



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



HAVACILIK YAKITLARINDA BİYİYAKIT
KARIŞIMLARININ YAKIT
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA
Fatma DÜZENLİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Fatma Düzenli tarafından hazırlanan “HAVACILIK YAKITLARINDA BİYOYAKIT KARIŞIMLARININ YAKIT ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA” adlı tez çalışması 10/12/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Unvanı Adı SOYADI

Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU

Danışman

Unvanı Adı SOYADI

Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU

Üye

Unvanı Adı SOYADI

Prof. Dr. Mustafa ÖZCANLI

Üye

Unvanı Adı SOYADI

Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sait Gezgin
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 20201021- nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Fatma DÜZENLİ

Tarih:10.12.2021

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****HAVACILIK YAKITLARINDA BİYOYAKIT KARIŞIMLARININ YAKIT
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA****Fatma DÜZENLİ****Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU****2021, 80 Sayfa****Jüri****Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU****Prof. Dr. Mustafa ÖZCANLI****Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN**

Dünyada enerji talebinin sürekli artması ve fosil türevli yakıtların kademeli olarak azalması ile alternatif yakıtlara yönelim artmıştır. Havacılık sektöründe de yakıt tüketiminin fazla olması ve uçakların yüksek irtifalarda çevreye yaydığı emisyon oranlarının oldukça fazla olması daha temiz ve düşük maliyetli biyoyakıtlara olan ilgiyi arttırmıştır. Havacılık yakıtlarında soğuk akış özellikleri uçuş güvenliği açısından oldukça önemlidir. Biyoyakıtların soğuk akış özellikleri havacılık yakıtlarına göre daha düşüktür fakat soğuk akış özellikleri yakıtlara eklenecek katkı maddeleri ile iyileştirilebilmektedir.

Bu çalışmada kolay yetiştirilebilen, düşük maliyetli ve dikenli yapısı nedeniyle insanlar ve hayvanlar için gıda değeri olmayan, tarım arazilerinde mahsul kayıplarına neden olan; Onopordum bitkisinin tohumlarından elde edilen yağdan transesterifikasyon yöntemi ile biyoyakıt üretilmiştir.

Onopordum biyodizeli askeri havacılık yakıtı olan JP-8 yakıtı ile belirli oranlarda (B2, B3, B5) karıştırılarak biyojet yakıtı elde edilmiştir. Elde edilen biyojet yakıtının soğuk akış özelliklerinin test edilmesi için karışımlara, TBHQ, BHT, Pentanol ve PMA katkı maddeleri eklenerek deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre en gelişmiş soğuk akış özelliklerine TBHQ ve PMA katkılarının birlikte ilave edilmesi ile ulaşılmıştır.

Bu çalışma Onopordum biyoyakıtı için dünya literatüründe ilk defa yapılmış olup, yakıt karışımlarına ilave edilen katkı maddelerinin farklı oranlarla test edilebileceği veya kullanılan katkı maddelerinin türlerinin çeşitlenerek farklı alternatif yakıtlar üretilebileceği söz konusudur.

Anahtar Kelimeler: Yakıt, Biyojet, Çevre, Havacılık, Sürdürülebilirlik

ABSTRACT**MS THESIS****A RESEARCH ON DETERMINATION OF FUEL PROPERTIES OF BIOFUEL MIXTURES IN AVIATION FUELS****Fatma DÜZENLİ****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY****THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING****Advisor: Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU
2021, 80 Pages****Jury****Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU
Prof. Dr. Mustafa ÖZCANLI
Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN**

With the continuous increase in energy demand in the world and the gradual decrease of fossil-derived fuels, the orientation towards alternative fuels has increased. The high fuel consumption in the aviation sector and the high emission rates of aircraft at high altitudes have increased the interest in cleaner and low-cost biofuels. Cold flow properties in aviation fuels are very important in terms of flight safety. The cold flow properties of biofuels are lower than aviation fuels, but their cold flow properties can be improved with additives to the fuels.

In this study, biofuel was produced by transesterification method from oil obtained from the seeds of Onopordum plant, which is easily grown, has no food value for humans and animals due to its low cost and prickly structure, causes crop losses on agricultural lands.

Onopordum biodiesel was mixed with JP-8 fuel, which is a military aviation fuel, in certain proportions (B2, B3, B5) to obtain biojet fuel. In order to test the cold flow properties of the obtained biojet fuel, experiments were carried out by adding TBHQ, BHT, Pentanol and PMA additives to the mixtures. According to the results of the experiment, the most advanced cold flow properties were achieved by adding TBHQ and PMA additives together.

This study has been done for the first time in the world literature for Onopordum biofuel, and it is possible to test the additives added to the fuel mixtures with different ratios or to produce different alternative fuels by diversifying the types of additives used.

Keywords: Fuel, Biojet, Environment, Aviation, Sustainability

ÖNSÖZ

Dünyadaki nüfusun artmasıyla birlikte enerji ihtiyacı da sürekli olarak artmaktadır. İhtiyacımız olan enerjinin büyük bir kısmı fosil kökenli yakıtlardan elde edilmektedir. Enerjinin açığa çıkması için sürekli olarak yanma olayı meydana gelmektedir. Yanma olayı hava kirliliğini doğrudan etkilemekte ve çevre sorunlarını beraberinde getirmektedir. Fosil kaynaklı yakıtların yanması sonucu açığa çıkan gazlar atmosferde kirletici etki göstermektedir. Ayrıca fosil kaynakların giderek azalması ilerleyen yıllarda enerji ihtiyacını karşılamaya da yetmeyecek hale gelecektir. Bunun için dünyada hem ekonomik hem de çevre açısından daha temiz alternatif yakıtlara yönelim artmıştır.

Günümüzde alternatif yakıt kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte dünyadaki yakıt tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturan havacılık sektöründe de biyoyakıtlar kullanılmaya başlanmıştır. Biyokütle kaynaklı jet yakıtı, havacılık sektörü için ekonomik ve çevresel etkileri azaltma stratejisinde önemli bir unsur haline gelmiştir.

Bu çalışmada biyokütle kaynaklı jet yakıtı üretmek ve bu yakıtın özelliklerini standart kaliteye ulaştırmak amaçlanmıştır. Bunun için günümüzde gıda değeri olmayan ve kolay yetişen bir bitki olan Onopordum bitkisi kullanılarak en düşük maliyet ve çevre açısından temiz bir alternatif yakıt üretmek hedeflenmiştir.

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 20201021- nolu proje ile desteklenmiştir.

Çalışmalarım boyunca, beni yönlendiren engin bilgileri ve destekleri ile çalışmanın her aşamasında yanımda olan değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa Acaroğlu'na ve bugüne kadar her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatma DÜZENLİ

KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Onopordum Bitkisi ve Özellikleri.....	2
1.2. Biyodizel ile İlgili Bazı Yakıt Özelliklerinin Tanımlanması.....	4
1.2.1. Yoğunluk	4
1.2.2. Viskozite	5
1.2.3. Soğuk Akış Özellikleri.....	6
1.2.4. Oksidasyon Kararlılığı	8
1.2.5. Isıl Değer.....	8
1.2.6. Setan Sayısı.....	8
1.3. Biyodizel Standardı.....	9
1.4. Havacılıkta Biyojet Yakıtının Kullanılması ve Yakıt Standartları	10
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
3.1. Biyodizel Üretimi İçin Kullanılan Hammaddeler ve Kimyasal Maddeler	34
3.1.1. Onopordum Yağı	34
3.1.2. Metil Alkol (Metanol).....	35
3.1.3. Katalizör.....	35
3.2. Biyojet Üretimi ve Yakıt Özelliklerinin Geliştirilmesi İçin Kullanılan Maddeler	36
3.2.1. JP-8 (NATO-F34) Yakıtı	36
3.2.2. Onopordum Biyodizeli	37
3.2.3. Katkı Maddeleri	38
3.3. Deneyde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar.....	39
3.3.1. Hassas Terazî	39
3.3.2. Manyetik Karıştırıcı.....	39
3.3.3. Termometre.....	40
3.3.4. Serbest Yağ Asit Değeri Ölçüm Cihazı	40
3.3.5. Yoğunluk Ölçüm Cihazı	40
3.3.6. Kinematik Viskozite Ölçüm Cihazı	41
3.3.7. Kalorimetre Ölçüm Cihazı.....	41
3.3.8. Soğukta Filtre Tıkanma Noktası Ölçüm Cihazı.....	42
3.3.9. Bulutlanma ve Akma Noktası Ölçüm Cihazı	42

3.4. Deneysel Yöntem.....	43
3.4.1. Onopordum Yağından Biyodizel Üretimi.....	44
3.4.2. Yakıt Karışımlarının Hazırlanması.....	45
4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	47
4.1. Deney Yakıtlarının Yoğunluk ve Viskozite Değişiminin Karşılaştırılması	49
4.2. Deney Yakıtlarının Isıl Değerlerinin Karşılaştırılması	50
4.3. Deney Yakıtlarının Soğuk Akış Özelliklerinin Karşılaştırılması	50
4.4. Deney Yakıtlarının Yoğunluk ve Soğukta Filtre Tıkanma Noktası Değişimi.....	51
4.5. JP-8 Yakıtı ve Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin Değerlendirilmesi	52
4.6. B2 Yakıtı ve Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	54
4.7. B3 Yakıtı ve Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	56
4.8. B5 Yakıtı ve Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	58
4.9. Şahit Yakıt Karışımlarının Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	60
4.10. PMA Katkısının Yakıt Karışımlarına Etkisi.....	62
4.11. Pentanol Katkısının Yakıt Karışımlarına Etkisi.....	65
4.12. BHT Katkısının Yakıt Karışımlarına Etkisi.....	67
4.13. TBHQ Katkısının Yakıt Karışımlarına Etkisi.....	69
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
5.1 Sonuçlar	71
5.2 Öneriler	74
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Onopordum Bitkisinin Büyüme Evreleri.....	3
Şekil 3.1. Onopordum Yağı	34
Şekil 3.2. Metanol.....	35
Şekil 3.3. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Katalizörler	35
Şekil 3.4. JP-8 Yakıtı	36
Şekil 3. 5.Onopordum Biyodizeli	37
Şekil 3. 6. Hassas Terazı.....	39
Şekil 3. 7. Manyetik Karıştırıcı.....	39
Şekil 3.8. Serbest Yağ Asit Değeri Ölçüm Cihazı.....	40
Şekil 3. 9. Yoğunluk Ölçme Cihazı	40
Şekil 3. 10. Kinematik Viskozite Ölçme Cihazı.....	41
Şekil 3.11. Kalorimetre Cihazı	41
Şekil 3.12. Soğukta Filtre Tıkanma Noktası Ölçme Cihazı.....	42
Şekil 3.13. Bulutlanma Ve Akma Noktaları Ölçüm Cihazı.....	42
Şekil 3.14. Deney Şeması	43
Şekil 3. 15. Onopordum Biyodizeli Üretim Aşamaları	45
Şekil 3.16. Onopordum Metil Esteri ve JP-8 Yakıtı	46
Şekil 3.17. Hazırlanan Karışım Numuneleri.....	46
Şekil 4.1.Yakıt Karışımlarının Yoğunluk-Viskozite Değişimi.....	49
Şekil 4.2. Yakıt Karışımlarının Isıl Değer Dağılımı	50
Şekil 4.3. Yakıt Karışımlarının Soğuk Akış Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.4. Yoğunluk ve Soğukta Filtre Tıkanma Noktası Değişimi	51
Şekil 4.5. JP-8 Yakıt Karışımlarının Viskozite Ve Yoğunluk Değişimi	52
Şekil 4.6. JP-8 Yakıt Karışımlarının Soğuk Akış Özelliklerinin Değişimi	53
Şekil 4.7. JP-8 Yakıt Karışımlarının Yoğunluk Ve Isıl Değer Değişimi.....	53
Şekil 4.8. B2 Yakıt Karışımlarının Kinematik Viskozite Ve Yoğunluk Değişimi.....	54
Şekil 4.9. B2 Yakıt Karışımlarının Soğuk Akış Özelliklerinin Değişimi.....	55
Şekil 4.10. B2 Yakıt Karışımlarının Isıl Değer Değişimi.....	55
Şekil 4.11. B3 Yakıt Karışımlarının Kinematik Viskozite Ve Yoğunluk Değişimi.....	56
Şekil 4.12. B3 Yakıt Karışımlarının Soğuk Akış Özelliklerinin Değişimi.....	57
Şekil 4.13. B3 Yakıt Karışımlarının Isıl Değer Değişimi.....	57
Şekil 4.14. B5 Yakıt Karışımlarının Kinematik Viskozite Ve Yoğunluk Değişimi.....	58
Şekil 4.15. B5 Yakıt Karışımlarının Soğuk Akış Özelliklerinin Değişimi.....	59
Şekil 4.16. B5 Yakıt Karışımlarının Isıl Değer Değişimi.....	59
Şekil 4.17. Şahit Yakıtların Kinematik Viskozite ve Yoğunluk Değişimi	60
Şekil 4.18. Şahit Yakıt Katkısının Soğuk Akış Özelliklerine Etkisi	61
Şekil 4.19. Şahit Yakıt Katkısının Isıl Değer Değişimi.....	62
Şekil 4.20. PMA Katkısında Kinematik Viskozite Ve Yoğunluk Değişimi.....	63
Şekil 4.21. PMA Katkısının Soğuk Akış Özelliklerine Etkisi.....	64
Şekil 4.22. PMA Katkısının Kinematik Viskozite Yoğunluk Ve Isıl Değere Etkisi.....	64
Şekil 4.23. Pentanol Katkısında Kinematik Viskozite Ve CFPP Değişimi	65

Şekil 4.24. Pentanol Katkısının Soğukta Filtre Tıkanma Noktası Ve Yoğunluğa Etkisi	66
Şekil 4.25. Pentanol Katkısının Soğuk Akış Özelliklerine Etkisi.....	66
Şekil 4.26. BHT Katkısının Kinematik Viskozite ve Soğukta Filtre Tıkanma Noktasına Etkisi	67
Şekil 4.27.BHT Katkısının Soğuk Akış Özelliklerine Etkisi.....	68
Şekil 4.28. BHT Katkısının Isıl Değere Etkisinin Değişimi.....	68
Şekil 4.29. TBHQ Katkısının Kinematik Viskozite Ve Soğukta Filtre Tıkanma Noktasına Etkisi	69
Şekil 4.30. TBHQ Katkısının Soğuk Akış Özelliklerine Etkisi.....	70
Şekil 4.31. TBHQ Katkısının Isıl Değere Etkisi.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Biyodizel Standardı (TS EN 14214).....	9
Çizelge 1.2. JP-8 (NATO F-34), Yakıt Şartnamesi	11
Çizelge 3.1. Onopordum Yağının Yakıt Özellikleri	35
Çizelge 3.2. JP-8 Yakıtının Özellikleri.....	36
Çizelge 3.3. Onopordum Biyodizelinin Yakıt Özellikleri	37
Çizelge 3.4. Deney İçin Kullanılan Katkı Maddeleri	38
Çizelge 4. 1. Yakıt Özelliklerinin Geliştirilebilmesi İçin Hazırlanan Karışımlar	47
Çizelge 4. 2. Hazırlanan Yakıt Numunelerinin Özellikleri	48
Çizelge 5.1. JP-8 Yakıt Standardı	71
Çizelge 5.2. Deneylerde Kullanılan JP-8 Yakıtının Özellikleri.....	71
Çizelge 5. 3. JP-8 Yakıtına Alternatif Olabilecek Yakıt Karışımları	72
Çizelge 5. 4. Donma Noktası JP-8 Standardına Uygun Olmayan Yakıt Karışımları	73

SİMGELER VE KISALTMALAR**Simgeler**

CH₃OH	Metanol
CO	Karbonmonoksit
CO₂	Karbondioksit
H₂	Hidrojen
H₂O	Su
HC	Hidrokarbon
H₃PO₄	Fosforik Asit
MgO	Magnezyum Oksit
MnO₂	Manganez Dioksit
NaOCH₃	Sodyum Metoksit
NaOH	Sodyum Hidroksit
NiO	Nikel Oksit
NO_x	Azot Oksit
ZnO	Çinko Oksit

Kısaltmalar

ACE	Aseton
AF-1	JP-8
AF-2	JP-8 + 10 (% v) Pentanol + 0.05 (% w) PMA
AF-3	JP-8 + 10 (% v) Pentanol
AF-4	JP-8 + 500 ppm BHT + 0.05 (% w) PMA
AF-5	JP-8 + 500 ppm BHT
AF-6	JP-8 + 3000 ppm TBHQ + 0.05 (% w) PMA
AF-7	JP-8 + 3000 ppm TBHQ
AF-8	B2
AF-9	B2 + 10 (% v) Pentanol + 0.05 (% w) PMA
AF-10	B2 + 10 (% v) Pentanol
AF-11	B2 + 500 ppm BHT + 0.05 (% w) PMA
AF-12	B2 + 500 ppm BHT
AF-13	B2 + 3000 ppm TBHQ + 0.05 (% w) PMA
AF-14	B2 + 3000 ppm TBHQ
AF-15	B3
AF-16	B3 + 10 (% v) Pentanol + 0.05 (% w) PMA
AF-17	B3 + 10 (% v) Pentanol
AF-18	B3 + 500 ppm BHT + 0.05 (% w) PMA
AF-19	B3 + 500 ppm BHT
AF-20	B3 + 3000 ppm TBHQ + 0.05 (% w) PMA
AF-21	B3 + 3000 ppm TBHQ
AF-22	B5
AF-23	B5 + 10 (% v) Pentanol + 0.05 (% w) PMA
AF-24	B5 + 10 (% v) Pentanol
AF-25	B5 + 500 ppm BHT + 0.05 (% w) PMA
AF-26	B5 + 500 ppm BHT
AF-27	B5 + 3000 ppm TBHQ + 0.05 (% w) PMA
AF-28	B5 + 3000 ppm TBHQ
B2	%2 Biyodizel + %98 JP-8
B3	%3 Biyodizel + %97 JP-8
B5	%5 Biyodizel + %95 JP-8
B20	%20 Biyodizel + %80 Diesel
B80	%80 Biyodizel + %20 Diesel
B90	%90 Biyodizel + %10 Diesel
B100	%100 Biyodizel
BBO	Babassu Yağı Biyodizeli
BHT	Butil Hidroksi Toluen
BSFC	Frene Özgü Yakıt Tüketimi
BWCO	Atık Pişirme Yağı Biyodizeli
CFI	Soğuk Akış Geliştirici
CFPP	Soğukta Filtre Tıkanma Noktası
CN	Setan Sayısı
cm	Santimetre
COB	Hint Yağı Biyodizeli
CP	Bulutlanma Noktası
CTO	Pamuk Yağı Biyodizeli
DEE	Dietil eter

DEC	Dietil Karbonat
DMAz	Dimetil Azelat
DMC	Dimetil Karbonat
DPGEs	Di Propil Gliserol Eterleri
DWMS	Yıkanmış Süt Pislği
EAA	Etil Asetoasetat
EACP	Etilen Vinil Asetat Kopolimeri
EHN	Etilheksil Nitrat
EVAC	Etilen-Vinil Asetat Ko-Polimeri
FAAE	Yağ Asidi Alkil Esteri
FAGE	Yağ Asidi Gliserol Formal Esteri
FAME	Yağ Asidi Metil Esteri
FFA	Serbest Yağ Asidi
FP	Donma Noktası
GF	Gliserol Formal
GFOMOM	Metoksi-Metil Gliserol Formal
GHG	Sera Gazı Emisyonu
h	Saat
Ho	Net Yanma Isısı
HPMA	Polimerik Anhidrit
JCB	Jatropha Curcas Biyodizeli
JME	Jatropha Metil Esteri
JP8	Havacılık Yakıtı
K20	%20 Kerosen+ %80 Euro Diesel
Km	Kilometre
LOP-120DP	Poligliserol Ester
LTFP	Düşük Sıcaklıkta Filtreleme Noktası
M	Metre
MBGE	Mono Butil Gliserol Eterleri
MO	Metil Oleat
MPGEs	Mono-Propil Gliserol Eterleri
OECP	Olefin-Ester Kopolimeri
OLLA	Poli (Laktik Asit)-Oligomeri
PAO	Poli-Alfa-Olefin
PBD	Petrol Bazlı Dizel
PFME	Palm Yağı Biyodizeli
PGE	Poligliserol Esterleri
PM	Partikül Madde
PMA	Polimetil Akrilat
POME	Palm Yağı Metil Esteri
PP	Akma Noktası
PPD	Akma Noktası Düşürücü
Ppm	Milyon Başına Parça (partikül)
RBE	Kolza Tohumu Yağı Bütil Esteri
RME	Kolza Tohumu Yağı Metil Esteri
rpm	Dakikadaki devir sayısı
SBO	Soya Fasulyesi Biyodizeli
SFC	Spesifik Yakıt Tüketimi
TBHQ	Ter-Bütil Hidrokinon (tert-Butylhydroquinone)
TPGE	Tri-Propil Gliserol Eteri

VOCM
Vol
WCB
Wt

Bitkisel Yağ Bazlı Kristalizasyon Deęiřtiricisi
Hacim
Atık Pişirme Yağı Biyodizeli
Ağırlıkça



1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun sürekli büyümesi ve gelişen teknoloji ile enerji kaynaklarına olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Enerjinin açığa çıkabilmesi için gerçekleşen yanma olayının sonucunda çevreye salınan zararlı emisyonlar ve buna bağlı olarak hava kirliliğinde büyük oranda artış söz konusudur. Dünyada ulaşım için kullanılan yakıtların fosil kaynaklı olması hem çevrenin daha fazla kirlenmesi hem de rezervlerin giderek tükenmesine yol açmaktadır. Bu olumsuzlukların giderilmesi için ucuz ve temiz enerji kaynaklarının kullanımını arttırmak için araştırmalar yapılarak çevrenin korunmasını ve fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılmasını sağlamak amacıyla mevcut yenilenemeyen kaynaklara alternatif olabilecek çözümler üretilmektedir.

Enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil ve türevi yakıtlardan sağlanmakta iken son yıllarda yapılan çalışmalarla birlikte bitkisel ve hayvansal içerikli yakıtlar alternatif enerji kaynağı olma konusunda önemli bir gelişme sağlamıştır. Alternatif yakıtların kullanılması hem fosil türevli yakıtlardan kaynaklanan emisyonların azaltılmasına hem de dışa bağımlılığı azaltarak ülkelerin ekonomisine katkı sağlamaktadır.

Alternatif yakıtlar bitki, hayvan ve atık maddelerden biyodizel dönüşüm yöntemleri ile üretilmektedir. Bunun dışında gıda değeri olmayan bitkilerden biyodizel üretimi maliyet açısından büyük bir önem kazanmaktadır.

Alternatif yakıtların, var olan teknolojide önemli bir yapısal değişiklik oluşturmada doğrudan kullanılabilmesi, düşük maliyetli olarak üretilmesi, kolay bir şekilde depolanabilmesi ve taşınabilmesi, ısı değeri yüksek olması, yüksek sıkıştırma oranlarında çalışabilmesi ve yandığı zaman açığa çıkardığı egzoz emisyon oranlarının düşük olması önemlidir. (Akansu, 2007; Ceper ve ark., 2009).

Biyodizel kanola, ayçiçeği, aspir, soya, mısır gibi kullanımı çok olan bitkilerin yanında çok fazla bilinmeyen Onopordum, Camelina (ketencik) ve Cynara Cardunculus gibi bitkilerin veya hayvansal yağların transesterifikasyona uğraması sonucu elde edilmektedir. Ancak biyodizel üretimi için kullanılan besin değeri yüksek olan ayçiçeği, mısır, soya gibi bitkiler gıda üretiminde ham madde fiyatını arttırdığı ve ekolojik kaynakların tüketimine sebep olduğu için son yıllarda yapılan çalışmalarda gıda değeri bulunmayan bitkilerden biyodizel üretimi ön plana çıkmıştır (Köse, 2018).

Ayrıca biyoyakıt üretmek amacıyla kullanılan bitkisel yağın hammaddesi yaklaşık olarak üretim fiyatının %70'i ile %90'ını oluşturmaktadır. Bu oran biyodizel endüstrisi için büyük risk oluşturmaktadır. Tüm bu sebeplerden dolayı sürdürülebilir biyoyakıt üretimi için, tarım faaliyetleri için uygun olmayan kurak iklim koşullarına

sahip yerlerde, sulanma, gübrenme, ve zirai ilaçlara çok fazla gereksinim duymayan, ekonomik ve geliştirilebilir yakıt özellikleri olan bitkilere öncelik tanınmalıdır (Bouriazos ve ark., 2014).

Bu çalışmada kolay yetiştirilebilen, düşük maliyetli ve dikenli yapısı nedeniyle insanlar ve hayvanlar için gıda değeri olmayan, tarım arazilerinde mahsul kayıplarına neden olan; Onopordum bitkisinden biyoyakıt elde edilerek bu yakıtı belirli miktarlarda havacılık yakıtı ile karıştırıp alternatif bir biyojet yakıtı üretmek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda üretilen biyoyakıtın jet yakıtı ile karıştırılması ile elde edilen yeni yakıtın, hem konvansiyonel jet yakıtından çevreye yayılan emisyonların etkisini azaltması hem de ülkemize ekonomi açısından bir katkı sağlamak amaçlanmaktadır. Ayrıca havacılık yakıtlarında büyük önem arz eden soğuk akış özelliklerinin iyileştirilmesi için elde edilecek biyojet yakıtına bazı katkı maddeleri eklenecektir.

1.1.Onopordum Bitkisi ve Özellikleri

Onopordum bitkisi güneşli ve kurak bölgelerde, kendiliğinden yetişen ve sulama ihtiyacına gerek olmayan iki yıllık otsu bir bitkidir. Onopordum yapısal özellikleri bakımından yeşil dikenli, üzerinde mor renkli çiçeği olan ve uzunluğu 30 ila 2000 cm arasında değişen bir bitkidir. Olgunlaştığında kolayca dökülen siyah-gri renkli yağlı tohumları vardır. Günlük hayatta deve kengeri ve eşek dikenini olarak da adlandırılan bu bitki, ülkemizde yol kenarlarında ve tarlalarda yaygın olarak görülmektedir.

Fosil yakıt rezervlerinin gün geçtikçe azalması bu yakıtlardan kaynaklanan çevre sorunları, dışa bağımlılık ve yüksek ithalat sorunları nedeniyle bitkisel ve hayvansal katkılı yağlardan alternatif enerji üretimine eğilim yaygınlaşmıştır. Ülkemizde yağlı tohum üretiminin yetersiz olması nedeniyle beslenme için gerekli olan yağın büyük bir kısmının yurtdışından ithal edilmesi söz konusudur. Bunun için Onopordum gibi günümüzde gıda değeri bulunmayan ve kolay yetişen bir bitkinin tohumlarında bulunan yağdan biyoyakıt elde etmek maliyet açısından büyük bir avantaj sağlayacaktır.



Şekil 1.1. Onopordum Bitkisinin Büyüme Evreleri

1.2. Biyodizel ile İlgili Bazı Yakıt Özelliklerinin Tanımlanması

Havacılıkta kullanılan yakıtlarda bazı özellikler çok önemlidir. Örneğin yanma açısından iyi tutuşabilme özelliğini sağlamak için yakıtta yüksek termal kararlılık, oksidasyon stabilizesinin iyi olması ve buhar basıncının yine stabil olması istenir. Bununla birlikte, güvenlik açısından, düşük uçuculuk ve depolama istikrarının karşıt nitelikleri gereklidir. Ayrıca yakıtın düşük sıcaklıklarda akış özellikleri olan bulutlanma, akma, donma ve soğukta filtre tıkanma noktalarının da iyi özelliklere sahip olması gerekmektedir.

Onopordum bitkisinden elde edilen bu biyoyakıtın mevcut sistemlerde kullanılabilmesi için yukarıda bahsedilen özelliklerle birlikte yoğunluk, viskozite, parlama noktası ve ısı değeri gibi özelliklerinin jet yakıtı standartlarına uygun değer aralığında olması gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen biyoyakıt jet yakıtı ile karıştırılarak çeşitli biyojet yakıt karışımları elde edilecek ve bu karışımlara soğuk akış özelliklerinin iyileştirilmesi için bazı katkı maddeleri eklendikten sonra elde edilen yakıtların standartlara uygunluğu kontrol edilerek jet yakıtına alternatif olabilecek yakıtlar seçilecektir.

Bir yakıt için önemli olan bazı özellikleri tanımlayacak olursak;

1.2.1. Yoğunluk

Yoğunluk, birim hacimdeki kütle miktarı olarak tanımlanmaktadır. Yakıt ve yağları birbirinden ayıran özelliklerden biridir. Yoğunluk sıcaklık ile az miktarda değişmektedir, teknik ölçümlerde ölçü sıcaklığı 20 °C belirlenmiş olsa da ticarete çoğu zaman 15 °C ile hesaplanmaktadır. Ölçümler farklı sıcaklıklarda yapılmış ise, bulunan değerlerin düzeltilmesi gereklidir, bunun için yaygın olarak aşağıdaki formül kullanılmaktadır. (Acaroğlu, 2013).

$$d_{15} = d_t + 0,0001 (t - 15) (15 - 10. d_t) \quad (1.1)$$

Burada;

t = Ölçüm sırasındaki yakıtın sıcaklık değeri

d_t = Ölçülen yoğunluk değeri

d₁₅ = 15 °C ye indirgenen yoğunluk değeri

Biyodizelin yoğunluk değeri, kullanılan hammadde ve yapılan işleme bağlı olarak dizel yakıttan daha yüksektir. Biyodizel için yoğunluk değeri 0.86-0.90 kg/L, dizel yakıtın yoğunluk değeri 0.82-0.845 kg/L, JP-8 yakıtının yoğunluk değeri ise 0.775-0.840 kg/L değerleri arasında sınırlandırılmıştır. Biyodizelin yoğunluğu kullanılan yağın yapısına bağlı olmakla beraber, elde edilme işlemine de bağlıdır.

Hidrokarbon zinciri uzadıkça yoğunluk azalmakta, çift bağ sayısı arttıkça yoğunluk artmaktadır. Biyodizelin ısı değeri motorine oranla %10-15 daha az iken, yoğunluk değeri %5-7 daha fazladır. Isıl değerin düşük olması sonucunda, motor torku ve motor gücünde azalma olmaktadır. Ancak yoğunluğun yüksek olması ile güç kaybı azalmaktadır (Onurbaş Avcıoğlu ve ark., 2011).

Uçak motoru, yakıtın kimyasal enerjisini ısı ve mekanik enerjinin bir kombinasyonuna dönüştürerek güç yaratmaktadır. Uçak motorunun büyük olması nedeniyle ısıtma önemlidir; bu nedenle yakıtın enerji içeriği iyi olmalıdır. Bütün hidrokarbonların enerjileri değişkenlik gösterdiğinden dolayı jet yakıtı karışımındaki bileşenlerin miktarları ve türleri önemlidir. Yoğunluk, enerji değerinin bir göstergesidir. Genellikle düşük yoğunluğa sahip yakıtların gravimetrik enerji içeriği, yüksek yoğunluğa sahip yakıtların ise volumetrik enerji içeriği fazladır. Jet yakıtlarında yüksek volumetrik enerjili, yani yüksek yoğunluklu yakıtlar tercih edilmektedir çünkü belirli bir hacimdeki volumetrik enerji daha fazla olduğundan bir depo yakıtla alınacak yol daha uzun olmaktadır.

1.2.2. Viskozite

Viskozite, sıvıların akmaya karşı olan direncinin ölçüsüdür. Viskozite sıcaklığın artması ile azalmaktadır, basıncın artması ile artmaktadır. Dizel yakıtlarda soğuk ortam koşullarında önemli rol oynamaktadır (Acaroğlu, 2013).

İşlenmemiş bitkisel yağların viskozite değeri dizel yakıtın viskozite değerine oranla oldukça yüksektir. Yağ içeriğindeki hidrokarbon zinciri uzunluğu viskozite değerini etkilemektedir. Yağın viskozitesi hidrokarbon zinciri uzunluğu arttıkça artmakta, çift bağ sayısı (doymamışlık) arttıkça azalmaktadır. Biyodizelin viskozitesi, dizel yakıttan biraz daha yüksek olup, ASTM D 6751 standartlarına göre sınır değeri 1.9-6.0 mm²/s arasındadır. EN 14214 standartlarına göre ise bu değer 3.5-5.0 mm²/s arasındadır (Onurbaş Avcıoğlu ve ark., 2011).

Motorun yanma odasına nozullardan enjekte edilen jet yakıtı, ince sprey halinde püskürtülmesi nedeniyle hava ile karışırken aniden buharlaşmaktadır. Yakıt damlalarının büyüklüğü ve spreyn şekillenmesi viskozite değeri ile ilgilidir. Eğer yakıtın viskozitesi istenen değerden yüksek ise motor ilk kalkış anında zorlanır, yakıt sistemindeki basınç düşmesi fazla olur ve sabit yakıt akışının sürdürmek için yakıt pompasının çalışması için daha fazla güce ihtiyacı olur. Bu yüzden yakıt standartlarında viskozite değeri maksimum değerle sınırlandırılmıştır.

1.2.3. Soğuk Akış Özellikleri

Biyodizel alternatif olarak petrol kaynaklı dizel yerine kullanılmaktadır ancak yaygın olarak kullanımını engelleyen en önemli faktörlerden biri biyodizelin soğuk akış özelliklerinin kötü olmasıdır. Bitkisel ve hayvansal kaynaklı birçok yağdan elde edilen biyodizelde doymuş yağ asidi oranı yüksek olduğu için bulutlanma, akma ve donma noktaları da yüksek olmaktadır, bu durum soğukta filtre tıkanma noktasını da etkilemektedir. Düşük sıcaklıklarda yakıtın özelliklerini koruma yeteneği soğukta akış performansı olarak adlandırılmaktadır.

Dizel yakıtına oranla soğuk akış özellikleri açısından kötü performans sergileyen biyodizel için bu özellikleri iyileştirmede, yakıtta katkı maddesi ekleme, vintilizasyon, yakıt bileşiminin modifikasyonu gibi bazı yöntemler kullanılmaktadır. Ayrıca soğuk akış özellikleri kullanılan ham maddeye göre değişiklik göstermektedir.

