). Manifold basıncı (MAP) uçak içi göstergelerinde inç civa (inHg) ile gösterilmektedir (Altuntaş vd., 2018). Motor gücü ile manifold basıncı (MAP) arasında silindir baş sıcaklığı (CHT) ve egzoz gaz sıcaklığı (EGT) benzeri bir doğru orantılı ilişki vardır. Manifold gaz basıncı motor gaz kolu ile kontrol edilebilir ve gaz kolu ile motor devri arttırıldığında manifold basıncında (MAP) yükseldiği görülecektir (http10). Bu durum motorun hava ve yakıt karışımını ayarlamasından kaynaklanmaktadır. Yani, motor devri arttırıldığında motora giren yakıt miktarı artmaktadır. Hava yakıt oranının

korunması için motora giren hava oranı da artacaktır. Motor devri ile manifold basıncı arasındaki bu ilişki gerçekleştirilen örneklemelerde de gözlenmektedir. Zengin yakıt karışımı FR koşulları altında gerçekleştirilen örneklemelerin ortalama manifold basıncı sonuçları fakir yakıt karışımı BP ve BE yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemelere ait manifold basıncı sonuçlarının birbirine yakın olduğu gözlenmektedir. Grafikte görülen eğri genel olarak birbirine yakın seyretmektedir. Ancak 1750RPM motor devri ile fakir yakıt karışımlarından BE koşulları altında elde edilen sonuçlardaki artışın daha fazla olduğu gözlenmiştir. Gerçekleştirilen beş testin ortalama manifold basınç sonuçlarına ait veriler Şekil 5.3'te verilmiştir. Tüm örnekleme çalışmalarına ait manifold basıncına ait veriler incelendiğinde manifold basıncı ortalama verilerine ait sonuçlara benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Sadece 03-04.01.2019 tarihinde gerçekleştirilen örneklemenin 1750RPM motor devrinde FR ve BP yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemelere ait manifold basıncı sonuçlarının diğer tarihlerde gerçekleştirilen örnekleme sonuçlarındaki aynı devirde elde edilen sonuçlardan farklı olarak arttığı gözlenmiştir. Tüm örnekleme çalışmaları için manifold basıncına ait veriler Şekil 5.4'te verilmiştir.



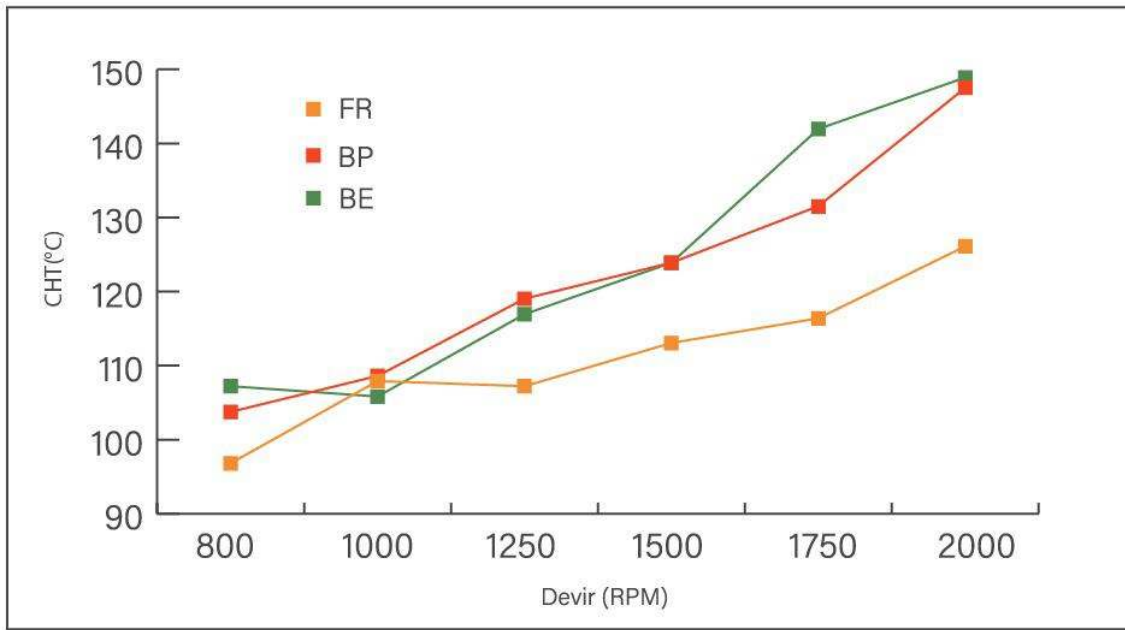
Şekil 5.3. Manifold basınç grafiği



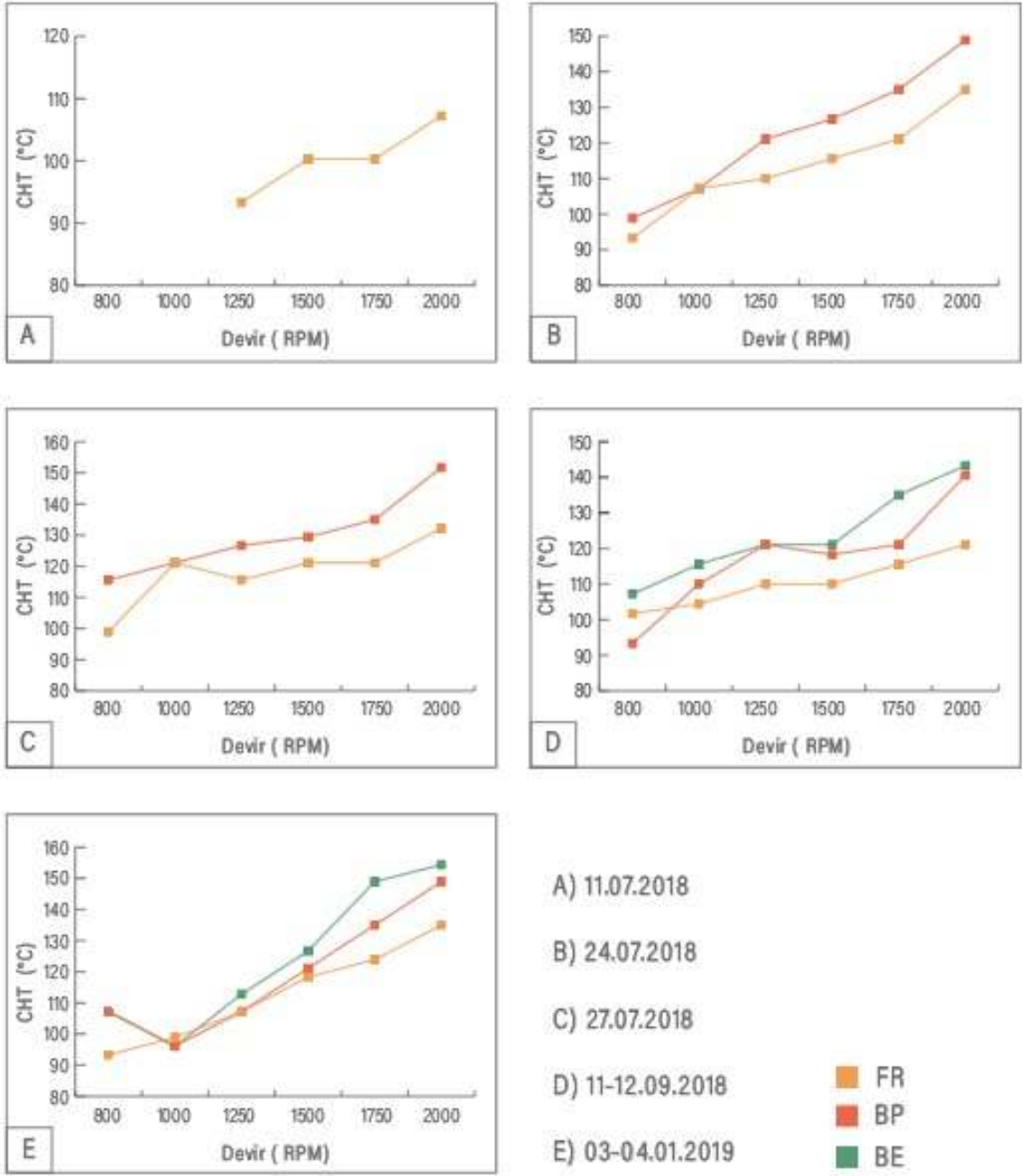
Şekil 5.4: Tüm örneklemelere ait manifold basınç grafikleri

Silindir baş sıcaklığı (CHT), piston motorlu uçaklarda silindir kapağında bulunmaktadır. Silindir baş sıcaklık sensörü motorun çalışması ile silindir kapağındaki sıcaklık değişimini temsil etmektedir. Çalışma sırasında kayıt altına alınan veriler incelendiğinde silindir baş sıcaklığının (CHT) artan motor devri ile birlikte arttığı gözlenmiştir. Motor devrinin artması ile piston devrinin artması silindir içerisindeki sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Silindir baş sıcaklığı verileri incelendiğinde yakıt tüketimi ya da manifold basıncı sonuçlarına benzer bir grafikte karşılaşıldığı gözlenmiştir. Ancak motor devri arttıkça zengin yakıt karışımı FR koşullarında elde edilen sonuçlar ile fakir yakıt karışımı BP ve BE koşullarında elde edilen sonuçların

arasındaki farkın açıldığı gözlenmiştir. Bu durum motor veriminin artması ve yakıtın verimli bir şekilde yakılması sonucunda silindir iç sıcaklığının doğru orantılı olarak arttığı, yakıtın artması ile verimliliğin düştüğü ve silindir baş sıcaklığının da diğer yakıt karışımlarına kıyasla azaldığı yorumu yapılabilmektedir. Gerçekleştirilen beş testin ortalama silindir baş sıcaklığına ait veriler Şekil 5.5'te verilmiştir. Tüm örnekleme çalışmaları için silindir baş sıcaklığına ait veriler incelendiğinde silindir baş sıcaklığı ortalama verilerine ait sonuçlardan farklı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Tüm örnekleme çalışmalarına ait yakıt tüketimine ait veriler Şekil 5.6'da verilmiştir.



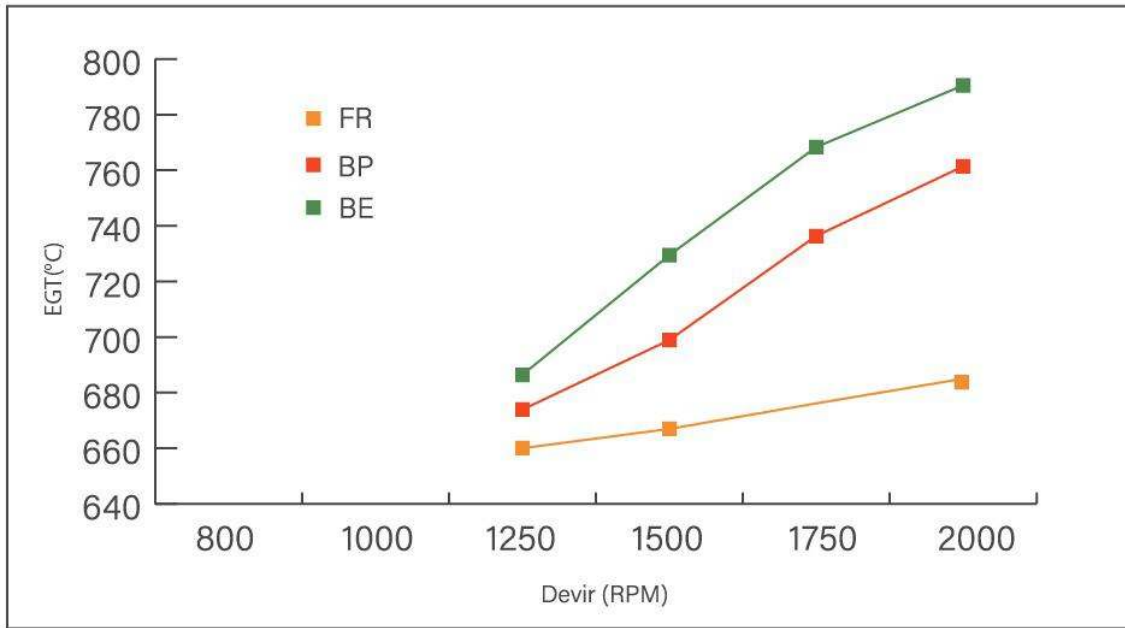
Şekil 5.5. Silindir baş sıcaklık grafiği



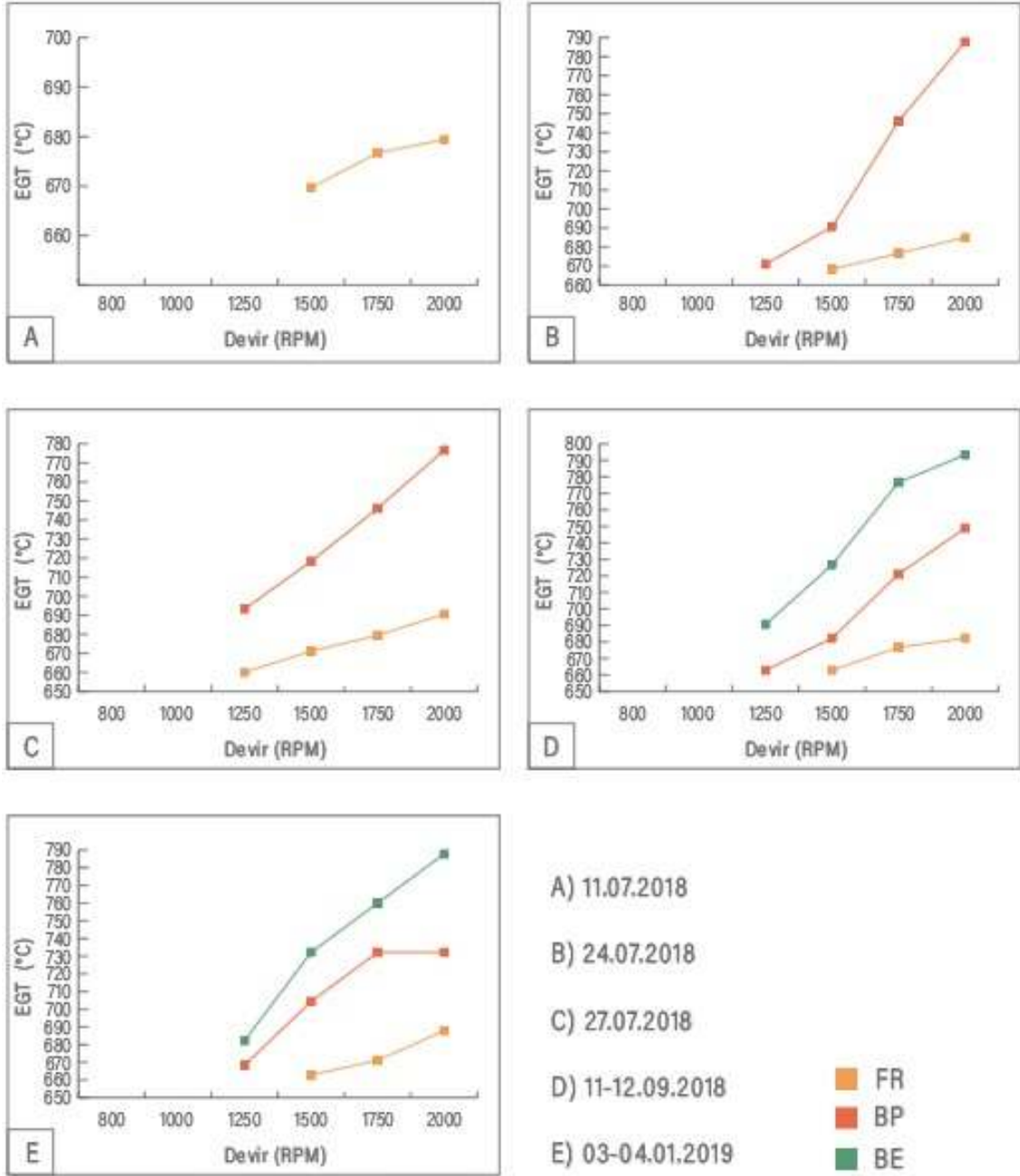
Şekil 5.6. Tüm örneklemelere ait silindir baş sıcaklık grafikleri

Egzoz gaz sıcaklığı (EGT), egzoz giriş kısmında bulunan bir sensör ile ölçülmektedir. Çalışma sırasında kayıt altına alınan veriler incelendiğinde egzoz gaz sıcaklığının (EGT) artan motor devri ile birlikte arttığı gözlenmiştir. Motor devrinin ve yanma veriminin artması ile egzoz gaz sıcaklığı verisi orantılı olarak artmaktadır. Egzoz gaz sıcaklığı (EGT) verileri ile yanma sonrası oluşan kirletici gaz emisyonları arasında ilişki olduğu örneklemeler sonucunda görülmüştür. Egzoz gaz sıcaklığı verisi uçak içerisinde bulunan analog bir sayaç üzerinden okunmaktadır. Bu sayaç minimum değer olarak 1200°F (649°C) göstermektedir. Bu nedenle gerçekleştirilen örneklemelerde

1250RPM motor devrine kadar egzoz gaz sıcaklığı verisi kayıt altına alınamamıştır. Egzoz gaz sıcaklığı verileri incelendiğinde motor devri ile diğer üç parametrenin arasındaki ilişkiye benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak elde edilen sonuçların arasındaki fark bu veride daha fazla olduğu gözlenmiştir. Ortalama egzoz gaz sıcaklığı verileri incelendiğinde BP yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemelerde tüm motor devirlerinde en yüksek sıcaklık verilerine ulaşıldığı, FR yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemelerde ise tüm motor devirleri için en düşük sıcaklık verilerine ulaşıldığı gözlenmektedir. Gerçekleştirilen beş testin ortalama egzoz gaz sıcaklığına ait veriler Şekil 5.7’de verilmiştir. Tüm örneklemeye çalışmaları için egzoz gaz sıcaklığına ait veriler incelendiğinde egzoz gaz sıcaklığı ortalama verilerine ait sonuçlara benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Ancak, 03-04.01.2019 tarihinde gerçekleştirilen örneklemede BP yakıt karışımı altında 1750RPM ve 2000RPM motor devrinde elde edilen sonuçların sabit kaldığı gözlenmiştir. Tüm örneklemeye çalışmalarına ait yakıt tüketimine ait veriler Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Egzoz gaz sıcaklık grafiği

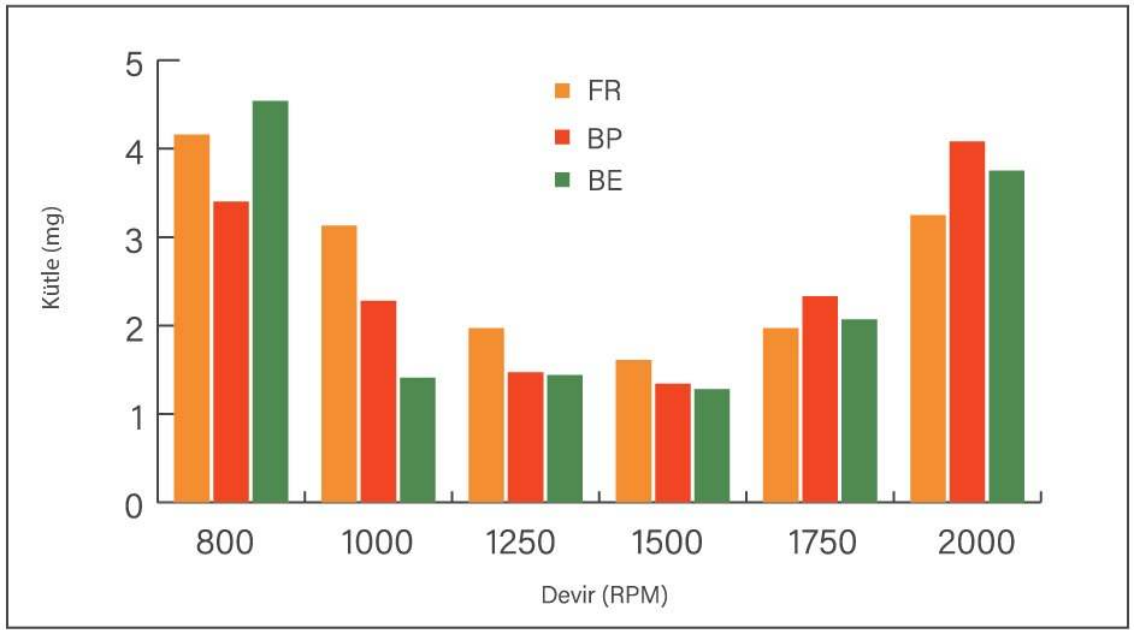


Şekil 5.8. Tüm örneklemelere ait egzoz gaz sıcaklık grafikleri

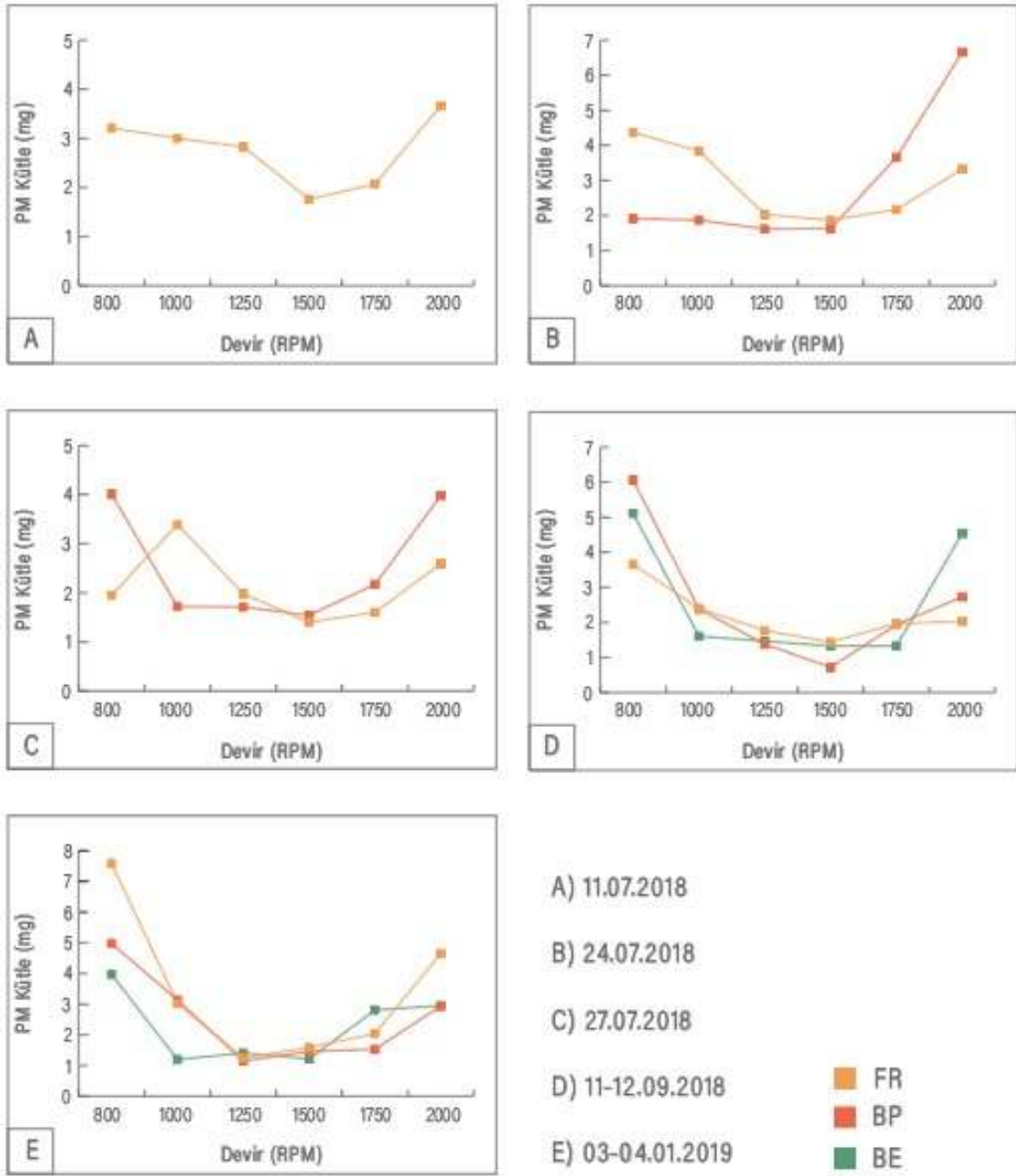
5.2. Partikül Madde Kütle Konsantrasyonu

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen örneklemeler 5 ayrı test olarak değerlendirilebilmektedir. Örneklem sürecinde kullanılan ringli PTFE filtreler laboratuvar koşullarında 24 saat desikatör içerisinde nemden uzaklaştırılarak son tartımları alınmıştır. Saha çalışmasına gitmeden önce kayıt altına alınan ilk tartımlar, çalışma sonrasındaki son tartımdan çıkartılarak kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan bu değerler örneklem sürecindeki toplanan partikül madde örneklerinin kütle emisyonunu temsil etmektedir. Ayrıca örneklem sürecinde partikül madde örneklerinin toplanması için Zambelli marka İsoplus toz örneklem pompası kullanılmıştır. Toz

örnekleme pompası her örneklemenin sonunda çekilen örnek hacminin sonuç olarak vermektedir. Toz örnekleme pompasının verdiği örnek hacmi sahada not edilmiş ve tartım sonucu bulunan kütle emisyonları örnek hacmine matematiksel olarak bölünmüş ve partikül madde konsantrasyonu hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Tüm testlere ait Partikül Madde kütle emisyon sonuçları gerçekleştirilen beş testin ortalama partikül madde kütle emisyonlarına ait veriler Şekil 5.9’da, tüm testlere ait partikül madde kütle emisyonları Şekil 5.10’da verilmiştir.



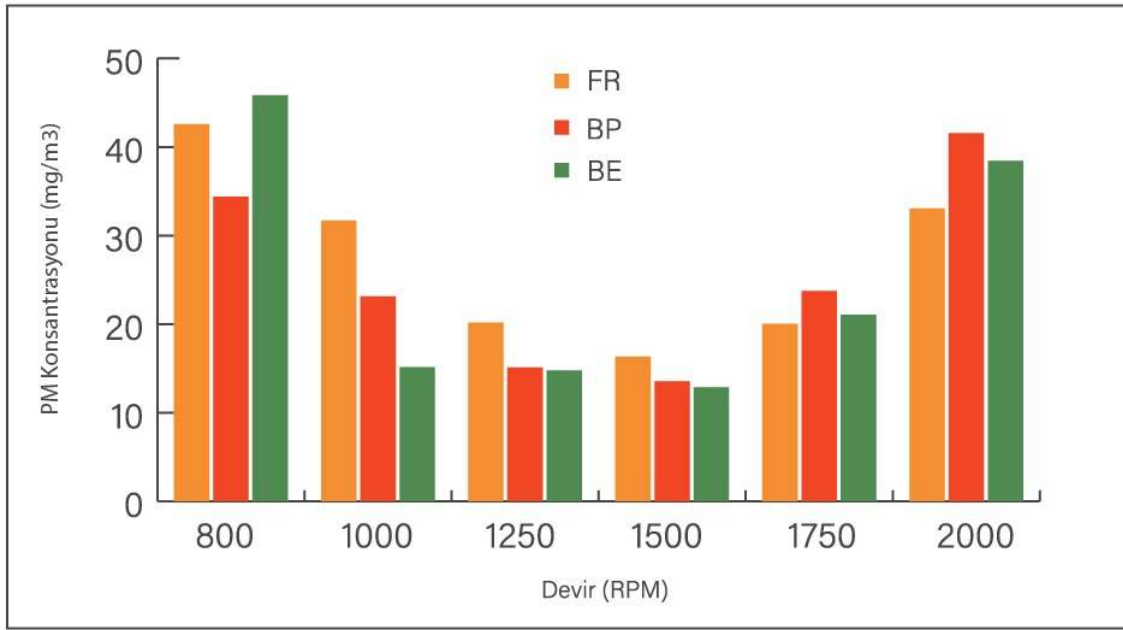
Şekil 5.9. Partikül Madde kütle emisyonu



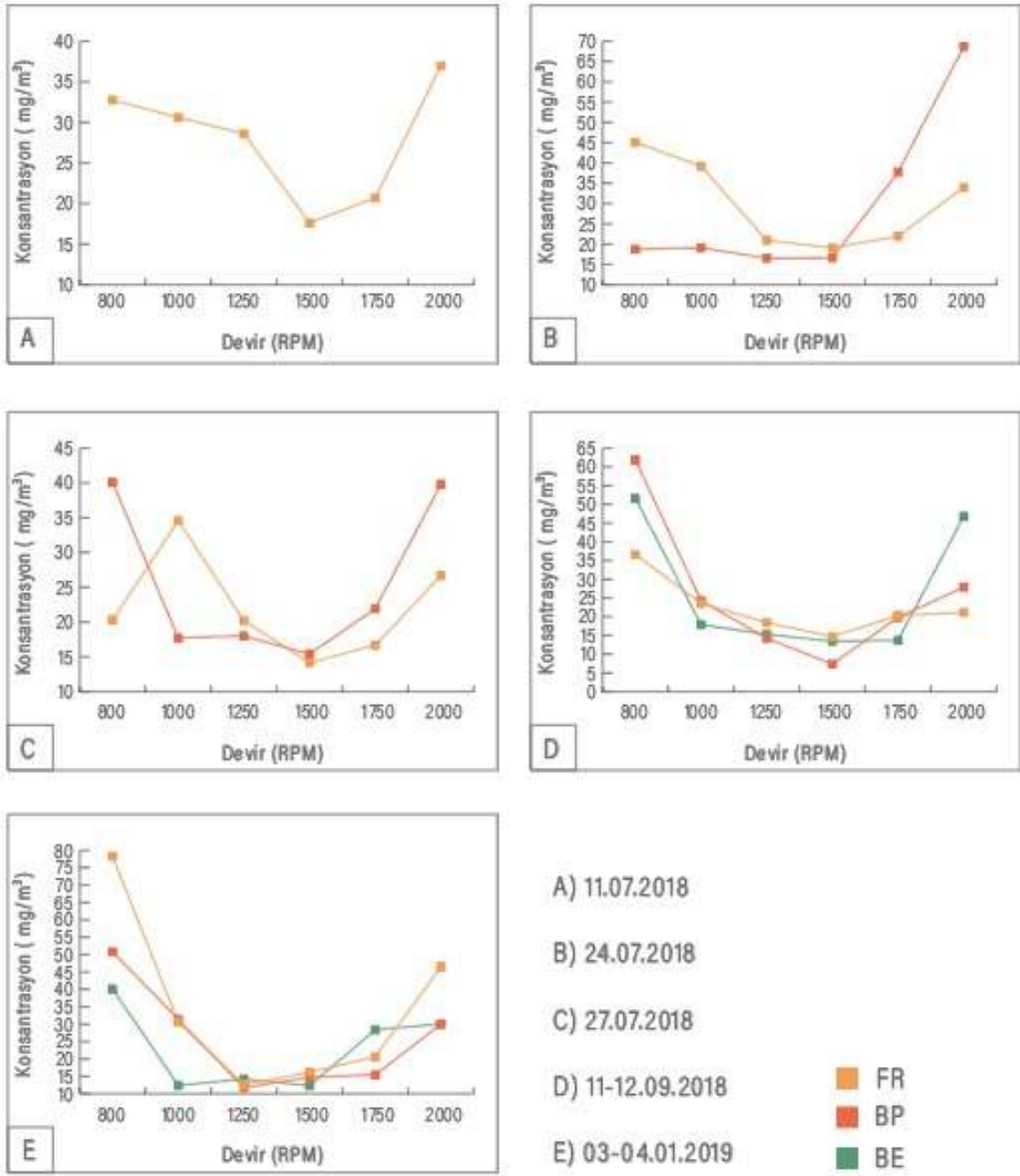
Şekil 5.10. Tüm örneklemelere ait PM kütle emisyon grafikleri

Gerçekleştirilen tüm örneklemelerin kütle emisyonu ve partikül madde konsantrasyon sonuçlarının ortalamasına bakıldığında rölanti ile 2000 devir arasında U-Şeklinin olduğu görülmektedir. Oluşan U-Şekli gaz türbinli uçakların kütle emisyonlarında ve kütle emisyon faktörleri sonuçlarında gözlenmektedir (Kinsey vd., 2011; Yu vd., 2017). Bu durum piston motorlu uçakların kütle emisyonu ve partikül madde konsantrasyon sonuçlarında da benzer şekilde görülmektedir. Yakıt karışımları arasındaki değişimler incelendiğinde genel olarak FR yakıt karışımındaki PM konsantrasyonu rölanti devri ile 1500RPM motor devri arasında BP ve BE yakıt

karışımındaki emisyonlardan daha fazladır. En yüksek PM konsantrasyonu rölanti motor devrinde ve BE yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemede gözlenmiştir. En düşük PM konsantrasyonu aynı şekilde BE yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemede gözlenmiştir. Tüm testlere ait ortalama partikül madde kütle konsantrasyonlarına ait veriler Şekil 5.11’de ve tüm testlere ait partikül madde kütle konsantrasyonuna ait veriler Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Partikül Madde kütle konsantrasyonu



Şekil 5.12. Tüm örnekleme tarihlerine ait PM konsantrasyon grafikleri

Çalışmada toplanan örneklerin kütle emisyonlarının belirlenmesinin yanında motor devri ve yakıt karışımlarına göre örnek alınan filtrelerin üzerindeki renk değişimleri de incelenmiştir. Renk değişimi ile kütle emisyonları ya da metal emisyonları arasında doğrudan bir ilişki saptanamamıştır. Ancak genel olarak değerlendirecek olursak, FR yakıt karışımı altında yapılan çalışmalardan elde edilen filtrelerin renklerinin diğer yakıt karışımlarına kıyasla daha koyu renkte olduğu gözlenmiştir. Ayrıca artan motor devri ile filtre üzerindeki rengin açıldığı gözlenmiştir. FR yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örnekleme tarihlerine ait filtre görselleri Şekil 5.13'te verilmiştir.

	DEVİR	RÖLANTİ	1000	1250	1500	1750	2000
11/07/2018	FULL RICH						
24/07/2018	FULL RICH						
27/07/2018	FULL RICH						
11-12/09/2018	FULL RICH						
03-04/01/2019	FULL RICH						

Şekil 5.13. FR yakıt karışımı altında örneklenen filtrelerle ait görsel

24.07.2018, 27.07.2018, 11-12.07.2018 ve 03-04.01.2019 tarihlerinde BP yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemler sonucunda elde edilen filtrelerde ise renk değişiminde bir uyum gözlenmemiştir. Temmuz ayında gerçekleştirilen örneklemlerde artan devir altındaki çalışmalarda elde edilen filtrelerdeki renk değişiminin açıktan koyuya doğru seyrettiği, eylül ayında gerçekleştirilen örneklemlerde artan devir altındaki çalışmalarda elde edilen filtrelerdeki renk değişiminin koyudan açığa doğru seyrettiği gözlenmiştir. Ocak ayı içerisinde gerçekleştirilen örneklemlerde ise 1000RPM, 1250RPM ve 1500RPM motor devri altında elde edilen filtrelerde diğer devirlere kıyasla daha açık renk değişimi olduğu gözlenmiştir. BP yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemlere ait filtre görselleri Şekil 5.14’te verilmiştir.

	DEVİR	RÖLANTİ	1000	1250	1500	1750	2000
24/07/2018	BEST POWER						
27/07/2018	BEST POWER						
11-12/09/2018	BEST POWER						
03-04/01/2018	BEST POWER						

Şekil 5.14. BP yakıt karışımı altında örneklenen filtreleere ait görsel

BE yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemelerde ise diğer yakıt karışımlarına kıyasla koyu renkten açık renge doğru tutarlı bir değişim olduğu gözlenmiştir. BE yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemelere ait filtre görselleri Şekil 5.15’de verilmiştir.