Bu çalışmada Onopordum bitkisinin soğuk akış özellikleri değerlendirildikten sonra mevcut özellikleri iyileştirmek için yakıtta belirli oranlarda katkı maddesi ilave edilecektir.

Bir yakıtın soğuk akış özellikleri; akma noktası (PP), soğukta filtre tıkanma noktası (CFPP), bulutlanma noktası (CP) ve donma noktası (FP) olmak üzere dört grupta incelenmektedir.

1.2.3.1. Bulutlanma noktası

Bulutlanma noktası; belirli standart şartlar altında yakıtın soğutulması ile wax (mum) kristallerinden oluşan bir sisin görüldüğü ilk sıcaklıktır. Sıcaklık bu değerin üzerinde ise yakıtın kullanılmasında herhangi bir sorunla karşılaşmaz. Fakat sıcaklık bu değerin altında kalırsa yakıt filtresinin tıkanmasına neden olmaktadır. Analiz yönteminde numune belirli bir hızda soğutulmakta ve belirli aralıklarla gözlenmektedir. Deney tüpünde ilk sisin gözlemlendiği sıcaklık değeri bulutlanma noktası olarak belirlenmektedir. (Acaroğlu ve ark., 2018).

Biyodizelin bulutlanma noktası dizel yakıtından daha yüksektir. Bulutlanma noktası yakıtın üretildiği ham maddeye göre -5 ile 17 °C arasında değişiklik gösterebilmektedir (Köse, 2018).

1.2.3.2. Soğukta filtre tıkanma noktası

Yakıtta, bulutlanma noktasında oluşan kristallerin, sıcaklık değerinin daha fazla düşmesi ile kümeleştiği nokta soğukta filtre tıkanma noktasıdır. Bu sıcaklık değerine ulaşıldığı zaman yakıt filtresi tıkanmaktadır. Dizel yakıtlar için soğukta filtre tıkanma noktası IP 309/80, DIN EN 116'da belirtilen standartlar ile belirlenmektedir. Soğukta

filtre tıkanma noktası (CFPP), normlarda maksimum olarak 1 Mart-14 Nisan arasında -10 °C, 15 Nisan-30 Eylül arasında 0 °C, 1 Ekim-15 Kasım arasında -10 °C, 16 Kasım-28 Şubat arasında -20 °C, olarak belirlenmiştir (Acaroğlu ve ark., 2018).

1.2.3.3. Akma noktası

Yakıtın akıcılığını kaybetmeye başladığı, parafin kristallerinin bir araya toplandığı sıcaklığa akma noktası denir. Diğer bir tanımla yakıtın jelleşmeye başladığı sıcaklıktır. Soğukta filtre tıkanma noktasında meydana gelen kristal kümeleşmelerin daha da büyüdüğü noktadır. Bu noktada yakıt, jelleşmekte ve akamaz hale gelmektedir. Akma noktası, yakıtın pompalanabilirliğini ifade etmektedir. Motorinin akma noktası soğuk çalışma ortamında donmayı engelleyecek ve akma yeteneğini kaybettirmeyecek düzeyde olmalıdır. Özellikle soğuk iklimlerde düşük sıcaklıklarda motorinin akıcılığını koruması oldukça önemlidir. Akıcılığı korunamayan yakıt motorun çalışmasını olumsuz etkileyecektir. ASTM D 97 standardına göre ön ısıtmadan sonra numune belirli bir hızda soğutulup ve akış karakteristikleri 3 °C aralıklarla kontrol edilerek, numune hareketinin görüldüğü en düşük sıcaklık akma noktası olarak kaydedilmektedir (Acaroğlu ve ark., 2018).

Biyodizel için akma noktası ASTM PS 121 standardına göre -15 °C- 10 °C arasında sınırlandırılmıştır.

1.2.3.4. Donma noktası

Yakıtın tamamen katılaştığı veya donduğu sıcaklık noktasına denir. Yakıtın bu özelliği soğuk hava şartlarında kullanılabilme oranını göstermektedir (Acaroğlu ve ark., 2018).

Belli bir sıcaklığa kadar soğuyan yakıt molekülleri kristalleşmekte ve sıcaklık daha da düşünce donmaktadır. Kristalleşmiş yakıt, yakıt sistemini tıkayarak yakıtın akmasına engel olmaktadır. Bu yüzden yakıtların donma noktası bölgenin hava sıcaklığından 5 ila 10 °C daha düşük olmalıdır. Donma noktası, motor soğuk iken ve ilk hareket esnasında yakıtın tanktan motora aktarımı için oldukça önemlidir. Yüksek donma noktası, yakıtın ısıtılması istisna edilirse, ilk hareket zorluklarına neden olmaktadır. Motorların donma noktası dolayındaki sıcaklıklarda çalıştırılmaları sırasında yakıt filtreleri tıkanır. Bu nedenle gerekli donma noktası makinenin en düşük işletme sıcaklığına bağlıdır (Küçükşahin, 1980).

Donma noktası ile viskozite arasında doğrudan bir ilişki bulunmadığı halde donma noktası viskozite ile doğru orantılı bir şekilde artıp, azalmaktadır.

1.2.4. Oksidasyon Kararlılığı

Oksidasyon kararlılığı yakıtın depolanabilmesi için önemli bir özelliktir. Oksidasyon kararlılığı yakıtlar için büyük bir endüstri sorunudur. Biyodizelde oksidasyon kararlılığı, sıcaklık, oksijen miktarı ve malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Oksidasyon kararlılığın zayıf olması yakıtın viskozitesini etkileyip yakıt filtresinin tıkanmasına yol açabilecek yapışkan ve tortuların artmasına neden olarak yüksek asitliliğe yol açabilmektedir. Biyoyakıtların oksidasyon kararlılığı dizel yakıtlara oranla daha düşüktür. Doymamış yağ asitleri oranı arttıkça biyodizelin oksidasyon kararlılığı da düşmektedir. Yağın kimyasal yapısı biyodizelin oksidasyon kararlılığını etkilemektedir. Doymuş yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı daha yüksektir. Oksidasyon kararlılığı biyodizelin yakıt kalitesini etkilemektedir. Oksidasyon kararlılığının iyileştirilmesi biyodizelin uzun vadede kullanılması açısından önemli bir etkiye sahiptir. Sıcaklık, hava şartları, ışık, antioksidanların varlığı gibi parametreler oksidasyon kararlılığını etkilemektedir (Onurbaş Avcıoğlu ve ark., 2011).

1.2.5. Isıl Değer

Bir yakıtın ısı değeri birim kütledeki enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Yakıtların ısı değeri kalorimetre ile ölçülmektedir.

Biyodizelin enerji içeriğini etkileyen faktörler, oksijen içeriği ve karbon-hidrojen oranıdır. Yağ asidi esterlerinin oksijen oranı arttıkça enerji miktarı azalmakta, karbon oranı arttıkça ise artmaktadır. Yakıttaki enerji miktarı yağ asitlerinin doymamışlık oranı ile azalmaktadır. Biyodizel dizel yakıtı oranla %10-13 oranında daha az ısıtma değerine sahiptir bu da biyodizelin özgül yakıt tüketiminin daha fazla olmasına neden olmaktadır. Biyodizelin yoğunluk değerinin dizel yakıtına oranla daha yüksek olması ile bu durum telafi edilebilmektedir. Isıl değer biyodizel standardına göre minimum 35 MJ/kg olmalıdır.

1.2.6. Setan Sayısı

Yakıtın kendiliğinden tutuşabilirliğinin bir ölçüsü olarak ifade edilmektedir. Setan sayısı yakıtın yanma kalitesini belirleyen önemli bir özelliktir. Yakıtın yanma süresine bağlı olarak ateşleme gecikmesini belirleyen bir faktördür. Setan sayısının düşük olması motorun düzensiz ve gürültülü çalışmasına sebep olurken, yüksek olması ise fakir hava-yakıt karışımının oluşmasına sebep olarak yanmanın kötüleşmesine ve egzoz emisyonlarının artmasına neden olacaktır.

Biyodizel büyük ölçüde uzun zincirli hidrokarbon gruplarından meydana geldiğinden dolayı dizel yakıtına göre daha yüksek bir setan sayısına sahiptir. (Angelovič ve ark., 2014).

1.3.Biyodizel Standardı

Ülkemizde biyodizel üretimi TS EN 14214 standardına göre yapılmaktadır. Çizelge 1.1’de TS EN 14214 standardının içeriğine yer verilmiştir.

Çizelge 1.1. Biyodizel Standardı (TS EN 14214)

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Ester muhtevası	% (kütle)	96.5	-	EN 14103
Yoğunluk (15 °C)	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite (40 °C)	mm ² /s	3.5	5	EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	120		EN ISO 3679
Kükürt Muhtevası	mg/kg	-	10	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon Kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	% (kütle)	-	0.3	EN ISO 10370
Setan Sayısı		51		EN ISO 5165
Sülfatlanmış Kül Muhtevası	% (kütle)	-	0.02	EN 3987
Su Muhtevası	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam Kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır Şerit Korozyonu (50 °C, 3 saat)	derece	Sınıf 1		EN ISO 2160
Oksidasyon Kararlılığı (110 °C)	h	6	-	EN 14112
Asit Sayısı	mg KOH/g	-	0.5	EN 14404
İyot Sayısı	giyot/100g	-	120	EN 14111
Linolenik Asit Metil Esteri	% (kütle)	-	12	EN 14103
Çoklu Doymamış (>4 çift bağ) Metil Esterleri	% (kütle)	-	1	-
Metanol Muhtevası	% (kütle)	-	0.2	EN 14110
Monogliserit Muhtevası	% (kütle)	-	0.8	EN 14105
Digliserit Muhtevası	% (kütle)	-	0.2	EN 14105
Trigliserit Muhtevası	% (kütle)	-	0.2	EN 14105
Serbest Gliserol	% (kütle)	-	0.02	EN 14105 EN 14106
Toplam Gliserol	% (kütle)	-	0.25	EN 14105
Grup 1 Metaller (Na+K)	mg/kg	-	5	EN 14108 EN 14109
Grup 2 Metaller (Ca+Mg)	mg/kg	-	5	prEN 14538
Fosfor Muhtevası	mg/kg	-	10	EN 14107

1.4. Havacılıkta Biyojet Yakıtının Kullanılması ve Yakıt Standartları

Havayolu ile yolcu taşımacılığı ve kargo transferlerinin çoğunluğunun yapıldığı havacılık sektöründe büyük oranda petrol türevli yakıt kullanılmaktadır.

Yakıt, havacılık endüstrisindeki en büyük işletme maliyetidir ve ham petrolün istikrarsız fiyatları uzun vadeli planlama ve harcama bütçelemelerini engellemektedir. Yenilenebilir hammadde kaynaklı jet yakıtları, havacılık endüstrisinin tek bir enerji kaynağına bağımlılığını azaltabilir, petrol fiyatlarındaki dalgalanmaları önleyebilir ve sera gazı emisyonlarını (GHG) azaltabilir (ATAG, 2011).

Havacılık sektörü dünyadaki yakıt tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Uçak motorlarında yüksek yakıt tüketimi nedeni ile yüksek irtifada üretilen gazlar atmosferin doğal özelliğinin ve konsantrasyonun değişmesine neden olarak önemli kirletici etki yaratmaktadır. Atmosferde CO₂ ve H₂O konsantrasyonunun artması ile birlikte küresel hava sıcaklığının artması, iklim değişikliği, yeryüzünün tümüne etki etmekte olup çok şiddetli kasırgalar, yağışlar, seller, buzulların erimesi ve aşırı kuraklık gibi farklı meteorolojik olayların meydana gelmesine etki etmektedir (ICAO, 2013).

Bu yüzden havacılık sektöründe de daha temiz alternatif yakıtların kullanılması çevre için önemli bir gelişim sağlayacaktır.

Biyokütle kaynaklı jet (biyojet) yakıtı, havacılık endüstrisinin işletme maliyetlerini ve çevresel etkileri azaltma stratejisinde önemli bir unsur haline gelmiştir.

Hammadde fiyatı ve bulunabilirliği ve işlemin enerji maliyeti önemli engeller olmasına rağmen, biyokütle kaynaklı jet yakıtı ticari ve askeri talebi karşılamak için gerekli olan geleneksel jet yakıtının önemli bir kısmını değiştirme potansiyeline sahiptir.

Petrol-rafineri endüstrisi, havacılık endüstrisi, hükümet, biyoyakıt şirketleri, tarım örgütleri ve akademi araştırmacıları, düşük üretim maliyetleri ve düşük sera gazı emisyonları ile uzun ömürlü yenilenebilir jet yakıtları üreten ticari olarak sürdürülebilir süreçler geliştirmek için çalışmaktadırlar. Biyokütle kaynaklı jet yakıtı, petrol türevli yakıtlara nazaran, havacılık endüstrisine ve askeri petrol yakıtlarına göre daha düşük çevresel etkilere sahip olup, uzun vadede iyi bir çözüm sağlayabilir (Wang ve Tao, 2016).

Bu çalışmada havacılık yakıtlarından deney yakıtı olarak JP-8 askeri havacılık yakıtı kullanılmıştır. JP-8 yakıtının özellikleri Çizelge 1.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.2. JP-8 (NATO F-34), Yakıt Şartnamesi

YAKIT ÖZELLİKLERİ		DEĞER	ASTM TEST METHODU
BİLEŞİM			
Toplam kükürt, % kütle	max	0.30	D129, D1266, D2622, D3120, D4294, D5453
Kükürt, merkaptan, kütle yüzdesi	max	0.002	D3227
Toplam asit sayısı, mg KOH / g	max	0.015	D3242
Yoğunluk			
Yoğunluk, 15 °C, kg/L		0.775- 0.840	D1298, D4052, D7777
Yerçekimi, API, 60 °F		37- 51	
Parlama Noktası, °C	min	38	D56, D93, D3828, IP170
UÇUCULUK			
Damıtma sıcaklığı, °C			D86, D2887, D7345
İlk kaynama noktası			
% vol 10	max	205	
Son Kaynama Noktası, °C	max	300	
AKIŞKANLIK			
Donma noktası	max	-47	D2386, D5972, D7153, D7154
Viskozite, -20 °C, mm ² /s	max	8	D445, D7042
40 °C, mm ² /s		1.2	
YANMA			
Net yanma ısısı, MJ/kg	min	42.8	D3338, D4529, D4809
Hidrojen içeriği, % kg	min	13.4	D3343, D3701, D5921, D7171
Duman noktası, mm	min	25	D1322
Naftaliler, % vol	max	3	D1840
KOROZYON			
Bakır şerit korozyonu, 2 sa, 100 °C	max	No.1	D130
TERMAL KARARLILIK			
Isıl kararlılık (260 ° C'de 2.5 saat)		25	D3241
Basınç düşüşünde değişiklik, mm Hg			
Tüp oranı: Aşağıdakilerden birinde gereksinimler karşılanacaktır:			
(1) Ek A1 VTR veya		<3	
(2) Ek A3 ETR veya Ek A2 ITR,		85	
ortalama yatak kalınlığı, nm, 2.5 mm ² alan üzerinde			
KİRLETİCİLER			
Mevcut sakız, mg/100 mL	max	7	D381, IP540
Su reaksiyonu arayüzü derece	max	1b	D1094
Mikroseparator Değerlendirme			D3948, D7224
KATKI MADDELERİ			
Yakıt sistemi buzlanma önleyici, % vol		0.07 - 0.1	D5006, D2624

Biyodizelin en önemli problemlerinden biri yakıtın soğuk akış özellikleri olan bulutlanma, akma, donma noktasının ve soğukta filtre tıkanma noktasının havacılık yakıtlarına göre kötü olmasıdır. -47 °C donma noktasına sahip olan JP-8 yakıtının biyodizel yakıtına göre soğuk akış değerleri oldukça düşük olduğundan kötü hava şartlarında daha iyi soğuk akış performansı sergilemektedir. Biyojet yakıtının havacılık endüstrisinde yakıt olarak kullanılabilmesi için havacılık yakıt standartlarında verilen sınırlar dahilinde olması gerekmektedir.

Bu çalışmada çeşitli oranlarda (B2, B3, B5) biyodizel yakıtının JP-8 yakıtı ile karıştırılmasıyla elde edilen yeni biyojet yakıtının havacılık yakıtı olarak kullanılabilmesi ve soğuk iklim şartlarında kullanımını sağlayabilmek için soğuk akış özelliklerini düzenleyici TBHQ, PMA, BHT ve Pentanol katkıları ilave edilmiş ve deneyler yapılarak yakıt özellikleri belirlenmiştir. Yakıt özellikleri belirlendikten sonra sonuçlar incelenerek elde edilen yakıtların JP-8 yakıt standardına uyumluluğu kontrol edilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Biyodizelin en büyük sorunlarından biri kötü soğuk akış özellikleri ve oksidasyon kararlılığıdır. Bu çalışmada çeşitli bitkisel ve atık yağlardan elde edilen biyoyakıtlara, yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi için eklenen katkı maddeleri ve sonuçları ile ilgili yapılan araştırmalar incelenmiştir.

Chiu ve ark. (2004), biyodizelin soğuk akış özellikleri, dizel ile biyodizelin karıştırılması ve akma noktası depresanları ile değerlendirilmiştir. Dört soğuk akış iyileştirici katkı maddesi B80, B90 ve B100 karışımlarında %0.1-2 seviyesinde test edilmiştir. İki katkı maddesi, soya fasulyesinden elde edilen biyodizelin akma noktasını önemli ölçüde azaltmıştır, ancak dört katkı maddesi de bulut noktaları üzerinde çok az bir etkiye sahip olmuştur. %0.2 katkı maddesi, %79.8 biyodizel ve %20 kerosen karışımı B100'ün akma noktasını 27 °C azaltmıştır.

Ming ve ark. (2005), gıda dışı kullanımlara ağırlık verilerek, palm yağı ürünlerinin düşük sıcaklık performansını artırmak ve palm yağının akma noktası ve bulut noktası değerlerini azaltmak için uygun bazı katkı maddeleri (sentezlenmiş veya ticari olarak temin edilebilir) bulunmuştur. Bu araştırmada incelenen örnekler arasında palm oleini (PO), süper olein (SO), palm yağı metil esterleri (POME), palm çekirdeği yağı metil esterleri (PKOME), 2:1 oranında POME ve PO karışımı (POMEPO), 2:1 oranında bir POME ve SO karışımı (POMESO), 2:1 oranında PKOME ve PO karışımı (PKOMEPO) ve 2:1 oranında PKOME ve SO karışımı (PKOMESO) bulunmaktadır. Kullanılan tüm katkı maddeleri, POME, PKOME, POMEPO, POMESO ve PKOMESO numuneleri için gözlemlenen akma noktası ve bulut noktası değerlerinde daha belirgin düşüşlerle tatmin edici sonuçlar göstermiştir. Bu araştırmadaki akma noktası değerinde en büyük düşüş yaklaşık 7.5 °C (POMEPO'ya %1.0 DHFA ilavesiyle) iken, bulut noktası değerindeki en büyük azalma 10.5 °C (% POME'a %1.0 DHFA ilavesiyle) olmuştur. Kullanılan katkı maddeleri tarafından akma noktası ve bulut noktası değerlerinde gözlenen önemli azalma, katkı maddelerinin, biyodizelin düşük sıcaklık özelliklerini iyileştirebileceğini göstermektedir.

Soriano Jr ve ark. (2006), ozonlanmış bitkisel yağların biyodizel için akma noktası düşürücü olarak kullanımı değerlendirilmiştir. Ozonlu bitkisel yağlar (ağırlıkça %1-1.5), ayçiçeği yağı, soya fasulyesi yağı ve kolza yağı ile hazırlanan biyodizelin akma noktasını sırasıyla 24, 12 ve 30 °C'ye kadar düşürmüştür ancak bulut noktasını etkilememiştir. Palm yağı biyodizeline ise, bulut noktasında önemli bir azalma gözlenmesine rağmen akma noktasında bir azalma gözlenmemiştir. İstatistiksel

analizler, biyodizelin ozonize bitkisel yağlarla karıştırıldığında, yoğunluk ve viskozite gibi diğer özelliklerinde önemli bir fark olmadığını göstermiştir. Ozonlanmış bitkisel yağlar biyodizelin parlama noktasını arttırsa da değerler ABD ve Avrupa'daki standartların belirlediği sınırlar içindedir. Biyodizel ve ozonlaştırılmış numunelerin aynı bitkisel yağdan hazırlandığı durumlarda akma noktasında en düşük düşüş gözlenmiştir. Bu nedenle, biyodizelin doğası ile ozonlanmış yağ arasında bir ilişki olabileceği belirlenmiştir.

Benjumea ve ark. (2007), palm yağı biyodizelinin soğuk akış özelliklerini iyileştirmek için çeşitli alternatifler değerlendirilmiştir. İzopropil alkol, izobütil alkol, 2-bütil alkol ve izopentil alkol gibi dallı zincirli alkoller kullanılarak biyodizel üretimi yapılmıştır. Metil grubu için ikame edici izopropil, bulutlanma noktasının indirgenmesini ve sırasıyla 8 ve 21 °C'lik bulutlanma ve akma noktaları sağlamıştır. Palm yağı izopropil esterleri, karşılık gelen metil esterlerden 10 °C daha düşük bir bulutlanma noktasına sahiptir. Bu çalışma aynı zamanda soğukta filtre tıkanma noktasını azaltmak için kullanılan iki ticari katkı maddesinin, temiz biyodizelin tıkanma noktasının ve test edilen karışımların etkinliğini sunar. Elde edilen sonuçlar, bu gibi katkı maddelerinin kullanılmasıyla, en düşük katkı maddesi konsantrasyonu kullanıldığında, B5 karışımı soğuk filtre tıkanma noktasında indirgemenin elde edilmesinin mümkün olduğunu göstermiştir.

Keskin ve ark. (2007), biyodizel ve katkı maddeleri, kâğıt hamuru imalatında bir yan ürün olan ham uzun boylu yağdan üretilmiştir. Yağ asitleri ve reçine asitleri damıtma yöntemi ile ham uzun boylu yağdan elde edilmiştir. Uzun boylu yağ metil ester (biyodizel) yağ asitlerinden üretilmiştir. Reçineik asitler, metalik yakıt katkı maddelerinin üretimi için stokiyometrik olarak NiO ve MnO₂ ile reaksiyona sokulmuştur. Test yakıtlarının hazırlanması için TE60 (%60 yüksek yağ metil ester/ %40 dizel yakıt) yakıtına her bir metalik yakıt katkı maddesi, 8 ve 12 µmol/l oranında eklenmiştir. Katkı maddeleri biyodizelin, viskozite ve akma noktası gibi değerlerini iyileştirmiştir. Biyodizel, tam yük koşullarında modifiye edilmemiş direkt enjeksiyonlu dizel motorda test edilmiştir. Biyodizel kullanımıyla özgül yakıt tüketimi %6 oranında artmış, ancak katkı maddelerinin ilave edilmesiyle azalma eğilimi göstermiştir. Biyodizel yakıtların egzoz emisyon profili iyileştirilmiştir. CO emisyonu ve duman opaklığı sırasıyla %64.28 ve %30.91'e kadar azalmıştır. Biyodizelin kullanımıyla genel olarak gözlemlenen NO_x emisyonunda da azalma görülmüştür.

Udomsap ve ark. (2008), yağ asidinin monoalkil esteri olan biyodizelin, alkali katalizör kullanılarak bitkisel yağ besleme stoğu ve alkol arasında transesterifikasyon ile hazırlandığı belirtilmiştir. Farklı bitkisel yağlardaki çeşitli yağ asidi zincirleri biyodizelde farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerden sorumludur. Yüksek konsantrasyonlarda yüksek erime noktalı doymuş uzun zincirli yağ asitleri içeren ham maddeden yapılan biyodizel yakıt, nispeten zayıf soğuk akış özelliklerine sahip olma eğilimindedir; bu nedenle dizel motorda düşük sıcaklıkta biyodizel kullanımında bazı sınırlamalar vardır. Mevcut araştırma, biyodizelin Tayland'daki biyodizel için tipik bir hammadde olan palmin soğuk akış davranışını karakterize etmeyi amaçlamaktadır. Palm metil esterinin soğuk akış özelliklerinin, dizel ve katkı maddesi ile karıştırılarak iyileştirilebileceği çalışmanın sonucunda öğrenilmiştir.

Bhale ve ark. (2009), Madhuca Indica'dan elde edilen biyodizel yakıtının soğuk akış özellikleri araştırılmıştır. Bu yazıda, biyodizelin soğuk akış özellikleri, soğuk iklimlerde CI motorlarında bu biyodizelin pompalanması ve enjekte edilmesi hedeflerine yönelik akma noktası depresanları kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu biyodizelin soğuk akış davranışına etanol, kerosen ve ticari katkı maddesinin etkisi incelenmiştir. Bu soğuk akış arttırıcıların kullanılmasıyla akma noktasında önemli bir azalma gözlenmiştir. Etanol ve etanol-dizel harmanlanmış Madhuca biyodizelinin emisyon değerleri de incelenerek emisyon oranında önemli bir azalma olduğu görülmüştür. Etanol ile harmanlanmış biyodizel, geliştirilmiş soğuk akış davranışı ve daha iyi emisyon özellikleri için tamamen yenilenebilir, uygulanabilir bir alternatif yakıttır.

Çaynak ve ark. (2009), yenilenebilir enerji kaynaklarının, fosil yakıtlara göre daha düşük maliyet ve kirlilik nedeniyle daha fazla dikkat çektiği belirtilmiştir. Yapılan deneysel çalışmanın amacı alternatif bir yakıt olarak pirina yağından yenilenebilir ve saf metil esterinin üretilmesidir. Bu yağ, zeytinyağı bitkilerinin atığı olan pirinadan elde edilmiştir. Optimum üretim koşulları deneysel olarak belirlenmiştir. Maksimum verim, NaOH katalizörü ile 60 dakika boyunca %30 metanol/yağ oranı ve 60 °C sıcaklıkta elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen biyodizelin özellikleri dizel yakıt gereksinimleri ile karşılaştırılmıştır. Organik esaslı bir mangan katkısı biyodizel özelliklerini geliştirmiştir. Yakıtın 12 µmol/l yağ metil ester oranında doping edilmesi, viskozitede %20.37'lik, parlama noktasında 7 °C'lik bir azalmaya yol açmış ve akma noktasını 0 °C'den -15 °C'ye düşürmüştür. Mangan katkılı pirina yağı metil ester-dizel yakıtının bu karışımı doğrudan enjeksiyonlu dizel motorda test edilmiştir. Yeni yakıt karışımının

ve dizel yakıtın motor performansı üzerindeki maksimum etkisi 1400 rpm'de elde edilmiştir.

Boshui ve ark. (2010), soya fasulyesi biyodizelinin düşük sıcaklık özellikleri ve viskozite sıcaklığı özellikleri üzerinde üç soğuk akış geliştiricinin, yani olefin-ester kopolimerlerinin (OECp), etilen vinil asetat kopolimerinin (EACP) ve polimetil akrilatın (PMA) etkisi, düşük sıcaklıklı bir akış test cihazı ve döner bir reometre ile değerlendirilmiştir. Biyodizelin düşük sıcaklıklarda kristal morfolojileri polarize bir mikroskopta incelenmiştir. Sonuçlar soya biyodizelinin soğuk akış özelliklerinin iyileştirilmesinde OECp'nin soğuk akış geliştiriciler arasında en iyi aday olduğunu göstermiştir. OECp'nin biyodizelin akma noktasını ve soğuk filtre tıkanma noktasını önemli ölçüde azaltabildiği ve %0.03 oranında biyodizele dâhil edildiğinde düşük sıcaklıklarda biyodizelin viskozite artışını geciktirebildiği sonucuna da ulaşılmıştır. Diğer taraftan, OECp katkısının balmumu kristallerinin büyümesini engellemekte olduğu ve düşük sıcaklıklarda kristal aglomerasyonuna karşı bir bariyer sağlayarak soya fasulyesi biyodizelinin soğuk akış özelliklerini geliştirdiği görülmüştür.

Gürü ve ark. (2010), tek silindirli, direkt enjeksiyonlu (DI) dizel motorda sentetik Mg katkılı tavuk yağı biyodizelinin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Biyodizelin sentezi için iki aşamalı bir katalitik süreç seçilmiştir. Reaksiyonda metanol, sülfürik asit ve sodyum hidroksit katalizörü kullanılmıştır. Biyodizelin viskozitesi ve parlama noktası üzerindeki etkilerini belirlemek için reaksiyon sıcaklığı, metanol oranı, katalizör tipi ve miktarı bağımsız parametreler olarak değiştirilmiştir. Organik esaslı sentetik magnezyum katkı maddesi, biyodizel karışımına 12 µmol olarak eklenmiştir. Motor testleri tam yük çalışma koşullarında %10 tavuk yağından elde edilen biyodizel ve dizel yakıt (B10) karışımıyla 1800 ila 3000 rpm arasındaki farklı motor hızlarında çalıştırılmıştır. Sonuçlar, motor torkunun %10 tavuk yağı biyodizelinin eklenmesiyle önemli ölçüde değişmediğini, spesifik yakıt tüketiminin biyodizelin daha düşük ısıtma değeri nedeniyle %5.2 arttığını göstermiştir.

Hamada ve ark. (2010), palm yağı biyodizelinin (PFME) soğuk akış özelliğini geliştirmek için yağ asitlerinin poligliserol esterleri (PGE) ve etilen-vinil asetat kopolimeri (EVA), kimyasal katkı maddeleri olarak değerlendirilmiştir. Katı yağ içeriği ölçümünün sonuçları, PGE ve EVA'nın eşzamanlı eklenmesinin PFME'nin kristalleşmesinin bastırılması üzerinde sinerjik etkiler gösterdiğini, ancak EVA tek başına kullanıldığında böyle bir etki gözlenmediğini göstermektedir. DSC

termogramları, PGE katkı maddelerinin sadece kristalleşme sıcaklığını düşürmekle kalmayıp aynı zamanda kristal büyümesini kinetik olarak da baskıladığını göstermiştir. Polarize ışık mikroskobu, PGE ve EVA'nın aynı anda eklenmesi ile oldukça küçük ve ince dağılmış PFME kristallerinin oluştuğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, PGE ve EVA'nın birleşik etkilerinin, nispeten soğuk sıcaklıklarda palm yağı biyodizelinin viskoz özelliklerini geliştirebilecek ince dağılmış PFME kristallerinin oluşumuna neden olduğunu göstermektedir.

Silva ve ark. (2010), bütanal, pentanal, heksanal, oktanal ve dekalden gliserol asetalleri, katalizör olarak Amberlyst-15 asit reçinesi kullanılarak hazırlanmıştır. Gliserol dönüşümü hidrokarbon zincirinin büyüklüğü ile azalmıştır. Bu gerçek, polar gliserol molekülü ile hidrokarbon zinciri arasındaki etkileşimi en aza indirmek için aldehitin misel ve agregatlarının oluşumu ile ilişkilendirilmiştir. Her durumda beş ve altı üyeli halkalarla asetallerin Z + E karışımı üretilmiştir. Asetal izomerlerin dağılımı, özellikle uzun zincirli aldehitler için reaksiyon süresi ile değişmiştir. Araştırmada hayvansal yağdan elde edilen biyodizele %5 bütanal-gliserol asetalin eklenmesiyle akma noktası 18'den 13 °C'ye düşürülmüştür. Gliserol asetal-biyodizel karışımlarının akma noktasındaki azalma ise hidrokarbon zincirinin boyutuna ve karışım yüzdesine bağlı olarak değişmiştir.

Chastek (2011), kanola bazlı biyodizelin soğuk akış özelliklerini iyileştirme yöntemleri açıklanmaktadır. Seyreltme yoluyla donma noktası depresyonu, yedi farklı çözücünde metil stearat dondurma ve üç çözücünde metil palmitat kontrollü çalışmalarla değerlendirilmiştir. Toluen içinde seyreltme en büyük donma noktası depresyonu ile sonuçlanmıştır. Ek olarak, birkaç polimerik katkı maddesi, biyodizel akma noktası depresanları olarak etkinlikleri bakımından taranmıştır. Birkaç alkil metakrilat homo ve kopolimerini içeren 13'ten fazla polimer incelendikten sonra, poli (lauril metakrilat) homopolimerinin biyodizel soğuk akış özelliklerini en etkili şekilde geliştirdiği gösterilmiştir. Kanola bazlı biyodizele %1 poli (lauril metakrilat) katkısı ile akma noktası 30 °C'ye ve düşük sıcaklıkta filtreleme noktası (LTFP) 28 °C'ye kadar düşürülmüştür. Polimer konsantrasyonunun etkisini değerlendirirken, %0.14'lük poli (lauril metakrilat) konsantrasyonlarının düşük performans gösterdiği, %0.5'inin ise %1'den biraz daha düşük bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir.

Joshi ve ark. (2011), bitkisel yağlardan veya hayvansal yağlardan elde edilen uzun zincirli yağlı asitlerin mono-alkil esterleri olarak tanımlanan biyodizelin, geleneksel petrol dizel yakıtına karşı yenilenebilir bir alternatif olduğu belirtilmiştir. Bu

çalışmada etil levulinat (etil 4-oksopentanoat) biyodizel yakıtlarda kullanım için yeni bir biyo-bazlı soğuk akış geliştirici olarak araştırılmıştır. Pamuk tohumu yağı ve kümes hayvanları yağından hazırlanan biyodizel yakıtların bulutlanma, akma ve soğuk filtre tıkama noktaları, %2.5, 5.0, 10.0 ve 20.0 (hacim) oranlarında etil levulinat ilavesi ile geliştirilmiştir. Hacimce %20 etil levulinat ilavesi ile CP'de 4-5 °C, PP'de 3-4 °C ve CFPP'de 3 °C'de azalma gözlemlenmiştir.

Usta ve ark. (2011), tütün tohumu yağı, biyodizel üretimi için bir hammadde olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, tütün tohumu yağından üretilen biyodizelin tüm özellikleri incelenmiş ve biyodizel kalitesini doğrulamak için biyodizelin tüm özelliklerini Avrupa Biyodizel Standardı EN 14214'e getirmek üzere bazı çözümler üretilmiştir. Özellikler arasında yalnızca oksidasyon kararlılığı ve iyot sayısı, standardın sınırları dâhilinde değildir. Oksidasyon stabilitesini arttırmak için tert-bütillhidrokinon, bütillenmiş hidroksitolüen, propil gallat, pirogallol, a-tokoferol ve bütillenmiş hidroksianizol olan altı farklı antioksidan kullanılmıştır. Bunlar arasında en etkili antioksidan pyrogallol olarak bulunmuştur. İyot sayısı, daha fazla doymuş yağ asidi içeren bir biyodizel ile tütün tohumu yağından üretilen biyodizelin karıştırılmasıyla geliştirilmiştir. Bununla birlikte, karıştırma, soğuk filtre tıkama noktasının artmasına neden olmuştur. Bu nedenle, etilen-vinil asetat kopolimer, oktadesen-1-maleik anhidrit kopolimer ve iki ticari soğuk akış geliştiricisi ile birlikte dört farklı soğuk akış geliştiricisi, biyodizelin soğuk filtre tıkama noktasını azaltmak için kullanılmıştır. İyileştiriciler arasında en iyi geliştiricinin oktadesen-1-maleik anhidrit kopolimeri olduğu bulunmuştur. Ek olarak, sıcaklığın, yoğunluk ve biyodizelin viskozitesi üzerindeki etkileri de araştırılmıştır.

Wang ve ark. (2011), atık pişirme yağından (BWCO) elde edilen biyodizelin soğuk akış özelliklerini iyileştirmek için yüzey aktif maddelerin ve deterjan fraksiyonasyonunun kullanımı araştırılmıştır. Şeker filtreleri (S270 ve S1570), silikon yağı (TSA 750S), poligliserol ester (LOP-120DP) ve dizel kremi (DDA) dâhil olmak üzere beş tip yüzey aktif maddenin, soğuk filtre tıkama noktasının (CFPP) azaltılması üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. BWCO'nun soğuk filtre tıkanma noktasındaki en büyük düşüş (-10 °C'den -16 °C'ye kadar) ağırlıkça %0.02 oranında poligliserol ester (LOP-120P) ilavesiyle sağlanmıştır.

Echim ve ark. (2012), yüksek doymuş metil esterleri içeren bitkisel ve hayvansal kaynaklı biyodizelin soğuk akış özelliklerini iyileştirmek için farklı stratejilerin etkinliği değerlendirilmektedir. Bu amaçla palm, donyağı, tavuk ve jatropa biyodizel örnekleri,

soya fasulyesi ve kolza biyodizel örnekleri gibi daha yüksek doymamış metil esterlerle ve soğuk akış geliştiricilerle harmanlanmıştır. Ayrıca, steril glikositler ve monogliseritler gibi küçük bileşenlerin biyodizel numunelerden uzaklaştırılmasının CFPP üzerindeki etkisi incelenmiştir ancak küçük bileşenlerin çıkarılması CFPP'yi iyileştirmemiştir.

Freire ve ark. (2012), biyodizelin özelliklerinin, elde edildiği yağ veya yağın kimyasal bileşimine bağlı olduğu, doymuş yağ asitleri ile hazırlanan esterlerin yüksek bir bulutlanma noktasına ve yüksek viskoziteye, doymamış esterlerin ise daha az viskoziteye sahip olduğu belirtilmiştir. Bu anlamda, bu çalışma, pamuk (CTO), soya fasulyesi (SBO), *Jatropha curcas* (JCO) ve Babassu yağlarının (BBO) kuaterner karışımlarının hidrodinamik özelliklerinin yanı sıra oksidatif stabiliteyi de değerlendirmeyi amaçlamıştır. M40 (12.50 JCO: 25.00 SBO: 12.50 CTO: 50.00 BBO, ağırlık / % ağırlık) ve SBO örnekleri en iyi kinematik viskoziteyi gösterirken M10 (16.67 JCO: 33.33 SBO: 33.33 CTO: 16.67 JCO, ağırlık / % ağırlık) ve CTO en iyi akma noktasını ve akışkanlık noktasını göstermiştir. Oksidatif stabilite ve soğuk akış özellikleri birlikte analiz edildiğinde, en iyi performansı gösteren numunenin M30 (14.29 JCO: 42.86 SBO: 14.29 CTO: 28.56 BBO, ağırlık / % ağırlık) olduğu görülmüştür.

Giraldo ve ark. (2013), palm biyodizeli, gliserol ketalleri, gliserol asetatlar ve dallanmış alkol türevli yağ esterlerinde soğuk akış geliştiricilerin değerlendirilmesine ilişkin karşılaştırmalı sonuçlar sunulmuştur. Gliserol ketalleri, gliserolün p-toluen sülfonik asit ile katalize edilen aseton ile reaksiyonu yoluyla elde edilmiştir. Gliserol asetatları ise, gliserolün, p-toluen sülfonik asit ile katalize edilen asetik asit ile reaksiyonu yoluyla elde edilmiştir. Dallanmış alkol türevi yağ esterleri, palm türevi yağ asitlerinin sülfürik asit tarafından katalize edilen dallanmış alkollerle esterleştirilmesi yoluyla elde edilmiştir. Bu katkı maddeleri %1, %3, %5 ve %10 seviyelerinde palm biyodizeli ile karıştırılmış ve akma ve bulutlanma noktaları üzerindeki etkileri ölçülmüştür. Saf ve katkılı palm biyodizelinin kristalleşme noktaları diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC) ile belirlenmiştir. Katkı maddelerinin kristalleşme süreci üzerindeki etkileri, soğutma üzerine oluşan kristallerin büyüklüğü ölçülerek analiz edilmiştir. En iyi soğuk akış geliştirici olan 2-bütül palm yağı esterlerinin %5'inin ilave edilmesi üzerine akma ve bulutlanma noktaları yaklaşık 6 °C azaltılmıştır. DSC analizleri, katkı maddelerinin biyodizelin kristalleşme noktalarını azalttığını doğru bir şekilde göstermiştir. Dinamik ışık saçımı ile parçacık boyutu analizleri, katkı maddelerinin

kristal boyutlarını azaltarak etki gösterdiğini, ayrıca bu tekniğin, biyodizelin soğuk akış davranışını belirlemek için kolay ve doğru bir yol olduğunu kanıtlamıştır. 2-bütül hurma yağı esterlerinin palm biyodizeline eklenmesinin yakıt özellikleri üzerinde zararlı bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.

Lv ve ark. (2013), palm metil ester (PME) alkali katalize transesterifikasyon reaksiyonu kullanılarak hazırlanmış ve soğuk akış özellikleri (CFP) incelenmiştir. Ticari DEP (ticari isim), poligliserol ester (PGE) ve laboratuvarında araştırmacılarımız tarafından yapılan PA, biyodizelin soğuk akış özelliklerini geliştirmek için soğuk akış arttırıcı (CFI) olarak kullanılmış ve bu soğuk akış arttırıcıların palm metil ester üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, PME'nin pik kristalleşme sıcaklığının, soğuk filtre tıkanma noktasına çok yakın olduğunu göstermiştir. Soğuk akış arttırıcılar bireysel olarak kullanıldığında, biyodizel akma noktası değeri için sadece orta derecede etki göstermiş ve PME'nin soğuk akış özelliklerini düşürme etkileri, sadece CFI konsantrasyonu %1 veya daha yüksek olduğunda gözlenmiştir. Üç bileşenden formüle edilen soğuk akış arttırıcılar tek ve iki bileşenden formüle edilen soğuk akış arttırıcılara göre en iyi performansı sergilemiştir. DEP: PGE: PA oranı 3:1:1 veya 2:2:1 iken, PME'nin CFPP'si 7 °C azalmıştır.

Mejia ve ark. (2013), Hint yağı biyodizeli (COB), palm yağı biyodizeli (POB) ve dizelin ikili yakıt karışımlarının viskozite, bulutlanma noktası ve parlama noktası değerlendirilmiştir. Ayrıca, dizel / POB / COB'nin üçlü karışımları için de bulutlanma noktası değeri ölçülmüştür. Dizel-Hint yağı biyodizeli karışımlarının, bu karışımlardaki biyodizel konsantrasyonunun hacim olarak %40'ın altında olduğu durumlarda uygun ve yaklaşık olarak aynı bulutlanma noktası sıcaklıklarını gösterdiği bulunmuştur. Palm yağı-Hint yağı biyodizel karışımları hem düşük bulutlanma noktası hem de düşük viskoziteye sahip bir tür saf biyodizel elde etmek için pratik bir seçenek olmamıştır. Deneysel veriler ayrıca dizel-biyodizel karışımları için yayınlanan farklı modellerin tahminleriyle karşılaştırılmıştır.

Cao ve ark. (2014a), soğuk akış iyileştiricisi olarak etilen vinil asetat kopolimeri (EVAC) ile biyodizel-dizel harmanlarının (dizel ile harmanlanmış atık pişirme yağı türevi biyodizel) soğuk akış özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. B20'nin (%20 biyodizel + 80 dizel) akma, soğukta filtre tıkanma ve bulutlanma noktası, %0.04 EVAC ilavesinden sonra sırasıyla 10 °C, 11 °C ve 8 °C azalmıştır. EVAC'ın kinematik viskozite, toplam gliserol, oksidasyon kararlılığı, asit değeri ve B20'nin parlama noktası üzerindeki etkileri de belirlenmiştir. Karışımın kristalleşme davranışı, diferansiyel

taramalı kalorimetre ile araştırılmıştır. Kristalleşme hızı ve B20'nin kristal içeriği düşmüştür. Bu nedenle EVAC'ın biyodizel karışımları için etkili bir biyo-bazlı soğuk akış geliştirici olduğu görülmüştür.

Cao ve ark. (2014b), atık pişirme yağından elde edilen biyodizelin soğuk akış özelliklerini iyileştirmek için etil asetoasetat, potansiyel bir biyo-bazlı seyreltici olarak araştırılmıştır. Atık pişirme yağının genellikle nispeten yüksek doymuş yağ asidi içeriğine sahip olduğu, yani soğuk akış özelliklerinin geleneksel bitkisel yağlardan daha kötü olduğu belirtilmiştir. Atık pişirme yağından elde edilen biyodizele değişik oranlarda etil asetoasetat ilavesi ile soğuk filtre tıkama noktası (CFPP) ve akma noktası (PP) değerlerinde azalma görülmüştür. Hem PP hem de CFPP, %20 oranında etil asetoasetat ilavesi ile 4 °C azalmıştır. Genel olarak, etil asetoasetat katkısı biyodizelin soğuk akış özelliklerini iyileştirmek için biyo-bazlı bir seyreltici olarak kabul edilmiştir.

Ali ve ark. (2014), etanol, bütanol ve dietil eterin eklenmesinden sonra artan katkı maddesi içeriğine sahip palm yağı metil esterinin özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlar, artan katkı oranı ile enerji içeriğinde hafif bir azalma ile birlikte asit değeri, yoğunluk, viskozite, akma noktası ve bulutlanma noktasında değişen bir gelişme olduğunu göstermiştir. Biyodizele %5 etanol, bütanol ve dietil eter ilavesiyle viskozite düşüşleri sırasıyla %12, %7 ve %16.5, akma noktasındaki maksimum azalma ise dietil eter ilavesiyle 5 °C olmuştur. Motor test sonuçları, palm yağı biyodizeli ile motor fren gücü ve spesifik yakıt tüketiminde belirgin bir iyileşme olduğunu ve en iyi performansın dietil eter ile elde edildiğini ortaya koymuştur. Tüm biyodizel katkılı karışım örnekleri, ölçülen özellikler için ASTM D6751 biyodizel yakıt standartlarının gereksinimlerini karşılamıştır.

Serrano ve ark. (2014), farklı bitkisel yağlardan üretilen biyodizel karışımları, EN14214 Avrupa Standardının yerine getirilmesi için oksidatif kararlılık ve soğuk akış özellikleri açısından uygun karışımın elde edilmesi amacıyla değerlendirilmiştir. Sitrik asit, metil ester fazını saflaştırmak için kullanılmıştır. Oksidatif stabilite, çoklu doymamış yağ esterlerine büyük ölçüde bağımlı hale gelirken, yağlı ester zincir uzunluğu, karışımların soğuk akış performansında belirleyici bir faktör olarak kabul edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda soğuk akış özelliklerini iyileştirmek için ticari bir katkı maddesinin (polialkil metakrilat) etkinliği araştırılmıştır ancak önemli bir etki gözlemlenmemiştir.

Wang ve ark. (2014), atık pişirme yağından elde edilen biyodizelin soğuk akış özelliklerine ve viskozitesine, polimetil akrilat (PMA), etilen vinil asetat kopolimer

(EVAC), poli-a-olefin (PAO) ve polimerik anhidrit (HPMA) olmak üzere dört polimerik soğuk akış geliştiricinin etkisi değerlendirilmiştir. Soğuk akış geliştiricilerle muamele edilmiş biyodizel ve saf biyodizelin viskozite indeksleri hesaplanmıştır. Ayrıca, bu soğuk akış geliştiricilerin toplam gliserol, parlama noktası, asit değeri ve oksidasyon kararlılığı üzerindeki etkisi de belirlenmiştir. Son olarak, biyodizel örneklerinin düşük sıcaklıkta kristal morfolojisi ve kristalizasyon davranışını incelemek için polarize mikroskopi ve diferansiyel tarama kalorimetrisi kullanılmıştır. Sonuçlar, PMA'nın, atık pişirme yağından elde edilen biyodizelin diğer önemli yakıt özelliklerini bozmadan, düşük sıcaklık akış özelliklerini ve biyodizelin viskozite indeksini geliştirmek için en iyi aday olduğunu göstermiştir. %0.04 PMA ilave edildikten sonra, biyodizelin akma noktası ve soğuk filtre tıkama noktası sırasıyla 8 °C ve 6 °C azalmıştır. Sonuçlar ayrıca PMA'nın biyodizel için etkili bir viskozite indeks geliştiricisi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Altaie ve ark. (2015), palm yağından elde edilen biyodizele metil oleat (MO) katkısının ilavesiyle farklı oranlarda (PME50 / MO50, PME60 / MO40, PME70 / MO30 ve PME80/MO20) spesifik karışımlarının fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir. Bunun amacı, optimum karışımı belirlemek ve saf palm metil esterden daha iyi soğuk akış özelliklerinin elde edilmesinin sağlanmasıdır. Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi, MO oranının %50'ye kadar artırılmasının, bulutlanma noktası ve soğuk filtre tıkama noktasında sırasıyla %70.38 ve %91.69'a düşürülmüş maksimum iyileşmelere yol açtığını göstermiştir. Çalışmada diğer yakıt özellikleri (setan sayısı (CN), kinematik viskozite, yoğunluk, brüt ısıtma değeri, net ısıtma değeri, parlama noktası, oksidasyon kararlılığı ve asit değeri) de incelenmiştir. PME-MO karışımlarının tüm yakıt özelliklerinin, ASTM D 6751 standardının sınırları dâhilinde olduğu gözlemlenmiştir.

Makarevičienė ve ark. (2015), mineral dizel yakıt (D), kolza tohumu metil (RME) veya bütıl (RBE) ester ve bütanol (B) içeren yakıt karışımlarının soğuk akış özelliklerinin karşılaştırmalı çalışmaları değerlendirilmiştir. CP ve CFPP'nin karışım bileşimine bağımlılığı, faz denge diyagramlarında sunulmuştur. Bu deneyler, RBE karışımlarının soğuk akış özelliklerinin daha iyi olduğunu ortaya koymuştur. Herhangi bir bileşimin karışımları yaz döneminde kullanılan dizel yakıt gereksinimlerini karşılamaktadır. Geçiş döneminde kullanılan yakıtta kolza tohumu yağı bütıl esterlerinin konsantrasyonu %78'e kadar olabilirken, kolza tohumu yağı metil esterleri içeren karışımlar için kolza tohumu yağı metil esteri içeriği sadece %45'e kadar olabilmektedir. Kuzey Kutbu bölgesinde, %10-14'e kadar kolza tohumu metil esterleri

ve %18'e kadar kolza tohumu bütül esterleri içeren yakıt karışımlarının kullanımının mümkün olduğu belirlenmiştir.

Monirul ve ark. (2015), biyodizelin dizel motorlar için alternatif bir yakıt olarak kabul edildiği ve bununla birlikte, biyodizel, doymuş ve doymamış yağ asidi esterlerinin varlığından dolayı, petrol dizeline kıyasla düşük soğuk akış davranışına (yani, yüksek bulutlanma noktası ve akma noktası) ve oksidasyon kararlılığına sahip olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, soğuk havalarda biyodizelin performansı etkilenir. Biyodizel oksitlendiğinde, sonraki tortular yakıt sisteminin performansını olumsuz yönde etkileyebilir ve yakıt filtresini, yakıt hatlarını ve enjektörü tıkayabilir. Bu makalede, biyodizelin soğuk akış davranışı ve oksidasyon kararlılığı ile motor işletim sistemi üzerindeki etkilerine genel bir bakış sunmuştur. Ayrıca biyodizelin soğuk akış davranışındaki gelişmeler de tartışılmıştır.

Nainwal ve ark. (2015), *Jatropha curcas* (JCB) ve atık pişirme yağından (WCB) elde edilen biyodizelin soğuk akış özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla deneysel olarak biyodizel örneklerinin Petro dizel ve kerosen ile karıştırılması ve winterizasyon (kışlama) olmak üzere iki yöntem incelenmiştir. Winterizasyonun biyodizel numunelerinin soğuk akış özelliklerini iyileştirdiği için etkili olduğu bulunmuştur, ancak doymuş yağ asitlerinin kısmen uzaklaştırılmasına neden olmasından dolayı verim ve stabilizeyi azalttığı görülmüştür. Karıştırma yönteminin verim üzerinde herhangi bir etkisi olmaksızın biyodizelin soğuk akış özelliklerinde iyileşme sağladığı bulunmuştur ve biyodizel harmanlamadan sonra daha kararlı hale gelmiştir. Petro dizel ile B20 karışımında JCB için bulutlanma noktası ve akma noktası sırasıyla 14.9 °C ve 14 °C, WCB için sırasıyla 12 °C ve 11.5 °C olarak rapor edilmiştir. Kerosen K20 numunelerinde, JCB için bulutlanma noktası ve akma noktası sırasıyla 1 °C ve 2.2 °C ile en iyi sonucu göstermiştir. Bununla birlikte, K20 karışımında WCB için bulutlanma noktası ve akma noktası sırasıyla 10.5 °C ve 12 °C olarak ölçülmüştür.

Sorate ve Bhale (2015), biyodizelin otomotiv sektörü tarafından kabul edilebilirliğinin, soğuk akış özellikleri, oksidasyon kararlılığı ve otomotiv yakıt sistemi materyalleri ile aşındırıcılık gibi olumsuz özelliklerinden dolayı sınırlı olduğu belirtilmiştir. Bu makale soğuk akış özellikleri, oksidasyon kararlılığı gibi olumsuz biyodizel özelliklerini gözden geçirmeyi amaçlamıştır. Ayrıca biyodizelin mükemmel yağlama davranışı ve bunun olumlu etkisi tartışılmıştır. Bazı deneysel sonuçların paylaşılmasıyla birlikte 145 araştırma makalesinin görüşünü sunmak için çaba gösterilmiştir. Biyodizel ile katkı maddesi muamelesinin, düşük sıcaklık özelliklerini ve

oksidasyon kararlılığını iyileştirmek için uygun olduğu bulunmuştur. Bazı metalik ve elastomerik bileşenlerin biyodizel ile uyumlu olup olmadığı bildirilmiştir.

Abe ve ark. (2016), yağ asidi metil esterlerinin bulutlanma noktası değerlerini tanımlamak amacıyla soğuk akış geliştirici katkı maddeleri kullanılmıştır. Sonuçlar, katkı maddesinin molar kütlesinin, bulutlanma noktası değerinin iyileştirilmesi açısından önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu araştırmada tert-bütıl alkol, 2-bütanol, sineol, 2-dekanol, 2-dekanon ve oleyl alkol katkı maddeleri seçilerek metil oleat ve metil palmitat yakıtlarının bulutlanma noktası üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aynı denemeler, ticari pişirme yağlarından elde edilen yağ asidi metil ester karışımları kullanılarak da gerçekleştirilmiştir. Öngörüldüğü gibi, katkı maddeleri bulutlanma noktası değerlerini düşürmüş ve ağırlıkça %10 katkı maddesi kullanıldığında optimum azalma görülmüştür. Sonuçlar, bulutlanma noktasını iyileştirebilen katkı maddelerinin basit bir termodinamik model kullanılarak kolayca taranabileceğini göstermiştir.

Elias ve ark. (2016), yağ asidi metil esterlerinin (FAME) ve soğuk akış geliştirici triasetinin ikili karışımlarının spesifik soğuk akış özellikleri sistematik bir şekilde değerlendirilmiştir. Çeşitli FAME ve triasetin karışımlarının bulutlanma noktası, erime noktası ve kristalleşme ısıları üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Genel olarak, saf FAME'in bulutlanma noktası, azalan karbon sayısı ve artan doymamışlık derecesi ile azalmıştır. Potansiyel bir yakıt bileşeni olan triasetin, bir bulutlanma noktası depresanı olarak saf bileşen ve ikili FAME yakıt karışımları için de araştırılmıştır. Ağırlıkça %20'ye varan oranlarda triasetin ilavesi, bulutlanma noktasını 2.7 K'ya indirmiştir. Triasetin mevcudiyeti, biyodizel karışımlarının soğuk akış davranışını orta derecede iyileştirerek, triasetinin biyodizel için ümit verici bir bileşeni olabileceğini göstermiştir.

İmdadul ve ark. (2016), pentanolün yenilenebilir kaynaklardan üretilen ve dizel veya biyodizel karışımları ile harmanlama bileşeni olarak ümit verici bir biyoyakıt olarak kabul edilen uzun zincirli bir alkol olduğunu ve bununla birlikte, verimli yanma ve daha düşük emisyon için biyodizel yakıt karışımlarının genel setan sayısını arttırmanın önemli olduğu belirtilmiştir. Bu bağlamda, ateşleme geliştirici katkı maddesi 2-etilheksil nitrat (EHN), dizel-biyodizel-pentanol karışımlarına 1000 ve 2000 ppm oranında ilave edilmiştir. Deneyler su soğutmalı DI dizel motorda tam gazda ve değişen hız koşullarında gerçekleştirilmiştir. Modifiye üçlü yakıt karışımlarının ısı kararlılığı ve yakıtın fizikokimyasal özellikleri ile motor karakteristikleri incelenip karşılaştırılmıştır. Üçlü yakıt karışımlarına EHN'nin eklenmesi, diğer özellikler üzerinde önemli bir olumsuz etki olmadan setan sayısını önemli ölçüde arttırmıştır. Ateşleme geliştiricisinin

uygulanmasının dizel-biyodizel-pentanol karışımlarını termal olarak daha stabil hale getirdiği bulunmuştur. Ayrıca, frene özgü yakıt tüketimi (BSFC), nitrik oksitler (NO) ve duman emisyonu, EHN ilavesi ile dikkate değer ölçüde azalmıştır. EHN'nin dizel-biyodizel-alkol karışımlarına eklenmesi, setan sayısını arttırmış, difüzyon oranını artırarak tutuşma süresini kısaltmış ve yanmayı iyileştirmiştir.

Islam ve ark. (2016), yağ asidi esterlerinden oluşan biyodizelin, dizel motorlar için alternatif bir yakıt olduğu ve biyodizelin dizel yakıttan daha kötü soğuk akış özellikler gösterdiği belirtilmiştir. Bu çalışmada, poli metil akrilat (PMA) katkı maddeleri kullanılarak Hindistan cevizi ve *calophyllum inophyllum* olmak üzere iki farklı biyodizelin soğuk akış özelliklerinin azaltılması amaçlanmıştır. Ayrıca PMA'nın diğer biyodizel özelliklerine etkisi de araştırılmıştır. Biyodizel karışımlarının kristal davranışını gözlemlemek için diferansiyel tarama kalorimetrisi kullanılmıştır. Sonuçlar, dizel (B20) ile harmanlanmış biyodizelin %20'sinin ve ağırlıkça %0.03 PMA'nın CP, PP ve CFPP'de en yüksek iyileşme gösterdiğini belirtmiştir. Bu çalışma ayrıca PMA'nın oksidasyon kararlılığı, parlama noktası, ısıtma değeri ve kinematik viskozite üzerindeki etkisini araştırmıştır. B20'nin bu özellikleri ASTM D 6751 ve EN 14214 standartlarını karşılamıştır. Kristal büyütme işleminin ve B20'nin balmumu kristal çökeltme hızının PMA ile modifiye edilebilir olduğu ve bunun da biyodizel karışımının arttırılmış soğuk akış özelliklerine yol açacağı belirtilmiştir. Bu nedenle, PMA hindistancevizi bazlı ve *C. inophyllum* bazlı biyodizel karışımları için etkili bir soğuk akış geliştirici katkı maddesi olarak kabul edilmiştir. Dahası, sonuçlar, %20 hindistancevizi ve *C. inophyllum* biyodizelinin ağırlıkça %0.03 PMA ile harmanlanmasının, soğuk iklim bölgelerinde yakıt fizikokimyasal kalitesi açısından problemsiz kullanılabileceğini göstermiştir.

Javed ve ark. (2016), direkt enjeksiyonlu (DI) dizel motordan kaynaklanan emisyonların, metalik yakıt kaynaklı katkıların ilavesiyle azaltılabileceğini belirtmiştir. Bununla birlikte, ikincil bir yakıt olarak hidrojen (H_2) ile çift yakıtlı bir motorda yakıt kaynaklı katalizörlerin etkisi iyi bilinmediği ve bu nedenle çift yakıt modunda bir DI dizel motorunda *Jatropha* biyodizel karışımlarının başlıca fizikokimyasal özellikleri ve performansı üzerindeki nano-metalik oksit yakıt katkı maddelerinin etkilerini araştırmak için deneyler yapılmıştır. *Jatropha* metil ester (JME), serbest yağ asidi (FFA) içeriğini %2'nin altına düşürdükten ve sodyum hidroksit (NaOH) katalizörlü bir 20 kHz frekanslı ultrasonikatör kullanarak, ham *Jatropha* yağını transesterifikasyon yaptıktan sonra üretilmiştir. Çinko oksit (ZnO) nanoparçacıkları 100 ppm'de 20 ve 40 nm büyüklüğünde

JME biyodizelinin birincil yakıtında süspansiyon haline getirilmiştir. Deneyler sırasında 0.5 ve 1.5 L /dak akış hızına sahip ikincil bir yakıt olarak H₂ korunmuştur. Deneysel sonuçlar, nanoparçacık boyutunun motor performansını ve emisyonları etkilediğini ortaya koymuştur. Yakıt karışımlarında nanopartiküllerin varlığı azot oksit (NO_x) emisyonlarını azaltmıştır. Artan H₂ akış hızı ile hidrokarbon (HC) emisyonları, 20 nm boyutundaki nanopartiküller için azalırken 40 nm boyutundaki nanopartiküller için artmıştır. Yüzey aktif madde Triton-X 100'ün varlığı ile duman opasitesi saf biyodizel ile karşılaştırıldığında artmıştır.

Pinto ve ark. (2016), gliserolün zeolitler, killer ve sülfonik reçineler gibi katı asit katalizörleri üzerinde etanol ile eterifikasyonu üzerine odaklanmıştır. Tüm katalizörler, biyodizel yakıt bileşenleri olarak kullanılabilen mono, di ve trigliserol-eterler üretmiştir. Etil gliseril eterlere daha yüksek dönüşüm ve seçicilik, katalizör olarak Amberlyst-15 asit reçinesi ile 180 °C'de etanol / gliserol molar oranı 3:1 ve 4 saat reaksiyon süresinde elde edilmiştir. Bu reaksiyon koşulları altında, %96 gliserol dönüşümü ve %80 etil eter seçiciliği gözlenmiştir. Biyodizelde hacimce %0.5-1.0 etil gliseril eter içeren bir karışım kullanılarak yapılan laboratuvar testleri, akma ve bulutlanma noktalarında azalma göstererek, bu eterlerin yakıtlar için biyo-katkı maddeleri olma potansiyelini göstermiştir.

Roy ve ark. (2016), rölanti koşullarında emisyonlar için biyodizel-dizel ve biyodizel-dizel soğuk akış katkı karışımları ile doğrudan enjeksiyonlu (DI) bir dizel motor test edilmiştir. Bu çalışmada biyodizel, transesterifikasyon işlemi ile saf kanola yağından üretilmiştir ve bir soğuk akış katkı maddesi olan Wintron Synergy'nin farklı oranlardaki etkisi, soğuk akış özelliği (bulutlanma noktası) ve motor emisyonları açısından incelenmiştir. Sistemik testler, farklı motor devirlerinde (800, 1000 ve 1200 rpm), biyodizel-dizel karışımlarına %0.25, 0.5, 1 ve 2 oranında Wintron Sinerji katkısının ilavesiyle gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları B20S2'nin -34.8 °C'deki yakıt karışımlarının en düşük bulutlanma noktasına sahip olduğunu göstermiştir. Biyodizel ve Synergy'nin hem CO hem de HC emisyonlarını azaltmada etkili olduğu fakat NO_x emisyonlarını arttırdığı bulunmuştur.

Tesfaye ve Katiyar (2016), poli (laktik asit)-oligomerinin (OLLA) soya fasulyesi yağından elde edilen biyodizelin soğuk akış özellikleri üzerindeki etkisi, egzoz gazı emisyon özellikleri ve IC motor performansı değerlendirilmiştir. Biyodizel, katalizör olarak KOH kullanılarak 60 °C'de beş dakika optimum reaksiyon süresi altında maksimum %99 dönüşüme ulaşılarak sentezlenmiştir. Sentezlenen biyodizelin

bulutlanma noktası, akma noktası, parlama noktası ve ateş noktası referans özellikleri olarak analiz edilmiştir. Etil laktat ile stabilize edilmiş OLLA'nın biyodizel ile harmanlanmasıyla bulutlanma noktası, akma noktası, parlama noktası ve ateş noktası önemli ölçüde azalmıştır. Sıcaklık taraması sırasında polarize optik mikroskopik görüntüler, OLLA'nın kristal çekirdeklenme yoğunluğu ve kristallerin boyutunda azalma ile kristal oluşumunu geciktiren bulutlanma noktası kristal morfolojisi üzerindeki etkisini göstermiştir. Mevcut araştırma, biyodizelin soğuk akış özelliklerinde ve egzoz gazı emisyon özelliklerinde iyileşme sağlanması için OLLA'nın kullanımının uygun olduğunu göstermiştir.

Verma ve ark. (2016), palm yağından elde edilen biyodizelin soğuk akış özellikleri iyileştirilmiştir. Soğuk akış özelliklerinin artırılması için çeşitli yöntemler arasında soğuk akış geliştiricinin karıştırılması ve kullanılması benimsenmiştir. Çalışmanın sonuçları, B20 ile petrol dizelini kullanan biyodizel karışımının ve kerosenin soğuk akış özelliklerinde kayda değer bir iyileşmeye sahip olduğunu göstermiştir. Dizel, CP ve PP'yi sırasıyla %57.61 ve %78.57, kerosen ise B20 harmanı için sırasıyla %62.94 ve %85.78 oranında CP ve PP'yi iyileştirmiştir. Etanol, sırasıyla %20 oranında CP ve PP'yi %60.48 ve %63.96 oranında arttırdığı için dikkat çekici bir etkiye sahip olmuştur.

Xue ve ark. (2016), akış yeteneğinin düşük bir sıcaklıkta artırılmasının, biyodizelin kullanımı ve yaygınlaştırılması için hayati bir öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada atık pişirme yağından elde edilen biyodizel ve dizel karışımlarına poli-alfa-olefin (PAO) akma noktası depresanı katkısı ile soğuk akış özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, 400 ppm PAO ilave edilen B20'nin (%20 biyodizel-%80 dizel), bulutlanma noktası, soğuk filtre tıkama noktası ve akma noktasında sırasıyla 8 °C, 9 °C ve 7 °C olarak en iyi düşüşü gösterdiğini açıklamıştır. Çalışmada B20'nin diğer yakıt özellikleri de belirlenmiş ve ASTM D 7467'de belirtilen sınırlarla karşılaştırılmıştır. Biyodizel karışımlarında PAO'nun performans mekanizmasını keşfetmek için viskozite-sıcaklık eğrileri, polarize optik mikroskopi, düşük sıcaklık X-ışını kırınımı ve diferansiyel tarama kalorimetresi kullanılmış ve sonuçlar PAO'nun düşük sıcaklık viskozitesini etkili bir şekilde azaltabileceğini, mum kristallerinin agregasyonunu geciktirdiğini ve kristallerin şeklini değiştirerek, büyük mum kristallerinin oluşumunu bastırmak suretiyle kristalizasyon davranışlarını değiştirebildiğini göstermiştir.

Mohanan ve ark. (2017), soya fasulyesi yağının yağ asidi metil esterlerinin (FAME) soğuk akış performansını arttırmak için bir akma noktası düşürücü (PPD) ve bir bitkisel yağ bazlı kristalizasyon değiştiricisinden (VOCM) yapılan bir dizi ikili karışım katkı maddesi kullanılmıştır. ASTM yöntemlerinde gelişen bir aparat, bulutlanma noktasını (CP) ve akma noktasını (PP) ölçmek için tasarlanmıştır. Karışımlar, nükleasyondan agregasyona kadar soya 1500 kristalleşmesini önemli ölçüde değiştirmiş ve akma noktasını 30 °C'ye kadar düşürmüştür.