	DEVİR	RÖLANTİ	1000	1250	1500	1750	2000
11-12/09/2018	BEST ECONOMY						
03-04/01/2018	BEST ECONOMY						

Şekil 5.15. BE yakıt karışımı altında örneklenen filtreleere ait görsel

5.3.Partikül Madde İz Element Emisyonları

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm örneklemelerin kütle emisyonlarıyla birlikte iz element emisyonları da belirlenmiştir. Analizlerde Li, Be, B, Na, Mg, Al, K, Ti, S, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Sm, Eu, Ho, Yb, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th, U olmak üzere yaklaşık 48 elementi içeren standartlar kullanılmıştır. Tüm örneklemelere ait iz element analiz sonuçları Tablo 5.1-11’de verilmiştir. Tablo 5.1-11’de analiz sonucunda ölçülemeyen değerler DLA (Dedeksiyon Limitinin Altında) şeklinde belirtilmiştir.

Tablo 5.1. 11.07.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları

FR - 11.07.2018						
ELEMENT (ng)	DEVİR					
	RÖLANTİ	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	230168,7	241740,7	284297,4	180442,0	133354,9	730071,0
Na	7429,4	6220,3	9460,4	9177,7	9738,7	8046,4
Al	6176,6	4096,2	5313,6	4943,9	5468,9	5417,4
S	5922,5	3368,8	4035,0	4035,0	1814,4	1148,2
Ca	3371,1	4151,8	17125,5	11363,3	5898,9	4820,8
Mg	1533,9	606,3	1146,1	1435,4	720,3	763,3
Sn	1341,2	1171,0	1409,4	1456,8	1795,0	1431,5
In	1181,0	849,1	1160,9	1170,9	1472,7	1246,4
Cr	247,2	3,1	39,3	119,7	25,5	36,9
Se	171,9	31,6	189,4	182,4	175,4	242,0
V	165,1	191,7	211,8	254,4	291,4	231,8
Ba	134,8	67,4	76,9	30,2	16,1	17,4
Ni	110,8	15,2	33,7	9,4	0,7	20,5
As	76,1	88,4	101,1	125,6	154,3	116,2
Cu	66,6	32,6	60,4	36,9	18,2	83,8
Ti	55,1	21,2	67,7	45,5	58,8	34,2
Zn	30,4	252,9	526,8	172,9	93,6	97,9
Sr	13,9	7,5	15,6	23,0	6,2	4,4
Cd	7,4	9,9	33,1	13,3	11,4	35,9
Ge	4,9	6,0	9,6	12,5	18,6	12,6
Ga	2,3	1,1	1,2	DLA	DLA	0,2
Ag	2,1	1,1	3,1	2,9	1,2	0,1
Zr	1,1	DLA	1,0	DLA	0,8	0,7
B	0,3	DLA	DLA	DLA	10,7	DLA
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mn	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
La	DLA	0,3	2,5	0,6	0,4	0,5
Sm	DLA	DLA	163,1	DLA	DLA	163,1
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.2. 24.07.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları

FR - 24.07.2018						
ELEMENT (ng)	DEVİR					
	RÖLANTİ	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	114938,7	225979,2	223130,6	176107,7	284759,3	390983,3
S	7476,8	4590,1	6477,6	5034,3	926,2	704,1
Na	6562,1	5881,7	10104,6	5829,9	4971,5	4519,0
Ca	4560,6	1847,1	4003,1	7311,4	3668,5	2256,0
Al	4201,9	3907,3	4824,1	4244,7	3562,7	2629,1
Sn	1185,9	1353,7	1419,9	1313,2	1079,7	1059,5
In	1160,9	1110,6	1296,7	1286,6	879,3	979,8
Mg	1043,5	593,7	948,8	553,9	512,4	379,9
Se	228,0	178,9	178,9	228,0	154,3	217,5
V	227,8	303,0	337,9	340,1	281,6	259,4
Zn	160,4	52,2	99,7	238,4	92,3	99,5
As	111,0	162,3	177,2	178,1	146,3	137,7
Cr	98,7	74,0	34,5	63,6	101,9	66,5
Cu	43,2	40,2	39,4	28,3	49,0	65,6
Ti	42,5	26,2	45,5	33,5	36,5	6,5
Ni	38,6	44,4	20,1	11,0	11,6	14,4
Ba	38,5	31,6	329,3	98,3	51,5	91,4
Ge	13,3	24,4	29,2	28,6	17,7	20,0
Cd	11,5	15,3	14,3	12,5	19,5	23,8
Zr	6,5	0,0	1,8	2,5	DLA	DLA
Sr	4,5	2,6	12,5	8,4	5,0	4,0
La	1,5	0,0	0,5	1,1	0,2	0,7
Ga	0,5	0,4	6,2	1,8	1,0	1,0
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mn	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sm	DLA	DLA	163,1	DLA	DLA	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	DLA	0,8	1,7	1,0	1,1	DLA

Tablo 5.3. 24.07.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları

BP - 24.07.2018						
ELEMENT (ng)	DEVİR					
	RÖLANTİ	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	78725,4	168049,3	248167,6	266930,4	488962,2	1080464,8
S	14471,7	1037,2	DLA	704,1	1925,4	6255,6
Na	13552,3	7736,0	7154,5	5882,5	7017,7	6797,7
Al	4313,2	39800,6	4633,1	2873,0	4114,4	5348,7
Ca	2702,0	10508,3	1995,8	4003,1	3705,7	2293,2
Sn	1094,8	1292,6	1207,0	1242,5	1035,9	1211,7
In	808,9	1115,6	1140,8	1170,9	954,7	1221,2
Mg	793,7	1246,8	881,7	788,0	666,2	655,0
V	192,6	93,8	195,3	239,3	232,5	47,9
Cr	173,0	217,1	153,7	138,0	141,4	27,1
Ba	147,4	316,5	236,8	522,9	81,1	28,1
As	98,4	31,8	93,8	115,8	113,0	9,8
Zn	39,2	337,9	64,1	103,8	41,7	85,8
Se	38,6	98,2	66,6	56,1	178,9	841,8
Ti	32,5	56,4	32,8	10,2	30,8	48,8
Cu	24,0	45,3	71,7	61,1	89,2	129,1
Ni	12,0	33,7	24,7	38,8	18,5	14,8
Cd	10,8	15,2	25,3	28,2	54,1	69,6
Ge	9,4	0,1	9,3	13,8	11,2	DLA
Sr	7,4	18,2	10,4	15,8	5,1	3,8
Ga	1,9	11,6	3,8	9,8	1,0	0,6
Ag	0,7	0,3	5,5	3,1	0,7	0,4
La	0,3	1,3	0,1	0,5	0,4	0,2
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	26,2	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mn	DLA	1,4	DLA	6,1	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Zr	DLA	3,8	DLA	0,3	0,2	1,4
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sm	DLA	DLA	DLA	DLA	163,1	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	0,1
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.4. 27.07.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları

FR - 27.07.2018						
ELEMENT (ng)	DEVİR					
	RÖLANTİ	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	84754,6	184133,6	136090,3	61284,1	652234,8	387904,9
Na	4254,5	5508,9	4170,2	5629,9	4674,0	6361,1
S	2591,6	2924,6	1592,3	1370,3	1925,4	1148,2
Sn	1278,1	1172,9	1082,4	1309,9	1099,3	1423,6
In	1241,3	834,0	1000,0	1110,6	1000,0	1201,1
Ca	657,7	3965,9	1401,1	5043,9	5861,7	2627,7
V	200,5	274,2	282,6	240,1	248,7	203,7
Ba	155,5	22,0	192,0	186,0	140,2	16,8
As	97,6	143,0	151,4	121,4	121,8	99,8
Se	73,7	196,4	157,8	80,7	326,2	333,2
Zn	49,9	140,5	62,8	164,3	219,1	81,3
Ni	41,7	16,0	86,9	131,5	42,8	4,9
Cr	37,3	55,1	159,7	265,1	80,4	20,1
Cu	35,4	146,3	26,0	117,9	95,5	82,9
Ge	12,7	19,0	19,3	19,5	19,4	12,6
Sr	4,5	3,7	4,9	12,9	5,8	3,1
Cd	2,6	22,9	13,7	0,9	49,8	29,9
Ga	1,8	0,5	2,3	2,7	2,2	DLA
Mg	DLA	658,3	535,3	682,0	572,5	382,4
Al	DLA	3270,0	2800,5	3609,9	3483,1	3846,3
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ti	DLA	26,5	22,8	38,8	20,9	34,2
Mn	DLA	DLA	DLA	14,4	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	0,4	DLA	DLA
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Zr	DLA	2,2	1,8	1,5	4,5	1,5
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
La	DLA	0,3	0,2	0,1	1,0	0,1
Sm	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	DLA	0,2	0,3	1,5	1,6	1,0

Tablo 5.5. 27.07.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları

ELEMENT (ng)	BP - 27.07.2018					
	RÖLANTİ	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	125896,8	156657,4	227320,9	82040,8	311767,8	223098,9
Na	4546,9	7005,3	6133,6	4642,9	3789,9	4100,6
S	4035,0	1814,4	6477,6	1814,4	0,0	593,1
Ca	3668,5	5564,3	3817,2	1215,2	3073,8	2776,4
Al	3551,1	4149,1	3778,8	3854,9	2640,2	3081,0
Sn	1219,2	1383,4	1589,2	1145,5	1007,8	979,5
Mg	1104,2	766,5	370,7	477,8	352,5	413,1
In	1100,5	1125,7	1321,8	904,4	854,1	823,9
V	329,5	233,3	258,6	237,3	196,9	199,8
Se	256,0	175,4	115,7	28,1	308,7	305,2
Ba	208,9	75,9	81,9	132,8	88,7	23,7
As	169,9	109,8	132,9	126,7	104,1	105,0
Zn	92,1	238,4	113,5	187,7	59,9	25,7
Cu	67,7	46,5	25,8	16,8	64,9	48,4
Cr	64,0	194,6	99,4	204,2	11,8	0,8
Ti	52,1	34,8	35,5	45,5	8,2	24,5
Ge	26,0	9,5	17,8	18,1	16,2	21,6
Cd	21,0	21,4	1,0	0,6	12,5	22,4
Ni	19,2	31,7	50,1	86,1	14,8	11,5
Sr	7,6	6,2	4,4	6,0	0,4	10,0
Ga	3,2	1,1	0,3	1,9	0,5	DLA
Ag	0,8	0,7	0,7	DLA	0,1	6,8
La	0,6	0,8	0,2	1,0	0,1	1,0
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mn	DLA	DLA	DLA	6,6	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Zr	DLA	2,8	3,9	1,8	DLA	2,2
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	0,2	DLA	DLA
Sm	DLA	684,3	163,1	1205,5	163,1	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	0,1
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	0,4

Tablo 5.6. 11-12.09.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları

ELEMENT (ng)	FR - 11.09.2018-12.09.2018					
	RÖLANTİ	DEVİR				
	1000	1250	1500	1750	2000	
Pb	149916,3	248584,1	318902,4	215369,9	345660,9	336502,9
Na	6822,5	5208,2	6698,9	6376,6	7160,7	6001,1
Al	3672,3	3031,2	4015,0	3159,1	3815,8	3113,0
Ca	2181,7	3519,9	3928,7	2107,3	5973,2	2962,3
S	1592,3	815,1	1925,4	1259,2	DLA	DLA
Sn	1591,4	1431,9	1750,7	1804,0	1674,3	1676,0
In	1462,6	1186,0	1512,9	1578,3	1648,7	1352,0
Mg	1051,7	549,9	671,8	423,9	565,7	670,1
V	246,8	220,8	203,9	261,4	245,6	282,5
Se	196,4	249,0	105,2	189,4	185,9	385,8
Ba	187,5	132,8	155,3	130,4	130,1	443,4
As	123,0	124,7	100,4	141,6	128,8	153,6
Cr	118,2	48,7	270,3	132,8	134,6	19,7
Zn	114,9	182,2	31,9	19,6	207,2	101,4
Cu	100,8	38,2	55,2	40,4	48,9	155,8
Ni	100,1	56,6	89,6	77,7	85,0	26,9
Ti	32,2	36,8	42,5	22,5	29,8	22,5
Ge	16,5	18,4	12,0	23,2	23,1	24,9
Sr	10,5	7,2	6,2	5,5	7,0	11,8
Cd	10,0	9,0	18,5	12,4	26,8	25,2
Ga	3,6	2,1	1,6	1,5	1,5	6,2
Ag	3,2	4,2	DLA	DLA	DLA	DLA
Zr	2,0	DLA	0,6	2,2	2,7	DLA
Be	1,9	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	0,5	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
La	0,4	0,3	0,2	0,4	0,1	0,5
U	0,1	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Eu	0,1	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mn	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sm	DLA	DLA	DLA	DLA	423,7	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.7.11-12.09.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları

BP - 11.09.2018-12.09.2018						
ELEMENT (ng)	DEVİR					
	RÖLANTİ	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	249427,2	238951,2	299847,1	100733,7	445564,6	453676,3
Na	7624,7	5000,1	7784,9	7442,6	6983,4	5010,6
S	6699,5	1481,3	DLA	DLA	DLA	DLA
Al	4224,8	2928,0	4130,8	4118,1	3498,9	2512,2
Ca	3631,4	3965,9	2479,1	3408,3	3705,7	2776,4
In	1865,0	1125,7	1754,3	1623,6	1437,5	1326,8
Sn	1855,8	1377,1	1892,2	1863,8	1717,9	1336,9
Mg	1586,7	378,9	793,9	742,7	468,2	631,4
V	303,1	208,3	329,9	267,0	264,9	185,7
Cr	256,1	152,0	195,8	205,6	64,3	19,9
Se	221,0	206,9	192,9	126,3	263,1	231,5
Zn	161,3	43,3	80,9	115,7	89,1	122,7
As	160,1	112,0	171,3	149,5	141,3	96,3
Ba	121,8	87,0	355,2	187,7	88,8	221,9
Ni	102,2	33,3	117,9	33,2	21,8	26,9
Cu	100,3	33,5	50,1	19,5	57,8	71,6
Ti	51,1	23,2	42,8	39,8	44,8	22,5
Cd	27,7	9,5	22,3	5,5	36,1	59,5
Ge	22,6	18,5	30,2	24,4	31,2	12,3
Sr	6,1	2,7	19,3	8,6	4,7	8,5
Zr	2,2	0,8	DLA	0,5	DLA	DLA
Ag	1,2	DLA	1,3	1,0	2,1	0,7
Ga	1,2	0,5	5,9	2,5	0,4	2,9
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mn	DLA	DLA	1,0	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
La	DLA	1,8	0,1	1,3	0,9	DLA
Sm	DLA	DLA	DLA	DLA	163,1	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.8. 11-12.09.2018 tarihli BE yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları

ELEMENT (ng)	BE - 11.09.2018-12.09.2018					
	RÖLANTİ	DEVİR				
	1000	1250	1500	1750	2000	
Pb	88268,9	200635,9	220369,3	121804,5	224969,6	197512,1
Na	4562,9	7298,0	5373,0	5356,3	4450,7	4764,6
Ca	3408,3	2441,9	3891,6	2702,1	2033,0	8984,2
S	3368,8	149,0	DLA	DLA	DLA	25574,7
Al	2446,5	3802,8	2074,3	2668,4	2662,4	3843,7
Sn	1306,5	1858,5	1693,5	1589,8	1349,7	1441,3
In	1181,0	1528,0	1553,2	1558,2	1095,5	1110,6
Mg	818,2	548,0	338,7	340,4	384,4	84183,6
Sm	423,7	DLA	DLA	DLA	DLA	423,7
V	255,3	278,9	268,4	205,2	211,1	264,5
Se	206,9	252,5	171,9	77,2	154,3	221,0
As	141,2	150,3	146,9	116,4	115,3	160,7
Cr	116,8	69,1	302,8	6,0	27,8	493,7
Zn	103,0	108,6	104,0	26,9	15,2	430,2
Ni	80,0	53,8	184,3	12,7	4,4	454,4
Cu	44,8	52,6	44,2	22,4	8,0	255,1
Ba	36,5	92,4	171,0	111,7	106,2	42963,2
Ti	24,2	40,5	15,9	18,5	13,9	61,8
Ge	20,8	23,7	23,6	19,1	22,3	27,3
Cd	18,9	13,1	17,2	8,0	14,8	16,9
Ag	1,7	DLA	DLA	DLA	0,1	5,3
Sr	1,4	5,9	5,9	17,4	3,2	1071,9
La	0,3	0,7	DLA	0,5	DLA	1,2
Ga	0,2	1,0	2,3	0,9	1,5	656,2
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mn	DLA	DLA	6,8	DLA	DLA	298,3
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	10668,2
Co	DLA	DLA	0,8	DLA	DLA	15,9
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Zr	DLA	0,5	0,1	DLA	3,8	DLA
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	6,8
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.9. 03-04.01.2019 tarihli FR yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları

FR - 03.01.2019-04.01.2019						
ELEMENT (ng)	DEVİR					
	RÖLANTİ	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	249015,8	223723,0	170118,8	196844,9	187271,8	769917,6
Ca	20434,1	1884,3	2441,9	9021,4	12478,5	16010,1
S	5367,2	371,1	DLA	DLA	DLA	DLA
Na	2854,8	5217,7	5494,3	5365,4	5521,0	5610,0
Al	2660,7	2687,7	2738,0	2706,3	2548,2	1977,3
Mg	1582,5	392,6	298,3	365,1	621,7	622,0
Sn	914,6	1560,2	1421,6	1535,2	1426,7	1407,2
In	728,4	1553,2	1115,6	1347,0	1241,3	1085,4
Zn	507,8	71,8	33,9	124,1	248,0	367,8
Se	256,0	210,4	133,3	161,3	126,3	291,1
V	200,4	269,6	161,4	186,8	235,8	221,2
Ba	144,4	38,7	23,3	50,4	59,9	107,7
As	112,1	147,0	83,5	95,9	130,6	116,5
Cu	57,5	31,7	21,4	28,6	43,3	134,2
Ni	51,2	28,8	8,9	3,3	29,5	44,8
Cd	31,9	9,7	6,6	7,0	13,6	48,6
Ti	23,5	18,2	25,5	17,9	22,5	10,9
Cr	18,0	61,9	59,0	51,4	82,9	33,7
Ge	16,5	27,8	9,4	10,3	20,8	19,3
Sr	12,2	4,0	3,7	5,4	10,3	10,4
Ga	1,3	0,1	DLA	0,3	DLA	0,8
Zr	0,9	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	0,3	2,3	1,6	DLA	0,5	1,1
La	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,5
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mn	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sm	DLA	163,1	DLA	DLA	DLA	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.10. 03-04.01.2019 tarihli BP yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları

BP - 03.01.2019-04.01.2019						
ELEMENT (ng)	DEVİR					
	RÖLANTİ	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	110471,1	170930,2	121420,5	232722,4	199148,6	433029,8
Ca	3557,0	2850,8	3148,2	1549,8	2070,2	1958,6
S	3035,6	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Al	2043,5	1547,2	2311,6	2192,7	1069,5	2107,5
Na	1862,5	4748,6	3986,2	5518,1	5165,9	3210,3
Sn	878,3	1468,3	1296,8	1567,8	1635,9	870,5
In	798,8	1362,0	1095,5	1447,5	1578,3	663,0
Mg	463,8	517,0	824,1	201,7	45,7	280,3
Se	259,6	59,6	70,1	157,8	98,2	301,6
V	215,6	221,5	253,0	209,4	216,2	185,4
As	120,7	122,0	143,0	114,8	113,8	105,5
Zn	69,2	97,7	168,6	44,0	50,7	52,6
Cr	55,2	DLA	36,1	109,2	DLA	49,0
Ni	29,7	19,1	29,0	6,4	DLA	10,7
Cu	26,3	41,8	24,6	34,7	94,9	64,5
Ge	18,6	16,7	22,1	16,4	17,7	13,6
Ba	14,4	80,4	284,7	35,3	25,0	36,5
Cd	11,4	12,6	8,5	13,1	17,4	44,0
Ti	10,5	5,9	19,9	22,8	0,6	13,9
Sr	2,2	4,1	14,2	4,8	0,5	5,3
La	0,3	0,3	0,6	DLA	DLA	DLA
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mn	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ga	DLA	0,6	3,6	DLA	DLA	DLA
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Zr	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	DLA	0,9	3,7	0,3	0,2	1,2
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sm	DLA	DLA	163,1	DLA	DLA	423,7
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.11. 03-04.01.2019 tarihli BE yakıt karışımı altında iz element analiz sonuçları

BE - 03.01.2019-04.01.2019						
ELEMENT (ng)	DEVİR					
	RÖLANTİ	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	110226,1	115760,9	195317,2	DLA	344556,9	422358,6
Ca	2516,2	2218,8	2702,1	DLA	2218,8	3408,3
S	2480,5	DLA	DLA	DLA	DLA	38,0
Al	2102,2	1653,2	2364,4	DLA	1709,5	2355,2
Na	1186,1	3295,3	5573,5	DLA	4023,0	3019,1
Mg	682,2	356,9	174,2	DLA	407,9	260,7
Sn	552,2	1122,8	1582,3	DLA	1289,2	1057,8
In	527,2	954,7	1256,4	DLA	1105,6	914,5
Se	231,5	66,6	143,8	DLA	185,9	364,8
V	172,9	218,8	264,7	7,3	188,4	189,7
As	95,0	121,2	147,6	DLA	103,8	102,8
Zn	78,6	2,5	47,6	DLA	90,3	76,2
Ba	54,8	56,5	34,1	DLA	201,0	35,8
Cr	39,2	30,9	49,9	DLA	50,6	39,5
Cd	25,4	9,4	12,2	DLA	25,5	38,4
Cu	24,5	21,3	41,2	DLA	26,8	24,3
Ni	24,4	2,3	52,8	DLA	7,4	4,7
Ge	11,7	19,0	24,0	DLA	13,6	16,5
Sr	5,0	5,2	1,6	DLA	5,2	4,0
Ti	3,2	2,6	27,8	DLA	9,9	20,5
Ag	0,5	0,2	1,2	DLA	DLA	0,1
La	0,2	2,3	0,1	DLA	DLA	0,1
Ga	0,2	0,5	DLA	DLA	2,0	DLA
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mn	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Zr	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	0,1
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sm	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

FR yakıt karışımı altında elde edilen iz element analiz sonuçları incelendiğinde ortalama Pb element sonuçlarının toplam emisyonların büyük bir bölümünü oluşturduğu görülmüştür. Pb elementinden sonra Ca, Na, S, Al, Sn, In, Mg emisyonlarının baskın olduğu görülmüştür. Pb emisyonlarına genel olarak bakıldığında rölanti motor devrinde en düşük, 2000RPM motor devrinde en yüksek emisyonların örneklediği gözlenmiştir. Tüm motor devirleri için ortalama Pb emisyon değerleri 165758,8ng ile 523075,9ng arasında değişmektedir. Bu değerler tüm örnekleme tarihlerine ait sonuçların ortalaması alınarak bulunmuştur.

BP yakıt karışımı altında elde edilen iz element sonuçları incelendiğinde Pb element sonuçlarının FR yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örnekleme sonuçlarında olduğu gibi toplam emisyonların büyük bir bölümünü oluşturduğu görülmüştür. Pb elementinden sonra S, Na, Al, Ca, Sn, In ve Mg emisyonlarının baskın olduğu görülmüştür. Pb emisyonlarına genel olarak bakıldığında rölanti motor devrinde en düşük, 2000RPM motor devrinde en yüksek emisyonların örneklediği gözlenmiştir. Tüm motor devirleri için ortalama Pb emisyon değerleri 141130,1ng ile 495005,8ng arasında değişmektedir. Bu değerler tüm örnekleme tarihlerine ait sonuçların ortalaması alınarak bulunmuştur.

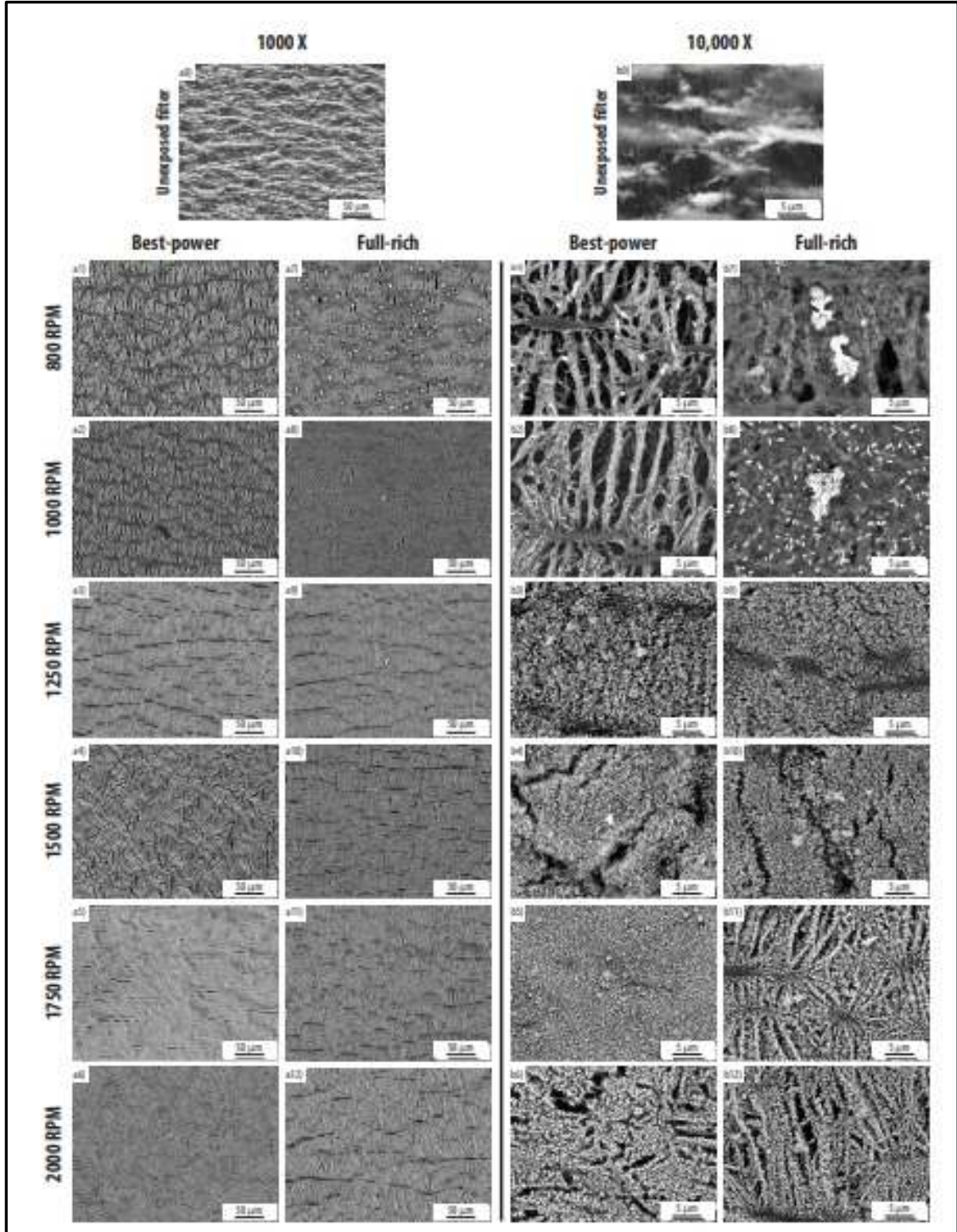
BE yakıt karışımı altında elde edilen iz element sonuçları incelendiğinde Pb element sonuçlarının diğer yakıt karışımlarında olduğu gibi toplam emisyonların büyük bir bölümünü oluşturduğu görülmüştür. Pb elementinden sonra Na, Ca, Al, S, Sn, In ve Mg emisyonlarının baskın olduğu görülmüştür. Pb emisyonlarına genel olarak bakıldığında 1000 RPM motor devrinde en düşük, 2000 RPM motor devrinde en yüksek emisyonların örneklediği gözlenmiştir. Tüm motor devirleri için ortalama Pb emisyon değerleri 125958,6 ng ile 421345,7 ng arasında değişmektedir. Bu değerler tüm örnekleme tarihlerine ait sonuçların ortalaması alınarak bulunmuştur. Ayrıca, 03-04.01.2019 tarihinde BE yakıt karışımı altında ve 1500RPM motor devrinde gerçekleştirilen örnekleme için filtrenin iz element sonuçlarında yaşanan sorun nedeni ile iz element sonuçları elde edilememiştir.

5.4.Partikül Madde Elektron Mikroskop Analiz Sonuçları

Örnekleme sürecinde elde PM emisyonlarının belirlenmesi için kullanılan PTFE filtreler Eskişehir Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde bulunan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile analizler gerçekleştirilmiştir. Elektron mikroskop analizlerinde tüm örnekleme setleri analiz edilmemiştir. SEM analizlerinde

tüm motor devrini içeren FR ve BP yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örnekler analiz edilmiştir. Bu veri seti 24.07.2018 tarihinde gerçekleştirilen saha çalışmasına aittir.

Gerçekleştirilen SEM analizinde 1000X ve 10000X olmak üzere iki büyütme oranı kullanılmıştır. Rölanti motor devrinde ve FR yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemelere ait sonuçlarda parçacık boyutlarının 10 μm 'den büyük olduğu ve yüzeyde homojen bir dağılım gösterdikleri görülmüştür. 10000X büyütme oranında ise filtre yapısının net bir şekilde gözlenebildiği ve bu yapılar üzerinde 1 μm 'den daha küçük parçacıkların varlığı gözlenmiştir. Ancak diğer motor güç devri ve yakıt karışımı altında elde edilen örneklerde böylesine bir homojen dağılımdan bahsetmek mümkün değildir. FR yakıt karışımı altında 1000 RPM ve 1500 RPM motor devri altında gerçekleştirilen örneklerle ait sonuçlarda 0,5 μm boyutlarında ince ve uzun parçacıklar olduğu, aynı yakıt karışımında 1750 RPM ve 2000 RPM motor devri altında gerçekleştirilen örneklemelere ait sonuçlarda ise parçacıkların farklı geometrilerde ve kümeleşme eğiliminde oldukları görülmüştür. BP yakıt karışımında ve düşük motor devri altında gerçekleştirilen örneklemelere ait sonuçlarda ise parçacık boyutlarının ve geometrilerinin değişken özellikte olduğu görülmüştür (Turgut, vd., 2019). SEM analiz sonuçlarına ait görseller Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.16. SEM analiz sonuçlarına ait görsel (Turgut vd., 2019)

5.5.Yağ ve Yakıt Sonuçları

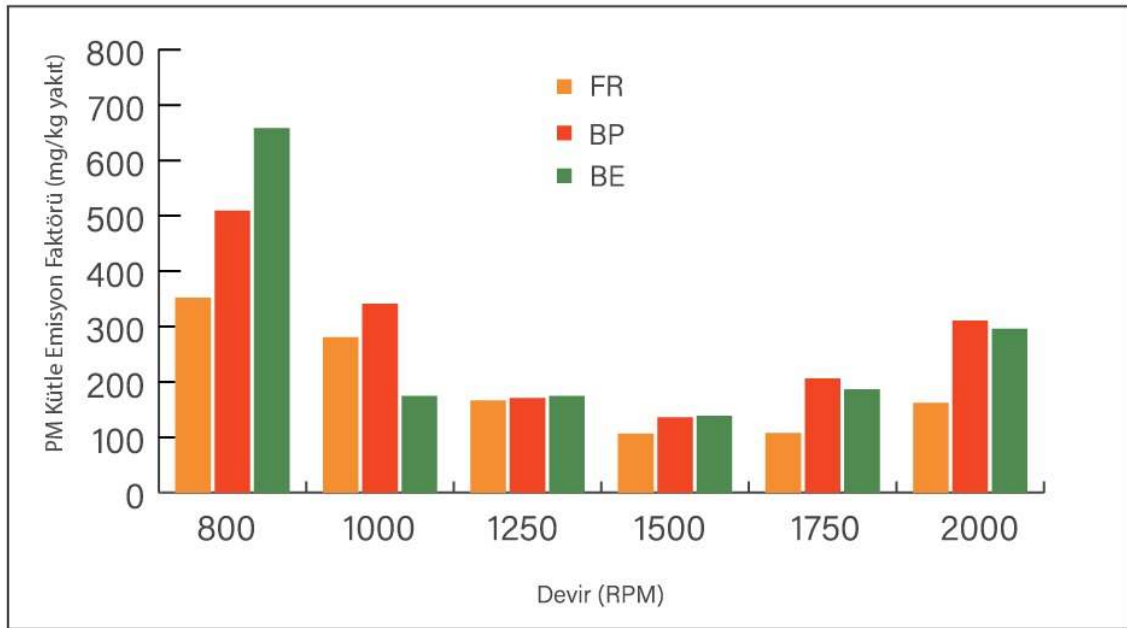
Çalışma kapsamında kullanılan uçaklardan yakıt ve kullanılmış yağ numuneleri alınmıştır. Alınan numuneler Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarına analiz edilmek üzere gönderilmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında yakıt içeriğindeki kurşun miktarı baskın bir şekilde görülmektedir. Kurşun elementinden sonra sırasıyla Na, Ca, Zn, P ve Si elementleri yakıt içeriğinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Kullanılmış yağ numunesine ait sonuçlar incelendiğinde Pb yakıt sonucundan farklı olarak P elementi baskın olarak görülmüştür. P elementinden sonra sırasıyla Pb, Ca, Mg, Na, Zn ve Al elementleri kullanılmış yağ içeriğinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Analiz sonuçlarına ait veriler Tablo 5.4’te verilmiştir. Tablo 5.4’te analiz sonucunda ölçülemeyen değerler DLA (Dedeksiyon Limitinin Altında) şeklinde belirtilmiştir. Analizlerde toplamda 59 element incelenmiştir.