Monirul ve ark. (2017), poli (metil akrilat) (PMA) katkı maddeleri kullanılarak Hindistan cevizinden elde edilen biyodizelin PP, CFPP ve CP'lerini azaltmayı ve bunların tek silindirli dört zamanlı dizel motor performansı ve egzoz gazı emisyonu üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Biyodizel yakıt harmanlarının kristal davranışını ve ısı kararlılığını gözlemlemek için DSC ve TGA kullanılmıştır. Motor performansı ve emisyonu sırasıyla Dynomax-2000 yazılımı ve gaz analizörü ile analiz edilmiştir. Sonuçlar Hindistan cevizinden elde edilen biyodizelin %20'sinin dizel ile harmanlandığında ve ağırlıkça %0.03 PMA katkısı ilave edildiğinde yakıtın soğuk akış özelliklerinde belirgin bir iyileşme olduğunu göstermiştir.

Saengarun ve ark. (2017), asidik heterojen katalizörler, Amberlyst-15, S100 ve S200 reçineleri üzerinde propilen ile gliserolün eterifikasyonu, mono-propil gliserol eterleri (MPGEs), 1.3-di - ve 1.2-di propil gliserol eterleri (DPGEs) ve tri-propil gliserol eteri (TPGE) üretilmiştir. Amberlyst-15 ve S200 reçineleri üzerinde 1-buten ile gliserol eterifikasyonu 1-mono-, 2-mono-, 1.2-di-ve 1.3-di-butil gliserol eterleri (1-MBGE, 2-MBGE, 1.2-DBGE ve 1.3-DBGE) üretilmiştir. Propil gliserol eterler, tri-propil gliserol eteri ve butil gliserol eterler soğuk akış arttırıcılar ve oktan güçlendiriciler olarak değerlendirilmiştir. Bu alkil gliserol eterleri, dizel ile harmanlanmış palm biyodizelinin bulutlanma noktasını azaltmıştır.

Srikanth ve ark. (2017), biyoyakıt üretmek için biyolojik endüstriyel atıkların kullanılmasında giderek artan bir eğilim olduğu belirtilmiştir. Yıkanmış süt pisiği (DWMS), bu tür potansiyel endüstriyel atıklardan biridir ve biyodizel üretimi için hammadde olarak kullanılabilir. DWMS biyodizelinin doğal sorunlarından biri, düşük sıcaklık özelliğinin zayıf olmasıdır. Bu araştırmada, DWMS biyodizelinin düşük sıcaklık özellikleri üzerinde, etil asetoasetat (EAA) ve etil levulinat (EL) olmak üzere iki biyo-bazlı soğuk akış geliştiricinin (CFI) etkisi test edilmiştir. DWMS biyodizeline %20 EAA ve EL ilavesinin soğukta filtre tıkanma noktasını (CFPP), akma noktasını (PP) ve bulutlanma noktasını (CP) önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Bu

çalışma, EAA ve EL'nin DWMS biyodizeli için uygun soğuk akış geliştiriciler olduğunu göstermiştir.

Cardoso ve ark. (2018), soya fasulyesi yağının farklı alkollerle transesterifikasyonundan üretilen biyoyakıtın soğuk özelliklerinin karşılaştırılmasına odaklanılmıştır. Bu amaçla etil, izopropil, izoamil ve benzil alkoller kullanılmıştır. Sonuçta izopropil ve izoamilden elde edilen esterlerin soğuk akış özellikleri bakımından en iyi sonuçları verdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, ester yapısındaki benzilin varlığı, ilgili metil estere kıyasla CFPP'sinde herhangi bir değişiklik göstermemiştir. Soğuk akış özelliklerine ek olarak, uluslararası şartnamelerin korunmasını göstermek için diğer bazı fizikokimyasal özelliklerin çalışmaları da yapılmıştır.

Dehaghani ve Rahimi (2018), dizel yakıtın akma noktası ve bulutlanma noktası sıcaklıkları üzerinde dört farklı katkı maddesinin etkisi araştırılmak için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Örnek karışımlar dört farklı katkı maddesi (etanol, toluen, n-heptan ve ksilen) ve dizel yakıt karışımının farklı hacimsel yüzdelerinde hazırlanmıştır. Karışımların akma noktası ve bulutlanma noktası sıcaklıkları sırasıyla standart ASTM D 2500 ve ASTM d 97-96a yöntemleri kullanılarak ölçülmüştür. Katkı maddelerinin dizel yakıtla karıştırılması, yakıtın bulutlanma noktası sıcaklığında önemli bir azalmaya yol açmamıştır. Bulutlanma noktası sıcaklığındaki en büyük azalma, hacimce %20 veya daha fazla toluen-dizel yakıt karışımı kullanılarak elde edilmiştir. Her ne kadar bulutlanma noktaları önemli ölçüde değişmese de en küçük miktardaki katkı maddeleri bile yakıtın akma noktası sıcaklığında yüksek bir düşüşe neden olmuştur. Yakıtın akma noktası sıcaklığının azaltılmasında etanol en etkili katkı maddesi olmuştur. %20'lik bir etanol-yakıt karışımı, akma noktası sıcaklığında yaklaşık 30 °C'lik bir azalmaya neden olmuştur.

Keskin ve ark. (2018), biyodizel-dizel yakıt karışımlarının asetilferrosen ve paladyum bazlı katkı maddeleri ile dizel emisyonlara ve motor performansına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Katkı maddeleri karışım yakıtlarına 25 ppm olarak verilmiştir. Paladyum bazlı katkı maddesi olarak Bis- [N, N-dimetil-N'-2-klorobenzil tioüre] paladyum (II), PdL₂ hazırlanmıştır. Motor testleri, 4, 8, 12 ve 16 Nm yüklerde tek silindirli direkt enjeksiyonlu dizel motorda gerçekleştirilmiştir. Motor testinin sonucunda, katkı maddeli yakıtın, silindir basınç değerlerinin değişmesi üzerinde önemli bir etki göstermediği ortaya konulmuştur. Üstelik ferrosen bazlı katkı maddesi ile spesifik yakıt tüketimi (SFC) değerleri, paladyum bazlı katkı maddesiyle karşılaştırıldığında nispeten daha iyi sonuçlar göstermiştir. Ayrıca, CO ve PM

emisyonları sırasıyla %60.07 ve %51.33'e kadar önemli ölçüde azalmıştır. Sonuç olarak, metal bazlı katkı maddelerinin 25 ppm'lik dozajda kullanılması, SFC'nin iyileştirilmesine, dizel motorlar için emisyon ve titreşim değerlerine katkıda bulunmuştur.

Leggieri ve ark. (2018), doymuş yağ asidi alkil esterlerinden (FAAE) oluşan biyodizellerin, ticari uygulamalarını sınırlayan yüksek bulutlanma noktalarına (CP) sahip olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma, daha elverişli soğuk akış özelliklerine sahip biyodizel karışımlarının geliştirilmesine yardımcı olmak için bulutlanma noktası ve kristalizasyon verilerini sistematik olarak değerlendirmektedir. Soğuk akış geliştirici katkı maddeleri olan dimetil azelat (DMAz) ve triasetinin yağ asidi metil esterleri (FAME) ve yağ asidi alkil esterleri (FAEE) üzerindeki etkileri de analiz edilmiştir. Katkı maddeleri genel olarak bulutlanma noktası değerlerini düşürmüştür ancak her katkı maddesi için azalma derecesi farklı kristalizasyon mekanizmaları göstermiştir.

Örs ve ark. (2018), atık pişirme yağından elde edilen biyodizel, dizel ve metal bazlı bir nano parçacık olan titanyum dioksit (TiO_2) ve n-butanol ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$) ile birlikte dizel motorlar üzerindeki etkilerini incelemek için karıştırılmıştır. TiO_2 nanopartiküller-dizel-biyodizel ve n-butanol ile çeşitli yakıt karışım oranlarında hazırlanmıştır. Test yakıtları sırasıyla Euro dizel (D100), biyodizel (B100), B20, B20 + TiO_2 , B20But10 ve B20But10 + TiO_2 'dir. Tüm test yakıtlarının bulutlanma noktası, akma noktası, soğukta filtre tıkanma noktası, yoğunluk, kinematik viskozitesi ve parlama noktası gibi termofiziksel özellikler, ardından tork, güç, yakıt tüketimi vb. gibi motor performans parametreleri incelenerek yanma analizi yapılmıştır. Ayrıca CO, CO_2 , HC, NO ve duman opaklığı gibi emisyonlar üzerindeki etkileri de gerçekleştirilmiştir. N-butanolün yakıta eklenmesiyle, yoğunluk, kinematik viskozite ve soğuk akış özellikleri büyük ölçüde etkilenirken, TiO_2 ilavesinin bu özellikler üzerinde pek bir etkisi olmadığı görülmüştür. Test edilen tüm yakıtlar için, maksimum fren motor torku ve gücü sırasıyla yaklaşık 1400 rpm ve 2800 rpm'de kaydedilmiştir. TiO_2 ilavesi, TiO_2 katkı maddesi içermeyen karışımlara kıyasla, fren motoru torkunu ve gücü %10.20 ve %9.74 arttırmış ve frene özgü yakıt tüketimini %27.73 ve %28.37 oranında azaltmıştır. TiO_2 katkı maddesi, maksimum silindir basıncını ve ısı tahliye oranını arttırmış, bunun sonucunda motor performansı ve yanma artmıştır. Yakıt karışımına n-bütanolün eklenmesi, Euro dizele kıyasla maksimum silindir basıncını ve ısı tahliye oranı değerlerini arttırmıştır. Sonuçlar, atık yemeklik yağ, n-bütanol ve TiO_2 katkı maddesinden üretilen biyodizelin dizel motorlarda belirli oranda kullanılabileceğini ve

katkı maddelerinin yanma özelliklerini, motor performansını ve egzoz gazı emisyonunu iyileştirdiğini göstermiştir.

Ranjan ve ark. (2018), kötü soğuk akış özelliğinden dolayı biyodizelin ticarileştirme ve etkin kullanımının yetersiz olduğu belirtilmiştir. Çalışmada metanol kullanılarak atık pişirme yağından (WCO) üretilen biyodizel, %0, %80 ve %90 petrol bazlı dizel (PBD) yakıt ve 20, 30, 40 ve 50 ppm magnezyum oksit (MgO) nanopartikülleri ile harmanlanmıştır. Test yakıtlarının kalitesi ASTM standartlarının sınırları içinde bulunmuştur. MgO nanopartiküllerin 30 ppm konsantrasyonu, test yakıtlarının bulutlanma noktasında, soğukta filtre tıkanma noktasında ve akma noktasında iyileşme göstermiştir.

Unlu ve ark. (2018), biyodizelin yüksek doymuş yağ asidi içeriğinden dolayı zayıf soğuk akış özelliklerine sahip olduğu belirtilmiştir. Etil levulinat, biyodizelde biyo-bazlı soğuk akış arttırıcı katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada hem etil levulinat hem de biyodizel laboratuvarında sentezlenmiştir. Biyodizele farklı oranlarda etil levulinat eklenmiştir. Etil levulinat ilavesinin yoğunluk, kinematik viskozite, asit değeri, akma ve bulutlanma noktasına olan etkisi incelenmiş ve EN 14214 ve ASTM D 6751 teknik özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, etil levulinat, biyodizel için bir soğuk akış geliştirici olarak kabul edilmiştir.

Lapuerta ve ark. (2019), bir dizel yakıt bileşeni olarak yağ asidi metil esterlerinin (FAME) uzun süre kullanılmasının önündeki engellerden birinin, transesterifikasyon işleminin bir yan ürünü olan ham gliserol verimi olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada gliserol ve atık yağdan üretilen yağ asidi gliserol formal esterleri (FAGE) olarak adlandırılan yeni bir yakıt geliştirilmiştir. FAME, reaksiyon koşullarına bağlı olarak FAGE'nin üretim prosesi sırasında farklı oranlarda elde edilmiştir. FAGE'nin soğuk akış özellikleri, FAME ile karşılaştırıldığında dezavantajlı olduğundan, FAGE/FAME karışımlarındaki bazı soğuk akış geliştiricilerin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, FAGE üretim sürecinin yan ürünleri olan bazı asetallerin kullanımı, soğuk akış geliştiriciler olarak önerilmiştir. Bu iki asetal, gliserol formal (GF) ve metoksi-metil gliserol formal (GFOMOM)'dir. Elde edilen sonuçlar, FAGE / FAME karışımında FAGE miktarı arttığında soğuk akış özelliklerinin daha kötü hale geldiğini, ancak bu etkinin %50 FAGE'ye kadar çok hafif olduğunu göstermektedir. Asetallerin kullanımı, GF/GFOMOM asetal karışımındaki GF içeriğinin küçük etkisi ile 2 °C'ye kadar soğuk akış özelliklerini geliştirmiştir. Ek olarak, akma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası ve bulutlanma noktasını küçük bir etki ile iyileştiren bir ticari soğuk akış

geliştirici test edilmiştir. Asetallerden ve soğuk akış geliştiriciden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve asetallerin soğuk akış geliştirici olarak değeri kanıtlanmıştır. Hem asetallerin hem de soğuk akış geliştiricilerin kombinasyonu, soğuk akış özelliklerini iyileştirmek için en uygun yöntem olarak önerilmiştir.

Leng ve ark. (2019), atık yemeklik yağdan elde edilen biyodizelin, düşük soğuk akış özellikleri ve düşük oksidasyon kararlılığı gibi dezavantajlara sahip olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada termogravimetrik yöntemlerle değerlendirilen biyodizelin soğuk akış özellikleri ve ateşleme gecikmesi, farklı yüzey aktif maddelerin asistanlığı ve su-biyodizel mikroemülsiyonlarının oluşumu ile iyileştirilmiştir. Saflaştırma işlemiyle biyodizeldeki toplam yağ asidi metil esterleri içeriği, soğuk akış özellikleri ve oksidasyon stabilitesi de geliştirilerek önemli ölçüde artmıştır (%90.2'den %96.3'e). Span 80'in saflaştırılması ve eklenmesi (mikroemülsiyon oluşumu), biyodizelin geliştirilmiş soğuk akış özelliklerine ve oksidasyon stabilitesine katkıda bulunmuştur. Mikroemülsifikasyon saflaştırma işleminden sonra biyodizelin toplam yakıt özellikleri, biyodizel / dizel (V/V, 5/5) karışımına yakınlştırılmıştır. Emülsiyon/mikroemülsiyon yakıtı dizel motorda yanma sırasında NO_x emisyonunu azaltmak için büyük bir potansiyele sahip olmuştur, biyodizel artımı için Span 80 uygulamasının umut verici bir biyodizel yükseltme teknolojisi olarak daha da geliştirilebileceği belirtilmiştir.

Senra ve ark. (2019), biyodizelin birkaç farklı uygulamada petrol bazlı dizel için ümit verici bir alternatif olduğunu fakat her ne kadar biyodizel, Petro dizel üzerine sayısız avantajlar sunsa da en büyük dezavantajlarından birinin düşük soğuk akış özellikleri olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, biyodizel kaynaklarından türetilen bileşiklerin biyodizel katkı maddesi olarak kullanılmasının fizibilitesini araştırılmıştır. Spesifik olarak, model biyodizellerin bulutlanma noktasını azaltmada katkı maddelerinin etkinliği, diferansiyel tarama kalorimetrisi kullanılarak analiz edilmiştir. İncelenen katkı maddelerinin her biri, biyodizelin bulutlanma noktasını düşürmüştür, ancak katkı maddelerinin çoğu, belirli bir ağırlık yüzdesinin üzerinde azalan geri dönüşler göstermiştir. Bununla birlikte, bu çalışmada incelenen biyodizeldeki FAME'lere benzer büyüklükteki moleküller olan tripropionin ve dimetil azelat, bulutlanma noktasında daha önemli depresyonlara neden olan kritik bir çekirdeğin gelişmesine engel olmuştur. Genel olarak, ideal çözüm teorisine dayanan bir termodinamik model, incelenen çoğu karışım için bulutlanma noktalarını doğru bir şekilde tahmin edebilmiştir.

Srikanth ve ark. (2019), biyoyakıt üretmek için biyolojik endüstriyel atıkların kullanılmasındaki eğilimin geçtiğimiz yıllarda giderek daha fazla popüler hale geldiği belirtilmiştir. Süt ürünü yıkanmış süt pisliği (DWMS), biyodizel üretimi için hammadde olarak kullanılabilen potansiyel endüstriyel atıklardan biridir. DWMS biyodizelinin doğal problemlerinden biri zayıf düşük sıcaklık özellikleridir. Bu araştırmada, Aseton (ACE) ve Dietil eter (DEE) olmak üzere iki çözücünün, DWMS biyodizelinin düşük sıcaklık özellikleri üzerinde soğuk akış arttırıcı maddeler (CFT'ler) olarak etkisi test edilmiştir. DWMS biyodizeline %20 ACE ve DEE eklenmesinin düşük sıcaklık özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada yapılan deney iki aşamadan oluşmaktadır. Deneyin birinci aşaması Onopordum bitkisinin yağından biyodizel üretmektir. Bunun için ilk olarak Onopordum bitkisinin tohumlarından soğuk sıkım işlemi ile ham yağ elde edilmiş ve yağın fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Elde edilen ham yağdan alkol ve katalizör eşliğinde transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiştir. Deney için kullanılan biyodizel, EN 14214 standardına uygun olarak üretilmiştir.

Deneyin ikinci aşaması ise havacılık yakıtlarına alternatif olabilecek bir biyojet yakıtı elde etmektir. Bunun için havacılık sektöründe kullanılan JP-8 yakıtına belirli oranlarda (%2, %3, %5) Onopordum yağından üretilen biyodizel eklenerek yakıt karışımları hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan yakıt karışımlarına soğuk akış özelliklerini geliştirmek için katkı maddeleri (TBHQ, BHT, Pentanol ve PMA) eklenerek elde edilen yakıt karışımlarının özellikleri incelenmiştir.

3.1. Biyodizel Üretimi İçin Kullanılan Hammaddeler ve Kimyasal Maddeler

3.1.1. Onopordum Yağı

Biyodizel üretimi için Onopordum bitkisinin tohumlarından elde edilen ham yağ kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Onopordum Yağı

Onopordum yağının yakıt özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Onopordum Yağının Yakıt Özellikleri

Özellikler	Birim	Onopordum Yağı
Yoğunluk	kg/l	0.915
Kinematik viskozite	mm ² /s	90 (20 °C)
CP	°C	-
PP	°C	-20.0
Parlama Noktası	°C	352
Ho	MJ/kg	34.5
Setan sayısı	-	51

3.1.2. Metil Alkol (Metanol)

Onopordum tohumu yağı ile biyodizel elde etmek için alkol olarak; 20 °C deki yoğunluğu 0.791-0.793 kg/l ve moleküler ağırlığı 32.04 g/mol olan Merck firmasına ait metil alkol (CH₃OH) kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Metanol

3.1.3. Katalizör

Biyodizel üretiminde katalizör olarak; molekül ağırlığı 40.00 g/mol, saflık değeri %99.97 Norateks firmasına ait olan sodyum hidroksit (NaOH), Fosforik asit (H₃PO₄) ve molekül ağırlığı 54.02 g/mol, saflık değeri %97 den daha büyük olan Merck firmasına ait sodyum metilat kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Katalizörler

3.2.Biyojet Üretimi ve Yakıt Özelliklerinin Geliştirilmesi İçin Kullanılan Maddeler

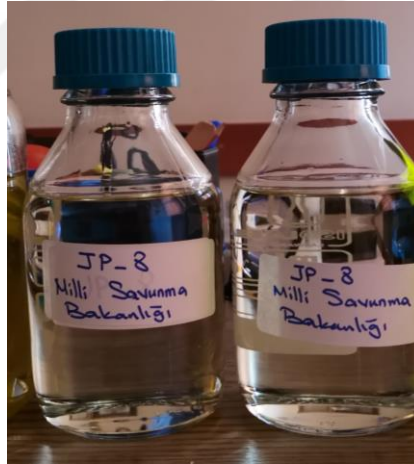
3.2.1. JP-8 (NATO-F34) Yakıtı

JP-8 1988 yılında NATO ülkeleri tarafından askeri amaçlı kullanılmak üzere tek tip bir yakıt olarak kabul edilmiştir.

JP-8 yakıtı, askeri uygulamalarda kullanıma uygun hale getirebilmek için özel katkı maddeleri ile harmanlanmış, %99.8'i kerosen içeren ve binlerce hidrokarbon karışımından meydana gelen yakıtlardır (Maurice ve ark., 2001; Tank-Automotive ve Command, 2001).

JP-8'i, Jet A-1 ve diğer havacılık yakıtlarından farklı kılan en önemli özelliği yakıt sistemi buzlanma inhibitörü ve korozyon inhibitörü içermesidir. JP-8 bu özellikleri sayesinde diğer havacılık yakıtları ve dizel yakıtına göre soğuk iklim şartlarında stratejik bir önem kazanmaktadır (Cooper ve Mattie, 1996; Smith ve Bruno, 2007).

ABD Askeri Şartnamesi MIL-DTL-83133G'nin gereksinimlerini karşılamaktadır. İngiltere, bu sınıf için DEF STAN 91-87 AVTUR / FSII (eski DERD 2453) spesifikasyonuna da sahiptir.



Şekil 3.4. JP-8 Yakıtı

JP-8 (NATO F-34) yakıtının özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. JP-8 Yakıtının Özellikleri

Özellikler	Birim	JP-8 (NATO F-34)
Yoğunluk	kg/l	0.775- 0.840
Kinematik viskozite	mm ² /s	8 (-20 °C)
CP	°C	-
FP	°C	-47.0
Parlama Noktası	°C	38
Ho	MJ/kg	42.8

3.2.2. Onopordum Biyodizeli

Biojet yakıtı üretmek için, JP-8 yakıtı ve Onopordum biyodizeli ile B2, B3 ve B5 karışımları hazırlanmıştır.



Şekil 3. 5.Onopordum Biyodizeli

Onopordum biyodizelinin yakıt özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

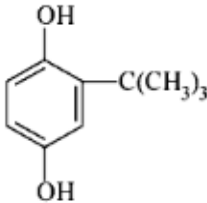
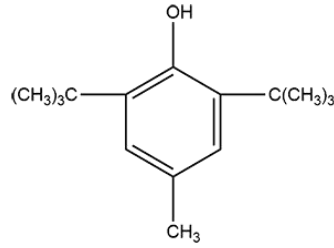
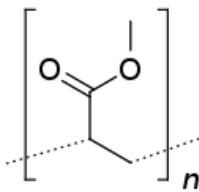
Çizelge 3.3. Onopordum Biyodizelinin Yakıt Özellikleri

Özellikler	Birim	Onopordum Biyodizeli
Yoğunluk	kg/l	0.883
Kinematik viskozite	mm ² /s	3.5 (40 °C)
CP	°C	-2.5
PP	°C	-5.0
Parlama Noktası	°C	180
Ho	MJ/kg	40.0
Setan sayısı	-	49

3.2.3. Katkı Maddeleri

Yakıt özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla havacılık yakıtı ve biyojet yakıtına eklenmek üzere soğuk akış geliştirici bazı katkı maddeleri kullanılmıştır. Soğuk akış özelliklerinin test edilmesinde PMA, TBHQ, BHT ve Pentanol katkıları kullanılmıştır. Katkı maddeleri yakıt karışımlarına manyetik karıştırıcı yardımı ile eklenmiştir. Katkı maddelerine ait özellikler Çizelge 3.4.'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. Deney İçin Kullanılan Katkı Maddeleri

Katkı Maddesi	Kimyasal Formül	İsimler	Yoğunluk
TBHQ	$C_{10}H_{14}O_2$ 	tert- Butilhidrokinon	1.050 g / cm ³
BHT	$C_{15}H_{24}O$ 	2.6-Di-tert-butil-4-metilfenol	1.048 g / cm ³
PMA	$(C_4H_6O_2)_n$ 	Polimetilakrilat	1.19 g/cm ³
Pentanol	$C_5H_{12}O$ 	İzoamil Alkol	0.811 g/cm ³

3.3. Deneyde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Biyodizel üretimi sürecinde; biyodizel reaktörü, hassas terazi, manyetik karıştırıcı, termometre, kronometre ve serbest yağ asidi ölçüm cihazı kullanılmıştır. Tüm yakıt ve karışımlarının özelliklerinin belirlenmesinde ise; yoğunluk, kinematik viskozite, kalorimetre, soğukta filtre tıkanma noktası, bulutlanma ve akma noktası ölçüm cihazı kullanılmıştır.

3.3.1. Hassas Terazi

Biyodizel üretim sürecinde, yağ, alkol ve katalizör gibi maddelerin ağırlıklarının ölçülmesinde Precisa marka, XB-220A model, 0.001 gr hassasiyetli ve 220 gr kapasiteli hassas terazi kullanılmıştır.



Şekil 3. 6. Hassas Terazi

3.3.2. Manyetik Karıştırıcı

Biyodizel elde etmek için, karışımların homojen bir şekilde karıştırılmasını sağlayan Heidolph MR Hei-Standart ısıtıcılı, 20–300 °C 'ye kadar tabla sıcaklığına sahip ± 5 °C hassasiyetli manyetik karıştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 3. 7. Manyetik Karıştırıcı

3.3.3. Termometre

Deneyde sıcaklık ölçümleri için, -50-300 °C aralığında ölçüm yapabilen ve 1 °C hassasiyete sahip olan Hei-Con marka dijital termometre kullanılmıştır.

3.3.4. Serbest Yağ Asit Değeri Ölçüm Cihazı

Onopordum yağı ve biyodizelinin serbest yağ asidi değerini belirlemek için 0-50 ml ölçüm aralığında Titrette marka A sınıfı cihaz kullanılmıştır. Cihaz ile DIN EN ISO 385 standardına uygun ölçüm yapılabilmektedir.



Şekil 3.8. Serbest Yağ Asit Değeri Ölçüm Cihazı

3.3.5. Yoğunluk Ölçüm Cihazı

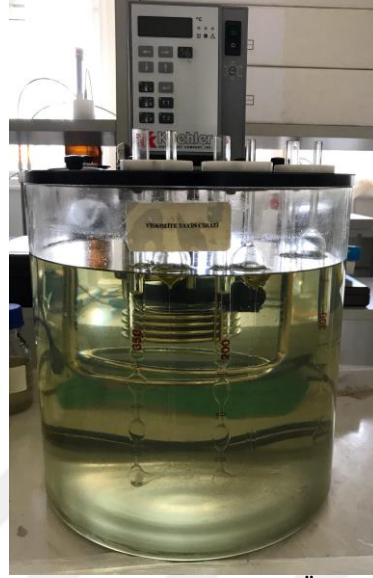
Tüm yakıt ve yakıt karışımlarına ait yoğunluk değerlerinin belirlenmesinde, sıcaklık aralığı 0-40 °C, hassasiyeti $\pm 0.001 \text{ g/cm}^3$ ve ölçüm aralığı 0.0000 ile 2.0000 g/cm^3 olan Kem Kyoto marka DA-130N model cihaz kullanılmıştır. Cihaz EN 61326 standartlarına uygun olarak ölçüm yapılabilmektedir.



Şekil 3. 9. Yoğunluk Ölçme Cihazı

3.3.6.Kinematik Viskozite Ölçüm Cihazı

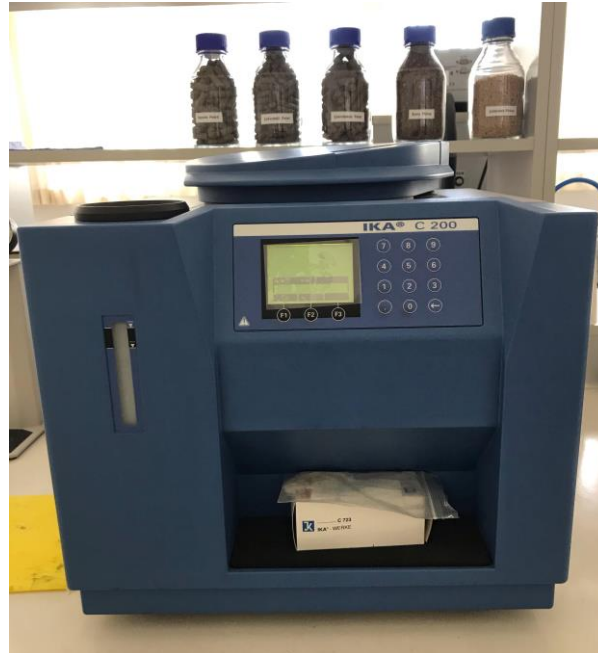
Tüm yakıt ve yakıt karışımlarına ait viskozite değerleri, hassasiyeti ± 0.01 olan ve çalışma sıcaklığı 25-150 °C arasındaki Koehler marka K23377 model cihaz ile ASTM D 445, ISO 3104 ve DIN 51550 standartlarına uygun olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. 10. Kinematik Viskozite Ölçme Cihazı

3.3.7.Kalorimetre Ölçüm Cihazı

Tüm yakıt ve yakıt karışımlarına ait net yanma ısı değeri, ölçüm aralığı 40.000 Joule'e kadar olan IKA marka kalorimetre cihazı ile EN 50082, EN 55014, EN 60555 ve EN 61010, standartlarına uygun olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.11. Kalorimetre Cihazı

3.3.8. Soğukta Filtre Tıkanma Noktası Ölçüm Cihazı

Tüm yakıt ve yakıt karışımlarına ait soğukta filtre tıkanma noktası değerlerinin belirlenmesinde AFP-102 model, Tanaka marka cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz ASTM D 6371 standartlarına uygun olarak ölçüm yapabilmektedir. Soğutmalı sirkülatör ünitesi $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar kontrol edilebilen cihazda yapılan testlerin sonucu UFD ekran modülü kontrol ünitesinden otomatik olarak alınabilmektedir.



Şekil 3.12. Soğukta Filtre Tıkanma Noktası Ölçme Cihazı

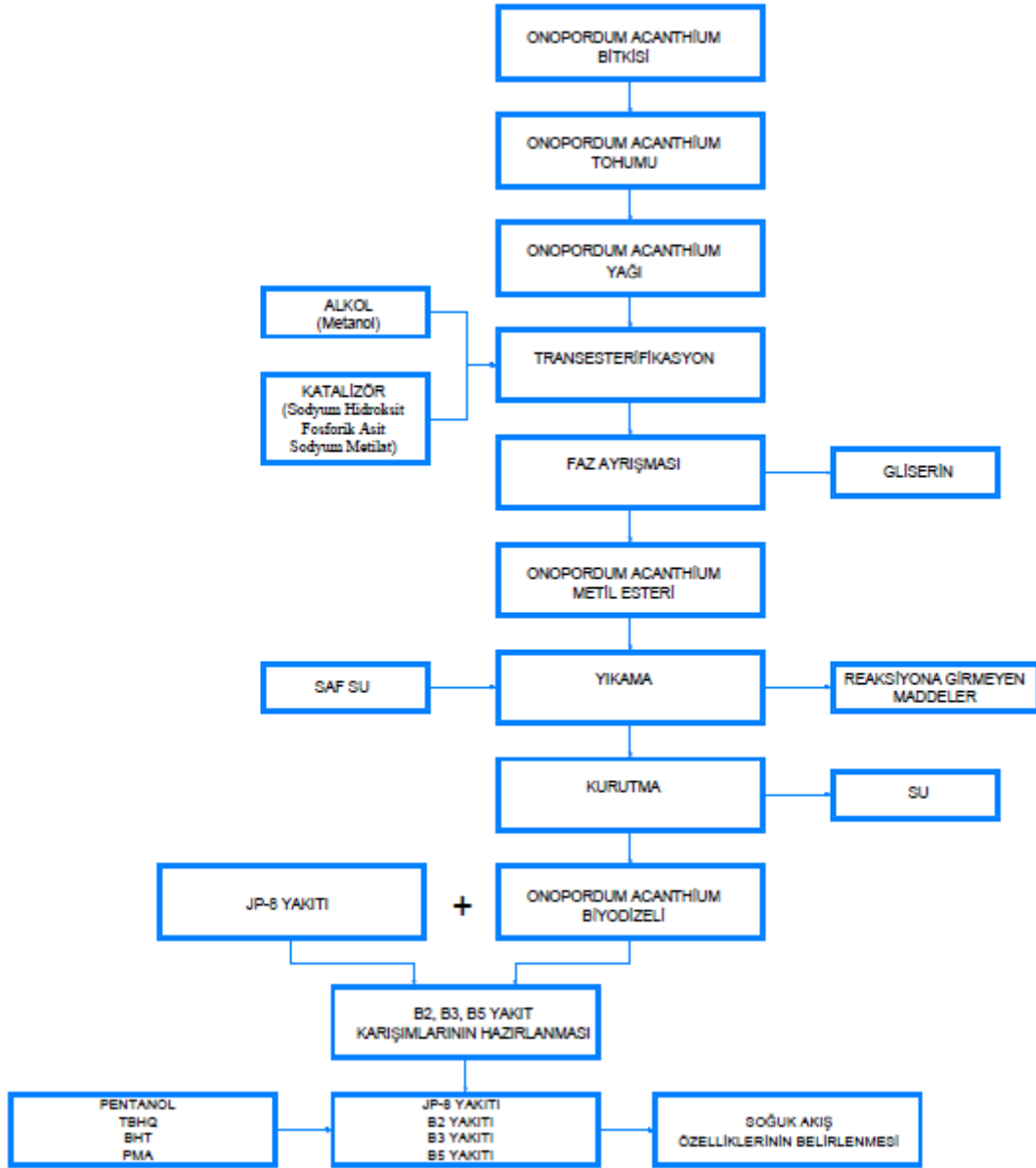
3.3.9. Bulutlanma ve Akma Noktası Ölçüm Cihazı

Tüm yakıt ve yakıt karışımlarına ait bulutlanma ve akma noktası değerleri Polyscience marka cihaz ile belirlenmiştir. Bu cihaz ASTM D 97 standartlarına uygun olarak ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 3.13. Bulutlanma Ve Akma Noktaları Ölçüm Cihazı

3.4. Deneysel Yöntem



Şekil 3.14. Deney Şeması

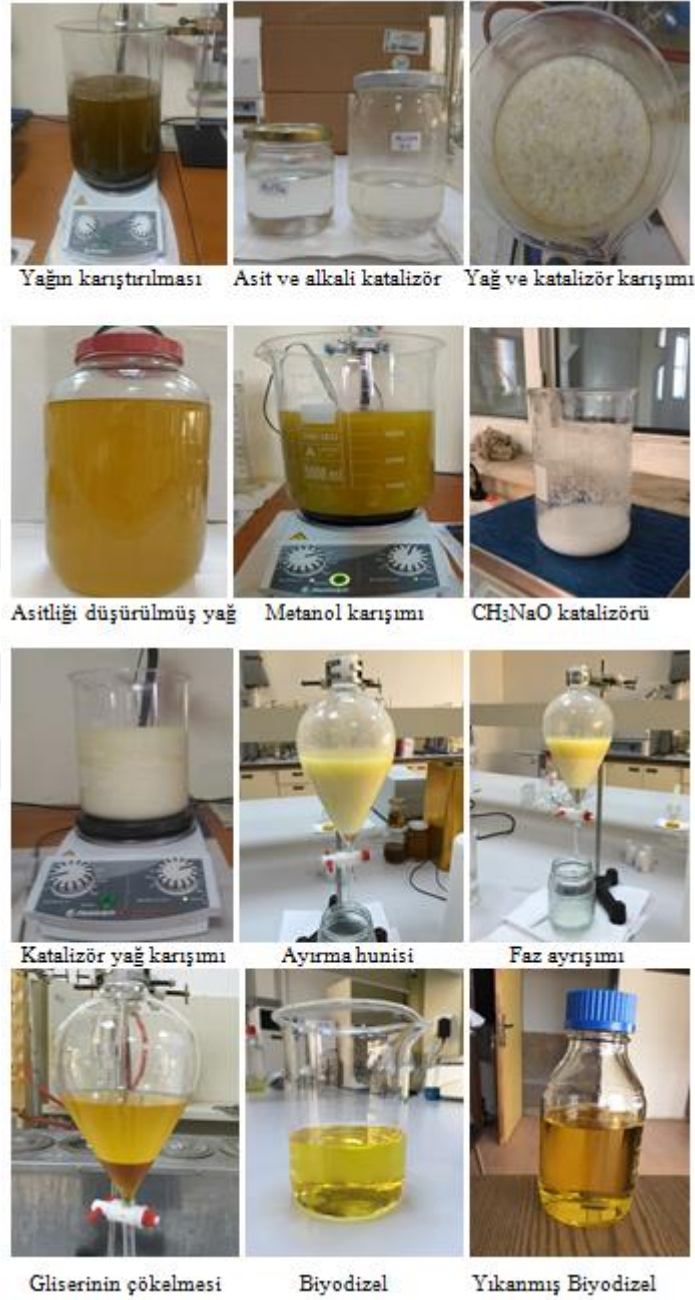
Onopordum bitkisinden biyoyakıt elde etmek için transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Transesterifikasyon (alkolizasyon) yöntemi biyodizel üretiminde çoğunlukla kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemle kanola, ayçiçeği, soya fasulyesi, ketencik gibi bitkilerin tohumlarından çıkarılan bitkisel yağ, hayvansal yağ ve atık yağlar, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonu sonucunda yan ürünler olarak monogliseridler, digliseridler ve serbest yağ asitleri oluşur. Yağ molekülü, gliserine bağlı üç ester molekülünden (trigliserit) oluşur. Bitkisel yağ moleküllerinin %20'si gliseroldür. Yağda bulunan gliserin, yağın kalınlaşmasına ve yağı yapışkan hale getiren bir yapıya sahiptir.

Transesterifikasyon işlemi sırasında gliserin uzaklaştırılarak, yağ inceltilebilir ve yağın özellikleri dizel yakıtına daha yakın bir hale getirilebilir. Alkol radikalleri, ayrıştırılan gliserolün yerini alır, yani üç ester molekülü gliserinden ayrılır ve alkol radikalleri ile bileşikler oluşturur (Acaroğlu, 2003).

3.4.1. Onopordum Yağından Biyodizel Üretimi

Biyodizel üretiminde hammadde olarak Onopordum bitkisinin tohumlarından elde edilen yağ kullanılmıştır. Onopordum yağının serbest yağ asidi içeriği titrasyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Ham yağın asit değeri 7.70 mg KOH/gr ve iyot değeri 114.5 olarak tespit edilmiştir. Bulunan değerlerin EN14214 standardına uygun olduğu görülmüştür. Biyodizel üretim işlemi transesterifikasyon yöntemi ile yapılmıştır. Transesterifikasyon yöntemi bir katalizörün alkol ile reaksiyona girmesi yoluyla bitkisel yağın yeniden esterlenmesi işlemidir. Transesterifikasyon işleminin birinci aşamasına serbest yağ asidi içeriğinin düşürülmesi ile başlanmıştır. 7.70 mg KOH/gr olan yağ asidi değerinin katalizör kullanılarak 1 mg KOH/gr altına düşürülmesi amaçlanmıştır. Transesterifikasyon reaksiyonunda, manyetik karıştırıcı, termostat ve 5 litrelik bir beher kabı kullanılmıştır. İlk olarak yağ beher kabının içerisine alınarak manyetik karıştırıcılı ısıtıcıya konulmuştur. Yağ 600 devir /dakikada 70 °C'ye kadar ısıtılarak içerisine %0.2 oranında H₃PO₄ (Fosforik Asit) eklenmiştir. Daha sonra karışıma 220 gr NaOH ve 500 ml saf su çözeltisi yağın ağırlığının %2'si oranında hesaplanarak 5 dakika arayla 5 ml olarak eklenmiştir ve 60 dakika boyunca karıştırılmaya devam edilmiştir. Karıştırma işlemi sonucunda yağın asit değeri 1 mg KOH/gr altına düşürülmüştür. Yağın üst yüzeyinde kalan fazla H₂SO₄ (Sülfürik Asit) ve NaOH çözeltisi karışımdan uzaklaştırılmıştır. Transesterifikasyon işleminin ikinci aşamasında yağ, içerisine 6:1 oranında metanol ilave edilerek, manyetik karıştırıcıda metanolün kaynama noktasının altında olan 54 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Daha sonra karışıma ağırlıkça %1 oranında sodyum metilat (NaOCH₃) katalizörü eklenerek 60 dakika boyunca sıcaklık 60 °C'ye ulaşana kadar karıştırılmıştır. Bu işlemden sonra karışım bir gün dinlendirilmek üzere ayırma hunisine alınmıştır. Bekleme işlemi sonucunda ayırma hunisinin üst kısmında metil ester alt kısmında ise gliserin oluşmuştur. Dibe çöken gliserin ayırma hunisinden alındıktan sonra elde edilen metil estere eşit miktarda saf su eklenerek yıkama işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonucu karışım 8 saat dinlendirildikten sonra biyodizel içerisindeki reaksiyona girmeyen yağ asitleri ve diğer maddeler uzaklaştırılmıştır. Son olarak biyodizel 120 °C'ye kadar ısıtılmış ve içerisindeki su

buharlaştırılarak kurutma işlemi yapılmıştır. Şekil 3.15'te transesterifikasyon işlem basamakları verilmiştir.



Şekil 3. 15. Onopordum Biyodizeli Üretim Aşamaları

Biyodizel üretimi gerçekleştikten sonra yakıt karışımlarının hazırlanması aşamasına geçilmiştir.

3.4.2. Yakıt Karışımlarının Hazırlanması

Havacılık yakıtlarında biyoyakıt karışımlarının yakıt özellikleri üzerindeki etkisinin (özellikle yoğunluk, viskozite ve soğuk akış özelliklerinin) belirlenmesi amacıyla yapılan bu deneyde havacılık yakıtlarından biri olan JP-8 yakıtına, %2, %3 ve

%5 oranında Onopordum biyoyakıtı ilave edilerek biyojet yakıtları elde edilmiştir. Ayrıca katkı maddelerinin yakıtın soğuk akış özellikleri üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için yakıtlara belirli oranlarda TBHQ, BHT, Pentanol ve PMA katkı maddeleri eklenerek yakıt özelliklerinin test edilmesi aşamasına geçilmiştir. Testlere başlamadan hemen önce, yakıt karışımları oda sıcaklığında termomanyetik bir karıştırıcı kullanılarak 600 rpm'de 15 dakika karıştırılarak testlerde homojen bir karışım elde edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.16. Onopordum Metil Esteri ve JP-8 Yakıtı



Şekil 3.17. Hazırlanan Karışım Numuneleri

4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deney için hazırlanan yakıt karışımları ve karışımlara ilave edilen katkı maddeleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Tüm yakıtlara eklenen katkı maddelerinin oranları sırası ile hacimce %10 Pentanol, 500 ppm BHT, 3000 ppm TBHQ ve ağırlıkça %0.05 PMA’dır. Sonuçların değerlendirilmesi kısmında katkı maddelerinin miktarı belirtilmemiş olup burada verilen oranlar dikkate alınmaktadır.

Çizelge 4. 1. Yakıt Özelliklerinin Geliştirilebilmesi İçin Hazırlanan Karışımlar

	YAKIT KARIŞIMI	OKSİDASYON	%	SOĞUK AKIŞ	%	YAKIT KODU
1	JP8	-	-	-	-	AF-1
2	JP8	Pentanol	10 (%v)	PMA	0.05 (%w)	AF-2
3	JP8	Pentanol	10 (%v)	Şahit		AF-3
4	JP8	BHT	500 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-4
5	JP8	BHT	500 (ppm)	Şahit		AF-5
6	JP8	TBHQ	3000 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-6
7	JP8	TBHQ	3000 (ppm)	Şahit		AF-7
8	B2	-		-		AF-8
9	B2	Pentanol	10 (%v)	PMA	0.05 (%w)	AF-9
10	B2	Pentanol	10 (%v)	Şahit		AF-10
11	B2	BHT	500 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-11
12	B2	BHT	500 (ppm)	Şahit		AF-12
13	B2	TBHQ	3000 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-13
14	B2	TBHQ	3000 (ppm)	Şahit		AF-14
15	B3	-		-		AF-15
16	B3	Pentanol	10 (%v)	PMA	0.05 (%w)	AF-16
17	B3	Pentanol	10 (%v)	Şahit		AF-17
18	B3	BHT	500 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-18
19	B3	BHT	500 (ppm)	Şahit		AF-19
20	B3	TBHQ	3000 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-20
21	B3	TBHQ	3000 (ppm)	Şahit		AF-21
22	B5	-	-	-		AF-22
23	B5	Pentanol	10 (%v)	PMA	0.05 (%w)	AF-23
24	B5	Pentanol	10 (%v)	Şahit		AF-24
25	B5	BHT	500 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-25
26	B5	BHT	500 (ppm)	Şahit		AF-26
27	B5	TBHQ	3000 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-27
28	B5	TBHQ	3000(ppm)	Şahit		AF-28

Hazırlanan deney yakıtlarının ölçümleri sonucu belirlenmiş olan yakıt özelliklerinin değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 2. Hazırlanan Yakıt Numunelerinin Özellikleri

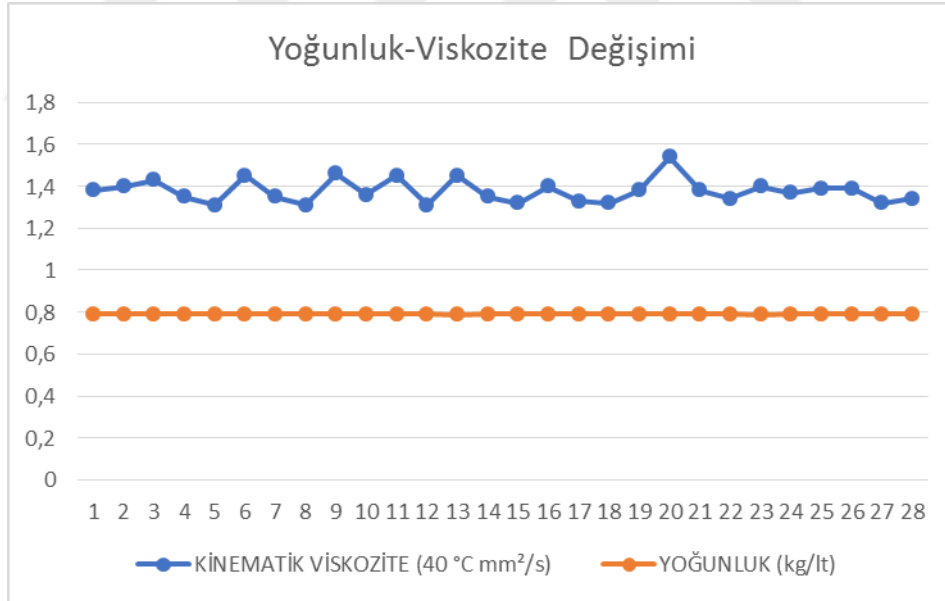
YAKIT KODU	KİNEMATİK VİSKOZİTE (40 °C mm ² /s)	Ho (MJ/kg)	YOĞUNLUK (kg/lt)	CFPP (°C)	CP (°C)	PP (°C)	FP (°C)
AF-1	1.38	46.574	0.7897	-20	-23.30	-31.13	-47
AF-2	1.40	45.810	0.790	-22	-25.50	-33.55	-49
AF-3	1.43	45.849	0.790	-21	-24.25	-32.175	-49
AF-4	1.35	46.459	0.7897	-21	-24.25	-32.175	-48
AF-5	1.31	45.779	0.7896	-20	-23.50	-31.35	-48
AF-6	1.45	46.095	0.7896	-23	-26.15	-34.265	-52
AF-7	1.35	46.121	0.7899	-21	-24.25	-32.175	-50
AF-8	1.31	45.869	0.7915	-19	-22.35	-30.085	-46
AF-9	1.46	45.712	0.7916	-21	-24.25	-32.175	-48
AF-10	1.36	45.561	0.7913	-20	-23.50	-31.35	-48
AF-11	1.45	45.593	0.7914	-20	-23.30	-31.13	-47
AF-12	1.31	45.582	0.7916	-19	-22.50	-30.25	-47
AF-13	1.45	45.622	0.7885	-22	-25.20	-33.22	-51
AF-14	1.35	45.697	0.789	-20	-23.30	-31.13	-50
AF-15	1.32	45.649	0.7893	-18	-21.40	-29.04	-45
AF-16	1.40	45.642	0.7893	-21	-24.50	-32.45	-48
AF-17	1.33	45.663	0.7891	-19	-22.50	-30.25	-47
AF-18	1.32	45.628	0.7894	-18	-21.50	-29.15	-45
AF-19	1.38	45.514	0.7894	-18	-21.50	-29.15	-46
AF-20	1.54	45.602	0.7891	-21	-24.25	-32.175	-49
AF-21	1.38	45.709	0.7894	-22	-25.50	-33.55	-50
AF-22	1.34	45.846	0.7905	-18	-21.40	-29.04	-44
AF-23	1.40	45.735	0.787	-18	-21.40	-29.04	-45
AF-24	1.37	45.179	0.7908	-17	-20.50	-28.05	-46
AF-25	1.39	45.325	0.791	-17	-20.45	-27.995	-45
AF-26	1.39	45.432	0.7911	-17	-20.50	-28.05	-44
AF-27	1.32	46.136	0.7909	-21	-24.50	-32.45	-49
AF-28	1.34	46.348	0.7917	-20	-23.50	-31.35	-47

4.1. Deney Yakıtlarının Yoğunluk ve Viskozite Değişiminin Karşılaştırılması

Şekil 4.1’de yakıtların yoğunluk ölçüm sonuçları gösterilmiştir. JP-8 yakıtının katkısız yoğunluk değeri 0.7897 kg/lt olarak ölçülmüş ve karışımlara bağlı olarak yoğunluk değerleri genel olarak aynı değerlerde ölçülmüştür. En yüksek yoğunluk değerine sahip olan yakıt 0.7917 kg/lt olarak ölçülen AF-28 (B5 + 3000 ppm TBHQ katkılı yakıt) yakıtıdır. En düşük yoğunluk değerine sahip olan yakıt ise 0.787 kg/lt olarak ölçülen AF-23 (B5 + 10 (%v) Pentanol + 0.05 (%w) PMA katkılı yakıt) yakıtıdır.

JP-8 yakıtının katkısız viskozite değeri ise 1.38 mm²/s olarak ölçülmüştür. Kinematik viskozite değeri en yüksek olan yakıt 1.54 mm²/s olarak ölçülen AF-20 (B3 + 3000 ppm TBHQ + 0.05 (%w) PMA katkılı yakıt) yakıtıdır, kinematik viskozite değeri en düşük olan yakıtlar ise 1.31 mm²/s olarak ölçülen AF-5 (JP-8 + 500 ppm BHT katkılı yakıt), AF-8 (B2 yakıtı) ve AF-12 (B2 + 500 ppm BHT katkılı yakıt) yakıtlarıdır.

Yakıt ve katkı maddelerinin karışım oranlarına göre yoğunluklar aşağı yukarı aynı kalırken, kinematik viskozite değerleri değişkenlik göstermiştir. AF-19 ve AF-21 yakıtlarının viskozite değerleri deneylerde kullanılan JP-8 yakıtının viskozite değeri ile aynı değerde ölçülmüştür.

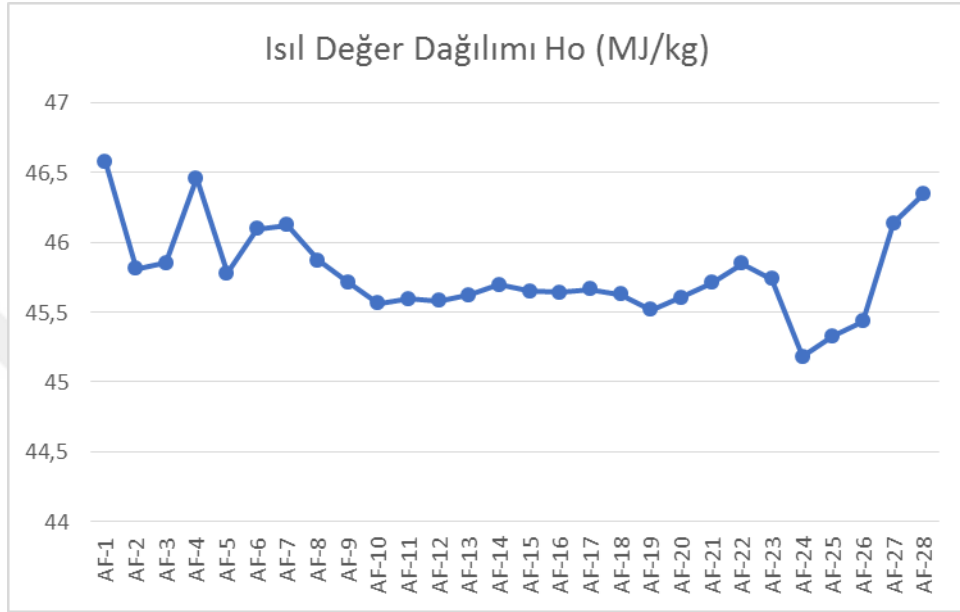


Şekil 4.1. Yakıt Karışımlarının Yoğunluk-Viskozite Değişimi

4.2. Deney Yakıtlarının Isıl Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.2’de yakıtların kalorimetrede ölçülen ısı değerleri gösterilmiştir. Deney sonuçlarına göre ısı değeri en yüksek olan yakıt AF-1 (JP-8) yakıtıdır, ısı değeri en düşük olan yakıt ise AF-24 (B5 + 10 (%v) Pentanol katkılı yakıt) yakıtıdır.

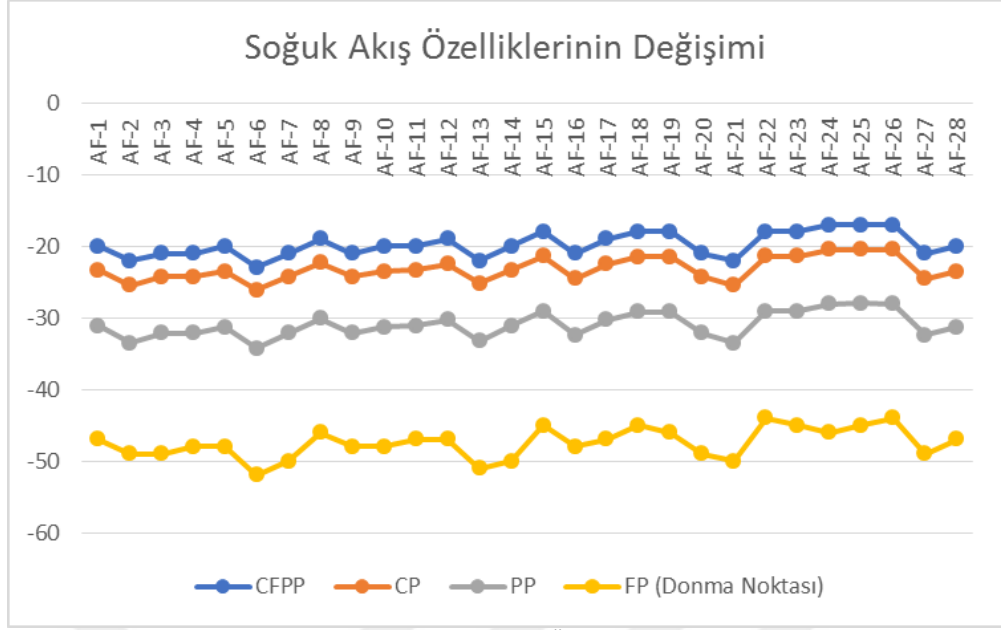
Yakıt ve katkı maddelerinin karışım oranlarına göre ısı değerinde değişimler gözlemlenmiştir. Bulunan sonuçlar standartlarda belirlenen değerler arasında kalmıştır.



Şekil 4.2. Yakıt Karışımlarının Isıl Değer Dağılımı

4.3. Deney Yakıtlarının Soğuk Akış Özelliklerinin Karşılaştırılması

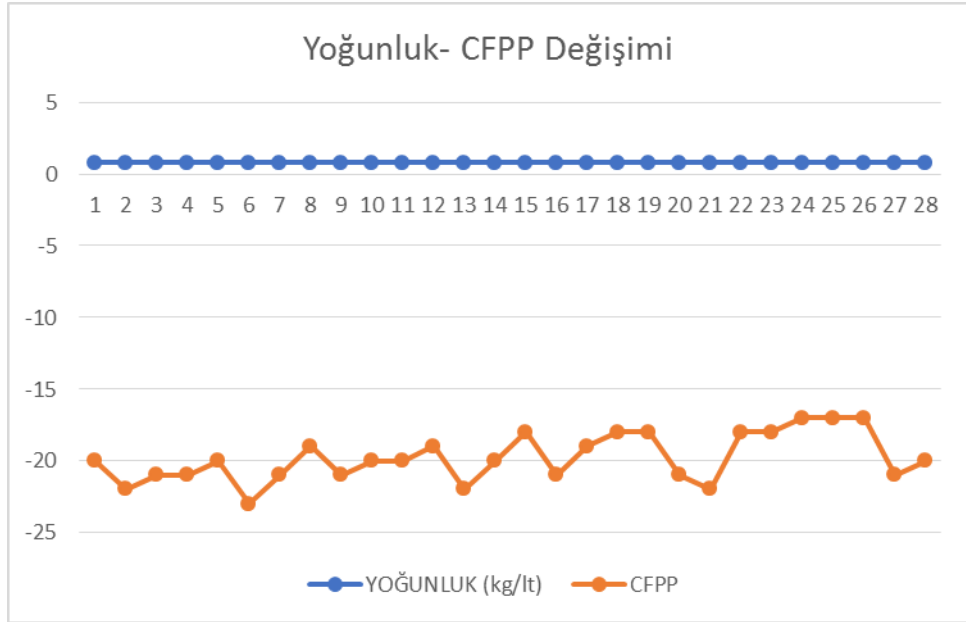
Şekil 4.3’te yakıtların soğuk akış özellikleri olan bulutlanma, soğukta filtre tıkanma, akma ve donma noktası değerleri gösterilmiştir. Deney sonuçlarına göre katkısız JP-8 yakıtının soğukta filtre tıkanma noktası -20 °C, bulutlanma noktası -23.3 °C, akma noktası -31.13 °C ve donma noktası ise -47 °C olarak ölçülmüştür. Grafiğe göre AF-6 (JP-8 + 3000 ppm TBHQ + 0.05 (%w) PMA katkılı yakıt) yakıtının soğukta filtre tıkanma, bulutlanma, akma ve donma noktası değerleri sırasıyla -23 °C, -26.15 °C, -34.265 °C ve -52 °C’dir. Bu değerlere göre AF-6 yakıtının en iyi soğuk akış özelliklerine sahip olduğu görülmektedir. AF-6 yakıtından sonra biyodizel karışimli yakıtlardan sırasıyla -22 °C ve -50 °C değerleri ile en iyi CFPP ve FP noktasına sahip yakıt AF-13 (B2 + 3000 ppm TBHQ + %0.05 PMA katkılı yakıt) yakıtı, -25.5 °C ve -33.55 °C değerleri ile en iyi CP ve PP noktasına sahip olan yakıt ise AF-21 (B3 + 3000 ppm TBHQ katkılı yakıt) yakıtıdır.



Şekil 4.3. Yakıt Karışımlarının Soğuk Akış Özelliklerinin Karşılaştırılması

4.4. Deney Yakıtlarının Yoğunluk ve Soğukta Filtre Tıkanma Noktası Değişimi

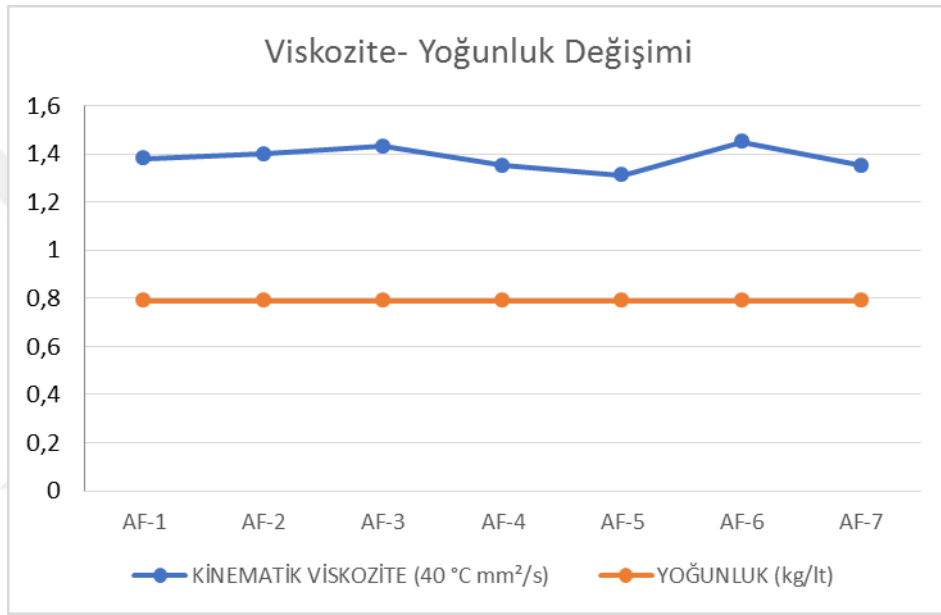
Şekil 4.4'te yakıtın yoğunluğuna bağlı olarak değişen soğukta filtre tıkanma noktasının değişimi gösterilmiştir. JP-8 yakıtının yoğunluğuna en yakın değerdeki -23 °C değeri ile AF-6 yakıtının en iyi soğukta filtre tıkanma noktası değerine sahip olduğu görülmüştür. Yoğunluk ve CFPP ilişkisine bakıldığında katkı maddelerinin etkisi net olarak gözükmemektedir. Yoğunluklar aşağı yukarı aynı kalmasına rağmen AF-6 ve AF-21 yakıt değerlerinin iyileştiği görülmektedir.



Şekil 4.4. Yoğunluk ve Soğukta Filtre Tıkanma Noktası Değişimi

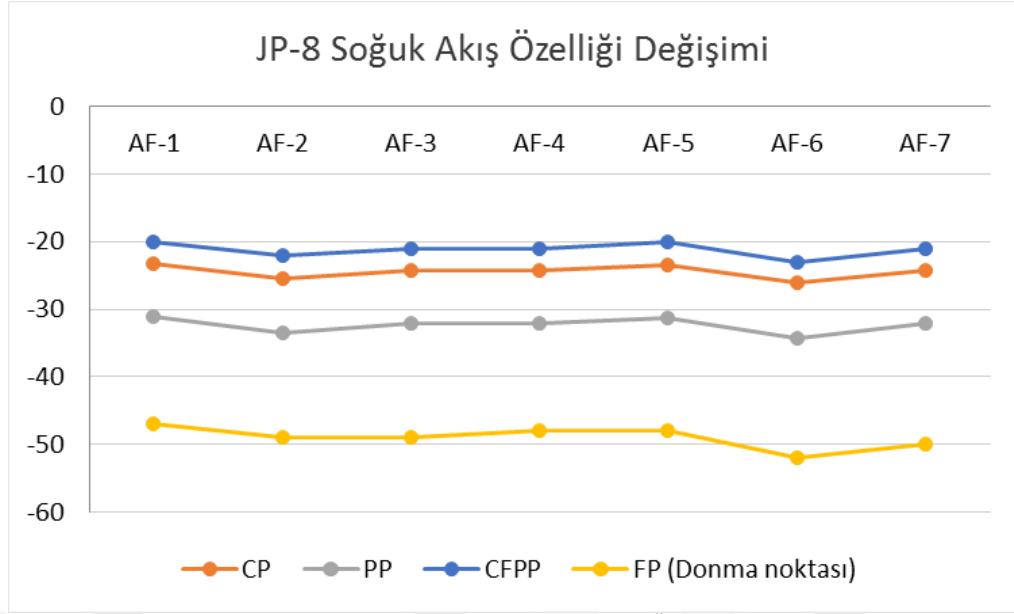
4.5. JP-8 Yakıtı ve Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin Değerlendirilmesi

JP-8 yakıt karışımlarının kinematik viskozite ve yoğunluk değişimi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. JP-8 yakıtının saf haldeki yoğunluğu 0.7897 kg/lt, kinematik viskozitesi ise 1,38 mm²/s dir. JP-8 yakıtına Pentanol katkısı ve bu katkının PMA katkısı ile birlikte ilave edilmesi ile kinematik viskozite ve yoğunluk değerleri arttırılırken, BHT katkısı ve bu katkının PMA katkısı ile birlikte ilave edilmesi ile azaltılmıştır. TBHQ katkısının ilavesi ile kinematik viskozite değeri azaltılırken, yoğunluk değeri arttırılmıştır. Bu katkının PMA ile birlikte ilave edilmesi ise kinematik viskozite arttırılırken, yoğunluk azaltılmıştır.



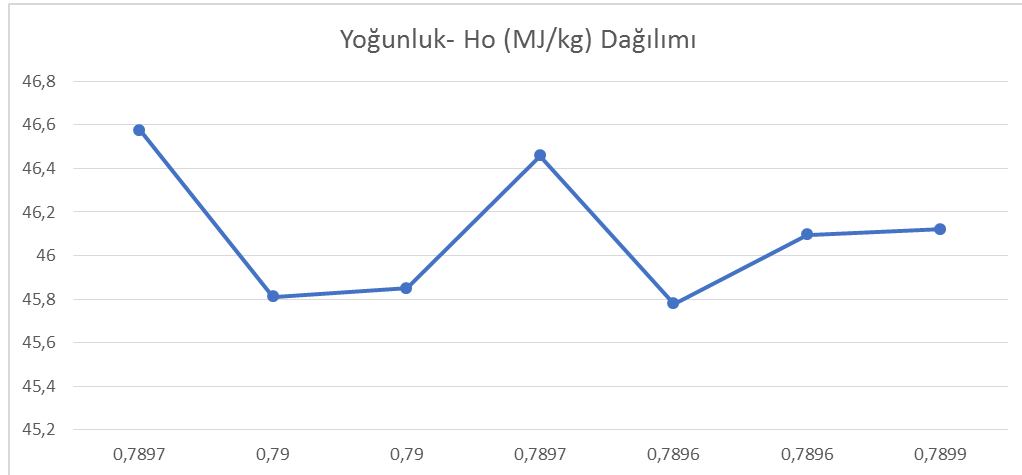
Şekil 4.5. JP-8 Yakıt Karışımlarının Viskozite Ve Yoğunluk Değişimi

JP-8 yakıt karışımlarının soğuk akış özelliklerinin değişimi Şekil 4.6'da gösterilmiştir. JP-8 yakıtının katkısız CFPP, CP, PP ve FP değerleri sırasıyla -20, -23.3, -31.13 ve -47 °C olarak ölçülmüştür. JP-8 yakıtına belirli oranlarda Pentanol, PMA, BHT ve TBHQ katkıları eklenerek bu katkı maddelerinin soğuk akış özelliklerine etkisi yapılan deneyler sonucunda incelenmiştir. Sonuç olarak AF-6 yakıtının yani JP-8 yakıtına 3000 ppm TBHQ ve hacimce %0.05 PMA katkılarının ilavesi ile hazırlanan yeni karışımın CFPP, CP, PP ve FP değerlerinin sırasıyla -23, -26.15, -34.265 ve -52 °C olduğu görülerek bu katkı maddelerinin soğuk akış özelliklerini geliştirmede en etkili olduğu belirlenmiştir. JP-8 yakıtına eklenen diğer bütün katkı maddeleri de yakıtın soğuk akış özelliklerinin geliştirilmesinde etkili olmuştur.



Şekil 4.6. JP-8 Yakıt Karışımlarının Soğuk Akış Özelliklerinin Değişimi

JP-8 yakıtı ve bu yakıtta eklenen karışımların ısı değerleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Grafiğe göre ısı değeri en yüksek olan yakıt JP-8 yakıtıdır. JP-8 yakıtının yoğunluğu ile aynı yoğunluk değerine sahip olan AF-4 (JP-8 + 500 ppm BHT + %0.05 PMA katkılı yakıt) yakıtının ısı değerinin de yüksek olduğu görülmüştür. Isı değeri en düşük olan yakıt ise AF-5 yakıtıdır. Verilere göre yoğunluk ile ısı değeri arasında, biyodizel ve katkı maddelerinin karışım oranlarına göre değişimler yaşanmıştır. JP-8 yakıt karışımlarına eklenen bütün katkı maddeleri ısı değeri azaltmıştır fakat bulunan sonuçlar standartlarda belirlenen değerler arasında kalmıştır.