Tablo 5.12. Yağ ve yakıt analiz sonuçları

Element (µg/L)	Yakıt	Yağ	Element (µg/L)	Yakıt	Yağ	Element (µg/L)	Yakıt	Yağ
Pb	13266,8	2049,3	W	0,29	0,15	La	0,02	0,02
Na	626,3	379,2	Sn	0,12	1,76	Sc	0,01	0,01
Ca	279,3	1114,4	Mo	0,12	0,28	U	0,01	0,02
Zn	225,5	346,3	Bi	0,11	0,27	Th	0,01	0,01
P	168,3	2587,2	Hg	0,10	0,05	Hf	0,01	0,02
Si	163,0	98,8	Se	0,09	0,02	Ge	0,01	0,02
K	65,3	43,2	Rb	0,09	0,09	Gd	0,01	DLA
Al	64,5	184,9	As	0,09	0,08	Pr	0,01	0,01
Mg	55,8	775,2	Nb	0,04	0,01	Te	DLA	0,01
Cu	27,6	63,1	Be	0,04	0,03	Dy	DLA	DLA
Fe	19,0	46,8	Co	0,04	0,09	Sm	DLA	DLA
B	4,0	0,9	Cd	0,04	12,02	Er	DLA	DLA
Sr	1,6	12,6	Ga	0,04	0,01	Yb	DLA	DLA
Ba	1,4	16,7	Ce	0,03	0,04	In	DLA	0,01
Ni	1,1	3,2	Ag	0,03	0,03	Eu	DLA	DLA
Ti	0,8	0,6	Tl	0,03	0,01	Ho	DLA	DLA
Ta	0,6	0,1	Sb	0,03	0,01	Tb	DLA	DLA
Mn	0,6	1,7	Cs	0,02	0,02	Tm	DLA	DLA
Cr	0,5	1,7	Y	0,02	0,01	Lu	DLA	DLA
Zr	0,3	0,6	Nd	0,02	0,02			

5.6. Emisyon Faktörü/İndisi Sonuçları

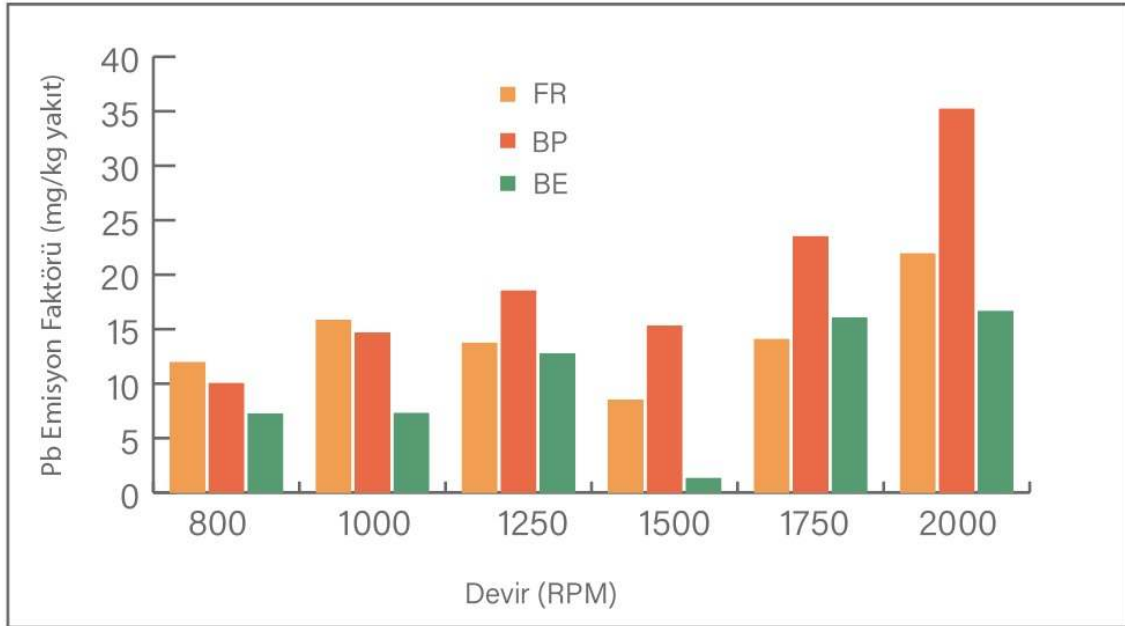
Çalışmada kullanılan filtrelerin tartımları ve iz element analizleri sonucunda elde edilen veriler örneklemelerdeki kütle emisyonları ve iz element emisyonlarına ait sonuçları vermiştir. Elde edilen bu veriler “4.6 Emisyon Faktörü/İndisleri” başlığı altında bulunan denklikler ile hesaplanmıştır. Kütle emisyonlarına ait emisyon faktörü hesaplamalarına ait sonular incelendiğinde, rölanti motor devri ile 2000RPM motor devri arasında “5.4. Partikül Madde Kütle Konsantrasyonu” başlığında bahsedilen U-Şeklinin olduğu gözlenmektedir. Sonuçlara genel olarak bakılacak olursa, en yüksek değer rölanti motor devrinde BE yakıt karışımı altında elde edilmiştir. En düşük değer ise 1500 RPM motor devrinde FR yakıt karışımı altında elde edilmiştir. 1250 RPM motor devrinde üç yakıt karışımı altında da yaklaşık emisyon değerleri olduğu gözlenmiştir. Kütle emisyonlarına ait ortalama emisyon faktörü verileri Şekil 5.17’de verilmiştir.



Şekil 5.17. Ortalama kütle emisyon faktörü değerleri

Çalışmada gerçekleştirilen iz element analizlerinin ardından elde edilen veriler kütle emisyonlarında olduğu gibi “4.6 Emisyon Faktörü/İndisleri” başlığı altında bulunan denklikler ile hesaplanmıştır. Ancak kütle emisyonlarından farklı olarak U-şekli iz element emisyon faktörü sonuçlarında gözlenmemiştir. Pb elementi ortalama emisyon faktörü sonuçları için BP yakıt karışımı altında elde edilen sonuçlarda genel olarak artan bir eğri gözlenirken, diğer yakıt karışımlarında artan eğri gözlenmemiştir. Aynı grafik incelenecek olursa, en yüksek Pb emisyonu 2000 RPM motor devrinde BP yakıt karışımı altında, en düşük Pb emisyonları ise 1500 RPM motor devrinde BE yakıt karışımı altında gözlenmiştir. Çalışmada yaklaşık olarak 48 element üzerinden analiz gerçekleştirilmiştir.

Ancak çalışma kapsamında Pb elementinin emisyon miktarının fazla olması ve konu içerisindeki öneminden dolayı “5.6. Emisyon Faktörü/İndisi Sonuçları” başlığı altında sadece Pb elementine ait emisyon faktörü değerleri grafiği eklenmiştir. Pb emisyonlarına ait ortalama emisyon faktörü verileri Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18. Ortalama Pb emisyon faktörü değerleri

Çalışmada kullanılan filtreler üzerinde gerçekleştirilen iz element analizlerinde 48 element içeren standart çözeltiler kullanılmıştır. Daha önce de bu başlık altında bahsedildiği üzere Pb elementinin emisyon miktarının fazla olması ve konu içerisindeki öneminden dolayı “5.6. Emisyon Faktörü/İndisi Sonuçları” başlığı altında sadece Pb elementine ait emisyon faktörü değerleri grafiği eklenmiş ve tüm örnekleme tarihlerine ait diğer iz element emisyon faktörü sonuçları aynı başlık altında tablolar halinde verilmiştir.

FR yakıt karışımı altındaki sonuçlar incelendiğinde en yüksek Pb elementine ait sonuç 2000 RPM motor devrinde gerçekleştirilen örnekleme aittir. Takip eden diğer elementlerde ise böyle bir konudan bahsetmek mümkün değildir. Çalışmada ortalama en yüksek Pb elementi 21,95 mg/kg yakıt olarak bulunmuş, en yakın diğer iz elementi ile arasında yaklaşık 40 katlık bir fark olduğu gözlenmiştir. FR yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örnekleme sonuçlarında gözlenen U-Şekli iz element analiz sonuçlarında ve emisyon faktörü sonuçlarında görülemez.

BP yakıt karışımı altındaki sonuçlar incelendiğinde en yüksek Pb elementine ait sonuç FR yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örnekleme sonucunda olduğu gibi 2000 RPM motor devrinde gerçekleştirilen örnekleme aittir. Takip eden diğer elementlerde

ise böyle bir konudan bahsetmek mümkün değildir. Çalışmada ortalama en yüksek Pb elementi 35,22 mg/kg yakıt olarak bulunmuş, en yakın diğer iz elementi ile arasında yaklaşık 52 katlık bir fark olduğu gözlenmiştir. BP yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemelerin kütle emisyon ve emisyon faktörü sonuçlarında gözlenen U-Şekli iz element analiz sonuçlarında ve emisyon faktörü sonuçlarında görülememiştir.

BE yakıt karışımı altındaki sonuçlar incelendiğinde en yüksek Pb elementine ait sonuç diğer yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemeye aittir. Takip eden diğer elementlerde ise böyle bir konudan bahsetmek mümkün değildir. Çalışmada ortalama en yüksek Pb elementi 16,66 mg/kg yakıt olarak bulunmuş, en yakın diğer iz elementi ile arasında yaklaşık 39 katlık bir fark olduğu gözlenmiştir. BE yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemelerin kütle emisyon ve emisyon faktörü sonuçlarında gözlenen U-Şekli iz element analiz sonuçlarında ve emisyon faktörü sonuçlarında görülememiştir. Tüm yakıt karışımları altında gerçekleştirilen örneklemeye göre en yüksek Pb elementine ait emisyon faktörü sonucu BP yakıt karışımında görülmüştür. Özellikle yüksek motor devirlerinde BP yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçlarının baskın olduğu görülmüştür. Diğer iz elementler oransal olarak Pb elementinden düşük olması nedeni ile aynı değerlendirmeyi yapmak doğru olmayacaktır. “5.3. Partikül Madde İz Element Emisyonları” başlığı altında da bahsedildiği üzere, 03-04.01.2019 tarihinde BE yakıt karışımı altında ve 1500 RPM motor devrinde gerçekleştirilen örneklemeye ait filtrenin iz element sonuçlarında yaşanan sorun nedeni ile iz element sonuçları elde edilememiş ve dolayısıyla emisyon faktörü hesaplamaları da gerçekleştirilememiştir. Tüm örneklemeye zamanlarına ait iz element emisyon faktörü sonuçları sıralı olarak Tablo 5.13-23’te verilmiştir. Tablo 5.13-23’te analiz sonucunda ölçülemeyen değerler DLA (Dedeksiyon Limitinin Altında); 0,001 mg/kg yakıt altındaki değerler ise yıldız (*) şeklinde belirtilmiştir.

Tablo 5.13. 11.07.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları

Element (mg/kg yakıt)	FR - 11.07.2018					
	DEVİR					
	800	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	21,31	21,81	22,01	12,14	6,89	33,24
Na	0,688	0,561	0,732	0,617	0,503	0,366
Mg	0,142	0,055	0,089	0,097	0,037	0,035
Al	0,572	0,370	0,411	0,333	0,282	0,247
S	0,548	0,304	0,312	0,271	0,094	0,052
Ca	0,312	0,375	1,326	0,764	0,305	0,220
In	0,109	0,077	0,090	0,079	0,076	0,057
Sn	0,124	0,106	0,109	0,098	0,093	0,065
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	*	DLA	DLA	DLA	0,001	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ti	0,005	0,002	0,005	0,003	0,003	0,002
V	0,015	0,017	0,016	0,017	0,015	0,011
Cr	0,023	0,000	0,003	0,008	0,001	0,002
Mn	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ni	0,010	0,001	0,003	0,001	*	0,001
Cu	0,006	0,003	0,005	0,002	0,001	0,004
Zn	0,003	0,023	0,041	0,012	0,005	0,004
Ga	*	*	*	DLA	DLA	*
Ge	*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
As	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,005
Se	0,016	0,003	0,015	0,012	0,009	0,011
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sr	0,001	0,001	0,001	0,002	*	*
Zr	*	DLA	*	DLA	*	*
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	*	*	*	*	*	*
Cd	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,002
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ba	0,012	0,006	0,006	0,002	0,001	0,001
La	DLA	*	*	*	*	*
Sm	DLA	DLA	*	DLA	DLA	*
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.14. 24.07.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları

Element (mg/kg yakıt)	FR - 24.07.2018					
	DEVİR					
	800	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	10,794	22,920	19,317	11,707	15,683	18,863
Na	0,616	0,597	0,875	0,388	0,274	0,218
Mg	0,098	0,060	0,082	0,037	0,028	0,018
Al	0,395	0,396	0,418	0,282	0,196	0,127
S	0,702	0,466	0,561	0,335	0,051	0,034
Ca	0,428	0,187	0,347	0,486	0,202	0,109
In	0,109	0,113	0,112	0,086	0,048	0,047
Sn	0,111	0,137	0,123	0,087	0,059	0,051
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ti	0,004	0,003	0,004	0,002	0,002	*
V	0,021	0,031	0,029	0,023	0,016	0,013
Cr	0,009	0,008	0,003	0,004	0,006	0,003
Mn	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ni	0,004	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001
Cu	0,004	0,004	0,003	0,002	0,003	0,003
Zn	0,015	0,005	0,009	0,016	0,005	0,005
Ga	*	*	0,001	*	*	*
Ge	0,001	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001
As	0,010	0,016	0,015	0,012	0,008	0,007
Se	0,021	0,018	0,015	0,015	0,008	0,010
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sr	*	*	0,001	0,001	*	*
Zr	0,001	*	*	*	DLA	DLA
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	DLA	*	*	*	*	DLA
Cd	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ba	0,004	0,003	0,029	0,007	0,003	0,004
La	*	*	*	*	*	*
Sm	DLA	DLA	0,014	DLA	DLA	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.15. 11.07.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları

Element (mg/kg yakıt)	BP - 24.07.2018					
	DEVİR					
	800	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	9,25	19,17	28,79	26,49	45,99	88,88
Na	1,592	0,883	0,830	0,584	0,660	0,559
Mg	0,093	0,142	0,102	0,078	0,063	0,054
Al	0,507	4,540	0,537	0,285	0,387	0,440
S	1,700	0,118	DLA	0,070	0,181	0,515
Ca	0,317	1,199	0,232	0,397	0,349	0,189
In	0,095	0,127	0,132	0,116	0,090	0,100
Sn	0,129	0,147	0,140	0,123	0,097	0,100
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	0,003	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ti	0,004	0,006	0,004	0,001	0,003	0,100
V	0,023	0,011	0,023	0,024	0,022	0,004
Cr	0,020	0,025	0,018	0,014	0,013	0,002
Mn	*	DLA	DLA	0,001	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ni	0,001	0,004	0,003	0,004	0,002	0,001
Cu	0,003	0,005	0,008	0,006	0,008	0,011
Zn	0,005	0,039	0,007	0,010	0,004	0,007
Ga	*	0,001	0,000	0,001	*	*
Ge	0,001	*	0,001	0,001	0,001	DLA
As	0,012	0,004	0,011	0,011	0,011	0,001
Se	0,005	0,011	0,008	0,006	0,017	0,069
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sr	0,001	0,002	0,001	0,002	*	*
Zr	DLA	*	DLA	*	*	*
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	*	*	0,001	*	*	*
Cd	0,001	0,002	0,003	0,003	0,005	0,006
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ba	0,017	0,036	0,027	0,052	0,008	0,002
La	*	*	*	*	*	*
Sm	DLA	DLA	DLA	DLA	0,015	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	*
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.16. 27.07.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları

Elementler (mg/kg yakıt)	FR - 27.07.2018					
	DEVİR					
	800	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	7,01	15,34	11,89	4,07	35,93	19,18
Na	0,352	0,459	0,364	0,374	0,257	0,315
Mg	DLA	0,055	0,047	0,045	0,032	0,019
Al	DLA	0,272	0,245	0,240	0,192	0,190
S	0,214	0,244	0,139	0,091	0,106	0,057
Ca	0,054	0,330	0,122	0,335	0,323	0,130
In	0,103	0,069	0,087	0,074	0,055	0,059
Sn	0,106	0,098	0,095	0,087	0,061	0,070
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ti	DLA	0,002	0,002	0,003	0,001	0,002
V	0,016	0,023	0,025	0,016	0,014	0,010
Cr	0,003	0,005	0,014	0,018	0,004	0,001
Mn	DLA	DLA	DLA	0,001	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	*	DLA	DLA
Ni	0,003	0,001	0,008	0,009	0,002	*
Cu	0,003	0,012	0,002	0,008	0,005	0,004
Zn	0,004	0,012	0,005	0,011	0,012	0,004
Ga	*	*	*	*	*	DLA
Ge	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
As	0,008	0,012	0,013	0,008	0,007	0,005
Se	0,006	0,016	0,014	0,005	0,018	0,016
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sr	*	*	*	0,001	*	*
Zr	DLA	*	*	*	*	*
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	DLA	*	*	*	*	*
Cd	*	0,002	0,001	*	0,003	0,001
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ba	0,012	0,002	0,017	0,012	0,008	0,001
La	DLA	*	*	*	*	*
Sm	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.17. 27.07.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları

Element (mg/kg yakıt)	BP - 27.07.2018					
	DEVİR					
	800	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	15,89	18,84	27,88	8,77	27,14	16,43
Na	0,574	0,843	0,752	0,497	0,330	0,302
Mg	0,139	0,092	0,045	0,051	0,031	0,030
Al	0,448	0,499	0,463	0,412	0,230	0,227
S	0,509	0,218	0,794	0,194	DLA	0,044
Ca	0,463	0,669	0,468	0,130	0,268	0,205
In	0,139	0,135	0,162	0,097	0,074	0,061
Sn	0,154	0,166	0,195	0,123	0,088	0,072
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ti	0,007	0,004	0,004	0,005	0,001	0,002
V	0,043	0,028	0,032	0,025	0,017	0,015
Cr	0,008	0,023	0,012	0,022	0,001	*
Mn	DLA	DLA	DLA	0,001	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ni	0,003	0,004	0,006	0,009	0,001	0,001
Cu	0,009	0,006	0,003	0,002	0,006	0,004
Zn	0,012	0,029	0,014	0,020	0,005	0,002
Ga	*	*	*	*	*	DLA
Ge	0,003	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002
As	0,022	0,013	0,016	0,014	0,009	0,008
Se	0,034	0,021	0,014	0,003	0,027	0,022
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sr	0,001	0,001	0,001	0,001	*	0,001
Zr	DLA	*	*	*	DLA	*
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	*	*	*	*	*	0,001
Cd	0,003	0,003	*	*	0,001	0,002
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	*	DLA	DLA
Ba	0,027	0,009	0,010	0,014	0,008	0,002
La	*	*	*	*	*	*
Sm	DLA	0,082	0,020	0,129	0,014	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	*
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	*

Tablo 5.18. 11-12.09.2018 tarihli FR yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları

Elementler (mg/kg yakıt)	FR - 11.09.2018 - 12.09.2018					
	DEVİR					
	800	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	12,03	21,64	28,09	13,66	19,49	16,08
Na	0,547	0,453	0,590	0,404	0,404	0,287
Mg	0,084	0,048	0,059	0,027	0,032	0,032
Al	0,295	0,264	0,354	0,200	0,215	0,149
S	0,128	0,071	0,170	0,080	DLA	DLA
Ca	0,175	0,306	0,346	0,134	0,337	0,142
In	0,117	0,103	0,133	0,100	0,093	0,065
Sn	0,128	0,125	0,154	0,114	0,094	0,080
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	*	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ti	0,003	0,003	0,004	0,001	0,002	0,001
V	0,020	0,019	0,018	0,017	0,014	0,013
Cr	0,009	0,004	0,024	0,008	0,008	0,001
Mn	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	*	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ni	0,008	0,005	0,008	0,005	0,005	0,001
Cu	0,008	0,003	0,005	0,003	0,003	0,007
Zn	0,009	0,016	0,003	0,001	0,012	0,005
Ga	*	*	*	*	*	*
Ge	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
As	0,010	0,011	0,009	0,009	0,007	0,007
Se	0,016	0,022	0,009	0,012	0,010	0,018
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sr	0,001	0,001	0,001	*	*	0,001
Zr	*	DLA	*	*	*	DLA
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	*	*	DLA	DLA	DLA	DLA
Cd	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ba	0,015	0,012	0,014	0,008	0,007	0,021
La	*	*	*	*	*	*
Sm	DLA	DLA	DLA	DLA	0,024	DLA
Eu	*	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	*	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.19. 11-12.09.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları