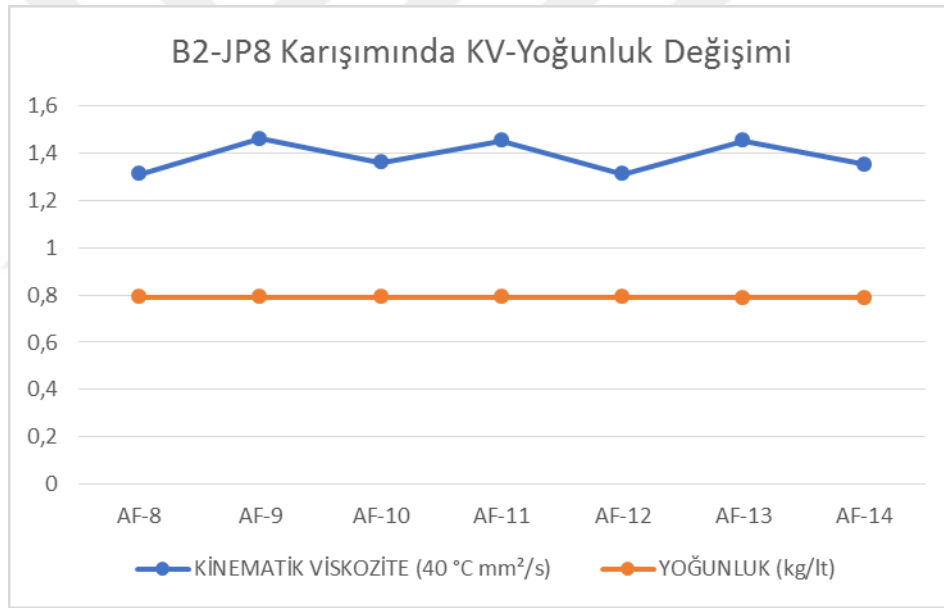


Şekil 4.7. JP-8 Yakıt Karışımlarının Yoğunluk Ve Isı Değer Değişimi

4.6. B2 Yakıtı ve Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin Değerlendirilmesi

B2 yakıt karışımlarının kinematik viskozite ve yoğunluk değişimi Şekil 4.8’de gösterilmiştir. B2 yakıtının katkısız yoğunluğu 0.7915 kg/lt, kinematik viskozitesi ise 1.31 mm²/s’dir. B2 yakıtına BHT katkısının eklenmesi ile kinematik viskozite değeri sabit kalırken hem Pentanol katkısı hem de Pentanol + PMA katkısı, hem TBHQ katkısı hem de TBHQ + PMA katkısı ve BHT+PMA katkısının ilave edilmesi ile kinematik viskozite değeri arttırılmıştır. B2 yakıtına Pentanol + PMA katkısı ve BHT katkılarının eklenmesi ile yoğunluk değerleri arttırılırken diğer karışımlarda yoğunluk değerleri azaltılmıştır.

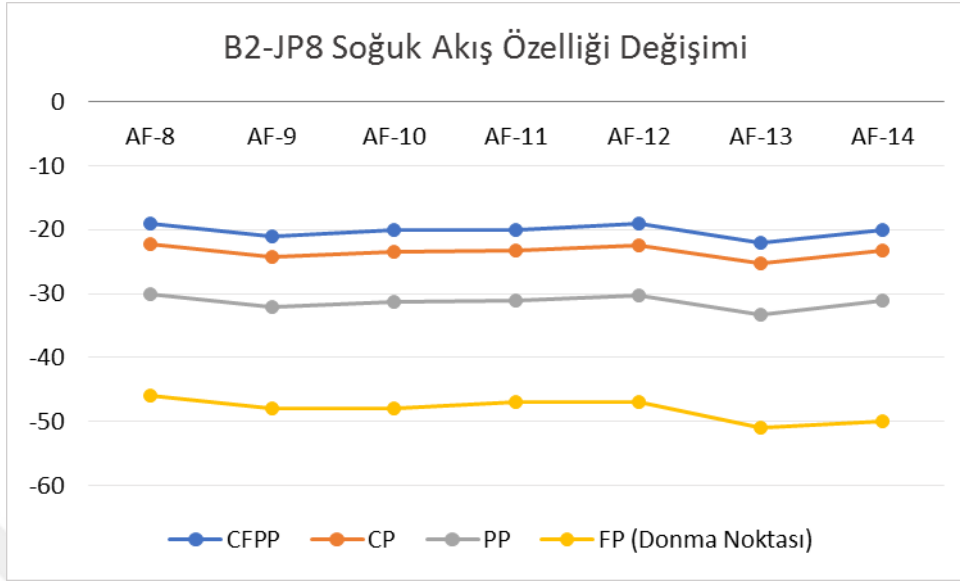
Biyodizel ve katkı maddelerinin karışım oranlarına göre yoğunluklar aşağı yukarı aynı kalırken, kinematik viskozite değerleri değişkenlik göstermiştir. AF-10 (B2 + 10 (%v) Pentanol katkılı yakıt) yakıtının viskozite değeri deneylerde kullanılan JP-8 yakıtının viskozite değerine en yakın değerde ölçülmüştür.



Şekil 4.8. B2 Yakıt Karışımlarının Kinematik Viskozite Ve Yoğunluk Değişimi

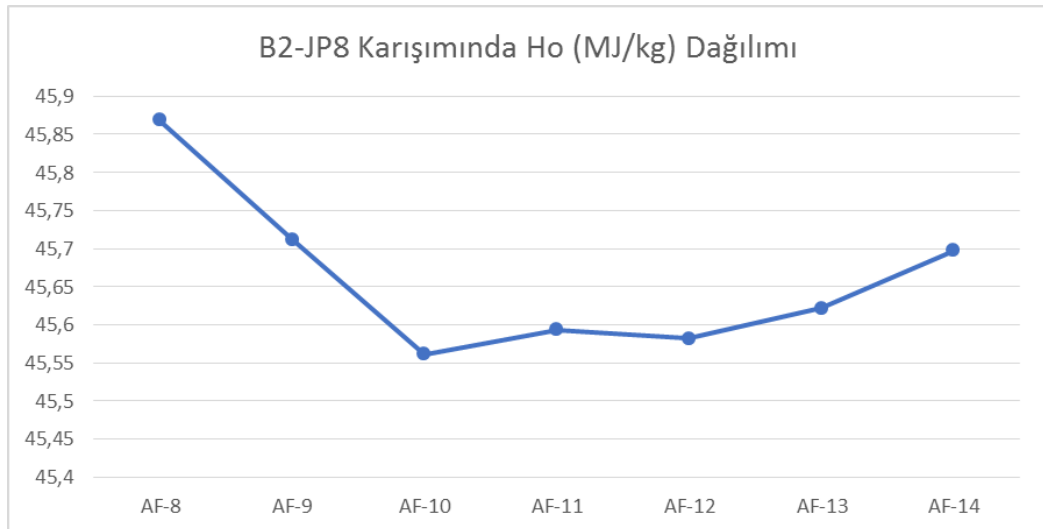
B2 yakıt karışımlarının soğuk akış özelliklerinin değişimi Şekil 4.9’da gösterilmiştir. B2 yakıtının katkısız CFPP, CP, PP ve FP değerleri sırasıyla -19, -22.35, -30.085 ve -46 °C olarak ölçülmüştür. B2 yakıtına belirli oranlarda Pentanol, PMA, BHT ve TBHQ katkıları eklenerek bu katkı maddelerinin soğuk akış özelliklerine etkisi yapılan deneyler sonucunda incelenmiştir. Sonuç olarak B2 yakıtına 3000 ppm TBHQ ve hacimce %0.05 PMA katkılarının ilavesi ile hazırlanan yeni karışımın CFPP, CP, PP ve FP değerlerinin sırasıyla -22, -25.2, -33.22 ve -51 °C olduğu görülerek bu katkı maddelerinin soğuk akış özelliklerini geliştirmede en etkili olduğu belirlenmiştir. B2

yakıtına eklenen diğer bütün katkı maddeleri de yakıtın soğuk akış özelliklerinin geliştirilmesinde etkili olmuştur.



Şekil 4.9. B2 Yakıt Karışımlarının Soğuk Akış Özelliklerinin Değişimi

B2 yakıt karışımların ısı değerleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Grafiğe göre ısı değeri en yüksek olan yakıt AF-8 yakıtıdır. Isıl değeri en düşük olan yakıtın ise AF-10 yakıtı olduğu görülmüştür. Biyodizel ve katkı maddelerinin karışım oranlarına göre ısı değeri değişkenlik göstermiştir. B2 yakıt karışımlarına eklenen bütün katkı maddeleri ısı değeri azaltmıştır fakat bulunan sonuçlar standartlarda belirlenen değerler arasında kalmıştır.

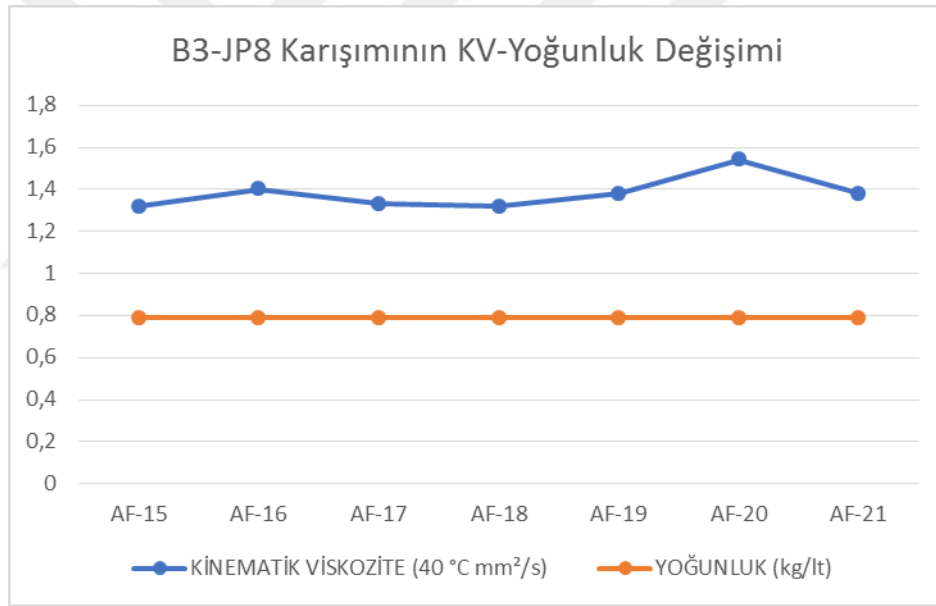


Şekil 4.10. B2 Yakıt Karışımlarının Isıl Değer Değişimi

4.7. B3 Yakıtı ve Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin Değerlendirilmesi

B3 yakıt karışımlarının kinematik viskozite ve yoğunluk değişimi Şekil 4.11’de gösterilmiştir. B3 yakıtının saf haldeki yoğunluğu 0.7893 kg/lt, kinematik viskozitesi ise 1,32 mm²/s’dir. B3 yakıtına BHT katkısının PMA ile birlikte eklenmesi ile kinematik viskozite değeri sabit kalırken, diğer bütün katkılar ile kinematik viskozite değeri arttırılmıştır. B3 yakıtına Pentanol katkısının PMA ile birlikte katılması ile yoğunluk değeri sabit kalırken, BHT ve BHT + PMA ve TBHQ katkısının ilave edilmesi ile yoğunluk değerleri arttırılmıştır. Pentanol ve TBHQ + PMA katkılarının ilavesi ise yoğunluk değerlerini azaltmıştır.

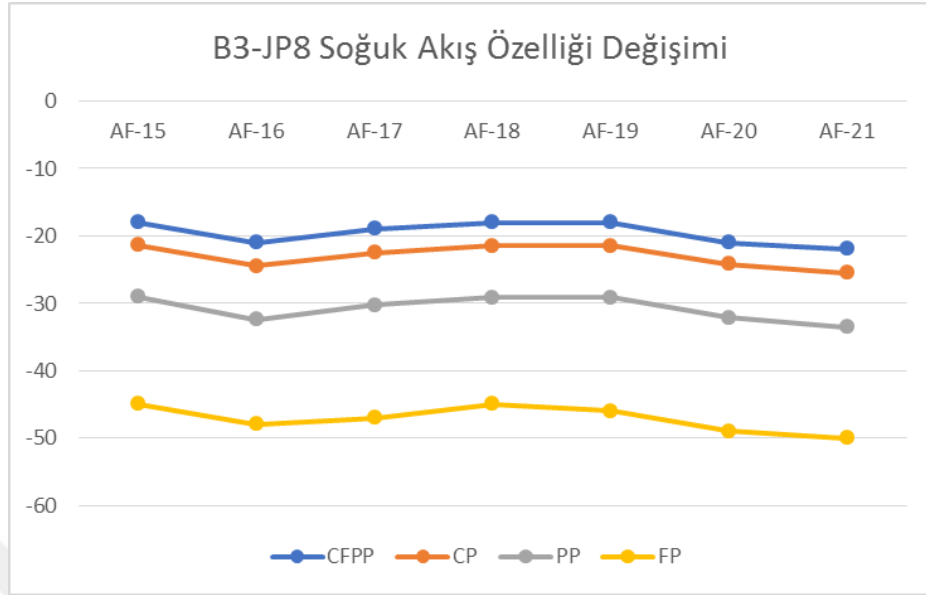
Biyodizel ve katkı maddelerinin karışım oranlarına göre yoğunluklar aşağı yukarı aynı kalırken, kinematik viskozite değerleri değişkenlik göstermiştir. AF-19 ve AF-21 yakıtlarının viskozite değerleri deneylerde kullanılan JP-8 yakıtının viskozite değeri ile aynı değerde ölçülmüştür.



Şekil 4.11. B3 Yakıt Karışımlarının Kinematik Viskozite Ve Yoğunluk Değişimi

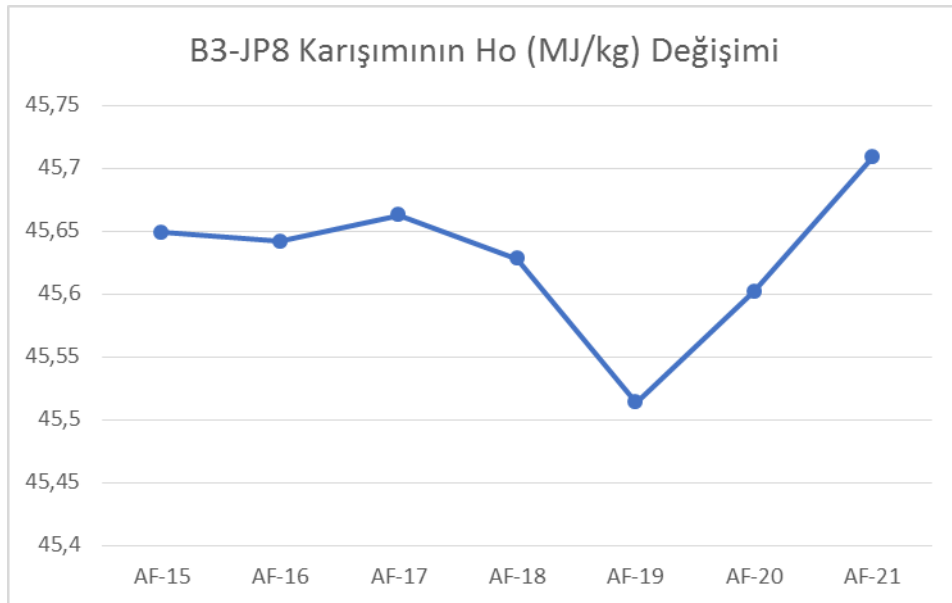
B3 yakıt karışımlarının soğuk akış özelliklerinin değişimi Şekil 4.12’de gösterilmiştir. B3 yakıtının katkısız CFPP, CP, PP ve FP değerleri sırasıyla -18, -21.4, -29.04 ve -45 °C olarak ölçülmüştür. B3 yakıtına belirli oranlarda Pentanol, PMA, BHT ve TBHQ katkıları eklenerek bu katkı maddelerinin soğuk akış özelliklerine etkisi yapılan deneyler sonucunda incelenmiştir. Sonuç olarak B3 yakıtına 3000 ppm TBHQ katkısının ilavesi ile hazırlanan yeni karışımın CFPP, CP, PP ve FP değerlerinin sırasıyla -22, -25.5, -33.55 ve -50 °C olduğu görülmüş ve bu katkı maddelerinin soğuk akış özelliklerini geliştirmede en etkili olduğu belirlenmiştir. B3 yakıtına eklenen diğer

bütün katkı maddeleri de yakıtın soğuk akış özelliklerinin geliştirilmesinde etkili olmuştur.



Şekil 4.12. B3 Yakıt Karışımlarının Soğuk Akış Özelliklerinin Değişimi

B3 yakıt karışımların ısı değerleri Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Grafiğe göre ısı değeri en yüksek olan yakıt AF-21 yakıtıdır. Isıl değeri en düşük olan yakıtın ise AF-19 (B3 + 500 ppm BHT katkılı yakıt) yakıtı olduğu görülmüştür. Biyodizel ve katkı maddelerinin karışım oranlarına göre ısı değeri değişkenlik göstermiştir. B3 yakıt karışımlarına TBHQ katkısı hariç eklenen bütün katkı maddeleri ısı değeri azaltmıştır fakat bulunan sonuçlar standartlarda belirlenen sınırlar arasında kalmıştır.

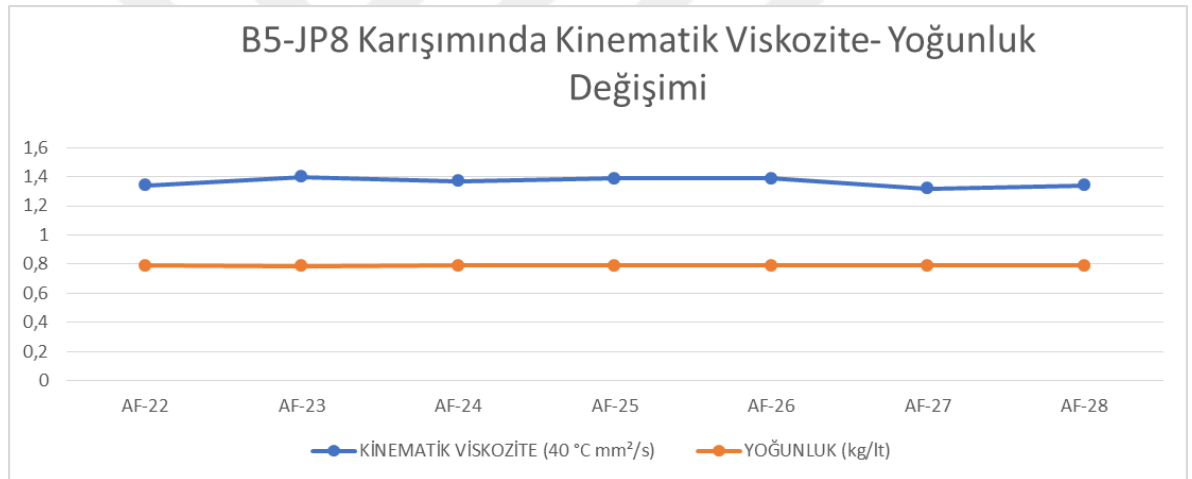


Şekil 4.13. B3 Yakıt Karışımlarının Isıl Değer Değişimi

4.8. B5 Yakıtı ve Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin Değerlendirilmesi

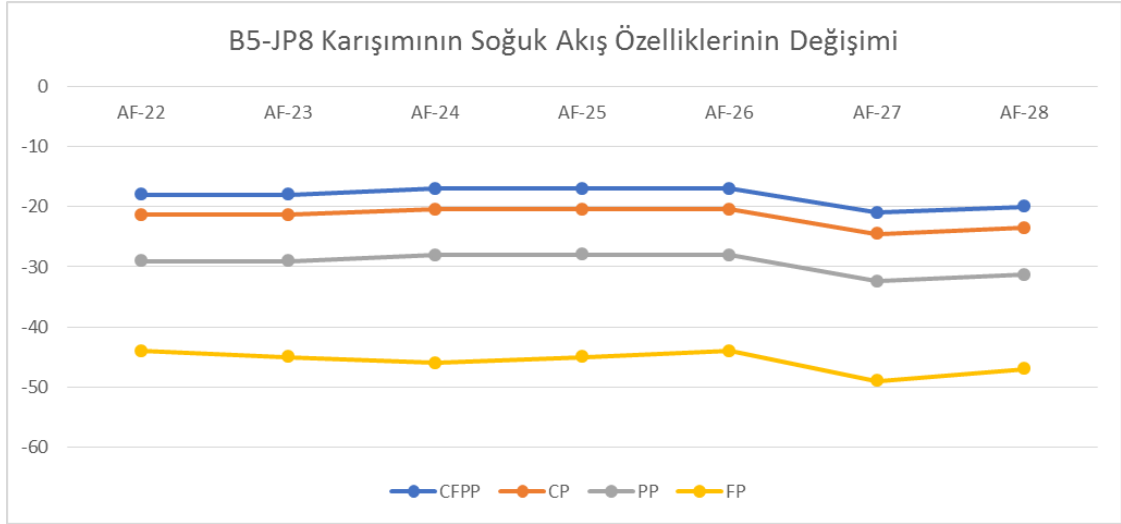
B5 yakıt karışımlarının kinematik viskozite ve yoğunluk değişimi Şekil 4.14'te gösterilmiştir. B5 yakıtının katkısız yoğunluğu 0.7905 kg/lt, kinematik viskozitesi ise 1,34 mm²/s'dir. B5 yakıtına Pentanol, BHT ve BHT + PMA katkılarının ilave edilmesi ile yoğunluk ve kinematik viskozite değerleri arttırılmıştır. Pentanol katkısının PMA ile birlikte ilave edilmesi ile yoğunluk değeri azaltılırken, kinematik viskozite değeri arttırılmıştır. TBHQ katkısının eklenmesi ile yoğunluk değeri arttırılırken, kinematik viskozite değeri sabit tutulmuştur. TBHQ katkısının PMA ile birlikte ilave edilmesi ile yoğunluk değeri arttırılırken, kinematik viskozite değeri azaltılmıştır.

Biyodizel ve katkı maddelerinin karışım oranlarına göre yoğunluklar aşağı yukarı aynı kalırken, kinematik viskozite değerleri değişkenlik göstermiştir. AF-24, AF-25 ve AF-26 yakıtlarının viskozite değeri deneylerde kullanılan JP-8 yakıtının viskozite değerine en yakın değerde ölçülmüştür.



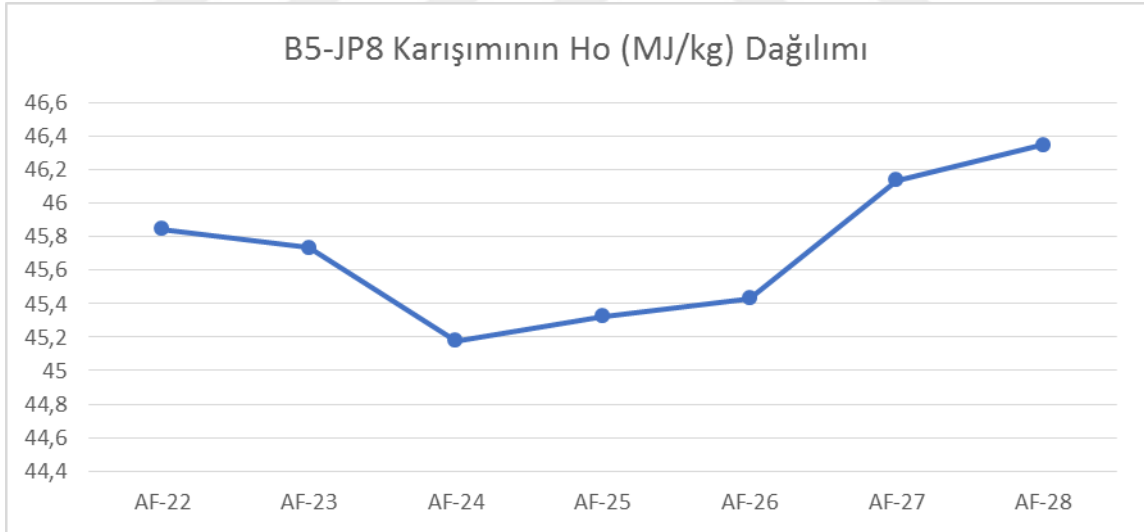
Şekil 4.14. B5 Yakıt Karışımlarının Kinematik Viskozite Ve Yoğunluk Değişimi

B5 yakıt karışımlarının soğuk akış özelliklerinin değişimi Şekil 4.15'te gösterilmiştir. B5 yakıtının katkısız CFPP, CP, PP ve FP değerleri sırasıyla -18, -21.4, -29.04 ve -44 °C olarak ölçülmüştür. B5 yakıtına belirli oranlarda Pentanol, PMA, BHT ve TBHQ katkıları eklenerek bu katkı maddelerinin soğuk akış özelliklerine etkisi yapılan deneyler sonucunda incelenmiştir. Sonuç olarak B5 yakıtına 3000 ppm TBHQ ve hacimce %0.05 PMA katkılarının ilavesi ile hazırlanan yeni karışımın CFPP, CP, PP ve FP değerlerinin sırasıyla -21, -24.5, -32.45 ve -49 °C olduğu görülerek bu katkı maddelerinin soğuk akış özelliklerini geliştirmede en etkili olduğu belirlenmiştir. B5 yakıtına eklenen diğer bütün katkı maddeleri de yakıtın soğuk akış özelliklerinin geliştirilmesinde etkili olmuştur.



Şekil 4.15. B5 Yakıt Karışımlarının Soğuk Akış Özelliklerinin Değişimi

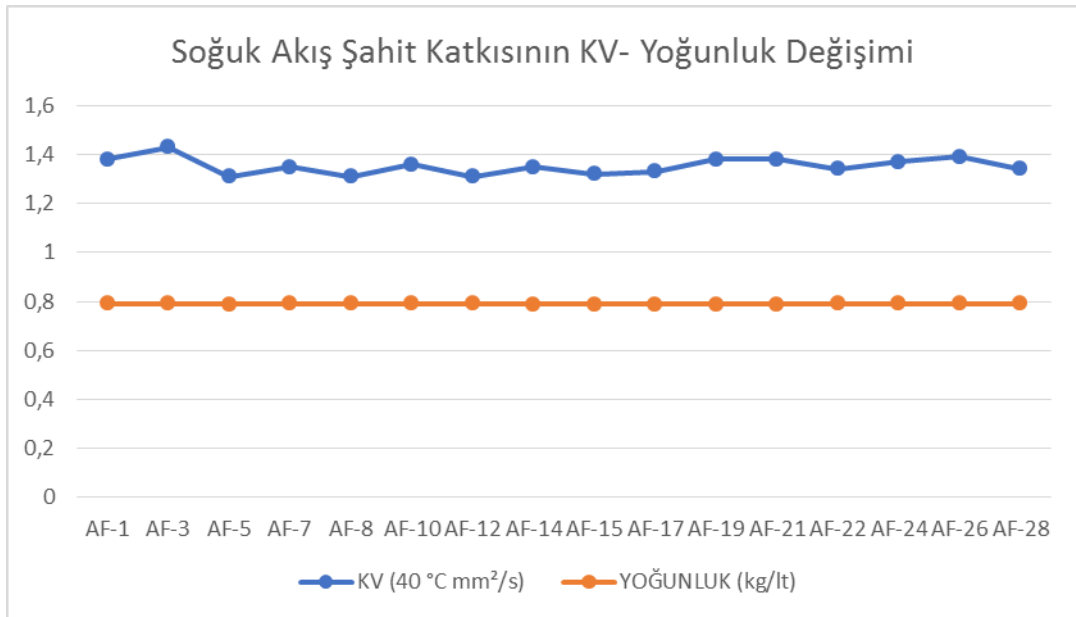
B5 yakıt karışımların ısı değerleri Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Grafiğe göre ısı değeri en yüksek olan yakıt AF-28 yakıtıdır. Isıl değeri en düşük olan yakıtın ise AF-24 yakıtı olduğu görülmüştür. Biyodizel ve katkı maddelerinin karışım oranlarına göre ısı değeri değişkenlik göstermiştir. B5 yakıt karışımlarına TBHQ ve TBHQ + PMA katkısı hariç eklenen bütün katkı maddeleri ısı değeri azaltmıştır fakat bulunan sonuçlar standartlarda belirlenen değerler arasında kalmıştır.



Şekil 4.16. B5 Yakıt Karışımlarının Isıl Değer Değişimi

4.9. Şahit Yakıt Karışımlarının Özelliklerinin Değerlendirilmesi

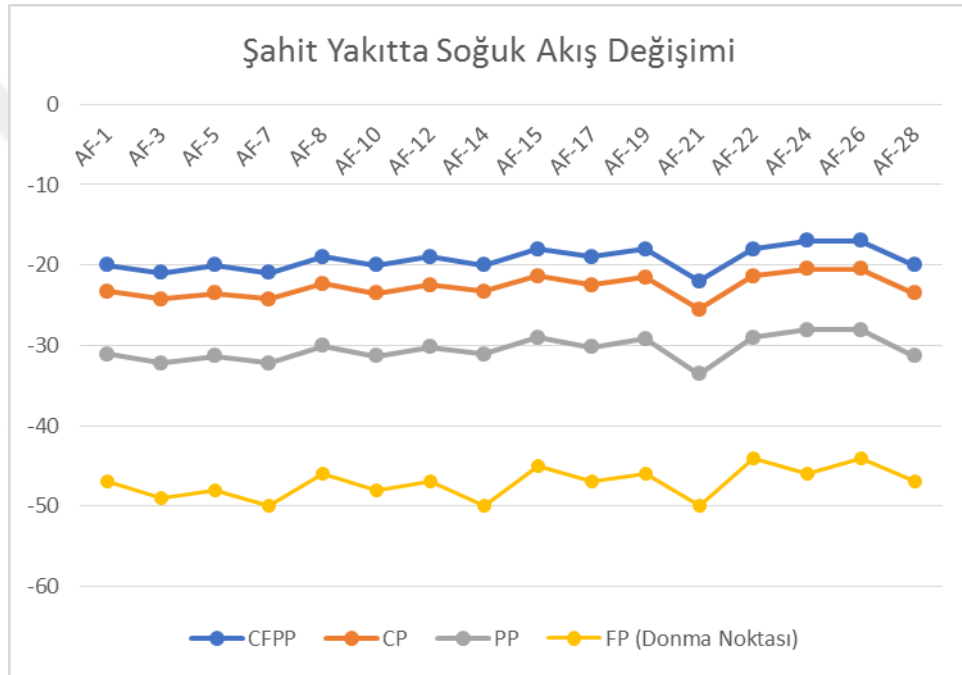
Şahit yakıtların kinematik viskozite ve yoğunluk değişimi Şekil 4.17’de gösterilmiştir. JP-8 yakıtına ağırlıkça %10 Pentanol katkısının ilave edilmesi hem kinematik viskozite hem de yoğunluğu arttırmış, 500 ppm BHT katkısının ilave edilmesi hem kinematik viskozite hem de yoğunluğu azaltmış, 3000 ppm TBHQ katkısının ilave edilmesi ise kinematik viskoziteyi azaltırken yoğunluğu arttırmıştır. B2 yakıtına ağırlıkça %10 Pentanol katkısının ilave edilmesi kinematik viskoziteyi arttırırken, yoğunluğu azaltmış, 500 ppm BHT katkısının ilave edilmesi kinematik viskoziteyi sabit tutarken yoğunluğu arttırmış, 3000 ppm TBHQ katkısının ilave edilmesi ise kinematik viskoziteyi arttırırken, yoğunluğu azaltmıştır. B3 yakıtına ağırlıkça %10 Pentanol katkısının ilave edilmesi kinematik viskoziteyi arttırırken, yoğunluğu azaltmış, 500 ppm BHT ve 3000 ppm TBHQ katkıları ayrı ayrı ilave edildiğinde ise kinematik viskozite ve yoğunluk değerleri artmıştır. B5 yakıtına ağırlıkça %10 Pentanol ve 500 ppm BHT katkılarının ayrı ayrı ilave edilmesi kinematik viskoziteyi ve yoğunluğu arttırmış, 3000 ppm TBHQ katkısının ilave edilmesi ise kinematik viskoziteyi sabit tutarken yoğunluğu arttırmıştır. Genel olarak özetleyecek olursak yakıt ve katkı maddelerinin karışım oranlarına göre yoğunluk değerlerinde çok fazla değişim gözlemlenmezken, kinematik viskozite değerleri değişkenlik göstermiştir. Bununla birlikte AF-19 ve AF-21 yakıtlarının viskozite değeri deneylerde kullanılan JP-8 yakıtının viskozite değeri ile aynı değerdedir.



Şekil 4.17. Şahit Yakıtların Kinematik Viskozite ve Yoğunluk Değişimi

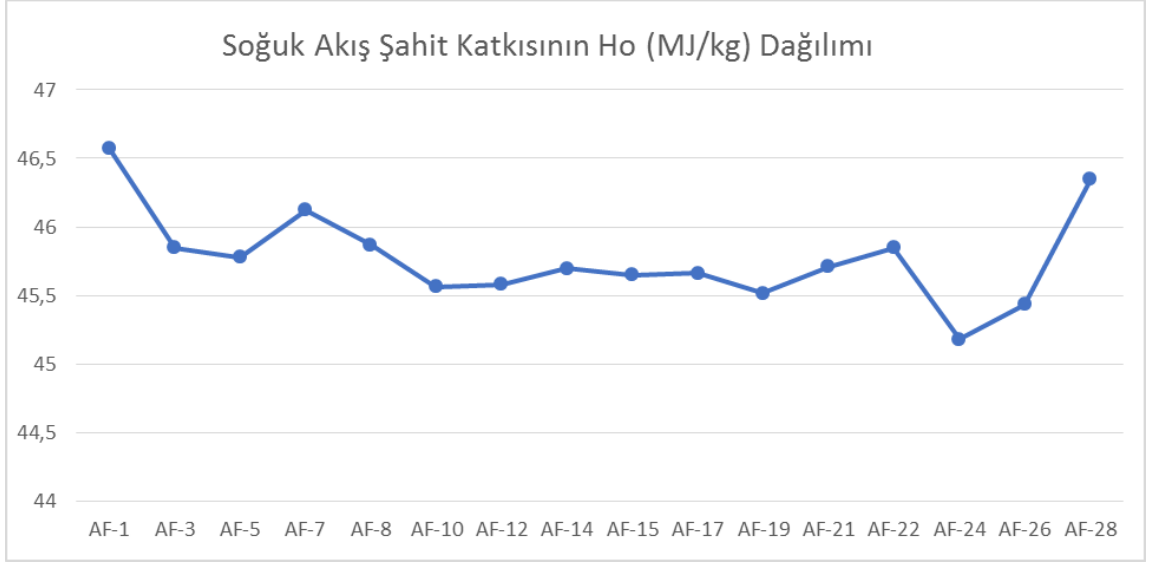
Şahit yakıtların soğuk akış değerleri Şekil 4.18’de gösterilmiştir.

Şahit yakıtlardan en iyi soğuk akış özelliklerine sahip olan yakıt CFPP, CP, PP ve FP değerleri sırasıyla -22 °C, -25.5 °C, -33.55 °C, -50 °C olarak ölçülen AF-21 yakıtıdır, en kötü CFPP, CP, PP ve FP değerlerine sahip olan yakıt ise sırasıyla -17 °C, -20.5 °C, -28.05 °C ve -44 °C olarak ölçülen AF-26 (B5 + 500 ppm BHT katkılı yakıt) yakıtıdır. Tüm değerler için yakıt karışımları, 3000 ppm TBHQ katkısı ile birlikte kullanıldığında soğuk akış özelliklerini iyileştirmede en iyi etkiyi vermiştir, bu iyileşmeyi sırasıyla ağırlıkça %10 Pentanol ve daha sonra da 500 ppm BHT katkılı karışımlar takip etmektedir. JP-8 yakıtı yerine alternatif olarak kullanabilecek en iyi yakıtlar ise AF-10, AF-14, AF-21 ve AF-28 numaralı yakıtlardır.



Şekil 4.18. Şahit Yakıt Katkısının Soğuk Akış Özelliklerine Etkisi

Şekil 4.19’da şahit yakıtların ısı değer dağılımı gösterilmiştir. Deney sonuçlarına göre şahit katkılı yakıtlardan ısı değeri en yüksek olan yakıt AF-28 yakıtıdır, ısı değeri en düşük olan yakıt ise AF-24 yakıtıdır. JP-8 ve B2 yakıtlarına ağırlıkça %10 Pentanol, 500 ppm BHT ve 3000 ppm TBHQ katkı maddelerinin ilave edilmesi ile ısı değeri azalırken, B3 yakıtına ayrı ayrı ağırlıkça %10 Pentanol ve 3000 ppm TBHQ katkıların ilave edilmesi ısı değeri artırmış 500 ppm BHT katkısının ilave edilmesi ise ısı değeri azaltmıştır. B5 yakıtına ise 3000 ppm TBHQ katkısı ilave edildiği zaman ısı değeri artarken, ayrı ayrı ağırlıkça %10 Pentanol ve 500 ppm BHT katkıları ilave edildiği zaman ısı değeri azalmıştır. Bazı katkı maddelerinin ilavesi ısı değeri azaltmış olmasına rağmen bulunan değerler standartlara uygundur.

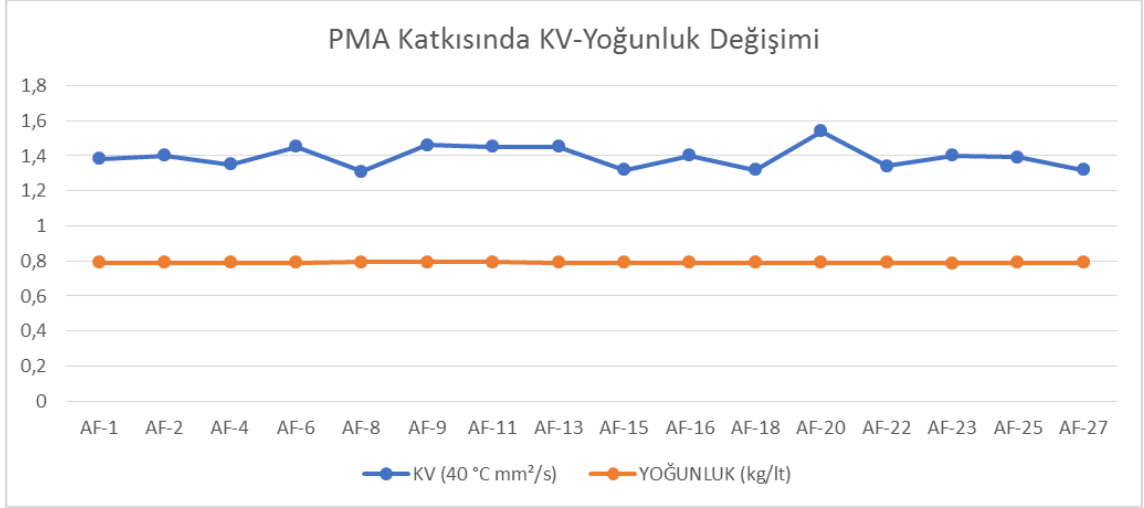


Şekil 4.19. Şahit Yakıt Katkısının Isıl Değer Değişimi

4.10. PMA Katkısının Yakıt Karışımlarına Etkisi

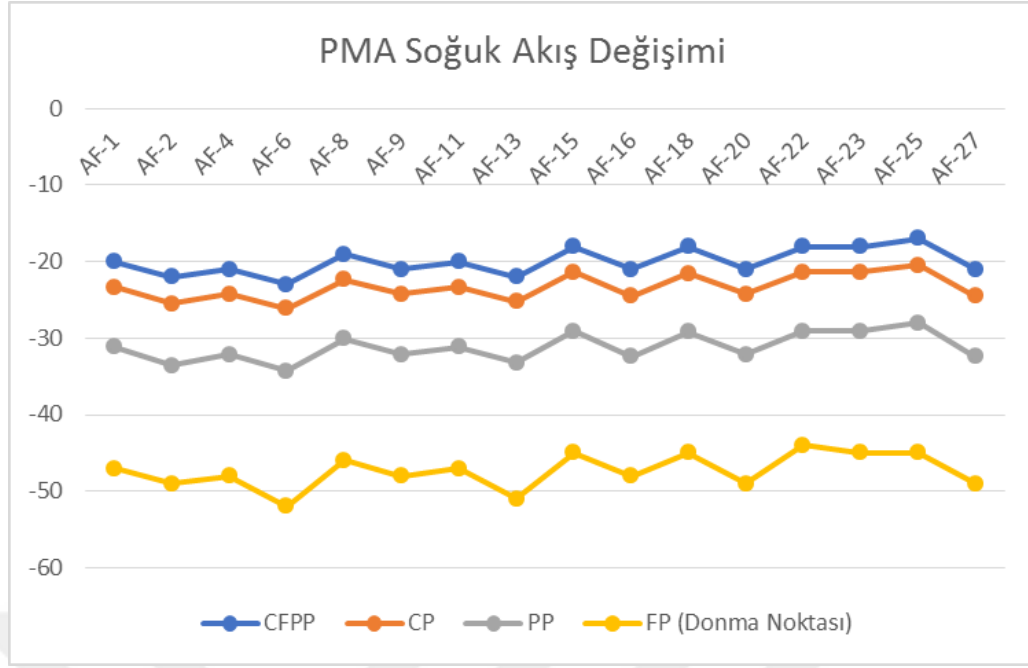
PMA katkılı yakıt karışımlarının kinematik viskozite ve yoğunluk değişimi Şekil 4.20’de gösterilmiştir. JP-8 yakıtına PMA katkısının Pentanol ile birlikte ilave edilmesiyle hem kinematik viskozite hem de yoğunluk artırılmış, BHT katkısı ile birlikte ilave edilmesi ile kinematik viskozite azaltılırken, yoğunluk sabit kalmış, TBHQ katkısı ile birlikte ilave edilmesi ile kinematik viskozite artırılırken, yoğunluk değeri azaltılmıştır. B2 yakıtına PMA katkısının Pentanol, BHT ve TBHQ katkıları ayrı ayrı ile ilave edilmesiyle kinematik viskozite artırılırken, Pentanol ile birlikte ilave edilmesi ile yoğunluk artırılırken, BHT ve TBHQ ile ilave edilmesiyle yoğunluk azaltılmıştır. B3 yakıtına PMA katkısının Pentanol ve TBHQ ile ilave edilmesiyle kinematik viskozite artırılırken, BHT ile birlikte ilave edilmesiyle sabit kalmıştır. PMA katkısının Pentanol, BHT ve TBHQ ile ilave edilmesiyle sırasıyla yoğunluk değeri sabit kalmış, artırılmış ve azaltılmıştır. B5 yakıtına PMA katkısının Pentanol ve BHT ile birlikte ilave edilmesiyle kinematik viskozite değeri artırılırken, sırasıyla yoğunluk değerleri artırılmış ve azaltılmıştır. TBHQ katkısı ile birlikte ilave edilmesiyle ise kinematik viskozite azaltılırken, yoğunluk değeri artırılmıştır.

Genel olarak özetleyecek olursak yakıt ve katkı maddelerinin karışım oranlarına göre yoğunluk değerlerinde çok fazla değişim gözlemlenmezken, kinematik viskozite değerleri değişkenlik göstermiştir. Bununla birlikte AF-25 yakıtının viskozite değeri deneylerde kullanılan JP-8 yakıtının viskozite değerine en yakın değerde ölçülmüştür.



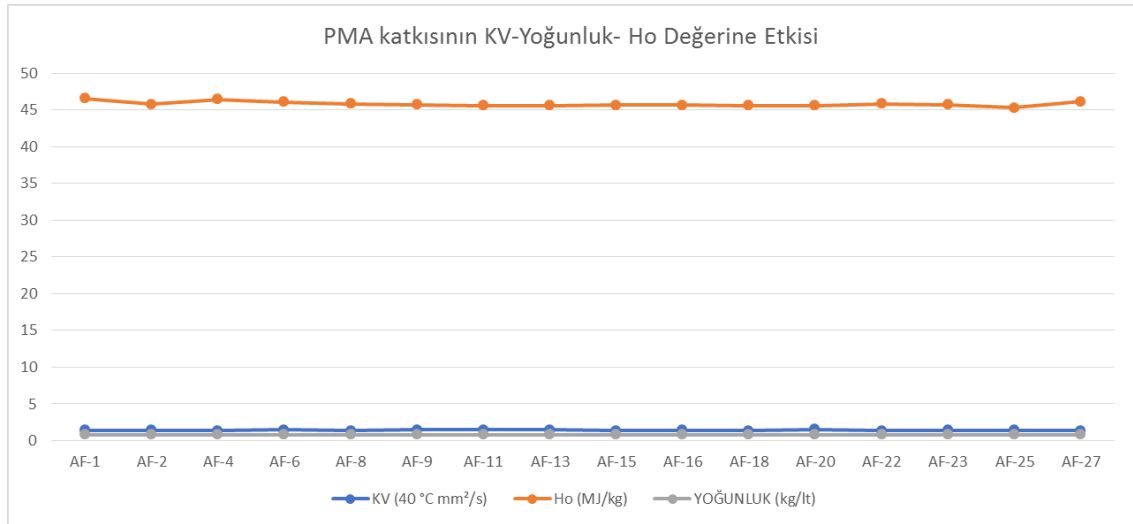
Şekil 4.20. PMA Katkısında Kinematik Viskozite Ve Yoğunluk Değişimi

Deney yakıtlarına PMA katkısının ilave edilmesiyle bulunan soğuk akış değerleri Şekil 4.21’de gösterilmiştir. PMA katkısı ile tüm katkısız yakıtların, soğukta filtre tıkanma noktası, bulutlanma noktası ve akma noktası değeri yaklaşık $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, donma noktası değeri ise yaklaşık $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ düşürülmüştür. PMA katkılı yakıtlardan en iyi soğuk akış özelliklerine sahip olan yakıt CFPP, CP, PP ve FP değerleri sırasıyla $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-26.15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-34.265\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülen AF-6 yakıtıdır. PMA katkılı yakıtlardan en kötü CFPP, CP, PP ve FP değerlerine sahip olan yakıt sırasıyla $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20.45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-27.995\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülen AF-25 (B5 + 500 ppm BHT + %0.05 PMA katkılı yakıt) yakıtıdır. Tüm değerler için PMA katkısı TBHQ katkısı ile birlikte kullanıldığında soğuk akış özelliklerini iyileştirmede en iyi etkiyi vermiştir, bu iyileşmeyi sırasıyla PMA + Pentanol ve daha sonra da PMA + BHT karışımları takip etmektedir. JP-8 yakıtı yerine alternatif olarak kullanabilecek en iyi PMA katkılı yakıtlar ise AF-9, AF-11, AF-13, AF-16, AF-20 ve AF-27 numaralı yakıtlardır.



Şekil 4.21. PMA Katkısının Soğuk Akış Özelliklerine Etkisi

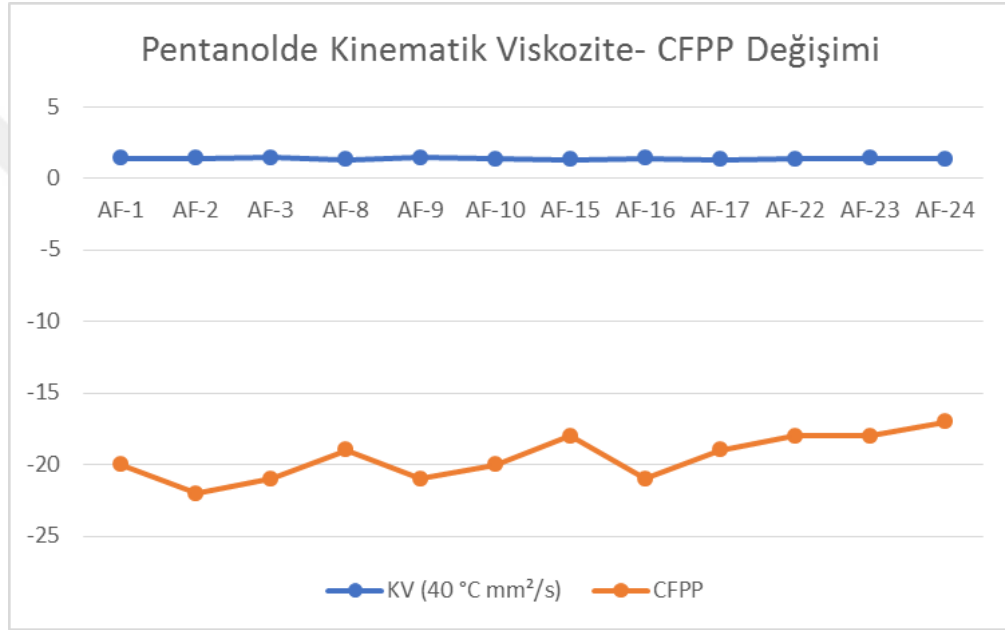
PMA katkısının yakıt karışımlarının viskozite, yoğunluk ve ısıl değerlerine etkisi Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Grafiğe göre ısıl değeri en yüksek olan yakıt AF-1 yakıtıdır, bu yakıtı AF-4 ve AF-6 yakıtlarından sonra biyodizel karışımı B5 yakıtına %0.05 PMA katkısının 3000 ppm TBHQ katkısı ile birlikte hazırlanarak ilave edildiği AF-27 yakıtı takip etmektedir. PMA katkısının viskozite - yoğunluk - ısıl değerlerini stabil hale getirdiği görülmektedir.



Şekil 4.22. PMA Katkısının Kinematik Viskozite Yoğunluk Ve Isıl Değere Etkisi

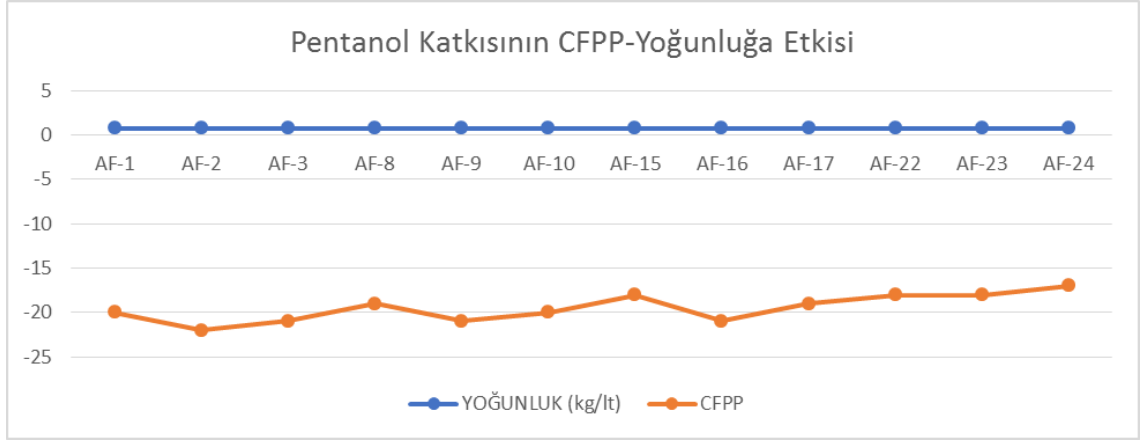
4.11. Pentanol Katkısının Yakıt Karışımlarına Etkisi

Pentanol katkısının yakıt karışımlarına ilave edilmesiyle kinematik viskozite ve CFPP değişimi grafiği Şekil 4.23'te gösterilmiştir. JP-8, B2 ve B3 yakıtlarına Pentanol ve Pentanol + PMA katkılarının ilave edilmesiyle kinematik viskoziteler artarken CFPP değerleri azalmıştır. Pentanol katkısının B5 yakıtına ilave edilmesiyle hem kinematik viskozite hem de CFPP değerleri arttırılırken, PMA katkısı ile birlikte ilave edilmesiyle kinematik viskozite arttırılırken, CFPP değeri sabit kalmıştır. Tüm yakıt karışımlarına Pentanol katkısının PMA katkısı ile birlikte ilave edilmesi CFPP değerlerini iyileştirmede daha etkili olmuştur.



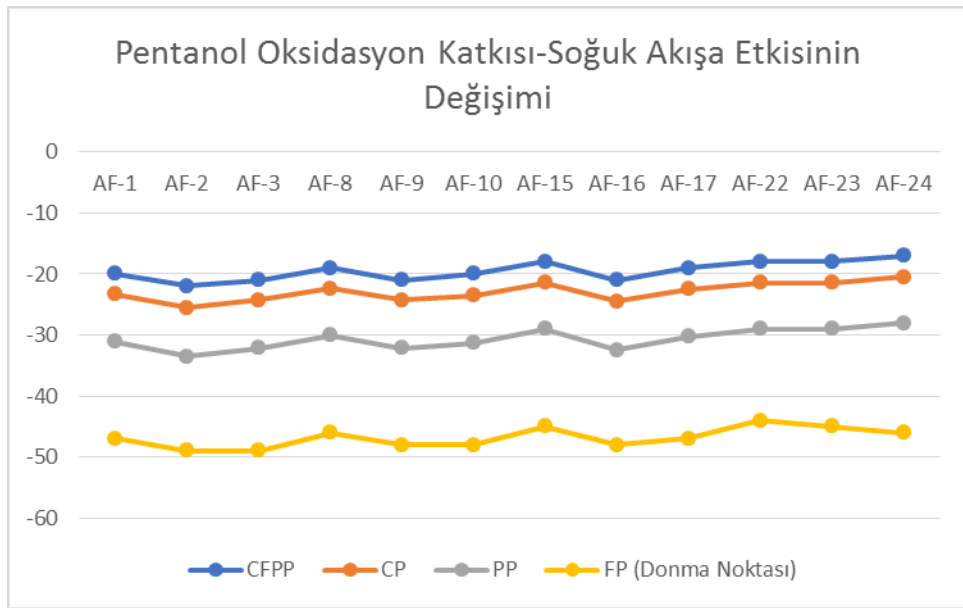
Şekil 4.23. Pentanol Katkısında Kinematik Viskozite Ve CFPP Değişimi

Pentanol katkısının yakıt karışımlarına ilave edilmesinin CFPP ve yoğunluğa etkisi Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Pentanol ve Pentanol + PMA katkılarının JP-8 yakıtına eklenmesiyle yoğunluk değerleri arttırılırken CFPP değerleri azaltılmıştır. B2 yakıtına Pentanol katkısının ilavesi ile CFPP ve yoğunluk değerleri azaltılırken, Pentanol + PMA katkısının ilavesi ile yoğunluk değeri arttırılmış, CFPP değeri azaltılmıştır. B3 yakıtına Pentanol katkısının ilavesi ile CFPP ve yoğunluk değerleri azaltılırken, Pentanol + PMA katkısının ilavesi ile yoğunluk değeri sabit kalmış, CFPP değeri ise azaltılmıştır. B5 yakıtına Pentanol katkısının ilavesi ile hem yoğunluk hem de CFPP değerleri arttırılırken, PMA katkısı ile birlikte eklendiği zaman ise yoğunluk değeri azaltılırken, CFPP değeri sabit kalmıştır. Yoğunluk ve CFPP ilişkisine bakıldığında katkı maddelerinin etkisi net olarak gözükmemektedir. Özetle yoğunluklar aşağı yukarı aynı kalırken, CFPP değerlerinin 1 ila 2 °C iyileştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.24. Pentanol Katkısının Soğukta Filtre Tıkanma Noktası Ve Yoğunluğa Etkisi

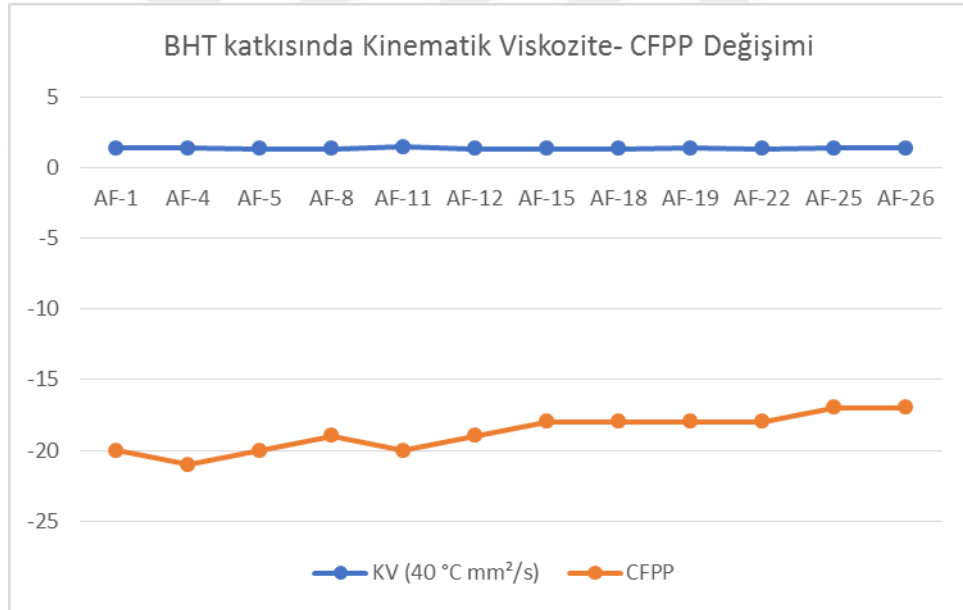
Deney yakıtlarına Pentanol katkısının ilave edilmesiyle bulunan soğuk akış değerleri Şekil 4.25'te gösterilmiştir. Pentanol katkısı ile tüm yakıt karışımlarının soğukta filtre tıkanma noktası, bulutlanma noktası, akma noktası ve donma noktası değeri yaklaşık -2 °C düşürülmüştür. Pentanol katkılı yakıtlardan en iyi soğuk akış özelliklerine sahip olan yakıt CFPP, CP, PP ve FP değerleri sırasıyla -22 °C, -25.5 °C, -33.55 °C, -49 °C olarak ölçülen AF-2 (JP-8 + % 10 Pentanol + % 0.05 PMA katkılı yakıt) yakıtıdır. Pentanol katkılı yakıtlardan en kötü CFPP, CP, PP ve FP değerlerine sahip olan yakıt sırasıyla -17 °C, -20.5 °C, -28.05 ve -44 °C olarak ölçülen AF-24 yakıtıdır. Tüm değerler için Pentanol katkısı PMA katkısı ile birlikte kullanıldığında soğuk akış özelliklerini iyileştirmede en iyi etkiyi vermiştir. JP-8 yakıtı yerine alternatif olarak kullanabilecek en iyi Pentanol katkılı yakıtlar ise AF-9, AF-10 ve AF-16 numaralı yakıtlardır.



Şekil 4.25. Pentanol Katkısının Soğuk Akış Özelliklerine Etkisi

4.12. BHT Katkısının Yakıt Karışımlarına Etkisi

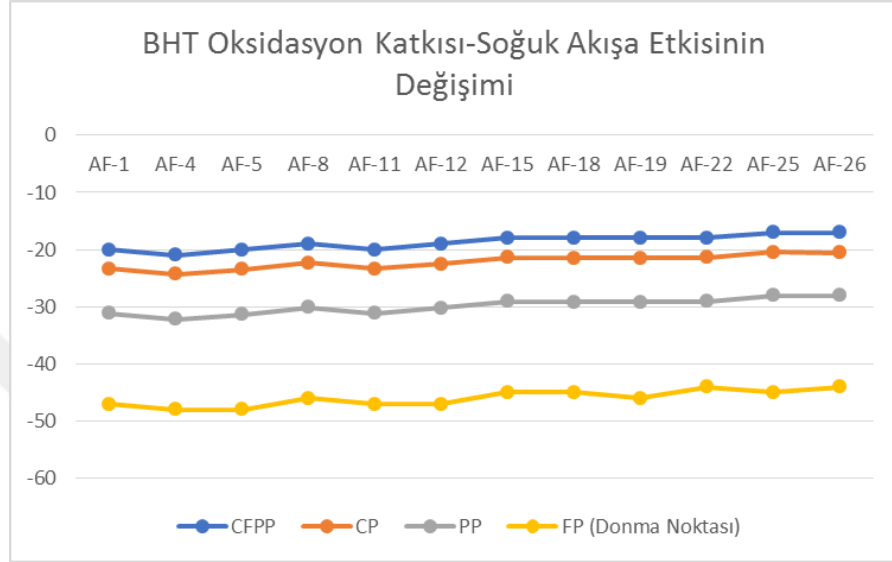
BHT katkısının yakıt karışımlarına ilave edilmesiyle kinematik viskozite ve CFPP değişimi grafiği Şekil 4.26'da gösterilmiştir. BHT katkısının JP-8 yakıtına ilavesi ile kinematik viskozite değeri azaltılırken CFPP değeri sabit kalmış, PMA katkısı ile birlikte ilave edilmesiyle hem kinematik viskozite hem de CFPP değerleri azaltılmıştır. BHT katkısının B2 yakıtına ilavesi ile hem kinematik viskozite hem de CFPP değeri sabit kalırken, PMA katkısı ile birlikte ilave edilmesiyle kinematik viskozite değeri arttırılırken CFPP değeri azaltılmıştır. BHT katkısının B3 yakıtına ilavesi ile kinematik viskozite arttırılırken, CFPP değeri ise sabit kalmış, PMA katkısı ile birlikte ilave edilmesiyle hem kinematik viskozite hem de CFPP değerleri sabit kalmıştır. BHT katkısının B5 yakıtına hem tek başına hem de PMA katkısı ile birlikte ilave edilmesiyle hem kinematik viskozite hem de CFPP değerleri arttırılmıştır. BHT katkısının genel olarak yakıt karışımlarına PMA katkısı ile birlikte eklenmesi yakıt özellikleri için daha iyi bir etki yaratmıştır.



Şekil 4.26. BHT Katkısının Kinematik Viskozite ve Soğukta Filtre Tıkanma Noktasına Etkisi

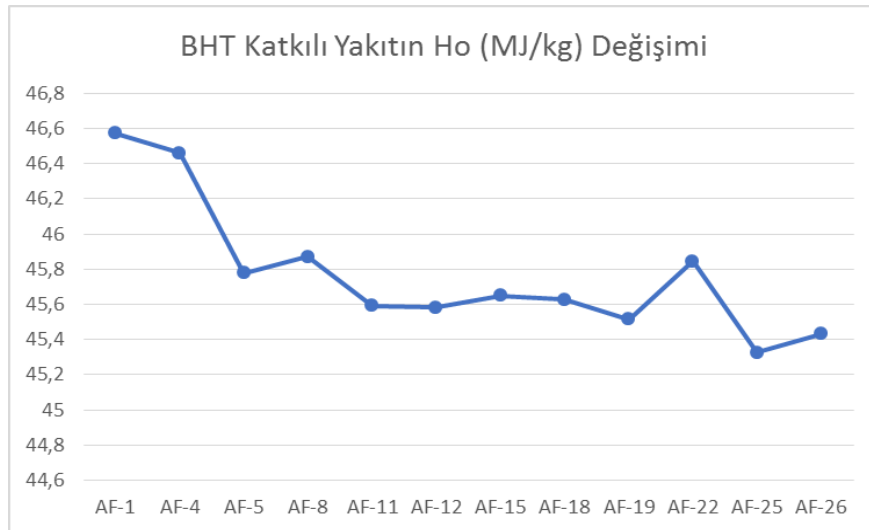
Deney yakıtlarına BHT katkısının ilave edilmesiyle bulunan soğuk akış değerleri Şekil 4.27'de gösterilmiştir. BHT katkısı ile tüm yakıt karışımlarının soğukta filtre tıkanma noktası, bulutlanma noktası, akma noktası ve donma noktası değeri yaklaşık -1 °C düşürülmüştür. BHT katkılı yakıtlardan en iyi soğuk akış özelliklerine sahip olan yakıt CFPP, CP, PP ve FP değerleri sırasıyla -21 °C, -24.25 °C, -32.175 °C, -48 °C olarak ölçülen AF-4 yakıtıdır. BHT katkılı yakıtlardan en kötü CFPP, CP ve PP

değerlerine sahip olan yakıt sırasıyla -17 °C, -20.45 °C ve -27.995 °C olarak ölçülen AF-25 (B5 + 500 ppm BHT + %0.05 PMA katkılı yakıt) yakıtı ile en kötü FP değerine sahip olan yakıt -44 °C olarak ölçülen AF-26 yakıtıdır. BHT katkısı, PMA katkısı ile birlikte kullanıldığında soğuk akış özelliklerini iyileştirmede daha iyi bir etki yaratmıştır. JP-8 yakıtı yerine alternatif olarak kullanabilecek en iyi BHT katkılı yakıt ise AF-11 numaralı yakıttır.



Şekil 4.27. BHT Katkısının Soğuk Akış Özelliklerine Etkisi

Şekil 4.28’de yakıtlara BHT katkı maddesinin eklenmesinin ısı değere etkisi gösterilmiştir. Deney sonuçlarına göre BHT katkılı yakıt karışımlarından ısı değeri en yüksek olan yakıt AF-4 yakıtıdır, ısı değeri en düşük olan yakıt ise AF-25 yakıtıdır. BHT katkı maddesinin hem tek başına hem de PMA katkısı ile birlikte yakıt karışımlarına ilave edilmesi ile tüm yakıt karışımlarının ısı değeri azaltılmıştır fakat bulunan sonuçlar standartlarda belirlenen değerler arasında kalmıştır.

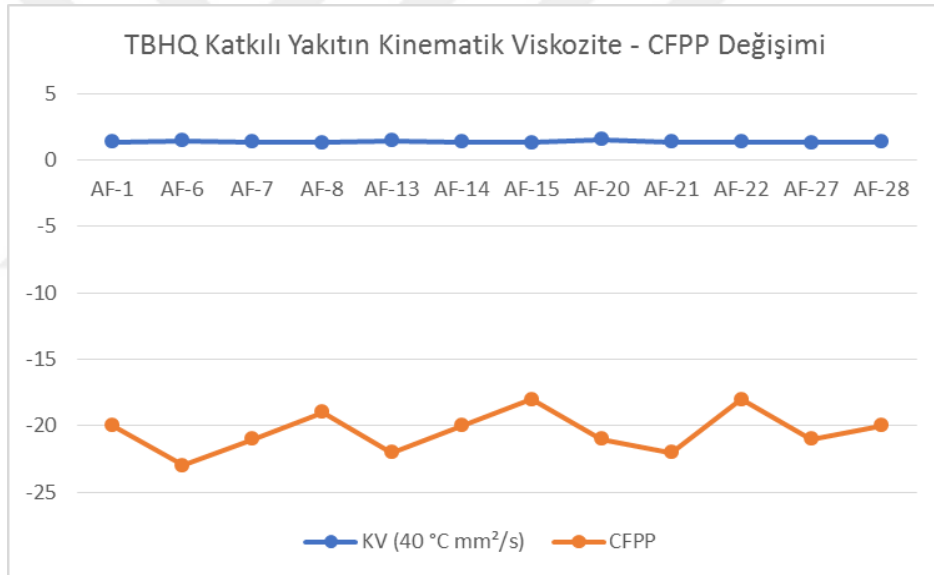


Şekil 4.28. BHT Katkısının Isıl Değere Etkisinin Değişimi

4.13. TBHQ Katkısının Yakıt Karışımlarına Etkisi

TBHQ katkısının yakıt karışımlarına ilave edilmesiyle kinematik viskozite ve CFPP değişimi grafiği Şekil 4.29’da gösterilmiştir. TBHQ katkısının JP-8 yakıtına ilavesi ile hem kinematik viskozite hem de CFPP değerleri azaltılırken, PMA katkısı ile birlikte ilave edilmesiyle kinematik viskozite arttırılırken CFPP değeri azaltılmıştır. TBHQ ve TBHQ+PMA katkısı ile B2 ve B3 yakıtlarının kinematik viskozite değerleri arttırılırken CFPP değerleri azaltılmıştır. TBHQ katkısının B5 yakıtına ilavesi ile kinematik viskozite sabit kalırken, CFPP değeri azaltılmış, PMA katkısı ile birlikte ilave edilmesiyle hem kinematik viskozite hem de CFPP değeri azaltılmıştır.