Elementler (mg/kg yakıt)	BP - 11.09.2018 - 12.09.2018					
	DEVİR					
	800	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	25,95	23,86	31,25	8,58	36,23	30,73
Na	0,793	0,499	0,811	0,634	0,568	0,339
Mg	0,165	0,038	0,083	0,063	0,038	0,043
Al	0,440	0,292	0,430	0,351	0,285	0,170
S	0,697	0,148	DLA	DLA	DLA	DLA
Ca	0,378	0,396	0,258	0,290	0,301	0,188
In	0,194	0,112	0,183	0,138	0,117	0,090
Sn	0,193	0,138	0,197	0,159	0,140	0,091
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ti	0,005	0,002	0,004	0,003	0,004	0,002
V	0,032	0,021	0,034	0,023	0,022	0,013
Cr	0,027	0,015	0,020	0,018	0,005	0,001
Mn	DLA	DLA	*	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ni	0,011	0,003	0,012	0,003	0,002	0,002
Cu	0,010	0,003	0,005	0,002	0,005	0,005
Zn	0,017	0,004	0,008	0,010	0,007	0,008
Ga	*	*	0,001	*	*	*
Ge	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,001
As	0,017	0,011	0,018	0,013	0,011	0,007
Se	0,023	0,021	0,020	0,011	0,021	0,016
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sr	0,001	*	0,002	0,001	*	0,001
Zr	*	*	DLA	*	DLA	DLA
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	*	DLA	*	*	*	*
Cd	0,003	0,001	0,002	*	0,003	0,004
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ba	0,013	0,009	0,037	0,016	0,007	0,015
La	DLA	*	*	*	*	DLA
Sm	DLA	DLA	DLA	DLA	0,013	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.20. 11-12.09.2018 tarihli BP yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları

Elementler (mg/kg yakıt)	BE - 11.09.2018 - 12.09.2018					
	DEVİR					
	800	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	13,73	25,56	26,41	13,41	21,72	16,30
Na	0,710	0,930	0,644	0,590	0,430	0,393
Mg	0,127	0,070	0,041	0,037	0,037	6,947
Al	0,380	0,484	0,249	0,294	0,257	0,317
S	0,524	0,019	DLA	DLA	DLA	2,110
Ca	0,530	0,311	0,466	0,298	0,196	0,741
In	0,184	0,195	0,186	0,172	0,106	0,092
Sn	0,203	0,237	0,203	0,175	0,130	0,119
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ti	0,004	0,005	0,002	0,002	0,001	0,005
V	0,040	0,036	0,032	0,023	0,020	0,022
Cr	0,018	0,009	0,036	0,001	0,003	0,041
Mn	DLA	DLA	0,001	DLA	DLA	0,025
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	0,880
Co	DLA	DLA	*	DLA	DLA	0,001
Ni	0,012	0,007	0,022	0,001	*	0,037
Cu	0,007	0,007	0,005	0,002	0,001	0,021
Zn	0,016	0,014	0,012	0,003	0,001	0,035
Ga	*	*	*	*	*	0,054
Ge	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
As	0,022	0,019	0,018	0,013	0,011	0,013
Se	0,032	0,032	0,021	0,008	0,015	0,018
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sr	*	0,001	0,001	0,002	*	0,088
Zr	DLA	*	*	DLA	*	DLA
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	*	DLA	DLA	DLA	*	*
Cd	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ba	0,006	0,012	0,020	0,012	0,010	3,545
La	*	*	DLA	*	DLA	*
Sm	0,066	DLA	DLA	DLA	DLA	0,035
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	0,001
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.21. 03-04.01.2019 tarihli FR yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları

Elementler (mg/kg yakıt)	FR - 03.01.2018 - 04.01.2018					
	DEVİR					
	800	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	20,38	18,44	14,71	13,22	10,00	36,93
Na	0,234	0,430	0,475	0,360	0,295	0,269
Mg	0,130	0,032	0,026	0,025	0,033	0,030
Al	0,218	0,222	0,237	0,182	0,136	0,095
S	0,439	0,031	DLA	DLA	DLA	DLA
Ca	1,673	0,155	0,211	0,606	0,667	0,768
In	0,060	0,128	0,096	0,090	0,066	0,052
Sn	0,075	0,129	0,123	0,103	0,076	0,067
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ti	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
V	0,016	0,022	0,014	0,013	0,013	0,011
Cr	0,001	0,005	0,005	0,003	0,004	0,002
Mn	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ni	0,004	0,002	0,001	*	0,002	0,002
Cu	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	0,006
Zn	0,042	0,006	0,003	0,008	0,013	0,018
Ga	*	*	DLA	*	DLA	*
Ge	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
As	0,009	0,012	0,007	0,006	0,007	0,006
Se	0,021	0,017	0,012	0,011	0,007	0,014
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sr	0,001	*	*	*	0,001	*
Zr	*	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	*	*	*	DLA	*	*
Cd	0,003	0,001	0,001	*	0,001	0,002
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ba	0,012	0,003	0,002	0,003	0,003	0,005
La	*	*	*	*	*	*
Sm	DLA	0,013	DLA	DLA	DLA	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

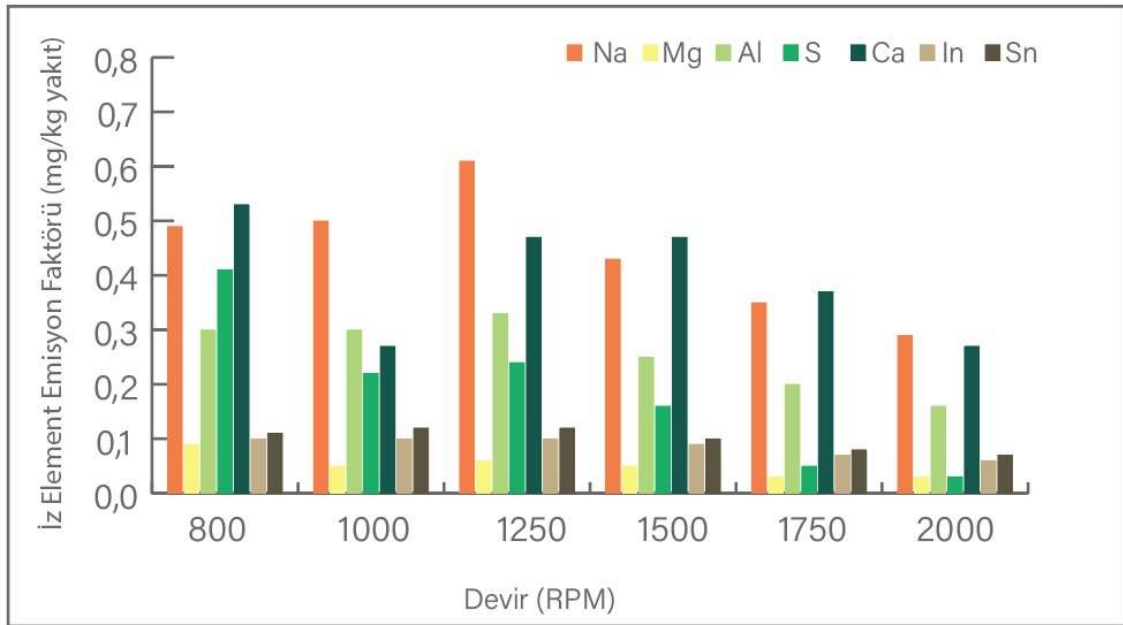
Tablo 5.22. 03-04.01.2019 tarihli BP yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları

Elementler (mg/kg yakıt)	BP - 03.01.2018 - 04.01.2018					
	DEVİR					
	800	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	14,22	19,94	14,44	25,14	17,34	32,55
Na	0,240	0,554	0,474	0,596	0,450	0,241
Mg	0,060	0,060	0,098	0,022	0,004	0,021
Al	0,263	0,181	0,275	0,237	0,093	0,158
S	0,391	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ca	0,458	0,333	0,374	0,167	0,180	0,147
In	0,103	0,159	0,130	0,156	0,137	0,050
Sn	0,113	0,171	0,154	0,169	0,142	0,065
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ti	0,001	0,001	0,002	0,002	*	0,001
V	0,028	0,026	0,030	0,023	0,019	0,014
Cr	0,007	0,000	0,004	0,012	DLA	0,004
Mn	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ni	0,004	0,002	0,003	0,001	DLA	0,001
Cu	0,003	0,005	0,003	0,004	0,008	0,005
Zn	0,009	0,011	0,020	0,005	0,004	0,004
Ga	DLA	*	*	DLA	DLA	DLA
Ge	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001
As	0,016	0,014	0,017	0,012	0,010	0,008
Se	0,033	0,007	0,008	0,017	0,009	0,023
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sr	*	*	0,002	0,001	*	*
Zr	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	DLA	*	*	*	*	*
Cd	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ba	0,002	0,009	0,034	0,004	0,002	0,003
La	*	*	*	DLA	DLA	DLA
Sm	DLA	DLA	0,019	DLA	DLA	0,032
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Tablo 5.23. 03-04.01.2019 tarihli BE yakıt karışımı altında emisyon faktörü sonuçları

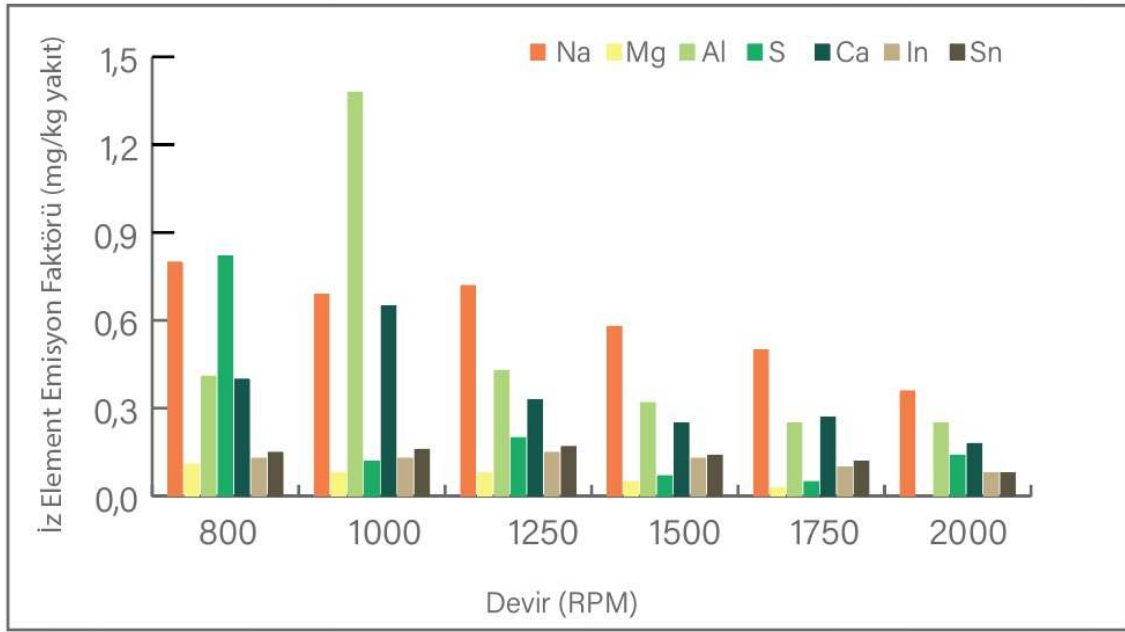
Elementler (mg/kg yakıt)	BE - 03.01.2018 - 04.01.2018					
	DEVİR					
	800	1000	1250	1500	1750	2000
Pb	14,05	13,92	22,99	DLA	30,00	31,75
Na	0,151	0,396	0,656	DLA	0,350	0,227
Mg	0,087	0,043	0,021	DLA	0,036	0,020
Al	0,268	0,199	0,278	DLA	0,149	0,177
S	0,316	DLA	DLA	DLA	DLA	0,003
Ca	0,321	0,267	0,318	DLA	0,193	0,256
In	0,067	0,115	0,148	DLA	0,096	0,069
Sn	0,070	0,135	0,186	DLA	0,112	0,080
Li	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Be	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
B	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
K	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ti	*	*	0,003	DLA	0,001	0,002
V	0,022	0,026	0,031	*	0,016	0,014
Cr	0,005	0,004	0,006	DLA	0,004	0,003
Mn	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Fe	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Co	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ni	0,003	0,000	0,006	DLA	0,001	*
Cu	0,003	0,003	0,005	DLA	0,002	0,002
Zn	0,010	*	0,006	DLA	0,008	0,006
Ga	*	*	DLA	DLA	*	DLA
Ge	0,001	0,002	0,003	DLA	0,001	0,001
As	0,012	0,015	0,017	DLA	0,009	0,008
Se	0,030	0,008	0,017	DLA	0,016	0,027
Rb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Sr	0,001	0,001	*	DLA	*	*
Zr	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	*
Nb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Mo	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ag	*	*	*	DLA	DLA	*
Cd	0,003	0,001	0,001	DLA	0,002	0,003
Sb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Te	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Cs	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ba	0,007	0,007	0,004	DLA	0,017	0,003
La	*	*	*	DLA	DLA	*
Sm	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Eu	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ho	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Yb	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Hf	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Ta	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
W	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Tl	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Bi	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
Th	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA
U	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA	DLA

Gerçekleştirilen örnekleme çalışmasının ardından analiz edilen filtrelerde 40 ayrı iz elementin sonuçları değerlendirilmek üzere analiz edilmiştir. Pb elementi ile birlikte toplamda 8 iz element tüm sonuç içerisinde baskın bir şekilde bulunduğu gözlenmiştir. Tüm örnekleme çalışmalarına ait sonuçlar tablolar ile sunulmuş ve değerlendirilmiştir. Konu başlığı altında Pb elementine ait emisyon faktörü sonuçları ayrı bir grafik ile irdelenmiştir. Ayrıca, Pb dışındaki 7 elementin (Na, Mg, AL, S, Ca, In ve Sn) farklı yakıt karışımları altındaki ortalama emisyon faktörü değerleri grafik verisi olarak değerlendirilmiştir. Bu 7 elemente ait ortalama emisyon faktörü verileri, FR yakıt karışımı altında elde edilen veriler Şekil 5.19, BP yakıt karışımı altında elde edilen veriler Şekil 5.20’de, BE yakıt karışımı altında elde edilen veriler Şekil 5.21’de verilmiştir.



Şekil 5.19. FR yakıt karışımı altında İz element emisyon faktörü

FR yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örnekleme sonuçlarından elde edilen iz element analiz sonuçları incelendiğinde veriler üzerinde üç ayrı değişim özelliği gözlenmiştir. İlk olarak Mg, S elementlerinde artan güç devri ile azalan bir emisyon faktörü eğrisi gözlenmiştir. İkinci olarak, Na, Al, Sn ve In elementlerinde düşük ve yüksek güç devirlerinde düşük emisyon faktörü eğrisi, ortalama güç devrinde ise yüksek emisyon faktörü eğrisi gözlenmiştir. Son olarak, Ca elementinde ise motor güç devirleri içerisinde diğer iki değişimden farklı olarak düzensiz değişen bir eğrinin varlığı gözlenmiştir.

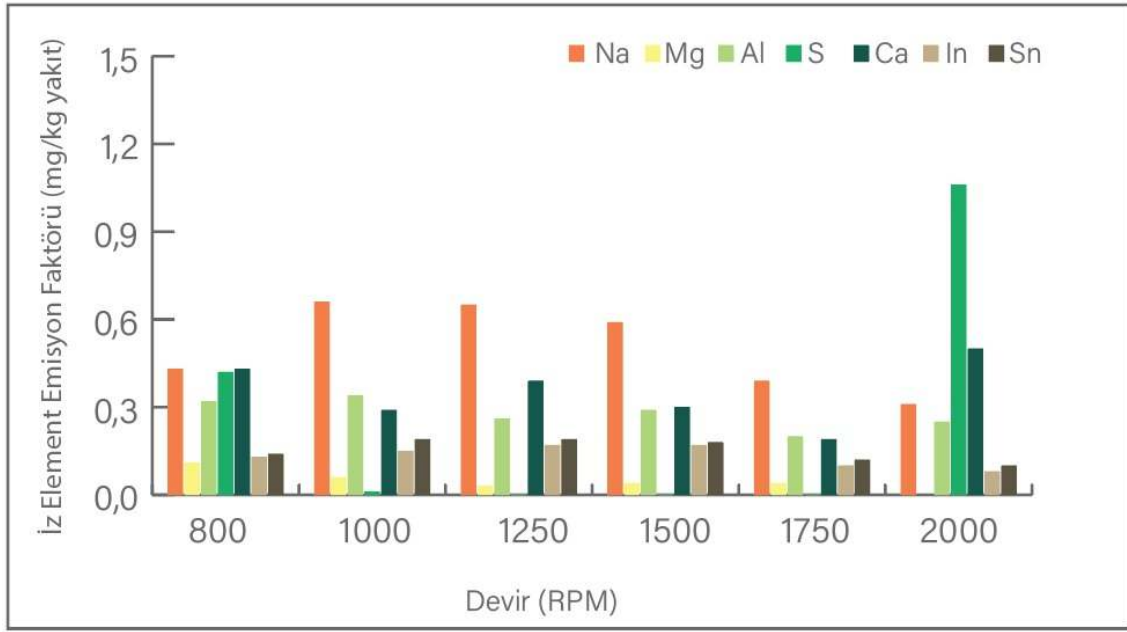


Şekil 5.20. BP yakıt karışımı altında İz element emisyon faktörü

BP yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemelerden elde edilen iz element analiz sonuçları incelendiğinde veriler üzerinde iki ayrı değişim özelliği gözlenmiştir. İlk olarak Na, Mg ve S elementlerinde artan güç devri ile azalan bir emisyon faktörü eğrisi gözlenmiştir. İkinci olarak, Al, Ca, In ve Sn elementlerinde RÖLANTİ ve yüksek güç devirlerinde düşük emisyon faktörü eğrisi, 1000 RPM VE 1250 RPM güç devrinde ise yüksek emisyon faktörü eğrisi gözlenmiştir.

BE yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklemelerden elde edilen iz element analiz sonuçları incelendiğinde veriler üzerinde iki ayrı değişim özelliği gözlenmiştir. İlk olarak Na, Mg ve S elementlerinde artan güç devri ile azalan bir emisyon faktörü eğrisi gözlenmiştir. İkinci olarak, Al, Ca, In ve Sn elementlerinde RÖLANTİ ve yüksek güç devirlerinde düşük emisyon faktörü eğrisi, 1000 RPM VE 1250 RPM güç devrinde ise yüksek emisyon faktörü eğrisi gözlenmiştir.

Elde edilen verileri genel olarak değerlendirecek olursak, PM emisyon faktörü sonuçlarına benzer ve literatürdeki PM emisyon faktörü sonuçlarına benzer bir U-şeklinden veya sonuçların kendi içerisinde birbirini destekleyen bir sonuçtan bahsetmek mümkün değildir. Ayrıca elde edilen iz element sonuçlarının kaydedilen motor parametreleri ile de doğrudan ilişki kurmak elde edilen sonuçlar ile pek mümkün değildir. Pb elementinin artan güç devri ile emisyon faktörü sonuçlarının arttığı, ancak tüm yakıt karışımları için düzenli seyretmediği gözlenmektedir.



Şekil 5.21. BE yakıt karışımı altında İz element emisyon faktörü

5.7.Yer Koşulları (Taxi-in ve Taxi-out) Gerçek Uçuş Emisyon Verileri

Piston motorlu ve turboprop motorlu uçakların PM emisyonlarının belirlenmesine yönelik planlanan bu çalışma Eskişehir Teknik Üniversitesi sınırları içerisinde gerçekleştirilmiştir. Üniversite içerisinde Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesine bağlı Hasan Polatkan Havaalanı ve eğitimler için kullanılan piston motorlu ve turboprop motorlu uçakların bulunması işleyiş açısından kolaylık sağlamıştır. Ayrıca üniversite bünyesinde bulunan bu uçakların belli periyotlarda tecrübe uçuşu gerçekleştiriyor olması ve bu tecrübe uçuşları sırasında gerçek uçuş verilerinin kayıt altına alınıyor olması çalışma için farklı bir avantaj sağlamıştır. Çalışma tamamen yer koşullarında ve uçak park pozisyonunda iken gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle tecrübe uçuşu motor parametrelerine ait ya da havaalanı içerisindeki yer hareketleri sırasında kaynaktan örnekleme gerçekleştirme şansı olmamıştır. Ancak tecrübe uçuşunda kayıt altına alınan veriler ile örnekleme sırasında kayıt altına alınan veriler arasında kıyas yapılması mümkündür. Bu nedenle aktif olarak eğitimlerde kullanılan piston motorlu Socata TB 20 uçağına ait iki farklı tecrübe uçuşuna ait uçak içi parametreleri kayıt altına alınmıştır. Bu veriler tecrübe uçuşu sırasında uçuşu gerçekleştiren ekip tarafından kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan veriler FF, motor devri (RPM), MAP, CHT, EGT, çalışma aşamaları ve çalışma aşamasında geçirdiği süredir. Çalışma aşamaları dışında kalan veriler örnekleme sırasında da aktif olarak kayıt altına alınmıştır. Genel olarak bakıldığında örnekleme sürecinde rölanti motor devrinden 2000 RPM'e kadar (250RPM güç

arttırılarak) örneklemeler gerçekleştirilmiştir. 2000 RPM motor güç devrinin üzerine yer koşullarında örnekleme süreci uygun olmadığı için devam edilmemiştir. Gerçek uçuş verilerinde yer alan motor güç devirlerine bakıldığında yer koşullarındaki aşamalar ile örnekleme sürecindeki motor güç devri aşamalarının uyum sağladığı görülmüştür. Bu nedenle gerçek uçuş verilerinden motor çalıştırma, taksi, iniş, iniş sırası taksi aşamaları örnekleme sırasındaki 1250 RPM motor güç devrine denk gelmekte, bekleme noktası aşaması ise 2000 RPM motor güç devri ise örnekleme sırasındaki 2000 RPM motor güç devrine denk gelmektedir. Bu nedenle yukarıda belirtilen aşamalar baz alınarak yer koşullarında çalışma kapsamında gerçekleştirilen örnekleme verileri kıyaslanmıştır.

İz element analizleri sonucunda toplam içerisindeki yüzdesi baskın olan 8 element ve ayrıca partikül maddenin birim zamanda üretilen toplam kirletici miktarı “4.6 Emisyon Faktörü Hesaplamaları” başlığı altında bulunan denklikler ile hesaplanmıştır. Elde edilen birim zamandaki kirletici miktarı, tecrübe uçuşu sırasında kayıt altına alınan TIM (Time in Mode – Uçuş Aşamasında geçen Süre) verisi aynı başlık altında bulunan denklikler kullanılarak kirletici miktarları hesaplanmıştır. Tecrübe uçuşu sırasında uçak içerisinde kayıt altına alınan verilerden motor çalıştırma, taksi, bekleme noktası, yaklaşma, iniş ve iniş sonrası taksi örnekleme çalışmalarındaki 1250 RPM ve 2000 RPM motor devri ile benzerdir. Bu nedenle bu aşamalar özel olarak elde edilen emisyon verileri ile incelenmiştir. Bu veriler ile çalışma aşamalarının geçtiği toplam süre baz alınarak havaalanı içerisinde yer koşullarında toplamda uçak egzozundan atmosfere salınan kirletici kütlelerine ilişkin hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Farklı iki tecrübe uçuşuna ait uçak içerisinde kayıt altına alınan veriler Tablo 5.24 ve Tablo 5.25’te verilmiştir.

Tablo 5.24. Tecrübe uçuşu - 1 uçak içi verileri

Socata TB 20 Tecrübe Uçuş Aşamaları						
Uçak Çağrı Adı: -	Uçak TSN: 7092,7			Motor TSN: 500		
AŞAMALAR	YAKIT KARIŞIMI	DEVİR RPM	MAP (inHg)	FF (L/sa)	CHT (°C)	EGT (°C)
Motor Çalıştırma	FR	1200	17	15	82	-
Taksi	FR	1200	14	13	104	-
Bekleme Noktası	FR	2000	13,5	14	127	-
Kalkış ve Tırmanış	FR	2575	26	103	138	693
5000' İrtifa	FR	2575	24	96	166	691
6000' İrtifa	FR	2575	24	95	171	691
6000' %75	BP	2500	22,1	85	177	691
6000' %65	BP	2300	21,1	78	177	691
6000' Hareketler	FR	2400	12	33	135	691
Yaklaşma (Alçalma)	FR	1300	15	53	149	691
İniş	FR	1200	14	53	121	-
İniş Sırası Taksi	FR	1200	14	13	121	-

Tablo 5.25. Tecrübe uçuşu - 2 uçak içi verileri

Socata TB 20 Tecrübe Uçuş Aşamaları İnceleme Formu						
Uçak Çağrı Adı: -		Uçak TSN: 7094,4			Motor TSN: 502	
AŞAMALAR	YAKIT KARIŞIMI	DEVİR RPM	MAP (inHg)	FF (L/sa)	CHT (°C)	EGT (°C)
Motor Çalıştırma	FR	1200	15	18	-	-
Taksi	FR	1200	13,5	14	107	-
Bekleme Noktası	FR	2000	16,5	36	127	660
Kalkış ve Tırmanış	FR	2575	26,5	100	135	704
5000' İrtifa	FR	2575	25	82	177	691
6000' İrtifa	FR	2575	24	80	177	691
6000' %75	BP	2500	22,1	71	171	677
6000' %65	BP	2300	21,1	54	160	691
6000' Hareketler	FR	2400	12	33	135	677
Yaklaşma (Alçalma)	FR	2200	12	27	127	677
İniş	FR	1100	11	22	127	-
İniş Sırası Taksi	FR	1200	13	27	121	-

Elde edilen veriler incelenecek olursa motor çalıştırma, taksi, kalkış öncesi bekleme ve iniş, iniş sonrası taksi aşamalarının tamamı uçağın havaalanı içerisinde ve yer seviyesinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle hesaplanan bu emisyon verileri havaalanı ve havaalanı çevresinin hava kalitesine etki etmektedir. Tüm bu aşamalar sonucunda tecrübe uçuşunda yaklaşık 673 mg PM emisyonu yer koşullarında atmosfere salınmıştır. İz elementler incelendiğinde yaklaşık 88mg Pb elementi yer koşullarında salınmıştır. Tecrübe uçuşu PM ve iz element kütle emisyonları Tablo 5.9’da verilmiştir.

Tablo 5.26. Tecrübe uçuşu PM ve iz element kütle emisyonları

ELEMENT (mg)	Motor Çalıştırma (4dk)	Taksi (8dk)	İniş (1dk)	İniş Sonrası Taksi (3dk)	Bekleme Noktası (4dk)	TOPLAM (20dk)
PM	97,78	195,57	24,45	73,34	281,45	672,58
Pb	11,24	22,48	2,81	8,43	43,31	88,27
Na	0,36	0,71	0,09	0,27	0,51	1,93
Mg	0,04	0,07	0,01	0,03	0,05	0,19
Al	0,20	0,39	0,05	0,15	0,28	1,06
S	0,14	0,28	0,03	0,10	0,05	0,60
Ca	0,28	0,57	0,07	0,21	0,47	1,61
In	0,06	0,12	0,02	0,05	0,10	0,34
Sn	0,07	0,14	0,02	0,05	0,12	0,40

Pistonlu ve Turboprop Motorlu Uçakların Emisyonlarının Ölçümü, Analizi ve Emisyon Envanteri Oluşturulması başlıklı TUBİTAK projesinin sonuç raporunda gerçekleştirilen tecrübe uçuşu verileriyle birlikte 2018 yılı içerisinde filoda bulunan 6 adet TB – 20 uçağının 1342 sefer uçuş gerçekleştirdiği aktarılmıştır. Gerçekleştirilen örneklemeler ve tecrübe uçuşu verileri sonucunda TB – 20 uçağının bir uçuş seferi için yaklaşık 673 mg PM, 88 mg Pb elementini atmosfere saldıgını içinde bulunan başlık altında incelenmiştir. 2018 yılını baz alacak olursak, yıl içerisinde çalışmada kullanılan tip uçakla 1342 sefer uçuş gerçekleştirildiğini düşündüğümüzde toplamda yıl içerisinde 903 kg PM ve 118 kg Pb elementi yer koşullarında atmosfere salınmış olacağı yorumu yapılabilmektedir.

6. SONUÇLAR

115Y611 nolu “Pistonlu ve Turboprop Motorlu Uçakların Emisyonlarının Ölçümü, Analizi ve Emisyon Envanteri Oluşturulması” başlıklı TUBİTAK kapsamında 2018 – 2019 yılları arasında toplamda 12 günlük bir saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın çıktılarından biri olarak yüksek lisans tezi hazırlanmıştır.

Proje kapsamında turboprop ve piston motorlu uçakların gaz ve partikül madde emisyonlarının belirlenmesi, ayrıca emisyon indislerinin hesaplanması ve gerçek uçuş verileri ile kıyaslanması hedeflenmiştir. Tez kapsamında ise sadece PM emisyonları üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma Eskişehir Teknik Üniversitesi içerisinde bulunan Hasan Polatkan Havaalanı eski hangarlar bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada egzozlardan örnek alınması planlanan piston motorlu ve turboprop motorlu uçaklar üniversite envanterinde bulunmaktadır. Piston motorlu uçakların egzozlarından bu süre içerisinde sağlıklı ölçümlerde alınmıştır. Ancak turboprop motorlu uçakların egzozlarından hedeflenmesine karşın PM örnekleri yer koşullarında uçak itki gücünün yüksek olması nedeni ile sağlıklı bir şekilde alınamamıştır. 20.09.2018 tarihinde gerçekleştirilen saha çalışmasında turboprop motorlu uçak egzozundan rölanti güç seviyesinde 1 adet PM örnekleme gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu örneklemede 2,43 mg PM kütle emisyonu örneklenmiştir. Aynı filtrenin iz element analiz sonuçlarına bakıldığında 25197,37 ng Pb elementi kütle emisyonu örneklenmiştir. Bu sonuç piston motorlu uçakların egzoz emisyonlarından ortalama 10 kat daha düşüktür. Bu durum pistonlu motorlu uçaklarda kurşun içerikli yakıt AVGAS kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Piston motorlu uçaklarda belirtildiği üzere kurşun içerikli AVGAS 100 LL yakıtı kullanılmaktadır. Kurşun, motordaki vuruntuyu engellemek için kullanılmaktadır. Kullanılan Pb elementi egzoz emisyonlarından salınmaktadır. Pb elementi bir ağır metaldir ve maruziyetinde insan sağlığı için risk yaratacaktır (Ramirez vd., 2020; Przybysz vd. 2014.). Üretim sanayi, karayolunda kullanılan motorlu taşıtlar ve piston motorlu uçaklar temel Pb emisyon kaynağıdır (Rindlisbacher, 2007). 2000’li yıllar ile birlikte motorlu araçların yakıtlarındaki kurşun içeriği kaldırılmıştır. Bu zamandan sonra Pb emisyon kaynağının temel nedeni üretim sanayi ve piston motorlu uçaklar olmuştur. Piston motorlu uçaklar günümüzde, uçuş eğitimi, tarımsal faaliyetler, özel hava ulaşımı gibi nedenlerle kullanılmaktadır. Bu kullanım alanları, piston motorlu uçaklardan kaynaklanan Pb emisyonlarının devamlılığını göstermektedir.

Çalışmada temel olarak üç ayrı yakıt karışımı (FR, BP, BE) altında, altı ayrı motor güç devrinde egzoz PM ve iz element emisyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Motor güç devirleri Rölanti ile 2000 RPM arasında, her motor güç devri arasında 250 RPM fark olacak şekilde kurgulanmıştır. Çalışma yer koşullarında gerçekleştirildiği için 2000 RPM motor güç devrinin üzerinde örnekleme gerçekleştirilememiştir. Deneme amacı ile anlık olarak 2000 RPM motor güç devrinin üzerine çıkılmış, ancak örnekleme sürecinde kullanılan metal kaidenin risk yaratacak şekilde hareket etmesi ile süreç sonlandırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen PM ve iz element sonuçları ile PM ve iz elementler için emisyon faktörü hesaplamaları yapılmıştır.

Piston motorlu uçakların egzoz emisyonları üzerinde gerçekleştirilen çalışmada rölanti (idle), 1000 RPM, 1250 RPM, 1500 RPM, 1750 RPM ve 2000 RPM motor güç devrinde örnekleme yapılmıştır. Belirlenen motor devirlerinde gerçekleştirilen çalışmada yakıt akışı (l/sa), manifold basıncı (inHg), silindir sıcaklığı (°C) ve egzoz gaz sıcaklığı (°C) parametreleri uçak içerisinde kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan motor parametrelerinin tamamı artan motor güç devri ile orantılı bir şekilde arttığı görülmüştür.

Örnekleme sürecinin ardından sahada kullanılan filtrelerin tamamı yakıt karışımı ve motor güç devrine göre sınıflandırılıp fotoğrafları çekilmiştir. Örnekleme sürecinin ardından motor devri ve yakıt karışımlarına göre örnek alınan filtrelerin üzerindeki renk değişimleri de incelenmiştir. Renk değişimi ile kütle emisyonları ya da metal emisyonları arasında doğrudan bir ilişki saptanamamıştır. Ancak FR ve BE yakıt karışımı altında gerçekleştirilen örneklere ait filtrelerde motor güç devri ile renk değişimi arasında nispeten tutarlı değişimler gözlenirken, BP yakıt karışımı altında bu tutarlılıktan bahsetmek mümkün değildir.

24.07.2018 tarihinde gerçekleştirilen saha çalışmasına ait filtreler üzerinde elektron mikroskobu ile analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucuna göre PM boyutları 10 µm ile 0,5µm arasında değişmektedir. FR yakıt karışımı altında 1000 RPM ve 1500 RPM motor devri altında gerçekleştirilen örneklere ait sonuçlarda ince ve uzun parçacıklar olduğu, aynı yakıt karışımında 1750 RPM ve 2000 RPM motor devri altında gerçekleştirilen örneklere ait sonuçlarda ise parçacıkların farklı geometrilere ve kümeleşme eğiliminde oldukları görülmüştür.

Çalışmada elde edilen sonuçlara bakılacak olursa, PM kütle emisyonları arasındaki ilişkiyi gösteren grafiğe bakıldığında U-Şekli ortaya çıkmıştır ve sonuç literatür ile uyum içerisinde (Kinsey vd., 2011; Yu vd., 2017). Bu şekil tüm yakıt karışımlarında aynı

şekilde gözlenmiştir. Çalışmada elde edilen iz element sonuçlarına bakıldığında ise aynı sonuçtan bahsetmek mümkün değildir. Örnekleme sürecinde kullanılan filtreler üzerinde yapılan analizde temel olarak 48 iz element üzerine analiz gerçekleştirilmiştir. Ancak Pb, S, Na, Al, Ca, Sn, In ve Mg elementleri toplamı domine etmektedir.

Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan uçak motoru, örneklenen motor güç durumları ve örnekleme itibari ile literatürde tam anlamıyla kıyaslanamamaktadır. Ancak çalışma boyunca elde PM kütle emisyonları, iz element kütle emisyonları, elektrom mikroskobu ile analiz sonucu elde edilen boyut ve içerik sonuçları ve gerçekleştirilen emisyon faktörü hesaplamaları literatüre giren önemli verilerdir. Bu nedenle bu çalışma ile önemli bir konu üzerine yoğunlaşmıştır. Gelecek süreçte de yeni çalışmalara yol gösterici nitelikte olması umulmaktadır.