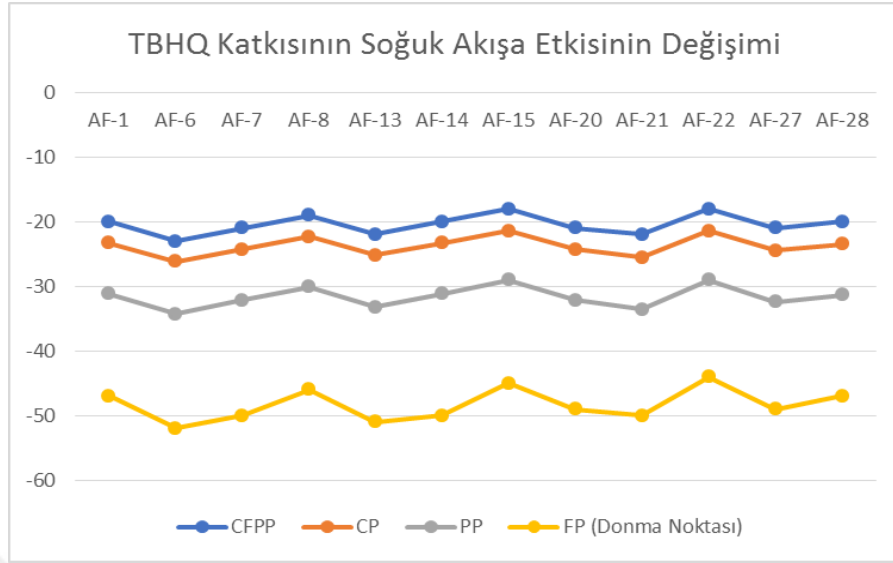
TBHQ katkısının yakıt karışımlarına PMA katkısı ile birlikte eklenmesi yakıt özellikleri için daha iyi bir etki yaratmıştır. Yakıtların katkısız haline göre kinematik viskozite değerleri değişkenlik gösterirken CFPP değerlerinde sürekli bir azalma söz konusudur.



Şekil 4.29. TBHQ Katkısının Kinematik Viskozite Ve Soğukta Filtre Tıkanma Noktasına Etkisi

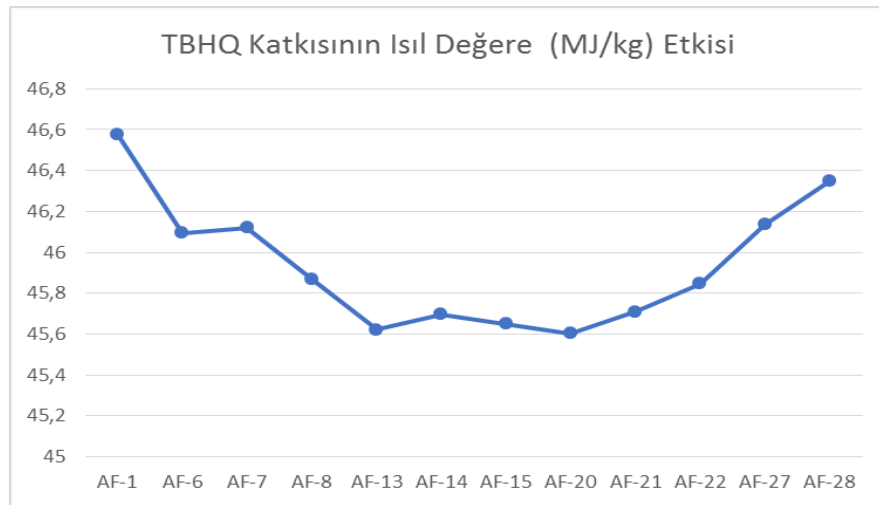
Deney yakıtlarına TBHQ katkısının ilave edilmesiyle bulunan soğuk akış değerleri Şekil 4.30’da gösterilmiştir. TBHQ katkısı ile tüm yakıt karışımlarının soğukta filtre tıkanma noktası, bulutlanma noktası ve akma noktası değeri yaklaşık -3 °C, donma noktası değeri ise yaklaşık 5 °C düşürülmüştür. TBHQ katkılı yakıtlardan en iyi soğuk akış özelliklerine sahip olan yakıt CFPP, CP, PP ve FP değerleri sırasıyla -23 °C, -26.15 °C, -34.265 °C, -52 °C olarak ölçülen AF-6 yakıtı, en kötü CFPP, CP, PP ve FP değerlerine sahip olan yakıt ise sırasıyla -20 °C, -23.5 °C, -31.35 °C ve -47 °C olarak ölçülen AF-28 yakıtıdır. TBHQ katkısı PMA katkısı ile birlikte kullanıldığında soğuk akış özelliklerini iyileştirmede daha iyi bir etki yaratmıştır. JP-8 yakıtı yerine alternatif

olarak kullanabilecek en iyi TBHQ katkılı yakıtlar ise AF-13, AF-14, AF-20, AF-21, AF-27 ve AF-28 numaralı yakıtlardır.



Şekil 4.30. TBHQ Katkısının Soğuk Akış Özelliklerine Etkisi

Şekil 4.31’de yakıtlara TBHQ katkı maddesinin eklenmesinin ısı değere etkisi gösterilmiştir. Deney sonuçlarına göre TBHQ katkılı yakıt karışımlarından ısı değeri en yüksek olan yakıt AF-28 yakıtıdır, ısı değeri en düşük olan yakıt ise AF-20 yakıtıdır. TBHQ katkısının hem tek başına hem de PMA katkısı ile birlikte JP-8 ve B2 yakıt karışımlarına ilave edilmesi ile ısı değeri azaltılırken, B5 yakıtına ilave edilmesi ile ısı değeri artırılmıştır. B3 yakıtına ilave edildiği zaman ısı değeri artırılırken, PMA katkısı ile birlikte ilave edildiği zaman ısı değeri azaltılmıştır. Bazı katkı maddelerinin ısı değeri azaltılmasına rağmen ölçülen tüm ısı değerleri standartlarda belirlenen sınırlar arasında kalmıştır.



Şekil 4.31. TBHQ Katkısının Isıl Değere Etkisi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada günümüzde henüz bir gıda değeri bulunmayan, sulanmaya ihtiyaç duymayan ve kolay bir şekilde yetiştirilebilen Onopordum bitkisinden biyojet yakıtı elde etmek amacıyla karışımlar hazırlanarak deneyler yapılmış ve sonuçlar incelenerek JP-8 yakıtına alternatif olabilecek yakıtlar bulunmuştur.

Çizelge 5.1’de JP-8 yakıtının özellikleri ile ilgili standarda yer verilmiştir. JP-8 yakıt standardı ile elde edilen deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1. JP-8 Yakıt Standardı

Özellikler	Birim	JP-8 (NATO F-34)
Yoğunluk	kg/l	0.775 - 0.840
Kinematik viskozite	mm ² /s	8 (-20 °C) 1.2 (40 °C)
CP	°C	-
FP	°C	-47.0
Parlama Noktası	°C	38
Ho	MJ/kg	42.8

Deneylerde kullandığımız JP-8 yakıtının özellikleri ise Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Deneylerde Kullanılan JP-8 Yakıtının Özellikleri

Özellikler	Birim	JP-8 (NATO F-34)
Yoğunluk	kg/l	0.7897
Kinematik viskozite	mm ² /s	1.38 (40 °C)
CFPP	°C	-20
CP	°C	-23.3
PP	°C	-31.13
FP	°C	-47.0
Ho	MJ/kg	46.574

Deneylerde hem JP-8 yakıtı hem de Onopordum bitkisinden elde edilen biyoyakıt ile JP-8 yakıtı belirli oranlarda karıştırılarak oluşturulan B2, B3 ve B5 yakıt karışımları kullanılmış ve bu yakıtların soğuk akış özelliklerinin geliştirilmesi için karışımlara belirli oranlarda Pentanol, PMA, BHT ve TBHQ katkı maddeleri ilave edilmiştir. Deney sonuçlarına göre JP-8 yakıtına alternatif olabilecek hatta yakıt

özellikleri daha gelişmiş olan birçok yakıt karışımının olduğu gözlemlenmiştir. Bu yakıtlar Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 3. JP-8 Yakıtına Alternatif Olabilecek Yakıt Karışımları

YAKIT KARIŞIMI	OKSİDASYON	%	SOĞUK AKIŞ	%	KODU	KİNEMATİK VİSKOZİTE (40 °C mm ² /s)	Ho (MJ/kg)	YOĞUNLUK (kg/l)	CFPP	CP	PP	FP
JP8	TBHQ	3000 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-6	1.45	46.095	0.7896	-23	-26.2	-34.3	-52
B2	TBHQ	3000 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-13	1.45	45.622	0.7885	-22	-25.2	-33.2	-51
B3	TBHQ	3000 (ppm)	Şahit		AF-21	1.38	45.709	0.7894	-22	-25.5	-33.6	-50
JP8	TBHQ	3000 (ppm)	Şahit		AF-7	1.35	46.121	0.7899	-21	-24.3	-32.2	-50
B2	TBHQ	3000 (ppm)	Şahit		AF-14	1.35	45.697	0.789	-20	-23.3	-31.1	-50
JP8	Pentanol	10 (%v)	PMA	0.05 (%w)	AF-2	1.4	45.81	0.79	-22	-25.5	-33.6	-49
B5	TBHQ	3000 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-27	1.32	46.136	0.7909	-21	-24.5	-32.5	-49
JP8	Pentanol	10 (%v)	Şahit		AF-3	1.43	45.849	0.79	-21	-24.3	-32.2	-49
B3	TBHQ	3000 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-20	1.54	45.602	0.7891	-21	-24.3	-32.2	-49
B3	Pentanol	10 (%v)	PMA	0.05 (%w)	AF-16	1.4	45.642	0.7893	-21	-24.5	-32.5	-48
JP8	BHT	500 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-4	1.35	46.459	0.7897	-21	-24.3	-32.2	-48
B2	Pentanol	10 (%v)	PMA	0.05 (%w)	AF-9	1.46	45.712	0.7916	-21	-24.3	-32.2	-48
JP8	BHT	500 (ppm)	Şahit		AF-5	1.31	45.779	0.7896	-20	-23.5	-31.35	-48
B2	Pentanol	10 (%v)	Şahit		AF-10	1.36	45.561	0.7913	-20	-23.5	-31.35	-48
B5	TBHQ	3000(ppm)	Şahit		AF-28	1.34	46.348	0.7917	-20	-23.5	-31.35	-47
JP8	-	-	-	-	AF-1	1.38	46.574	0.7897	-20	-23.3	-31.13	-47
B2	BHT	500 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-11	1.45	45.593	0.7914	-20	-23.3	-31.13	-47
B2	BHT	500 (ppm)	Şahit		AF-12	1.31	45.582	0.7916	-19	-22.5	-30.25	-47
B3	Pentanol	10 (%v)	Şahit		AF-17	1.33	45.663	0.7891	-19	-22.5	-30.25	-47

Bütün deney yakıtlarının kinematik viskozite, yoğunluk ve ısı değerleri JP-8 yakıt standartlarına uymaktadır. Fakat bazı karışımların donma noktası değeri JP-8 yakıt standardındaki sınırları karşılayamamıştır. Bu yakıtlar Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 4. Donma Noktası JP-8 Standardına Uygun Olmayan Yakıt Karışımları

YAKIT KARIŞIMI	OKSİDASYON	%	SOĞUK AKIŞ	%	KODU	KİNEMATİK VİSKOZİTE (40 °C mm ² /s)	Ho (MJ/kg)	YOĞUNLUK (kg/lt)	CFPP	CP	PP	FP
B2	-		-		AF-8	1.31	45.869	0.7915	-19	-22.35	-30.085	-46
B3	-		-		AF-15	1.32	45.649	0.7893	-18	-21.4	-29.04	-45
B3	BHT	500 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-18	1.32	45.628	0.7894	-18	-21.5	-29.15	-45
B3	BHT	500 (ppm)	Şahit		AF-19	1.38	45.514	0.7894	-18	-21.5	-29.15	-46
B5	-	-	-		AF-22	1.34	45.846	0.7905	-18	-21.4	-29.04	-44
B5	Pentanol	10 (%v)	PMA	0.05 (%w)	AF-23	1.4	45.735	0.787	-18	-21.4	-29.04	-45
B5	Pentanol	10 (%v)	Şahit		AF-24	1.37	45.179	0.7908	-17	-20.5	-28.05	-46
B5	BHT	500 (ppm)	PMA	0.05 (%w)	AF-25	1.39	45.325	0.791	-17	-20.5	-27.995	-45
B5	BHT	500 (ppm)	Şahit		AF-26	1.39	45.432	0.7911	-17	-20.5	-28.05	-44

JP-8 yakıtına tüm katkı maddelerinin ilavesi saf halindeki yakıt özelliklerine göre daha gelişmiş yakıt özellikleri sunmuştur. JP-8 yakıtına %0.05 oranında PMA ve 3000 ppm TBHQ katkı maddelerinin birlikte eklenmesiyle soğuk akış özellikleri en iyi şekilde geliştirilmiştir.

B2, B3 ve B5 yakıtlarının katkısız haldeki donma noktası değerleri JP-8 yakıt standardına uymamaktadır. Fakat B2 yakıtına ilave edilen tüm katkı maddeleri, B3 yakıtına ilave edilen Pentanol, Pentanol-PMA, TBHQ, TBHQ-PMA ve B5 yakıtına ilave edilen TBHQ ve TBHQ-PMA katkıları bu yakıtların soğuk akış özelliklerini geliştirerek standartlara uygun hale gelmesini sağlamıştır.

JP-8 yakıtına en iyi alternatif olabilecek yakıt karışımları TBHQ + PMA katkılı yakıt karışımlarıdır. Daha sonra ise sırasıyla TBHQ, Pentanol + PMA, Pentanol, BHT+ PMA ve BHT katkılı yakıtlardır.

Yakıtlara eklenen TBHQ katkılı karışımlar donma noktasını -3 ila -5 °C, Pentanol katkılı karışımlar -1 ila -3 °C ve BHT katkılı karışımlar ise -1 °C düşürerek iyileşme sağlamıştır.

Deney sonuçlarına göre en iyi ısı değere sahip yakıtlar, saf haldeki JP-8 yakıtından sonra soğuk akış özelliklerinde olduğu gibi yine TBHQ + PMA ve TBHQ katkılarının ilave edildiği yakıtlardır.

5.2 Öneriler

Dünyada fosil kaynaklı yakıtların tükenmesi ve giderek artan enerji ihtiyacına karşı alternatif yakıt arayışları hızlanmıştır. Ayrıca hava taşıtlarında kullanılan yakıtların soğuk akış özellikleri oldukça önemlidir. Bu sorunları ele alarak yaptığımız çalışmada kolay üretilen, düşük maliyetli ve daha önce dünyada yakıt alanında kullanılmamış olan Onopordum bitkisinden elde edilen biyojet yakıtının katkı maddeleri ile JP-8 yakıtı yerine alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışmada yapılan deney sonuçlarına göre Onopordum bitkisinden elde edilen B2, B3 ve B5 biyojet yakıtlarının özellikleri JP-8 yakıtının özelliklerine çok yakın değerler sergilemiştir.

Sonuçlara göre en iyi soğuk akış özelliklerine sahip olan yakıtlar JP-8 yakıtına katkı maddelerinin eklenmesi ile oluşturulmuştur. Katkısız B2, B3 ve B5 yakıtlarının özellikleri JP-8 standartlarının altında kalmıştır. Fakat bu yakıtlara katkı maddelerinin eklenmesi ile yakıt özellikleri geliştirilerek birçok yakıtın standartlara uygun hale getirilmesi sağlanmıştır.

Katkı maddelerinden TBHQ-PMA karışımının yakıt özelliklerini geliştirmede en iyi etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. JP-8 yakıtından sonra ise en iyi yakıt özelliklerine sahip olan B2 yakıtıdır. B2 yakıtı katkısız hali ve BHT katkılı karışımlar hariç deneyde kullanılan diğer tüm katkı maddeleri ile saf haldeki JP-8 yakıtından daha iyi özellikler göstermiştir.

Jet yakıtlarının soğuk akış özelliklerini geliştirmek için yakıtlara 3000 (ppm) TBHQ ve 0.05 (%w) PMA katkısının ilave edilmesi, JP-8 yakıtına alternatif olarak ise B2 yakıtının kullanılması ciddi anlamda katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma Onopordum biyoyakıtı için dünya literatüründe ilk defa yapılmış olup, yakıt karışımlarına ilave edilen katkı maddelerinin farklı oranlarla test edilebileceği veya kullanılan katkı maddelerinin türlerinin çeşitlenerek farklı alternatif yakıtlar üretilbileceği söz konusudur.

Bu aşamadan sonra katkılı biyojet yakıtlarının motor performans değerleri belirlenmeli ve en uygun katkı karışımları bu değerler de dikkate alınarak yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abe, M., Hirata, S., Komatsu, H., Yamagiwa, K. ve Tajima, H., 2016, Thermodynamic selection of effective additives to improve the cloud point of biodiesel fuels, *Fuel*, 171, 94-100.
- Acaroğlu, M., 2003, Alternatif Enerji Kaynakları, *İstanbul*, Atlas Yayın Dağıtım, p.
- Acaroğlu, M., 2013, Alternatif Enerji Kaynakları, Geliştirilmiş 3. Basım, *Ankara*, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., p. 424-426.
- Acaroğlu, M., Aydoğan, H. ve Özçelik, A. E., 2018, Yakıtlar ve Yanma, Genişletilmiş ve Güncellenmiş 2. Basım, *Ankara*, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., p.
- Akansu, S. O., Kahraman, N. ve Çeper, B. A., 2007, Hidrojen Yakıtının İçten Yanmalı Motorlarda Uygulanması, 104M413, P. N.
- Ali, O., Yusaf, T., Mamat, R., Abdullah, N. ve Abdullah, A., 2014, Influence of chemical blends on palm oil methyl esters' cold flow properties and fuel characteristics, *Energies*, 7 (7), 4364-4380.
- Altaie, M. A. H., Janius, R. B., Rashid, U., Yap, Y. H. T., Yunus, R. ve Zakaria, R., 2015, Cold flow and fuel properties of methyl oleate and palm-oil methyl ester blends, *Fuel*, 160, 238-244.
- Angelovič, M., Tkáč, Z. ve Jablonický, J., 2014, Determination model for cetane number of biodiesel at different fatty acid composition: a review, *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 47 (1), 365-371.
- ATAG, 2011, Beginner's Guide to Aviation Biofuels, p.
- Benjumea, P. N., Ramiro-Agudelo, J. ve Ríos, L. A., 2007, Propiedades de flujo a baja temperatura del biodiesel de aceite de palma, *Revista Facultad de Ingeniería* (42), 94-104.
- Bhale, P. V., Deshpande, N. V. ve Thombre, S. B., 2009, Improving the low temperature properties of biodiesel fuel, *Renewable Energy*, 34 (3), 794-800.
- Boshui, C., Yuqiu, S., Jianhua, F., Jiu, W. ve Jiang, W., 2010, Effect of cold flow improvers on flow properties of soybean biodiesel, *Biomass and Bioenergy*, 34 (9), 1309-1313.
- Bouriazos, A., Ikonomakou, E. ve Papadogianakis, G., 2014, Aqueous-phase catalytic hydrogenation of methyl esters of *Cynara cardunculus* alternative low-cost non-edible oil: A useful concept to resolve the food, fuel and environment issue of sustainable biodiesel, *Industrial Crops and Products*, 52, 205-210.
- Cao, L., Wang, J., Liu, C., Chen, Y., Liu, K. ve Han, S., 2014a, Ethylene vinyl acetate copolymer: A bio-based cold flow improver for waste cooking oil derived biodiesel blends, *Applied energy*, 132, 163-167.
- Cao, L., Wang, J., Liu, K. ve Han, S., 2014b, Ethyl acetoacetate: A potential bio-based diluent for improving the cold flow properties of biodiesel from waste cooking oil, *Applied energy*, 114, 18-21.
- Cardoso, C. C., Mendes, B. M. ve Pasa, V. M., 2018, Production and characterization of cold-flow quality biofuel from soybean oil using different alky and benzyl alcohols, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6 (2), 2241-2247.
- Çeper, B. A., Akansu, S. O. ve Kahraman, N., 2009, Investigation of cylinder pressure for H₂/CH₄ mixtures at different loads, *International journal of hydrogen energy*, 34 (11), 4855-4861.
- Chastek, T. Q., 2011, Improving cold flow properties of canola-based biodiesel, *Biomass and Bioenergy*, 35 (1), 600-607.
- Chiu, C.-W., Schumacher, L. G. ve Suppes, G. J., 2004, Impact of cold flow improvers on soybean biodiesel blend, *Biomass and Bioenergy*, 27 (5), 485-491.

- Cooper, J. R. ve Mattie, D. R., 1996, Developmental toxicity of JP-8 jet fuel in the rat, *Journal of Applied Toxicology*, 16 (3), 197-200.
- Çaynak, S., Gürü, M., Biçer, A., Keskin, A. ve İçingür, Y., 2009, Biodiesel production from pomace oil and improvement of its properties with synthetic manganese additive, *Fuel*, 88 (3), 534-538.
- Dehaghani, A. H. S. ve Rahimi, R., 2018, An experimental study of diesel fuel cloud and pour point reduction using different additives, *Petroleum*.
- Echim, C., Maes, J. ve De Greyt, W., 2012, Improvement of cold filter plugging point of biodiesel from alternative feedstocks, *Fuel*, 93, 642-648.
- Elias, R. C., Senra, M. ve Soh, L., 2016, Cold flow properties of fatty acid methyl ester blends with and without triacetin, *Energy & Fuels*, 30 (9), 7400-7409.
- Freire, L. M., José Filho, R., Moura, C. V., Soledade, L. E., Stragevitch, L., Cordeiro, Â. M., Santos, I. M. ve Souza, A. G., 2012, Evaluation of the oxidative stability and flow properties of quaternary mixtures of vegetable oils for biodiesel production, *Fuel*, 95, 126-130.
- Giraldo, S. Y., Rios, L. A. ve Suárez, N., 2013, Comparison of glycerol ketals, glycerol acetates and branched alcohol-derived fatty esters as cold-flow improvers for palm biodiesel, *Fuel*, 108, 709-714.
- Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çınar, C. ve Şahin, F., 2010, Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine, *Renewable Energy*, 35 (3), 637-643.
- Hamada, H., Kato, H., Ito, N., Takase, Y., Nanbu, H., Mishima, S., Sakaki, H. ve Sato, K., 2010, Effects of polyglycerol esters of fatty acids and ethylene-vinyl acetate co-polymer on crystallization behavior of biodiesel, *European journal of lipid science and technology*, 112 (12), 1323-1330.
- ICAO, 2013, ICAO Environmental Report 2013 Aviation and Climate Change.
- Imdadul, H., Masjuki, H., Kalam, M., Zulkifli, N., Alabdulkarem, A., Rashed, M. ve Ashraful, A., 2016, Influences of ignition improver additive on ternary (diesel-biodiesel-higher alcohol) blends thermal stability and diesel engine performance, *Energy conversion and Management*, 123, 252-264.
- Islam, M. M., Hassan, M. H., Kalam, M. A., Habibullah, M. ve Hossain, M. M., 2016, Improvement of cold flow properties of Cocos nucifera and Calophyllum inophyllum biodiesel blends using polymethyl acrylate additive, *Journal of Cleaner Production*, 137, 322-329.
- Javed, S., Murthy, Y. S., Satyanarayana, M., Reddy, R. R. ve Rajagopal, K., 2016, Effect of a zinc oxide nanoparticle fuel additive on the emission reduction of a hydrogen dual-fuelled engine with jatropha methyl ester biodiesel blends, *Journal of Cleaner Production*, 137, 490-506.
- Joshi, H., Moser, B. R., Toler, J., Smith, W. F. ve Walker, T., 2011, Ethyl levulinate: A potential bio-based diluent for biodiesel which improves cold flow properties, *Biomass and Bioenergy*, 35 (7), 3262-3266.
- Keskin, A., Gürü, M. ve Altıparmak, D., 2007, Biodiesel production from tall oil with synthesized Mn and Ni based additives: effects of the additives on fuel consumption and emissions, *Fuel*, 86 (7-8), 1139-1143.
- Keskin, A., Yaşar, A., Yıldızhan, Ş., Uludamar, E., Emen, F. M. ve Külçü, N., 2018, Evaluation of diesel fuel-biodiesel blends with palladium and acetylferrocene based additives in a diesel engine, *Fuel*, 216, 349-355.
- Köse, H., 2018, Cynara Cardunculus'dan Biyoyakıt Üretimi Ve Üretilen Yakıtın Farklı Karışımlarının Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi, *Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya*.

- Küçükşahin, F., 1980, Dizel Motorları, Beta Yayınları, p. 92-98.
- Lapuerta, M., González-García, I., Céspedes, I., Estévez, C. ve Bayarri, N., 2019, Improvement of cold flow properties of a new biofuel derived from glycerol, *Fuel*, 242, 794-803.
- Leggieri, P. A., Senra, M. ve Soh, L., 2018, Cloud point and crystallization in fatty acid ethyl ester biodiesel mixtures with and without additives, *Fuel*, 222, 243-249.
- Leng, L., Chen, J., Leng, S., Li, W., Huang, H., Li, H., Yuan, X., Li, J. ve Zhou, W., 2019, Surfactant assisted upgrading fuel properties of waste cooking oil biodiesel, *Journal of Cleaner Production*, 210, 1376-1384.
- Li, D.-g., Zhen, H., Xingcai, L., Wu-gao, Z. ve Jian-Guang, Y., 2005, Physico-chemical properties of ethanol–diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines, *Renewable Energy*, 30 (6), 967-976.
- Lv, P., Cheng, Y., Yang, L., Yuan, Z., Li, H. ve Luo, W., 2013, Improving the low temperature flow properties of palm oil biodiesel: addition of cold flow improver, *Fuel processing technology*, 110, 61-64.
- Makarevičienė, V., Kazancev, K. ve Kazanceva, I., 2015, Possibilities for improving the cold flow properties of biodiesel fuel by blending with butanol, *Renewable energy*, 75, 805-807.
- Maurice, L. Q., Lander, H., Edwards, T. ve Harrison Iii, W., 2001, Advanced aviation fuels: a look ahead via a historical perspective, *Fuel*, 80 (5), 747-756.
- Mejia, J., Salgado, N. ve Orrego, C., 2013, Effect of blends of Diesel and Palm-Castor biodiesels on viscosity, cloud point and flash point, *Industrial Crops and Products*, 43, 791-797.
- Ming, T. C., Ramli, N., Lye, O. T., Said, M. ve Kasim, Z., 2005, Strategies for decreasing the pour point and cloud point of palm oil products, *European journal of lipid science and technology*, 107 (7-8), 505-512.
- Mohan, A., Bouzidi, L. ve Narine, S. S., 2017, Harnessing the synergies between lipid-based crystallization modifiers and a polymer pour point depressant to improve pour point of biodiesel, *Energy*, 120, 895-906.
- Monirul, I., Masjuki, H., Kalam, M., Zulkifli, N., Rashedul, H., Rashed, M., Imdadul, H. ve Mosarof, M., 2015, A comprehensive review on biodiesel cold flow properties and oxidation stability along with their improvement processes, *Rsc Advances*, 5 (105), 86631-86655.
- Monirul, I., Kalam, M., Masjuki, H., Zulkifli, N., Shahir, S., Mosarof, M. ve Ruhul, A., 2017, Influence of poly (methyl acrylate) additive on cold flow properties of coconut biodiesel blends and exhaust gas emissions, *Renewable Energy*, 101, 702-712.
- Nainwal, S., Sharma, N., Sharma, A. S., Jain, S. ve Jain, S., 2015, Cold flow properties improvement of Jatropha curcas biodiesel and waste cooking oil biodiesel using winterization and blending, *Energy*, 89, 702-707.
- Onurbaş Avcıoğlu, A., Türker, U., Demirel Atasoy, Z. ve Koçtürk, D., 2011, Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler-Biyoyakıtlar, *Ankara, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.*, p. 356
- Örs, I., Sarıkoç, S., Atabani, A., Ünal, S. ve Akansu, S., 2018, The effects on performance, combustion and emission characteristics of DICI engine fuelled with TiO₂ nanoparticles addition in diesel/biodiesel/n-butanol blends, *Fuel*, 234, 177-188.

- Pinto, B. P., de Lyra, J. T., Nascimento, J. A. ve Mota, C. J., 2016, Ethers of glycerol and ethanol as bioadditives for biodiesel, *Fuel*, 168, 76-80.
- Ranjan, A., Dawn, S., Jayaprabakar, J., Nirmala, N., Saikiran, K. ve Sriram, S. S., 2018, Experimental investigation on effect of MgO nanoparticles on cold flow properties, performance, emission and combustion characteristics of waste cooking oil biodiesel, *Fuel*, 220, 780-791.
- Roy, M. M., Calder, J., Wang, W., Mangad, A. ve Diniz, F. C. M., 2016, Emission analysis of a modern Tier 4 DI diesel engine fueled by biodiesel-diesel blends with a cold flow improver (Wintron Synergy) at multiple idling conditions, *Applied energy*, 179, 45-54.
- Saengarun, C., Petsom, A. ve Tungasmita, D. N., 2017, Etherification of Glycerol with Propylene or 1-Butene for Fuel Additives, *The Scientific World Journal*, 2017.
- Senra, M., McCartney, S. N. ve Soh, L., 2019, The effect of bio-derived additives on fatty acid methyl esters for improved biodiesel cold flow properties, *Fuel*, 242, 719-727.
- Serrano, M., Oliveros, R., Sánchez, M., Moraschini, A., Martínez, M. ve Aracil, J., 2014, Influence of blending vegetable oil methyl esters on biodiesel fuel properties: oxidative stability and cold flow properties, *Energy*, 65, 109-115.
- Silva, P. H., Gonçalves, V. L. ve Mota, C. J., 2010, Glycerol acetals as anti-freezing additives for biodiesel, *Bioresource technology*, 101 (15), 6225-6229.
- Smith, B. L. ve Bruno, T. J., 2007, Composition-explicit distillation curves of aviation fuel JP-8 and a coal-based jet fuel, *Energy & Fuels*, 21 (5), 2853-2862.
- Sorate, K. A. ve Bhale, P. V., 2015, Biodiesel properties and automotive system compatibility issues, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 777-798.
- Soriano Jr, N. U., Migo, V. P. ve Matsumura, M., 2006, Ozonized vegetable oil as pour point depressant for neat biodiesel, *Fuel*, 85 (1), 25-31.
- Srikanth, H., Venkatesh, J., Godiganur, S., Venkateswaran, S. ve Manne, B., 2017, Bio-based diluents improve cold flow properties of dairy washed milk-scum biodiesel, *Renewable Energy*, 111, 168-174.
- Srikanth, H., Venkatesh, J., Godiganur, S. ve Manne, B., 2019, Acetone and Diethyl ether: Improve cold flow properties of Dairy Washed Milkscum biodiesel, *Renewable Energy*, 130, 446-451.
- Tank-Automotive, U. A. ve Command, A., 2001, JP-8: the single fuel forward: an information compendium, *Warren, MI*.
- Tesfaye, M. ve Katiyar, V., 2016, Microwave assisted synthesis of biodiesel from soybean oil: Effect of poly (lactic acid)-oligomer on cold flow properties, IC engine performance and emission characteristics, *Fuel*, 170, 107-114.
- Udomsap, P., Sahapatsombat, U., Puttasawat, B., Krasae, P., Chollacoop, N. ve Topaiboul, S., 2008, Preliminary investigation of cold flow improvers for palm-derived biodiesel blends, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 18 (2), 99-102.
- Unlu, D., Boz, N., Ilgen, O. ve Hilmioglu, N., 2018, Improvement of fuel properties of biodiesel with bioadditive ethyl levulinate, *Open Chemistry*, 16 (1), 647-652.
- Usta, N., Aydoğan, B., Çon, A., Uğuzdoğan, E. ve Özkal, S., 2011, Properties and quality verification of biodiesel produced from tobacco seed oil, *Energy conversion and Management*, 52 (5), 2031-2039.
- Verma, P., Sharma, M. ve Dwivedi, G., 2016, Evaluation and enhancement of cold flow properties of palm oil and its biodiesel, *Energy Reports*, 2, 8-13.
- Wang, J., Cao, L. ve Han, S., 2014, Effect of polymeric cold flow improvers on flow properties of biodiesel from waste cooking oil, *Fuel*, 117, 876-881.

- Wang, W.-C. ve Tao, L., 2016, Bio-jet fuel conversion technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 801-822.
- Wang, Y., Ma, S., Zhao, M., Kuang, L., Nie, J. ve Riley, W. W., 2011, Improving the cold flow properties of biodiesel from waste cooking oil by surfactants and detergent fractionation, *Fuel*, 90 (3), 1036-1040.
- Xue, Y., Zhao, Z., Xu, G., Lian, X., Yang, C., Zhao, W., Ma, P., Lin, H. ve Han, S., 2016, Effect of poly-alpha-olefin pour point depressant on cold flow properties of waste cooking oil biodiesel blends, *Fuel*, 184, 110-117.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Fatma DÜZENLİ
Uyruğu : Türk

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Meram 75. Yıl Lisesi, Meram, Konya	2014
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği	2018
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği	-

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
01-2021/09-2021	Yenar Döküm-Konya	Ar-Ge Mühendisi
09-2020/11-2020	Say Vana -Konya	Üretim Mühendisi

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Düzenli, F., ve Acaroğlu, M., 2020, Improvement of Cold Flow Properties In Biofuels Used In Aviation, Renewable Energy Sources Energy Policy and Energy Management, 1 (2), 18-28.