7. KAYNAKÇA

- Agrawal, H., Sawant, A., A., Jansen, K., Miller, J., W., Cocker, D., R. (2008). Characterization of chemical and particulate emissions from aircraft engines, *Atmospheric Environmental*, 42, 4380-4392.
- Allen, G., A., Nemitz, E., Shi, P., J., Harrison, M., R., Greenwood, C., J. (2001). Size distributions of trace metals in atmospheric aerosols in the United Kingdom, *Atmospheric Environment*, 35, 4581-4591.
- Altuntaş, Ö., Gövce, S. M. (2018). Hava Araçlarında Piston-Prop Motorlar, *Palme Yayınevi*, Ankara.
- Arı, A., (2016). Eskişehir Atmosferindeki PM_{2,5} Parçacıklarının Kimyasal Karakterizasyonu ve Kaynaklarının Belirlenmesi, *Doktora Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arı, P., (2016). Kütahya Bölgesindeki Atmosferik Parçacıkların Boyut Dağılımının, Kimyasal Karakterizasyonunun Sağlık Etkilerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arunachalam, S., Wang, B., Davis, N., Baek, B., H., Levy, J., I. (2011). Effect of chemistry-transport model scale and resolution on population exposure to PM_{2.5} from aircraft emissions during landing and takeoff, *Atmospheric Environment*, 45, 3294-3300.
- Arunachalam, S., Wang, B., Davis, N., Baek, H., B., Levy, I., J. (2011). Effect of chemistry-transport model scale and resolution on population exposure to PM_{2.5} from aircraft emissions during landing and takeoff, *Atmospheric Environment*, 45, 3294-3300.
- Can, E., (2016). Kütahya İli Genelindeki Partikül Madde Kirleticisi Kaynaklarının Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Chen, L., Liang, Z., Liu, H., Ding, S., Li, Y. (2017). Sensitivity analysis of fuel types and operational parameters on the particulate matter emissions from an aviation piston engine burning heavy fuels, *Fuel*, 202, 520-528.
- Cheng, M., D., Corporan, E. (2010). A study of extractive and remote-sensing sampling and measurement of emissions from military aircraft engines, *Atmospheric Environment*, 44, 4867-4878.
- Cho, S., H., Bryant, J., R., Thornburg, J., Portzer, J., Vanderpool, R., Cavender, K., Rice, J. (2011). A literature review of concentrations and size distributions of ambient airborne Pb-containing particulate matter, *Atmospheric Environment*, 45, 5005-5015.

- Cong, Z., Kang, S., Luo, C., Li, Q., Huang, J., Gao, S., Li, X., (2011). Trace elements and lead isotopic composition of PM10 in Lhasa, Tibet, *Atmospheric Environment* 45, 6210-6215.
- Çekderi, A. (2019). İkaros miti bağlamında sanat tarihindeki uçma denemeleri, *Sanat-Tasarım Dergisi*, 10, 1-6.
- Delhaye, D., Ouf, F. X., Ferry, D., Ortega, I. K., Penanhoat, O., Peillon, S., Salm, F., Vancessel, X., Focsa, C., Irimiea, C., Harivel, N., Perez, B., Quinton, E., Yon, J., Gaffie, D. (2017). The MERMOSE project: Characterization of particulate matter emissions of a commercial aircraft engine, *Journal of Aerosol Science*, 105, 48-63.
- Durdina, L., Brem, B., T., Abegglen, M., Lobo, P., Rindlisbacher, T., Thomson, K., A., Smallwood, G., J., Hagen, D., E., Sierau, B., Wang, J. (2014). Determination of PM mass emissions from an aircraft turbine engine using particle effective density, *Atmospheric Environment*, 99, 500-507.
- Flora, G., Gupta, D., Tiwari, A. (2012). Toxicity of lead: A review with recent updates, *Interdisciplinary Toxicology*, 5 (2), 47-58.
- GAMA (General Aviation Manufacturers Association), 2018. *GAMA Annual Report 2018*, Washington DC, 59 pages
- Grandjean, P., Herz, K., T. (2015). Trace elements as paradigms of developmental neurotoxicants: Lead, methylmercury and arsenic, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 31, 130-134.
- Harrison, R., M., Masiol, M., Vardoulakis, S. (2015). Civil aviation, air pollution and human health, *Environmental Research Letters*, 10, 041001.
- Hernanz, A., M., Estecha, M., G., Blanco, M., Fuentes, M., Iriarte, J., M., O., Bru, I., P., Manuel, E., C., Pinedo, A., B. (2020). Blood lead in children and associations with trace elements and sociodemographic factors, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 58, 126424.
- Hsu, H., H., Adamkiewicz, G., Houseman, E., A., Spengler, J., D., Levy, J., I. (2014). Using mobile monitoring to characterize roadway and aircraft contributions to ultrafine particle concentrations near a mid-sized airport, *Atmospheric Environment*, 89, 688-695.
- Jovovic, A., Kovacevic, Z., Radic, D., Stojiljkovic, D., Obradovic, M., Todorovic, D., Stanojevic, M. (2010). The Emission of Particulate Matters and Heavy Metals From Cement Kilns – Case Study: Co-Incineration of Tires in Serbia, *Available on line at Association of the Chemical Engineers*, 16, (3), 213-217.

- Kinsey, J. S., Hays, M. D., Dong, Y., Williams, D. C., Logan, R. (2011). Chemical characterization of the fine particle emissions from commercial aircraft engines during the aircraft particle emissions experiment (APEX) 1 to 3. *Environmental science & technology*, 45(8), 3415-3421.
- Kinsey, J., S., Corporan, E., Pavlovic, J., DeWitt, M., Klingshirn, C., Logan, R. (2019). Comparison of measurement methods for the characterization of the black carbon emissions from a T63 turboshaft engine burning conventional and Fischer-Tropsch fuels, *Journal of the Air and Waste Management Association*, 69, 576-591.
- Kinsey, J., S., Dong, Y., Williams, D., C., Logan, R. (2010). Physical characterization of the fine particle emissions from commercial aircraft engines during the Aircraft Particle Emissions eXperiment (APEX) 1–3, *Atmospheric Environment*, 44, 2147-2156.
- Koudis, G., S., Hu, s., J., Majumdar, A., Jones, R., Stettler, M., E., J. (2017). Airport emissions reductions from reduced thrust takeoff operations, *Transportation Research Part D*, 52, 15-28.
- Lobo, P., Hagen, D. E., Whitefield, P. D., Raper, D. (2015). PM emissions measurements of in-service commercial aircraft engines during the Delta-Atlanta Hartsfield Study. *Atmospheric Environment*, 104, 237-245.
- Lobo, P., Hagen, D., E., Whitefield, P., D. (2012). Measurement and analysis of aircraft engine PM emissions downwind of an active runway at the Oakland International Airport, *Atmospheric Environment*, 61, 114-123.
- Masiol, M., Harrison, R., M. (2014). Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review. *Atmospheric Environment*, 95, 409-455.
- Mazaheri, M., Johnson, G., R., Morawska, L. (2011). An inventory of particle and gaseous emissions from large aircraft thrust engine operations at an airport, *Atmospheric Environment*, 45, 3500-3507.
- Merkisz, J., Markowski, J., Pielecha, J., & Babiak, M. (2010). Emission measurements of the AI-14RA aviation engine in stationary test and under real operating conditions of PZL-104 ‘Wilga’ plane. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 3(2), 507-520.
- Moniruzzaman, C., G., Bowden, J., Arunachalam, S. (2020). Aircraft landing and takeoff emission impacts on surface O₃ and PM_{2.5} through aerosol direct feedback effects estimated by the coupled WRF-CMAQ model, *Atmospheric Environment*, 243, 117859.

- Nie, D., Wu, Y., Chen, M., Liu, H., Zhang, K., Ge, P., Yuan, Y., Ge, X. (2018). Bioaccessibility and health risk of trace elements in fine particulate matter in different simulated body fluids, *Atmospheric Environment*, 186, 1-8.
- Padhra, A., (2018). Emissions from auxiliary power units and ground power units during intraday aircraft turnarounds at European airports, *Transportation Research Part D*, 63, 433-444.
- Park, W.,J., Gu, H., M., Lee, S., H. (2013). Blood Lead Level and Types of Aviation Fuel in Aircraft Maintenance Crew, Aviation, *Space and Environmental Medicine*, 84, 1087-1091.
- Pirhadi, M., Mousavi, A., Sowlat, H., M., Janssen, H., A., N., Cassee, R., F., Sioutas, C. (2020). Relative contributions of a major international airport activities and other urban sources to the particle number concentrations (PNCs) at a nearby monitoring site, *Environmental Pollution*, 260, 114027.
- Pranis, C., Triantafyllou, E., Giamarelou, M., Manousakas, M., Eleftheriadis, K., Biskos, G. (2017). Particulate matter pollution from aviation-related activity at a small airport of the Aegean Sea Insular Region, *Science of The Environment*, 596-597, 187-193.
- Presto, A., A., Nguyen, N., T., Ranjan, M., Reeder, A., J., Lipsky, E., M., Hennigan, C., J., Miracolo, M., A., Riemer, D., D., Robinson, A., L. (2011). Fine particle and organic vapor emissions from staged tests of an in-use aircraft engine, *Atmospheric Environment*, 45, 3603-3612.
- Prinz, A. L., Richter, D. J. (2022). Long-term Exposures to Fine Particulate Matter Air Pollution: An Ecological Study of Its Effect on COVID-19 Cases and Fatality in Germany, *Environmental Research*, 204, 1-11.
- Przybysz, A., Seabo, A., Hanslin, H., M., Gawronski, S., W. (2014). Accumulation of particulate matter and trace elements on vegetation as affected by pollution level, rainfall and the passage of time, *Science of The Total Environment*, 481, 360-369.
- Ramirez, O., Campa, A., Rodas, D., Rosa, J. (2020). Hazardous trace elements in thoracic fraction of airborne particulate matter: Assessment of temporal variations, sources, and health risks in a megacity, *Science of The Total Environment*, 710, 136344.
- Rindlisbacher, T. (2007). Aircraft Piston Engine Emissions Summary Report. Switzerland: Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications DETEC Federal Office of Civil Aviation FOCA Aviation Policy and Strategy Environmental Affairs.

- Stettler, J., E., M., Eastham, S., Barrett, H., R., S. (2011). Air quality and public health impacts of UK airports. Part I: Emissions, *Atmospheric Environment*, 45, 5415-5424.
- Turgut, E., Açikel, G., Çalışır, D., Gaga, E., Odabaşı, M., Artun, G., Can, E., İlhan, O., S. (2019), Pistonlu ve Turboprop Motorlu Uçakların Emisyonlarının Ölçümü, Analizi ve Emisyon Envanteri Oluşturulması, Proje No: 115Y611, *Sonuç Raporu*, TUBİTAK.
- Turgut, E., T., Cavcar, M., Yay, O., D., Ucarsu, M., Yılmaz, E., Usanmaz, O., Armutlu, K., Dogeroglu, T. (2015). A gaseous emissions analysis of commercial aircraft engines during test-cell run, *Atmospheric Environment*, 116, 102-111.
- Turgut, E., T., Gaga, E., O., Jovanovic, G., Odabasi, M., Artun, G., Ari, A., Urosevic, M., A. (2019). Elemental characterization of general aviation aircraft emissions using moss bags, *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 26925-26938.
- Ubogu, E., A., Cronly J., Khandelwal, B., Roy, S. (2018). Determination of the effective density and fractal dimension of PM emissions from an aircraft auxiliary power unit, *Journal of Environmental Sciences*, 74, 11-18.
- Vander Wal, R. L., B, Bryg, V., M., Huang, C. H. (2016). Chemistry characterization of jet aircraft engine particulate matter by XPS: Results from APEX III. *Atmospheric Environment*, 140, 623-629.
- Vander Wal, R., L., Bryg, V., M., Huang, C., H. (2014). Aircraft engine particulate matter: Macro- micro- and nanostructure by HRTEM and chemistry by XPS, *Combustion and Flame*, 161, 602-611.
- Vander Wal, R., L., Bryg, V., M., Huang, C., H. (2016). Chemistry characterization of jet aircraft engine particulate matter by XPS: Results from APEX III, *Atmospheric Environment*, 140, 623-629.
- Wani, A., L., Ara, A., Usmani, J., A. (2015). Lead toxicity: a review, *Interdisciplinary Toxicology*, 8 (2), 55-64
- Wolfe, P., J., Giang, A., Ashok, A., Selin, N., E., Barrett, S., R., H. (2016). Costs of IQ Loss from Leaded Aviation Gasoline Emissions, *Environmental Science and Technology*, 50, 9026-9033.
- Yacovitch, T. I., Yu, Z., Herndon, S. C., Miake-Lye, R., Liscinsky, D., Knighton, W. B., Kenney, M., Schoonard, C., and Pringle, P. (2016). Exhaust Emissions from In-Use General Aviation Aircraft, *National Academies Press*, Washington, D.C.
- Yılmaz, İ. (2017). Emissions from passenger aircraft at Kayseri Airport, Turkey, *Journal of Air Transport Management*, 58, 176-182.

Yim, L., H., S., Stettler, J., E., M., Barrett, H., R., S. (2013). Air quality and public health impacts of UK airports. Part II: Impacts and policy assessment, *Atmospheric Environment*, 67, 184-192.

Yu, Z., Liscinsky, D. S., Fortner, E. C., Yacovitch, T. I., Croteau, P., Herndon, S. C., Miake-Lye, R. C. (2017). Evaluation of PM emissions from two in-service gas turbine general aviation aircraft engines, *Atmospheric environment*, 160, 9-18.

Zhou, Y., Jiao, Y., Lang, J., Chen, D., Huang, C., Wei, P., Li, S., Cheng, S., (2019). Improved estimation of air pollutant emissions from landing and takeoff cycles of civil aircraft in China, *Environmental Pollution*, 249, 463-471.

Zhu, Y., Fanning, E., Yu, R., C., Zhang, Q., Froines, J., R., (2011). Aircraft emissions and local air quality impacts from takeoff activities at a large International Airport, *Atmospheric Environment*, 45, 6526-6533.

http-1: https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/LAQ_TechnologyStandards.aspx

(Eriřim Tarihi: 05.10.2021)

http-2 : <https://www.cezerirobot.com/jet-motorlari-vs-pistonlu-motorlar/>

(Eriřim Tarihi: 05.10.2021)

http-3 : <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>

(Eriřim Tarihi 05.10.2021)

http-4 : <https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution#What%20is%20CO>

(Eriřim Tarihi 15.11.2021)

http-5 : <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases#carbon-dioxide>

(Eriřim Tarihi 15.11.2021)

http-6 : <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#Effects>

(Eriřim Tarihi 15.11.2021)

http-7 : <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#effects>

(Eriřim Tarihi 15.11.2021)

http-8: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>

(Eriřim Tarihi 15.11.2021)

http-9 : <https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/climatesciencenarratives/its-water-vapor-not-the-co2.html>

(Eriřim Tarihi 15.11.2021)

http-10:

<http://www.tayyareci.com/akademi/motgos.asp#:~:text=Manifold%20g%C3%B6stergesi%2C%20benzin%20ve%20hava,azalaca%C4%B1ndan%20manifold%20bas%C4%B1n%C3%A7%20da%20azal%C4%B1r.>

(Eriřim Tarihi 15.11.2021)



ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO:

Adı Soyadı : Soner Özenç İLHAN

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim:

- 2017, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
- 2010, Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Yapı Denetimi Bölümü
- 2007, Gelibolu Lisesi, Fen Bilimleri Bölümü

Mesleki Geçmiş:

- 2021- Fermantasyon Şefi & Çevre Görevlisi, ITC Eskişehir Enerji, Eskişehir
- 2020-2021 Gaz Sahası Şefi & Çevre Görevlisi, ITC Eskişehir Enerji, Eskişehir
- 2018-2020 Araştırmacı & Yüksek Lisans Öğrencisi, Eskişehir Teknik Üniversitesi Hava Kalitesi Araştırma Laboratuvarı, Eskişehir
- 2015-2017 Laboratuvar Asistanı (Öğrenci İşçi), Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları, Eskişehir

Staj Geçmişi:

- 2016, ERKE Yeşil Bina Tasarımı, 25 İş Günü, İstanbul
- 2016, İzmir Büyükşehir Belediyesi, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, 25 İş Günü, İzmir

Sertifikalar:

- 2020, Çevre Görevlisi Belgesi

Proje Deneyimi:

- Pistonlu ve Turboprop Motorlu Uçakların Emisyonlarının Ölçümü, Analizi ve Emisyon Envanterinin Oluşturulması, TÜBİTAK 1001 - Proje No: 115Y611 (Bursiyer - Yüksek Lisans Öğrencisi) / 2018 – 2019

Yayınlar:

- Turgut, T. E., , Açıkkel, G., Gaga, O.E., Çalışır, D., Odabaşı, M., Ari, A., Artun, G., İlhan, Ö. S., Savacı, U., Can, E., Turan, S., "A Comprehensive Characterization of Particulate Matter, Trace Elements and Gaseous Emissions of Piston-Engine Aircraft ", Environmental Science and Technology, Vol.54, May 2020, pp.7818-. doi:10.1021/acs.est.0c00815
- Turgut, T. E., Gaga, O.E., Açıkkel, G., Çalışır, D., Odabaşı, M., Artun, G., Can, E., İlhan, Ö. S., Başkurt, S., Turan, S., "Particulate Matter Emission Comparison of Piston-Engine Aircraft's Full-Rich and Best-Power Operations", Journal of Propulsion and Power, Vol.35, No.5, September 2019, pp.1018-1028. doi:10.2514/1.B37549
- İlhan, Ö. S., Gaga, O. E., Açıkkel, G., Çalışır, D., Odabaşı, M., Arı, A., Artun, G., Can, E., Turgut, T. E., "Metal Emissions Characterization of Piston Engine Aircraft in General Aviation", 18th World Clean Air Congress Proceedings, İstanbul, 23-27 September 2019, (Oral Presentation).